

KULOVAARAN JA SÄÄTEKIJÖIDEN
VÄLISESTÄ RIIPPUVUUDESTA

MATTI FRANSSILA

SUMMARY:

*THE DEPENDENCE OF FOREST FIRE DANGER ON
METEOROLOGICAL FACTORS*

HELSINKI 1958

Sisällys

Johdanto	5
Maapitteen kosteuden ja säätekijöiden välisestä riippuvuudesta	7
Kulotilasto ja säähavaintoaineisto	11
Kulovaaran riippuvuus säätekijöistä	14
Meteorologisen kulovaaran maantieteellisestä jakaantumisesta Suomessa	21
<i>Summary</i>	24
Kirjallisuutta	26

Johdanto

Tehokas ja mahdollisimman taloudellinen kulontorjunta edellyttää, että palovartioasemilla ollaan jatkuvasti selvillä kulovaaran suuruudesta. Kulovaaran määrittämiseksi on sen vuoksi kehitetty useita eri menetelmiä.

Kulovaaran suuruus riippuu ennen kaikkea maapeitteen kosteudesta. Kulovaaralle saadaan sen vuoksi hyvä mitta määrittämällä maapeitteen kosteus jollain sopivalla, erikoisesti tätä tarkoitusta varten suunnitellulla kosteusmittarilla. Tämä menetelmä on erittäin luotettava. Mutta kun maapeitteen kosteuden määrittäminen on sangen vaikea tehtävä, ei se ole kuitenkaan päässyt yleiseen käyttöön.

Eräissä maissa, kuten Kanadassa ja Austraaliassa (FOLEY 1947) käytetään kulovaaran määrittämiseen pieniä puusauvoja, jotka on valmistettu jostain sopivasta paikallisesta puulajista. Sauvat sijoitetaan maapeitteelle tai hiukan sen yläpuolelle ja sauvojen kosteus määritetään punnitsemalla ne kerran vuorokaudessa. Kun näiden, ns. kulovaaratikkujen (*hazard sticks*) kosteus kuvaa melko hyvin maapeitteen kosteutta, saadaan tällä tavoin likimääräinen kuva kulovaarasta.

Kulovaaratikkujen antama tulos riippuu jonkin verran niiden halkaisijasta. Kuta ohuempia tikut ovat, sitä nopeammin ne seuraavat kosteuden muutoksia. Parhaita tuloksia on saatu tikuilla, joiden halkaisija on $\frac{1}{2}$ tuumaa (1.27 cm).

Tämän menetelmän etuja ovat ennen kaikkea sen yksinkertaisuus ja halpuus. Kulovaaratikkuja voidaan käyttää niin runsaasti, että niiden avulla saadaan riittävä kuva kosteudesta erilaisissa maastoissa.

Menetelmän varjopuolista taas mainittakoon, että kulovaaratikkujen antama tulos riippuu olennaisesti niiden asettelusta. Esim. suoranaishalle auringonsäteilylle alttiissa paikassa ne kuivuvat sateen jälkeen huomattavasti nopeammin kuin varjoisassa paikassa. Eri paikoissa saadut tulokset eivät ole sen vuoksi suoraan toisiinsa verrattavia. Parhaita tuloksia kulovaaratikut antavat tiheissä metsiköissä, joissa suoranaista auringonsäteilyä on vähän. Aukeilla mailla ne sen sijaan liioittelevat kulovaaraa.

Meteorologisista kulovaaran määrittämiseksi kehitetyistä menetelmistä mainittakoon ennen kaikkea Kanadassa käytössä oleva Wright-systeemi (vrt. BEALL 1948 ja WRIGHT 1935). Tätä menetelmää käytettäessä lasketaan kulkokauden aikana joka päivä kulovaaraa kuvaava ns. vaaraindeksi (*danger index*).

Indeksi määritetään valmiiksi laskettujen taulukkojen (*forest fire danger tables*) avulla edellisen päivän indeksistä ja saman päivän säähavainnoista (sademäärästä, ilman lämpötilasta ja kosteudesta sekä tuulennopeudesta). Indeksia laskettaessa tulee tällä tavoin ko. päivän sään lisäksi otetuksi huomioon myös edellisten päivien sää, vaikkakin ajassa taaksepäin nopeasti pienenevin painoin.

Wright-systeemiin liittyvät taulukot perustuvat laajoihin kulotilaston ja säähavaintoaineiston avulla laskettuihin säätekijöiden ja kulovaaran välisiin korrelaatioihin. Nämä laskut edellyttävät tiheää ja hyvää sääasemaverkkoa, jonka avulla säätekijöiden, erikoisesti sateen, paikallinen jakaantuminen voidaan riittävän tarkasti selvittää.

ÅNGSTRÖM (1942) on kehittänyt kulovaaran määrittämiseksi sangen yksinkertaisen, mutta kuitenkin käyttökelpoisen meteorologisen menetelmän. Hän määrittä kulovaaran kokeellisesti seuraavalla tavalla. Puoli grammaa painava meta-tabletti asetettiin maapeittele ja sytytettiin. Sen jälkeen tehtiin havainnot sekä maapeitteen syttyvyydestä että tulen leviämisestä ja määritettiin kulovaaraa kuvaava kulovaaraindeksi (*brandriskfaktor*) seuraavan asteikon mukaan:

Kulovaara- indeksi	Maapeitteen syttyvyys ja tulen leviäminen
1	Syttyy silmänräpäyksessä, leviää nopeasti
2	Syttyy silmänräpäyksessä, leviää hitaammin
3	Syttyy silmänräpäyksessä, leviää huonosti
4	Syttyy hitaammin, palaa niin kauan kuin tabletti palaa
5	Ei syty

Samanaikaisesti kulovaaraindeksin määrittämiseksi suoritettujen kokeiden kanssa mitattiin ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus noin 1 m:n korkeudessa. Näin saadun aineiston avulla voitiin osoittaa, että kulovaaraindeksin ja suhteellisen kosteuden välillä vallitsee melko hyvä korrelaatio. Indeksi riippui myös jonkin verran ilman lämpötilasta. Kulovaaraindeksille b ÅNGSTRÖM johti seuraavan kaavan

$$b = 0.05 U - 0.1 (t - 27),$$

jossa U on ilman suhteellinen kosteus (%) ja t lämpötila (°C).

Jos indeksin b arvo on pienempi kuin 2.0, on kulovaara ÅNGSTRÖMIN mukaan niin suuri, että on syytä antaa kulovaroitus.

SAARI (1923) ja HELANDER (1934) ovat meidän oloissamme selvittäneet kulovaaran riippuvuutta säätekijöistä. SAARI tutki koko kuloisuuden aikana sattuneiden kulojen lukumäärän riippuvuutta kesän sademäärästä sekä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvoista. Hän osoitti, että kulojen lukumäärä kasvaa sademäärän ja suhteellisen kosteuden pienentyessä sekä lämpö-

tilan noustessa. HELANDER päätyi samoihin tuloksiin, mutta huomautti, että ko. korrelaatiot ovat suhteellisen huonoja, ja että kysymyksen selvittely sen vuoksi edellyttää huomattavasti yksityiskohtaisempaa tilastollista käsittelyä.

Kun siis kulovaaran riippuvuutta säätekijöistä ei ole meidän oloissamme riittävästi selvitetty ja kun ulkomailla suoritettujen tutkimusten tuloksia ei voida ilman muuta meidän oloihimme soveltaa, olen ryhtynyt tätä kysymystä tutkimaan. Tutkimuksen kohteeksi olen valinnut eräät Peräpohjolan piirikunnan valtion metsät, joista on saatavana hyvät, pitkäaikaiset kulotilastot.

Aiheeseen tähän tutkimukseen olen saanut tohtori ERKKI K. KALELALTA. METSÄHALLITUS on antanut minulle tutkimuksessa käyttämäni kuloaineiston ja EMIL AALTOSEN SÄÄTIÖ on tukenut työtäni taloudellisesti. Kaikesta tästä esitän parhaat kiitokseni.

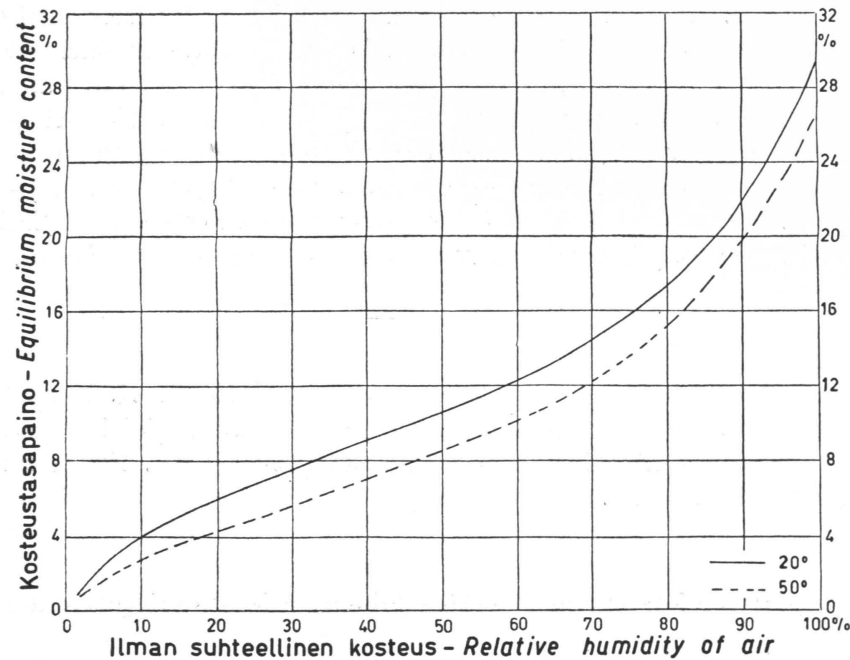
Maanpeitteen kosteuden ja säätekijöiden välisestä riippuvuudesta

Sääksmäen pitäjän Ritvalan kylässä suoritettiin kesällä 1950 mittauksia maanpeitteen kosteuden ja säätekijöiden välisen riippuvuuden selvittämiseksi. Eräissä puolukkatyyppin männiköissä määritettiin sopivin väliajoin punnitsemalla pienten, männystä tehtyjen puusauvojen sekä havuneulas- ja sammalnäytteiden kosteus. Havu- ja sammalnäytteet oli sijoitettu pieniin messinkipellistä tehtyihin koreihin, joiden dimensiot olivat 10 cm × 10 cm × 2 cm. Kun korien pohja oli tiheää messinkiverkkoa, pääsi kosteus virtaamaan näytteistä maahan ja päinvastoin. Samanaikaisesti kosteusmääritysten kanssa mitattiin ilman lämpötila ja kosteus Assmannin aspiratiopsykrometrillä 15 cm:n korkeudessa.

Laboratoriossa suoritettavat kokeet osoittavat, että kuolleen puun kosteus lähenee erästä tiettyä rajaa ns. *k o s t e u s t a s a p a i n o a*, jonka arvo riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Kuvassa 1 esitetään TUOMOLAN (1943) mukaan suomalaisen männyn kosteustasapaino suhteellisen kosteuden funktiona kahdessa eri lämpötilassa (20° ja 50°)¹. Kuvasta nähdään, että kosteustasapaino kasvaa suhteellisen kosteuden lisääntyessä ja pienenee jonkin verran lämpötilan kohotessa. Jos ilman kosteus on esim. 50 %, lähenee puun kosteus 20°:n lämpötilassa arvoa 10.6 % ja 50°:n lämpötilassa arvoa 8.6 %.

Jos puun kosteus on suurempi kuin kosteustasapaino, haihtuu puusta kos-

¹ Kuvassa ei ole otettu huomioon puun kuivumisessa ja kostumisessa esiintyvää hysteresis-ilmiötä. Siinä esitetyt käyrät esittävät kuivumis- ja kostumiskäyrien keskiarvoja.



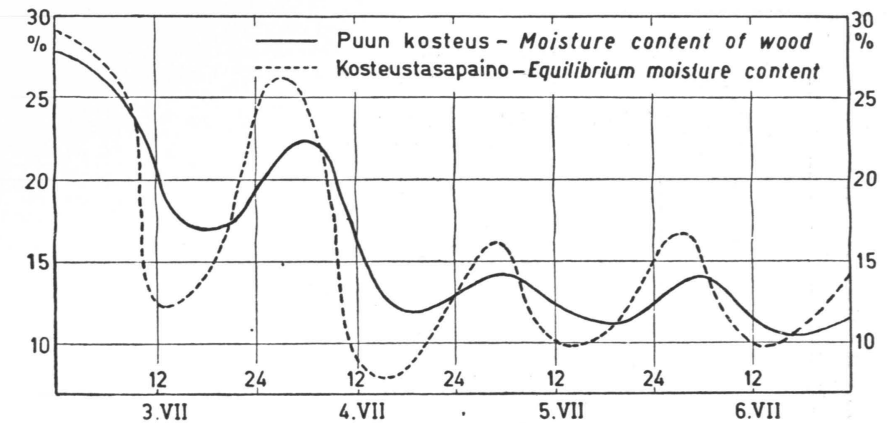
Kuva 1. Männyn kosteustasapaino.

Fig. 1. Equilibrium moisture content of pine wood.

teutta ilmaan, ja puu kuivuu. Päinvastaisessa tapauksessa sen sijaan puu kostuu. Puun kuivumisnopeus (kostumisnopeus) riippuu puun ominaisuuksista ja tutkittavana olevan puupalasen koosta ja muodosta. Lisäksi se riippuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta sekä tuulennopeudesta.

Esimerkkinä puun kuivumisesta esitetään kuvassa 2 Ritvalassa suoritettujen havaintojen mukaan 15 cm:n korkeuteen asetetun 1.2 cm:n paksun ja 25 cm:n pitkän puusauvan kosteus ja kosteustasapaino ajan funktiona sadepäivää seuraavan nelipäiväisen poutajakson aikana (3.—7. 7. 1950).

Heinäkuun 2 p:nä sää oli enimmäkseen pilvistä ja päivän kuluessa satoi 3.9 mm. Seuraava yö oli pilvinen ja aamulla klo 08 mitattiin sadetta 0.2 mm. Suhteellinen kosteus oli yöllä 97—100 % ja puun kosteustasapaino vastaavasti lähes 30 % (katso kuvaa 2). Aamulla sään seljettynä kosteustasapaino alkoi lämpötilan kohotessa ja ilman kuivuessa nopeasti laskea. Sen jälkeen kosteustasapainolla on selvä vuorokausivaihtelu. Minimiarvot esiintyvät iltapäivällä klo 13—16 ja maksimiarvot aamuyöllä klo 03—05. 2. ja 3. päivän välisenä yönä puun kosteus oli miltei sama kuin kosteustasapaino. Sen jälkeen puun kosteus seuraa kosteustasapainon vaihteluja. Mutta hitaudesta johtuen puun kosteuskäyrän amplitudi on vain noin puolet kosteustasapainokäyrän amplitudista ja



Kuva 2. Esimerkki mäntysauvan kuivumisesta sateen jälkeen.

Fig. 2. An example of the drying of a pine cylinder after rain.

sen ääriarvot sattuvat kosteustasapainokäyrän suhteen keskimäärin 5 tuntia myöhästyneinä.

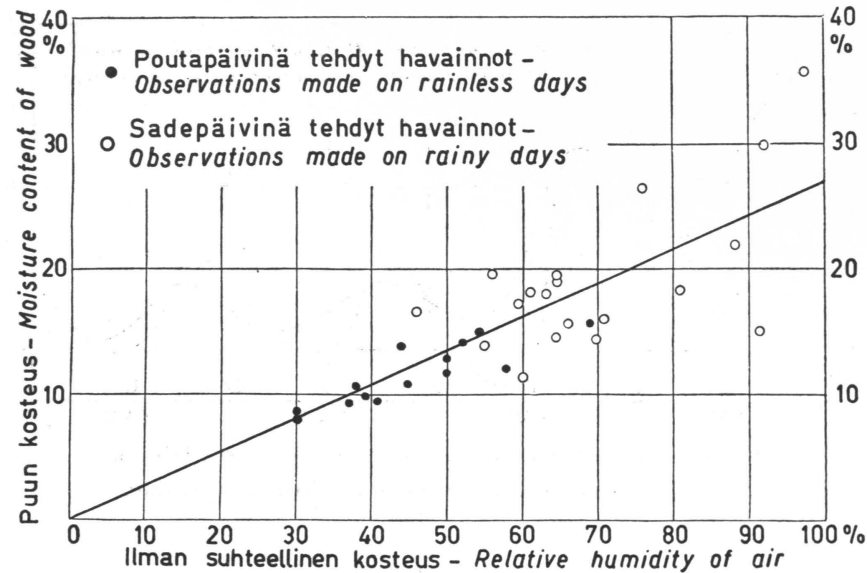
Ensimmäisenä poutapäivänä puun keskikosteus on noin 5 % korkeampi kuin kosteustasapainon keskiarvo. Sen jälkeen tämä erotus pienenee nopeasti. 4. päivänä se on vielä noin 3 %, mutta 5. päivänä se on jo aivan pieni. Tässä esimerkissä keskimääräinen puun kosteus saavutti siis sateen jälkeen keskimääräisen kosteustasapainon noin 3 vuorokauden kuluttua.

Pitkien poutakausien aikana, jolloin sama ilmassa pysyy vallitsevana ja jolloin lämpötilan ja kosteuden vuorokausivaihtelu on melko säännöllinen, puun keskimääräinen kosteus yhtyy melko tarkasti keskimääräiseen kosteustasapainoon. Sen vuoksi on odotettavissa, että puun kosteudella on poutajaksojen aikana melko hyvä korrelatio sekä ilman lämpötilan että kosteuden kanssa.

Kuvassa 3 esitetään puun kosteuden riippuvuus ilman suhteellisesta kosteudesta Ritvalassa klo 14 tehtyjen havaintojen mukaan. Kuvassa on sadepäivinä tehdyt havainnot esitetty pienillä ympyrän renkailla, poutapäivinä suoritettut taas ympyröillä, jotka on sisältä mustattu. Kuvasta nähdään, että ko. suureilla on etenkin poutapäivinä tehtyjen havaintojen mukaan verrattain hyvä korrelaatio.

Puun kosteuden riippuvuutta ilman lämpötilasta ei havaintojen avulla saatu määritetyksi, sillä lämpötilan vaihtelut olivat sinä aikana, jona havainnot suoritettiin, liian pieniä.

Kuten jo edellä mainittiin, tutkittiin Ritvalassa myös maapeitteellä olevien havuneulasten ja sammaleen (*Pleurozium Schreberi*) kosteuden vaihteluja. Näiden tutkimusten tuloksista mainittakoon tässä vain, että havuneulaset ja sammal seurasivat ilman kosteuden vaihteluja jonkin verran hitaammin kuin ilmassa olevat puusauvat. Havuneulaset saavuttivat sateen jälkeen kosteus-



Kuva 3. Mäntysauvan kosteuden riippuvuus ilman suhteellisesta kosteudesta.

Fig. 3. The dependence of the moisture content of a pine cylinder of relative humidity of air.

tasapainon 4—5 vuorokaudessa ja sammal 5—6 vuorokaudessa. Havuneulasten ja sammaleen kosteudella on sen vuoksi hiukan huonompi korrelatio ilman suhteellisen kosteuden kanssa kuin puusauvojen kosteudella.

Sekä ÅNGSTRÖMIN tutkimukset että tässä luvussa selostetut Ritvalassa suoritettavat mittaukset osoittavat, että kulovaaran suuruus riippuu ennen kaikkea ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Näin ollen on odotettavissa, että kulovaara voidaan melkoisella tarkkuudella määrittää yksinomaan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan avulla. Tämä voi tuntua hiukan ihmeelliseltä, sillä olisi luonnollista, että ennen kaikkea sade, joka lähinnä määrää maapinnan kosteuden, olisi otettava huomioon. On kuitenkin huomattava, että sadeolot kuvastuvat suhteellisessa kosteudessa. Heti sateen jälkeen ilma on kosteata, ja vasta muutaman päivän poudan jälkeen, maapinnan kuivuttua ja haihtumisen heikennyttyä suhteellinen kosteus voi laskea kulopäiville tyypillisiin arvoihin.

Edellä esitetyn perusteella kiinnitetään seuraavassa tutkimuksessa päähuomio suhteellisen kosteuden ja kulovaaran sekä lämpötilan ja kulovaaran välisiin korrelaatioihin.

Kulotilasto ja säähavaintoaineisto

Kulojen syttymisvaaran määrittämiseen käytettiin Peräpohjolan piirikunnan

Kitisen,
Luiron,
Meltauksen,
Ylikemin,
Pohjois-Kemijärven,
Raudanjoen ja
Kittilän

hoitoalueiden valtion metsistä v. 1924—43 kerättyä kuloaineistoa. Näiden hoitoalueiden yhteinen pinta-ala on 3.56 milj. ha, josta 1.46 milj. ha on kasvullista metsämaata. Tätä aluetta nimitetään seuraavassa lyhyesti Sodankylän alueeksi.

Sodankylän alueella sattui vuosina 1924—43 yhteensä 391 kuloa. Syttymisvaara eli kulojen lukumäärä yhtä vuotta ja 100.000 ha kasvullista metsämaata kohti oli siis 1.34. Tämä luku on huomattavasti pienempi kuin SAAREN (1923) ja KALELAN (1937) Suomen eteläpuoliskon valtion metsiä ja yksityismetsiä varten lasketut syttymisvaaran arvot 4.27 ja 4.71.

Sellaisia kuloja, joiden syttymisen syy tunnettiin, oli 353 eli 90.3 % kaikkien kulojen lukumäärästä. Taulukossa 1 esitetään, kuinka paljon eri syistä syntyneitä kuloja oli prosentteina näiden syiltään tunnettujen kulojen lukumäärästä.

Taulukko 1. Eri syistä sattuneiden kulojen lukumäärä.

Table 1. Number of forest fires by cause of the fire.

Kulon syttymisen välitön syy Immediate cause of the forest fire	Kulojen lukumäärä (%) Number of forest fires (%)
Varomaton tulen käsittely — Careless handling of fire	26.4
Salama — Lightning	69.3
Viljelyskulot — Burning over for cultivation	2.0
Veturin kipinä — Locomotive spark	0.0
Tuhopoltto — Arson	0.6
Uudelleen syttyminen — Re-combustion	0.3
Sotilaskoulutus — Military training	0.3
Sekalaiset syyt — Miscellaneous	1.1

Taulukosta nähdään, että salama on sytyttänyt suurimman osan eli 69.3 % kuloista. Tämä luku on hiukan suurempi kuin KERÄSEN (1929) Pohjois-Suomea varten saama arvo 56 %. Varomattomasta tulenkäytöstä on aiheutunut 26.4 % ja muista syistä yhteensä vain 4.3 % kuloista. Jos näitä lukuja verrataan vastaaviin Suomen eteläpuoliskon kuloista laskettuihin arvoihin, kiintyy huomio

ennen kaikkea siihen, että salaman osuus kulon syyttäjänä on Sodankylän alueella paljon suurempi kuin etelässä. SAAREN (1923) ja KALELAN (1937) mukaan aiheuttaa salama Suomen eteläpuoliskon valtion metsissä vain 14.3 % ja yksityismetsissä 10.2 % kuloista.

Taulukossa 2 esitetään kulojen vuosisummat ko. kaksikymmenvuotiskautena.

Taulukosta nähdään, että kulojen lukumäärä vaihtelee eri vuosina huomattavasti. Runsaskuloisimpana vuotena (1924) havaittiin 63 kuloa, vähäkuloisimpina vuosina (1928 ja 1931) vain kolme kuloa. Taulukossa esitetään myös niiden päivien lukumäärä, joiden aikana on sattunut ainakin yksi kulo. Tällaisia päiviä, joita seuraavassa nimitetään k u l o p ä i v i k s i, oli yhteensä 207 eli keskimäärin 10.3 vuotta kohti. Vähäkuloisina vuosina kulojen ja kulopäivien lukumäärä on miltei sama. Runsaskuloisina vuosina sen sijaan kulojen lukumäärä on 2...4 kertaa niin suuri kuin kulopäivien lukumäärä.

Taulukko 2. Kulojen ja kulopäivien lukumäärä vv. 1924—1943.

Table 2. Number of forest fires and forest fire days, 1924—1943.

Vuosi Year	Kulojen lukumäärä Number of forest fires	Kulopäivien lukumäärä Number of forest fire days
1924	63	14
1925	32	12
1926	11	9
1927	42	23
1928	3	3
1929	11	9
1930	24	18
1931	3	3
1932	6	5
1933	28	16
1934	19	13
1935	6	5
1936	32	13
1937	57	29
1938	4	2
1939	6	4
1940	5	5
1941	22	10
1942	8	6
1943	9	8
1924—1943	391	207

Seuraavassa asetelmassa esitetään vielä kulojen ja kulopäivien suhteellinen lukumäärä eri kuukausina.

Kuukausi — Month			
V	VI	VII	VIII
Kulojen lukumäärä (%) — Number of forest fires (%)			
4	24	56	16
Kulopäivien lukumäärä (%) — Number of forest fire days (%)			
8	27	48	17

Nähdään, että sekä kuloja että kulopäiviä on eniten heinäkuussa ja vähiten toukokuussa.

Taulukko 3. Kulojen ja kulopäivien lukumäärä pentadeittain vv. 1924—1943.

Table 3. Number of forest fires and forest fire days in pentades 1924—1943.

Kuukausi Month	Pentadi Pentad	Kulojen lukumäärä Number of forest fires	Kulopäivien lukumäärä Number of forest fire days
V	11.—15.	3	3
	16.—20.	4	4
	21.—25.	6	5
	26.—30.	4	4
IV	31.—4.	6	4
	5.—9.	6	5
	10.—14.	25	12
	15.—19.	29	15
	20.—24.	29	12
VII	25.—29.	8	6
	30.—4.	10	10
	5.—9.	29	11
	10.—14.	31	19
	15.—19.	32	18
VIII	20.—24.	64	24
	25.—29.	32	14
	30.—3.	38	14
	4.—8.	14	12
	9.—13.	12	8
	14.—18.		
	19.—23.	3	2
24.—28.	6	5	
		391	207

Jotta saataisiin vielä yksityiskohtaisempi kuva siitä, millä tavoin kulot jakaantuvat kulokaudelle, esitetään taulukossa 3 kulojen ja kulopäivien lukumäärä pentadeittain. Ensimmäiset kulot keväällä sattuvat toukokuun kolmannen pentadin (11.—15. pv.) aikana suunnilleen samaan aikaan kuin lumi keskimäärin sulaa Sodankylän alueelta. Touko- ja kesäkuun alussa kuloja on verrattain vähän. Kesäkuun kolmannen pentadin aikana kulojen lukumäärä nousee jyrkästi, saavuttaa suurimman arvonsa heinäkuun 20.—24. päivänä ja pienenee taas huomattavasti elokuun puolivälissä. Viimeiset kulot sattuvat elokuun kuudennen pentadin (24.—28. pv.) aikana.

Seuraavassa nimitetään kulokaudeksi aikaa, joka alkaa kunakin vuonna lumen sulamisen päätyttyä ja päättyy elokuun 28. p:nä.

Sodankylän alueella vallitsevaa säätä kuvaamaan käytettiin — kuten jo edellä mainittiin — Sodankylän geofysikaalisessa observatoriossa suoritettuja säähavaintoja.

Sodankylän observatorio ($\varphi = 67^{\circ} 22'$; $\lambda = 26^{\circ} 38' E$) sijaitsee Sodankylän kirkolta 7 km etelään Kitisen itärannalla. Kun observatorion lähiympäristö on kuivaa jäkäläkangasta, kuvaavat siellä tehdyt havainnot hyvin olosuhteita sellaisilla alueilla, joilla kulot ovat yleisimpiä.

Lämpötilanmittaukset on Sodankylän observatoriossa suoritettu elohopealämpömittarilla, joka on tavallista meteorologisissa mittauksissa käytettyä tyyppiä. Näiden mittausten tarkkuus on ko. tutkimusta varten täysin riittävä.

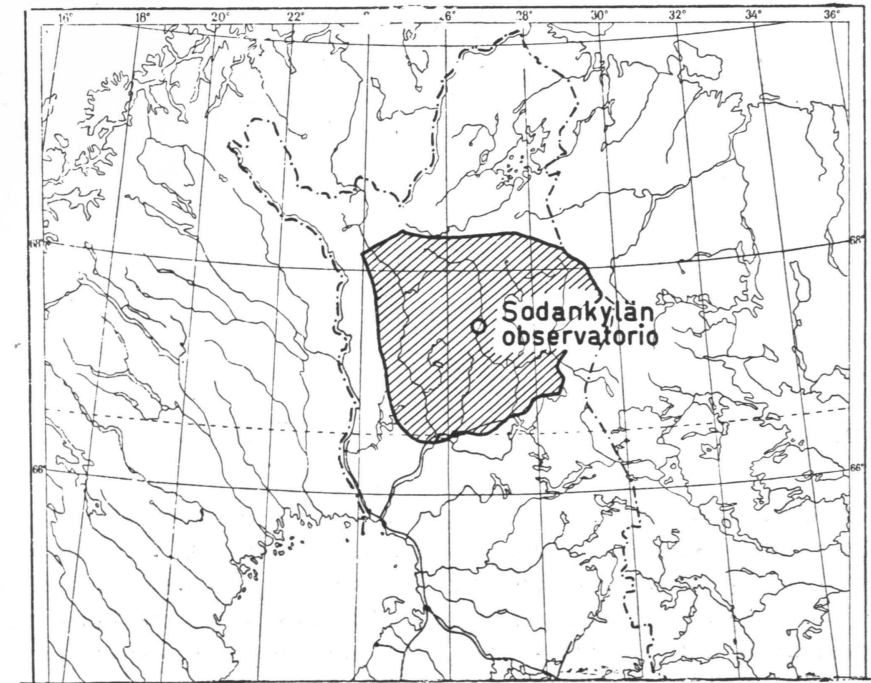
Suhteellisen kosteuden mittaamiseen on käytetty hiuskosteusmittaria, joka on sopivin väliajoin verrattu psykrometriin. Mittarin tarkkuus on noin 5 %. Vaikka virhe siis onkin melko suuri, ei se kuitenkaan sanottavasti tule vaikuttamaan tämän tutkimuksen lopputuloksiin.

Tuulen nopeuden mittaamiseen on käytetty tavallista ROBINSSONIN kuppiristianemometriä. Tuulimittarin korkeus maanpinnasta on ollut 19 m.

Kulovaaran riippuvuus säätekijöistä

Meteorologisen kulovaaran määrittämiseen käytettiin vuosina 1923—1932 klo 15 ja vuodesta 1933 alkaen kansainvälisten havaintoajkojen muututtua klo 14 suoritettuja lämpötila-, kosteus- ja tuulihavaintoja. Nämä havaintoajat vastaavat suunnilleen sitä ajankohtaa, jona lämpötila on ylimmillään, suhteellinen kosteus alimmillaan ja tuuli voimakkaimmillaan. Kun kulovaara kasvaa lämpötilan kohotessa ja kosteuden laskiessa, kuvaavat edellämainitut havainnot hyvin kulovaaraa sen ollessa suurimmillaan.

Kuten jo edellä mainittiin, käytettiin tässä tutkimuksessa Sodankylän observatoriossa suoritettuja havaintoja kuvaamaan koko Sodankylän alueella vallitsevia sääoloja. Pysyvien korkeapainetilanteiden aikana vallitsevina pitkinä poutakausina, jona kuloja esiintyy runsaasti, onkin tämä menettely oikeutet-



Kuva 4. Sodankylän alueen sijainti.

Fig. 4. Sodankylä area.

tua. Mutta toiselta puolen on huomattava, että kuloja sattuu myös huomattavasti ukkostilanteissa, joissa sääolot ovat hyvin paikallisia. Tällaisissa säätiloissa esiintyy tapauksia, joissa Sodankylän observatoriossa on havaittu sadetta sellaisinakin päivinä, joina jossain muualla Sodankylän alueella on esiintynyt kulo. Näissä tapauksissa observatoriossa suoritettujen säähavaintojen avulla voidaan poistaa väärän kuvan kulopaikalla vallitsevasta säästä. Tämän epäkohdan poistamiseksi käytettiin tässä tutkimuksessa vain sellaisia kulopäiviä, jotka täyttävät seuraavan ehdon: kulopäivän sademäärä korkeintaan 1 mm ja kulopäivää edeltävän päivän sademäärä korkeintaan 2 mm.

Edellä mainitun ehdon, jota seuraavassa nimitetään *s a d e - e h d o k s i*, täyttäviä kulopäiviä oli yhteensä 167.

Jotta saataisiin alustava kuva siitä, millä tavoin kulopäivien sää poikkeaa keskimääräisistä sääoloista, laskettiin lämpötilan, kosteuden ja tuulennopeuden kuukausikeskiarvot sade-ehdon täyttävistä kulopäivistä ja verrattiin niitä tavallisella tavalla »kaikista päivistä» laskettuihin vastaaviin keskiarvoihin. Tulos ilmenee taulukosta 4.

Taulukko 4. Lämpötilan suhteellisen kosteuden ja tuulen nopeuden kuukausikeskiarvot vv. 1924—43.

Table 4. Monthly means of temperature, relative humidity and wind velocity, 1924—43.

Kuukausi Month	Kosteus Humidity		Lämpötila Temperature		Tuulen nopeus Wind velocity	
	kulopäivät forest fire days	kaikki päivät all days	kulopäivät forest fire days	kaikki päivät all days	kulopäivät forest fire days	kaikki päivät all days
V	36	56	16.0	8.4	5.4	4.3
VI	37	56	20.0	14.3	4.7	4.4
VII	42	57	23.5	19.2	3.8	3.9
VIII	47	66	21.9	16.6	3.4	3.8
V-VIII	41	59	21.6	14.7	3.9	4.1

Taulukosta nähdään, että suhteellinen kosteus on kulopäivinä keskimäärin 18 % keskimääräistä alempi, lämpötila taas 6.9°C korkeampi. Kulopäivät ovat siis yleensä huomattavasti keskimääräistä kuivempia ja lämpimämpiä. Tuulen nopeus ei sen sijaan poikkea kulopäivinä sanottavasti tavallisista tuulen nopeuden keskiarvoista. Tämä viittaa siihen, että tuulen nopeudella ei ole ainakaan huomattavaa vaikutusta syttymisvaaraan.

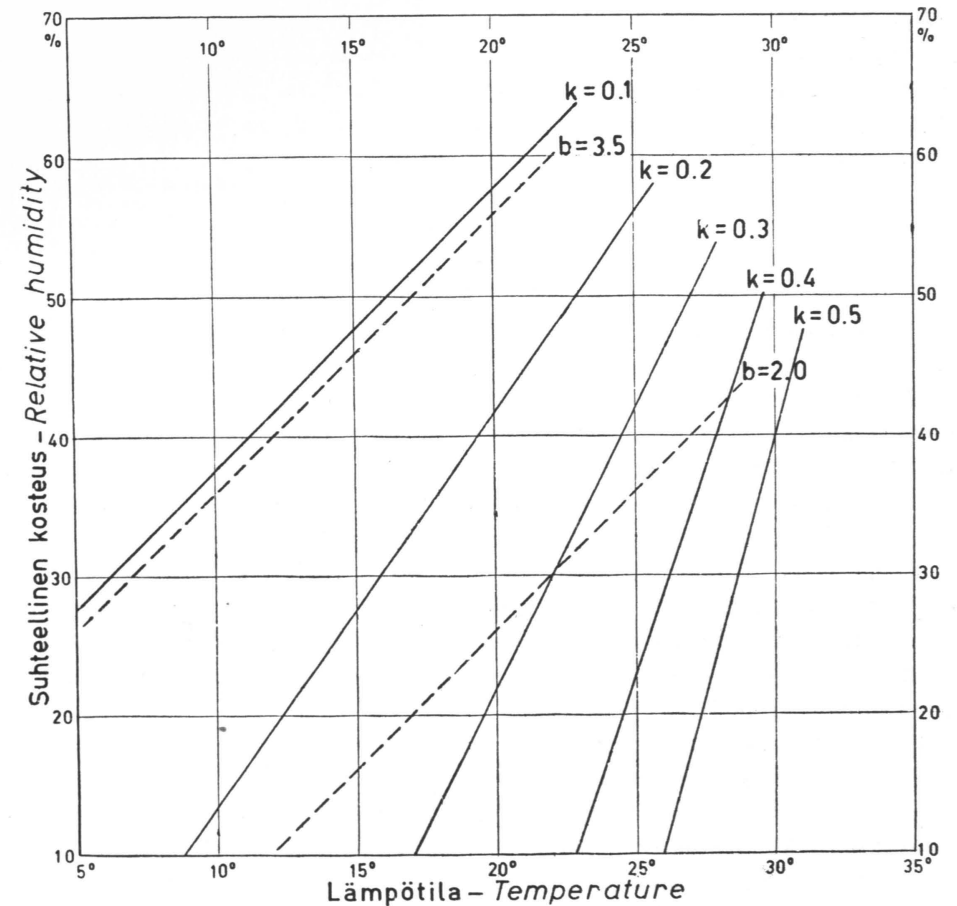
Taulukossa 5 esitetään kulopäivien suhteellinen lukumäärä eri kosteus-, lämpötila- tuulennopeusryhmissä.

Taulukko 5. Kulopäivien suhteellinen lukumäärä eri kosteus-, lämpötila- ja tuulennopeusryhmissä.

Table 5. Relative number of forest fire days in the different humidity, temperature and wind velocity groups.

Kuukausi Month	Kosteus Humidity				Lämpötila Temperature				Tuulen nopeus Wind velocity			
	< 60	< 50	< 40	< 30	> 26	> 22	> 18	> 14	> 2	> 4	> 6	> 8
V	100	93	86	14	0	22	35	57	93	64	21	14
VI	100	91	67	34	15	37	59	87	92	46	22	7
VII	95	81	57	9	32	67	91	97	76	41	13	4
VIII	86	62	34	3	17	52	79	100	55	41	17	3
V-VIII	95	81	58	16	22	52	75	91	78	44	16	5

Taulukosta nähdään, että varsinkin suhteellinen kosteus näyttää olennaisesti vaikuttavan syttymisvaaraan. Keskimäärin 58 % kaikista kuloista on sattunut päivinä, joina kosteus on ollut < 40 % ja vain 5 % kuloista on syttynyt kosteuden ollessa > 60 %.



Kuva 5. Kulovaaraindeksin riippuvuus ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta.
Fig 5. The dependence of the forest fire danger index of the temperature and relative humidity of the air.

Kulovaaran ja säätekijöiden välinen riippuvuus määritettiin seuraavalla tavalla: Sade-ehdon täyttävät kulopäivät ja saman ehdon täyttävät kulottomat päivät jaoteltiin ensin kosteuden mukaan kahdeksaan ryhmään (< 25, 26—30, 31—35... 56—60 %) ja sen jälkeen kukin näistä ryhmistä jaettiin lämpötilan mukaan 5 ryhmään (10.1°—14.0°, 14.1°—18.0°... 26.1°—30.0°). Tällä tavoin saatiin sekä kulopäivät että kulottomat päivät jaotelluksi 40:een lämpötila-kosteusryhmään. (Jokainen lämpötila-kosteusryhmä jaettiin vielä kahteen tuuliryhmään, mutta tämä jako osoitti, että tuulella ei ole sanottavaa vaikutusta kulovaaraan). Oletetaan nyt, että eräessä lämpötila-kosteusryhmässä on n_1 kulopäivää ja n_2 kulotonta päivää. Suhde $k = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ ilmoittaa silloin kulan todennäköisyyden eli tarkemmin sanottuna k ilmoittaa, mikä on toden-

näköisyys, että ko. lämpötila-kosteusryhmään kuuluvana päivänä Sodankylän alueella sattuu ainakin yksi kulo. Suhde k laskettiin kutakin lämpötila-kosteusryhmää varten ja näin saatujen arvojen avulla määritettiin k :n riippuvaisuus lämpötilasta t ja kosteudesta U . Tulos esitetään kuvassa 5 jonkin verran tasoitettuna. Tämän diagrammin avulla voidaan helposti laskea tiettyä lämpötilaa t_1 ja kosteutta U_1 vastaava k :n arvo merkitsemällä ensin tU -tasoon piste (t_1, U_1) ja lukemalla sitten tämä piste k -asteikolta. Esim. jos $t = 25^\circ$ ja $U = 30\%$, on $k = 3.7$.

Suhdetta k nimitetään seuraavassa kulo va a r a i n d e k s i k s i.

Jos kulojen syttymisen syy olisi täysin säätilasta riippumaton satunnaisuus, joka jakautuu tasaisesti koko kulokauden osalle, kuvaisi kulovaaraindeksi pääasiassa maapeitteen kosteusoloja ja siten maapeitteen syttyvyyttä. Näin ei kuitenkaan ole asianlaita. Erikoisesti on huomattava, että salaman esiintyminen riippuu olennaisesti säätilasta. Ja kun salama on Sodankylän alueella tavallisin kulojen sytyttäjä, on ilmeistä, että kulovaaraindeksi kuvaa myös jossain määrin syttymisen syiden jakaantumista.

Edelleen on huomattava, että edellä esitetyllä tavalla lasketun kulovaaraindeksin arvo riippuu siitä, miten suuren alueen kulotilastoa sen määrittämiseen on käytetty. Tämä epäkohta olisi voitu poistaa käyttämällä indeksiä laskettaessa kulopäivien lukumäärän asemesta kulojen lukumäärää. Seuraavista syistä ei näin kuitenkaan menetelty.

Sodankylän alueella esiintyy ukkostilanteissa yhden kulopäivän aikana tavallisesti useita kuloja. Esim. 22. 7. 1924 sytytti salama ko. alueella 20 metsäpaloa. Jos kulovaaraindeksin määrittämiseen olisi käytetty kulojen lukumäärää kulopäivien lukumäärän asemesta, olisi tulos tullut näinollen riippumaan aivan olennaisesti ukkosen esiintymisestä. On myös huomattava, että muutamat runsaskuloiset ukkospäivät olisivat aiheuttaneet indeksin arvoissa niin suurta hajontaa, että korrelaatioiden esillesaaminen suhteellisen pienen havaintoaineiston avulla olisi tuottanut suuria vaikeuksia.

Kuvassa 5 esitetään vertailun vuoksi myös ÅNGSTRÖMIN johtaman yhtälön (1) graafiset kuvaajat b :n arvoilla 2.0 ja 3.5. Verrattaessa kulovaaraindeksejä k ja b toisiinsa on otettava huomioon, että ne ovat aivan eri tavoilla määritellyjä suureita, joiden numeroarvot eivät ole toisiinsa verrattavia. k - ja b -suorien kulmakertoimien, jotka kuvaavat kosteus- ja lämpötilavaikutuksen suhdetta, tulisi sen sijaan olla yhtäsuuria eli toisinsanoen ko. suorien tulisi olla keskenään yhdensuuntaisia.

Kuvasta nähdään, että kulovaaran ollessa pieni ($k \sim 0.1$) k - ja b -suorat ovat likipitään yhdensuuntaisia, mutta kulovaaran kasvaessa k -suorien kulmakeroin tulee vähitellen suuremmaksi kuin b -suorien kulmakeroin. Tämä merkitsee sitä, että kulovaaran ollessa suuri kulovaara riippuu lämpötilasta tämän tutkimuksen antamien tulosten mukaan hiukan enemmän kuin ÅNGSTRÖMIN tutkimusten mukaan.

Viimeksimainittu seikka voidaan selittää seuraavalla tavalla. Ukkosta esiintyy eniten lämpöisellä säällä. Sodankylän alueella, jossa suurin osa kuloista on salaman sytyttämiä, kulojen syttymisaiheiden lukumäärä lisääntyy sen vuoksi lämpötilan kohotessa. Lämpötilalla on näinollen kahdenlainen vaikutus kulovaaraan. Lämpötilan nousu lisää kulovaaraa

- vaikuttamalla edistävasti maanpeitteen syttyvyyteen ja
- lisäämällä syttymisaiheiden lukumäärää.

Kulovaaraindeksin k arvoon vaikuttavat molemmat näistä seikoista, indeksin b arvoon sen sijaan vain ensinmainittu. Tästä on seurauksena, että lämpötilan täytyy vaikuttaa korkeissa lämpötiloissa k :n arvoon enemmän kuin b :n arvoon.

Seuraavassa tehdään tarkemmin selkoa kulovaaraindeksin k merkityksestä.

Seuraavassa asetelmassa esitetään erikseen varomattoman tulenkäytön aiheuttamien ja salaman sytyttämien, eri syttymisvaaraluokkiin kuuluvien kulojen suhteellinen lukumäärä.

Kulon syttymisen välitön syy Immediate cause of the forest fire	Kulovaaraindeksi — Forest fire danger index					
	< 0.1	0.1—0.2	0.2—0.3	0.3—0.4	0.4—0.5	> 0.5
Varomaton tulen käyttö—Careless handling of fire	14	27	23	30	3	3
Salama — Lightning	3	12	11	48	11	15

Asetelmasta nähdään, että salaman sytyttämiä kuloja on kulovaaraluokissa $k < 0.3$ suhteellisesti vähemmän kuin varomattoman tulenkäytön aiheuttamia kuloja, kulovaaraluokissa $k > 0.3$ sen sijaan enemmän. Tämä johtuu siitä, että ukkosta esiintyy runsaimmin sellaisissa säätiloissa, joissa $k > 0.3$.

Taulukossa 6 esitetään paloalaltaan erisuuruisten kulojen suhteellinen lukuisuus eri kulovaara- ja tuulenoisuusluokissa.

Taulukko 6. Paloalaltaan eri suuruisien kulojen suhteellinen lukuisuus eri kulovaara- ja tuulenoisuusluokissa.

Table 6. Relative number of forest fires with different burnt areas in the different forest fire danger and wind velocity groups.

Paloala (ha) Burnt area (ha)	Kulovaaraindeksi Forest fire danger index			Tuulen nopeus Wind velocity			
	< 0.2	0.2—0.4	> 0.4	≤ 2	3—4	5—6	≥ 7
	Kulojen suhteellinen lukuisuus Relative number of forest fires						
0—7.9	50	48	29	53	46	42	36
8—124	39	32	47	31	40	34	43
> 124	11	20	24	16	14	24	21

Huomataan, että pienien kulojen (paloala < 8 ha) lukumäärä vähenee, suurten (paloala > 124 ha) lukumäärä sen sijaan kasvaa kulovaaraindeksin ja tuulen nopeuden kasvaessa.

Taulukossa 7 esitetään vielä paloalan keskiarvo ja mediaani eri kulovaara- ja tuulennopeusluokissa.

Taulukko 7. Paloalan keskiarvo ja mediaani eri kulovaara- ja tuulennopeusluokissa.

Table 7. Arithmetic mean and median of the burnt area in the different forest fire danger and wind velocity groups.

Kulovaaraindeksi Forest fire danger index			Tuulen nopeus Wind velocity			
< 0.2	0.2-0.4	> 0.4	≤ 2	3-4	5-6	≥ 7
Mediaani — Median			Mediaani — Median			
8	10	30	7	9	20	40
Keskiarvo — Mean value			Keskiarvo — Mean value			
96	153	114	62	87	234	153

Taulukosta nähdään, että mediaani kasvaa melko säännöllisesti kulovaaraindeksin ja tuulen nopeuden kasvaessa. Keskiarvokin näyttää kasvavan samaan suuntaan. Sen muutokset ovat kuitenkin huomattavasti epäsäännöllisempiä, mikä johtuu siitä, että muutama suuri kulo vaikuttaa olennaisesti keskiarvon suuruuteen.

Taulukot 6 ja 7 osoittavat selvästi, että kulojen leviämisaika kasvaa kulovaaraindeksin ja tuulen nopeuden kasvaessa.

Seuraavassa asetelmassa esitetään kulojen keskimääräinen lukumäärä kulo-päivää kohti eri kulovaaraluokissa.

Kulovaaraindeksi — Forest fire danger index					
< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	> 0.5
Kulojen lukumäärä kulo-päivää kohti — Number of forest fires in a forest fire day					
1.1	1.4	1.3	2.7	1.9	3.8

Asetelman tarkastelu osoittaa, että kulojen lukumäärä kasvaa kulovaaraindeksin kasvaessa. Erikoisen voimakasta on kasvu indeksiin ylittäessä arvon $k = 0.3$. Tämäkin tulos osoittaa, että ukkosta, joka on aiheuttanut useimmat Sodankylän alueen metsäpalot, esiintyy eniten kulovaaraindeksin ollessa > 0.3.

Seuraavassa asetelmassa esitetään vielä keskimääräinen paloala vuorokautta ja 100.000 ha kasvullista metsämaata kohti eri kulovaaraluokissa.

Taulukko 8. Keskimääräinen paloala vuorokautta ja 100.000 ha kohti eri kulovaaraluokissa.

Table 8. Average burnt area per 24 hours and 100.000 ha in different forest fire danger groups.

Kulovaaraindeksi Forest fire danger index	Paloala (ha) Burnt area (ha)
< 0.1	0.5
0.1 - 0.2	0.7
0.2 - 0.3	0.8
0.3 - 0.4	13.6
0.4 - 0.5	6.3
< 0.5	18.1

Asetelmassa esitetut luvut antavat kussakin kulovaaraluokassa Sodankylän alueella yhdessä päivässä keskimäärin palaneen metsäalan laskettuna 100.000 ha kohti. Siitä nähdään, että paloala kasvaa nopeasti kulovaaraindeksin kasvaessa. Paloalan kasvu on satunnaisista tekijöistä johtuen jonkin verran epäsäännöllistä. On näet huomattava, että tässäkin asetelmassa muutamat suuret kulot ovat olennaisesti vaikuttaneet tulokseen. Paloalan jyrkkää kasvua kulovaaraindeksiin ylittäessä rajan $k = 0.3$ voidaan kuitenkin pitää todellisena.

Edellä esitetty asetelma antaa hyvän kuvan kulovaaraindeksin merkityksestä. Sen mukaan on kulovaara kulovaaraindeksin ollessa > 0.3 huomattavasti suurempi kuin sen ollessa < 0.3. Näyttää siis siltä, että indeksiin arvoa $k = 0.3$ voidaan pitää eräänlaisena kriittillisenä rajana. Silloin kun indeksi ylittää tämän rajan, on kulovaara niin suuri, että varoituksen antaminen on paikallaan.

ÅNGSTRÖMIN mukaan kulovaroitusta on annettava silloin kun kulovaaraindeksi $b < 2.0$. Kuten kuvasta 4. nähdään, on tämä ehto melko hyvin yhtäpitävä tässä tutkimuksessa saadun ehdon $k > 0.3$ kanssa.

Meteorologisen kulovaaran maantieteellisestä jakaantumisesta Suomessa

Kulotorjunnan kannalta on tärkeää tietää, kuinka usein kulovaara keskimäärin on niin suuri, että kulovaroitusta on annettava. Tämän seikan selvittämiseksi esitetään taulukossa 9 niiden päivien lukumäärä, jona kulovaaraindeksi ylittää tietyt rajat. Taulukosta saadaan myös helposti tiettyyn kulovaaraluokkaan kuuluvien päivien lukumäärä vähentämällä lukuisuusluvut toisistaan.

Taulukko 9. Niiden päivien lukumäärä, joina kulovaaraindeksi ylittää tietyt rajat.

Table 9. Number of days on which the forest fire danger index exceeds certain limits.

Kulovaara- indeksi Forest fire danger index	Kuukausi — Month				
	V	VI	VII	VIII	V-VIII
> 0.1	4.4	10.0	11.8	6.5	32.7
> 0.2	1.0	5.2	8.2	2.8	17.2
> 0.3	0.4	2.0	5.4	1.0	8.8
> 0.4	0.0	0.6	1.8	0.1	2.5

Taulukosta nähdään, että sellaisia päiviä, joina kulovaaraindeksi on suurempi kuin 0.3 ja kulovaara siis niin suuri, että kulovaroituksen antaminen on paikallaan, on kulokauden aikana keskimäärin 8.8. Yli puolet (61 %) tällaisista päivistä tulee heinäkuun osalle.

Kulotuksen kannalta on tärkeää tietää, kuinka usein kulokauden aikana esiintyy kulotukseen sopivaa säätä.

Kulotuksen suorittaminen edellyttää, että maapeite on riittävän kuivaa. Toiselta puolen se ei kuitenkaan saa olla niin kuivaa, että kulottaminen on vaarallista. Kulovaaraindeksin täytyy siis olla tiettyjen rajojen välissä. Lisäksi täytyy tuulen olla melko heikkoa, sillä kovalla tuulella tuli pääsee helposti ryöstäytymään.

Silloin kun kulovarointu on annettu, on kulovaara niin suuri, että kulottaminen on vaarallista. Kulovaaraindeksin arvoa $k = 0.3$ voidaan sen vuoksi pitää sinä ylärajana, jota kulovaaraindeksi ei saa ylittää, silloin kun kulotukseen ryhdytään.

ÅNGSTRÖMIN kulovaaraindeksin b määritelmän mukaan b saa arvon 3, silloin kun maapeite syttyy hyvin, mutta tuli leviää hitaasti, ja arvon 4, silloin kun maapeite syttyy huonosti ja sammuu heti, kun metatabletti on palanut loppuun (vrt. s. 6). Voitaneen siis päätellä, että kulottaminen ei enää onnistu hyvin, silloin kun $b > 3.5$. Tämä ehto on hyvin yhtäpitävä ehdon $k < 0.1$ kanssa. Vaikka tämän tutkimuksen mukaan kuloja on jonkin verran esiintynyt silloinkin kun $k < 0.1$, voitaneen kuitenkin olettaa, että maapeite ei tässä tapauksessa yleensä pala riittävän hyvin. Kulovaaraindeksin arvoa $k = 0.1$ voidaan sen vuoksi pitää sinä rajana, jota kulovaara ei alita sellaisina päivinä, jotka ovat kulotukseen sopivia.

Jos säätä pidetään kulotukseen sopivana silloin kun

— kulovaaraindeksi on välillä 0.1—0.3 ja

— tuulen nopeus on pienempi kuin 5 m/sek,

saadaan kulotuspäivien lukumäärälle seuraavat arvot:

Kuukausi — Month				
V	VI	VII	VIII	V-VIII
Kulotuspäivien lukumäärä — Number of burning off days				
2.0	5.2	4.7	3.7	15.6

Tämän asetelman mukaan on kulokauden aikana kulotukseen sopivaa säätä keskimäärin 15.6 vuorokautta.

Taulukko 10. Niiden päivien lukumäärä, joina kulovaaraindeksi ylittää tietyt rajat Helsingissä, Jyväskylässä, Kajaanissa ja Sodankylässä v. 1927—36 suorittettujen havaintojen mukaan.

Table 10. Number of days on which the forest fire danger index exceeds certain limits according to observations made at Helsinki, Jyväskylä, Kajaani and Sodankylä, 1927—1936.

Kulovaara- indeksi Forest fire danger index	Kuukausi — Month					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-VIII
Helsinki						
> 0.1	6.2	10.8	10.1	4.4	1.4	32.9
> 0.2	1.2	5.1	4.5	1.3	0.4	12.5
> 0.3		1.6	1.5	0.6		3.7
> 0.4		0.6	0.6			1.2
Jyväskylä						
> 0.1	11.5	10.4	9.5	3.8	1.4	36.6
> 0.2	3.9	5.9	5.6	1.1		16.5
> 0.3	0.8	2.6	2.7	0.2		6.3
> 0.4		0.4	1.1			1.5
Kajaani						
> 0.1	6.9	11.3	10.9	5.8	0.4	35.3
> 0.2	2.3	5.2	6.3	2.0		15.8
> 0.3	0.1	2.2	2.6	0.6		5.5
> 0.4		0.3	1.0			1.3
Sodankylä						
> 0.1	4.2	10.4	10.7	4.9	0.2	30.4
> 0.2	1.1	5.7	6.8	1.4		15.0
> 0.3	0.5	2.5	4.0	0.7		7.7
> 0.4		0.3	2.2	0.1		2.6

Yleiskuvan saamiseksi meteorologisen kulovaaran jakaantumista maasamme laskettiin kulovaaraindeksin k arvot Helsingin, Jyväskylän, Kajaanin ja Sodankylän sääasemilla touko-syyskuussa kymmenvuotiskautena 1927—36 suoritetuista säähavainnoista. Näin saatujen k :n arvojen suhteen on huomattava seuraavaa: Kuvassa 5 esitetyn diagramman avulla lasketuissa kulovaaraindeksin arvoissa ei kuvastu yksinomaan maapeitteen syttyvyys vaan jossain määrin myös ukkosen esiintyminen. Eri sääasemien havainnoista lasketut k :n arvot eivät ole sen vuoksi keskenään täysin vertailukelpoisia, kun Etelä- ja Keski-Suomessa esiintyy hiukan vähemmän ukkosta kuin Sodankylän alueella liioittelevat k :n arvot jonkin verran kulovaaraa Etelä- ja Keski-Suomessa. Vaikutus on kuitenkin pieni ja tulee esille pääasiassa vain kulovaaran ollessa suuri ($k > 0.3$).

Taulukossa 10 esitetään niiden päivien lukumäärä, joina saadut kulovaaraindeksin arvot ylittävät tietyt rajat. Vaikka eri sääasemien havainnoista lasketut indeksiin arvot eivät olekaan täysin vertailukelpoisia, voidaan niiden avulla kuitenkin tehdä eräitä johtopäätöksiä.

Taulukosta nähdään, että Jyväskylässä on eniten sellaisia päiviä, joina kulovaaraindeksi k on rajan 0.1 yläpuolella. Pohjoiseen päin siirryttäessä tällaisten päivien lukumäärä vähenee, mikä johtuu ilmeisesti kesän lyhenemisestä. Sellaisien päivien lukumäärä, joina kulovaroitusten antaminen on paikallaan ($k > 0.3$), on suurin Sodankylässä. Tämä on varsin luonnollista, sillä Sodankylän alueen ilmasto on mantereisempaa ja kuivempaa kuin Keski-Suomen järviolueen ilmasto. Kajaanissa tällaisia päiviä on hiukan vähemmän kuin Jyväskylässä, mikä johtuu pääasiassa Oulunjärven vaikutuksesta. Todellisuudessa Etelä- ja Keski-Suomessa on sellaisia päiviä, joina $k > 0.3$, vielä hiukan vähemmän kuin taulukko osoittaa syystä, josta edellä tehtiin selkoa.

Verrattaessa Helsingin arvoja Keski-Suomen arvoihin tulee meren päivä- lämpötila alentava ja kosteutta lisäävä vaikutus selvästi esille. Vaikka Helsinki sijaitsee etelämpänä kuin Jyväskylä ja Kajaani, on siellä vähemmän kulovaaraa. Esim. sellaisia päiviä, joina kulovaaraindeksi ylittää rajan 0.3, on Helsingissä vain noin puolet vastaavasta Jyväskylän arvosta. Myös meren hidastava vaikutus ilman lämpiämiseen ja jäähtymiseen tulee selvästi esille. Helsingissä on toukokuussa vähemmän, syyskuussa taas enemmän kulovaaraa kuin Jyväskylässä.

SUMMARY:

THE DEPENDENCE OF FOREST FIRE DANGER ON METEOROLOGICAL FACTORS

The investigation is divided into two sections, experimental and statistical.

The experimental section reports on measurements made in a Vaccinium type pine stand with the aim of elucidating the interdependence of soil humidity and meteorological factors. The moisture content of pine needles and moss and wooden cylinders placed on the soil or a little above it was determined by the weighing method. Simultaneously with these measu-

ements, the air temperature and humidity at 15 cm were measured. It was possible to show with the aid of these observations that there is a relatively good correlation between the moisture content of the wooden cylinders and the relative humidity of air during days without rain (See Fig. 3). The correlation of the moisture content of pine needles and moss with air humidity was slightly poorer.

The statistical section studies the dependence of forest fire danger on meteorological factors. This study is based on meteorological observations made in the geophysical observatory at Sodankylä in 1924—43 and on the forest fire material collected from the 3.56 million ha area in the environs of the observatory (See Fig. 4).

A total of 391 forest fires occurred in the decade in the area in question, and in 353 (90.3 per cent) of them the cause of the fire was known. 69.3 per cent of the latter total were caused by lightning. The careless handling of fire caused 26.4 per cent of the forest fires, and other reasons accounted for a total of 4.3 per cent.

In determining the connection between forest fire danger and meteorological factors, all the days belonging to the forest fire period which met the following requirement were taken into account: a 24-hour precipitation of less than 1 mm and a rainfall on the preceding day of less than 2 mm. The days satisfying this condition were first divided into eight groups by the relative humidity measured at 1400 hours ($\leq 25, 26-30, 31-35 \dots 56-60$ per cent). Then each of these groups was sub-divided according to the temperature measured at 1400 hours ($10.1^{\circ}-14.0^{\circ}, 14.1^{\circ}-18.0^{\circ} \dots 26.1^{\circ}-30.0^{\circ}$). Thus forest fire days and days without a forest fire were distributed into 40 temperature-humidity groups. Let us assume that one of these humidity groups has n_1 forest fire days and n_2 days without a forest fire. The

ratio $k = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ now states the probability that at least one forest fire occurs on a day

belonging to this temperature-humidity group in the Sodankylä area. The ratio k , called in the following the forest fire danger index, was calculated for each temperature-humidity group and the dependence of k on temperature t and humidity U was determined with the aid of these values. The result, somewhat smoothed, is given in Fig. 5. This diagram makes it possible to work out easily the value of k for a given temperature t_1 and humidity U_1 . This is done by selecting a point (t_1, U_1) in the tU plane and then reading off the value from the k -scale.

A good picture of the significance of the forest fire danger index k is obtained from Table 8 which gives the average burnt area in the different forest fire danger groups per 24 hours and 100,000 hectares of productive forest land. It will be seen from the table that the burnt area grows rapidly when the forest fire danger index increases. For instance in the group $k > 0.5$ it is about 40 times as great as in the group $k < 0.1$. The increase in the burnt area is somewhat irregular owing to factors of chance. Some major forest fires affect essentially the average burnt areas given in the table. However, the sharp growth in the burnt area when the forest fire danger index exceeds the limit $k = 0.3$ may be regarded as real. This is due to the circumstance that thunderstorms, which are the most notable cause of forest fires in the Sodankylä area, are most common in the meteorological conditions in which $k > 0.3$.

To obtain a general view of the distribution of forest fire danger in Finland the values of the forest fire danger index k were calculated at four meteorological stations in different parts of the country, using weather observations made in the ten-year period 1927—36. Table 10 gives the number of the days on which the values obtained exceeded certain limits. It appears from the table that the number of days in which $k > 0.1$ decreases when proceeding northwards, obviously because of the shortening of the summer. On the other hand, the number of days in which $k > 0.3$ grows towards the north. According to observations in Helsinki, the sea diminishes essentially the danger of forest fires in the coastal area.

Kirjallisuutta

- H. W. BEALL, 1948. Forest Fire Danger Tables, Ottawa, Canada.
- J. C. FOLEY, 1947. A Study of Meteorological Conditions associated with Bush and Grass Fires and Fire Protection Strategy in Australia. Commonwealth of Australia. Bureau of Meteorology. Bulletin No 38, 1947.
- BENJ. A. HELANDER, 1934. Axplock ur den finska skogsbrandstatistiken med särskild hänsyn till klimatiska faktorerers inverkan på skogsbränderna. Protokoll från III Nordiska skogsbrandförsäkringskongressen i Karlstad den 7—8 september 1934.
- ERKKI K. KALELA, 1937. Vakuutetuissa metsissä vuosina 1925—34 sattuneista kuloista. Acta Forest. Fenn. 46.2
- J. KERÄNEN, 1929. Blitzschlag als Zünder der Waldbrände in nordlichen Finland. Acta Forest. Fenn. 34.25.
- EINO SAARI, 1923. Kuloista etupäässä Suomen valtionmetsiä silmälläpitäen. Acta Forest. Fenn. 26.
- TUOMAS TUOMOLA, 1943. Über die Holztrocknung. Helsinki.
- J. C. WRIGHT, 1935. Research in Forest Protection. Canada Forest Service.
- A. ÅNGSTRÖM, 1942. Riskerna för skogsbrand och deras beroende av väder och klimat. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift. 40, 1942.