

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
GEOTEKNILLISIÄ JULKAISUJA N:o 65

SOVELLETTUA MAAPERÄGEOLOGIAA

KIRJOITUKSIA

TOIMITTANUT

K. VIRKKALA

28 KUVAA TEKSTISSÄ

HELSINKI 1960

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
GEOTEKNILLISIÄ JULKAISUJA N:o 65

SOVELLETTUA MAAPERÄGEOLOGIAA

KIRJOITUKSIA

TOIMITTANUT

K. VIRKKALA

28 KUVAA TEKSTISSÄ

HELSINKI 1960

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKULAUSE	5
1. K. VIRKKALA: Kallioiden glasiaaliset kulumismuodot ja moreenitutkimus malminetsijän apuna	7
2. JUHO HYYPPÄ: Savi ja sen teollinen käyttö	25
3. KARL MÖLDER: Piimaan käyttö teollisuudessa	41
4. RISTO VANHALA: Pohjavesitutkimuksista	47
5. MARTTI SALMI: Turve ja sen käyttö	52
6. KAUKO KORPELA: Geologiset tutkimukset voimalaitossuunnittelussa	63
7. SEPPO PENTTILÄ: Ilmakuvantulkinta maaperänkartoituksen apuna	70

ALKULAUSE

Useimmat geologit ovat kenttätutkimuksissaan välillisesti tai välittömästi tekemisissä maaperän kanssa. Paitsi varsinaisia maaperägeologeja ennenkaikkea malminetsintää harjoittavat geologit joutuvat alituisesti kosketuksiin maaperän kanssa. Lohkare-etsintä, jäätikön liikuntasuunnan määrittäminen sekä erilaiset moreenitutkimukset ovat sovellettua maaperägeologiaa. Myöskin kallioperägeologit joutuvat tekemään vertailuja maaperän rakenteen ja kiteisten liuskeiden alkuperän välillä.

Geologikuntaa lukuunottamatta monet muutkin alat tarvitsevat maaperägeologista tietoutta. Maa- ja vesirakennus käyttää jatkuvasti suuria määriä luonnonsoraa ja -hiekkaa erilaisiin rakennusteknisiin tarkoituksiin. Maaperän pohjatutkimukset edellyttävät myöskin tiettyä maaperän tunte-
musta. Turve- ja tiiliteollisuus toimivat yksinomaan maaperän luontaisten raaka-ainevarojen turvin. Alue- ja seutusuunnittelu pyrkii yhä enemmän ottamaan huomioon maaperän käyttömahdollisuudet jne.

Laajentaakseen ammattikuntansa sekä perustietoa että sovellutuksia maaperägeologian alalla järjesti Geologiliitto 14.—16. 5. 1959 symposiumin, jossa pidettiin lukuisia esitelmää maaperägeologian ja sen sovellutusten alalta. Nyt julkaistavat kirjoitukset muodostavat osan pidetyistä esitelmistä. Valitettavasti ei tähän julkaisuun ole saatu kaikkia pidettyjä esitelmää. Niinpä on jäänyt kokonaan pois maaperän tärkeä käyttö erilaisten maa- ja vesirakennusten alalla. Samaten puuttuu tästä julkaisusta maaperägeologian ja sen sovellutusten perustana oleva yleiskatsaus maamme maaperän syntyyn ja kehitysvaiheisiin. Viimemainittu tulee julkaistavaksi muussa yhteydessä. Puutteistaan huolimatta edistääneen tämänkin julkaisu tietämystä maaperän ja sen käytön alalta.

Geologiliitto

KALLIOIDEN GLASIAALISET KULUMISMUODOT JA MOREENITUTKIMUS MALMINETSIJÄN APUNA

K. VIRKKALA

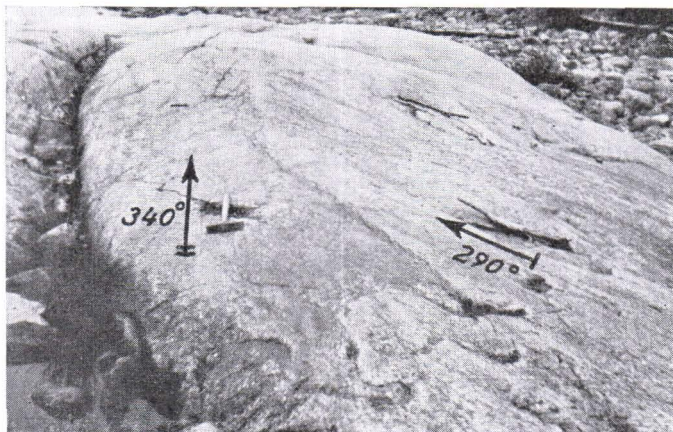
JOHDANTO

Klassinen käsitys maamme mannerjäätikön virtaussuunnista on parina viime vuosikymmenenä suuresti täydentynyt. Aikaisemmin oletettiin, että kullakin paikalla on todettavissa etupäässä vain jäätikön voimakkain tai viimeinen liikkumissuunta, jota osoittavat ennenkaikkea kallionpinnalla tavattavat jäätikkösyntyiset uurteet. Mitä enemmän yksityiskohtaisia tutkimuksia on eri puolilla maatamme kuitenkin suoritettu, sitä enemmän on tavattu vaihteluita jäätikön virtaussuunnissa. Voipa sanoa maassamme tuskin olevan seutua, josta ei olisi löytynyt tai olisi löydettävissä merkkejä useammasta jäätikön virtaussuunnasta.

Kun malmilohkareet on useasti löydetty moreenista, joka mannerjäätikön kuljettamana on joutunut paikalleen, on luonnollista, että myös malminetsijä turvautuu varsinkin prospektauksen alkuvaiheessa uurteisiin ryhtyessään lähemmin paikallistamaan malmikiven emäkalliota. Teoriassa tämä tapahtuu siten, että etsitään lähimmältä paljastumalta uurteita tai muita jäätikön kulutusmerkkejä, joiden suunnassa sitten edetään vastavirtaan, kunnes kohdataan emäkallio. Miten tällöin voi käyttää hyväksi jäätikön kallionpintaan tekemiä kulutusmerkkejä?

KULUTUSFASETIT

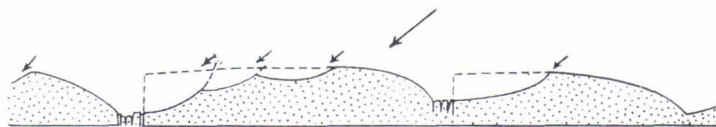
Maastossa näkyvimvät merkit mannerjäätikön toiminnasta ovat sileiksi hioutuneiden kallionpintojen vastasivut. Vaikka myöhempi rapautuminen olisikin hävittänyt heikommat kulutusmerkit, on silokallion vastasivun suunta kuitenkin miltei poikkeuksetta niissä vielä määrättävissä. Vastasivun »symmetriataso», mikä usein on sama kuin silokallion pituussuunta, osoittaa sitä suuntaa, jossa jäätikkö on kallion yli liikkunut.



Kuva 1. Vanhempi, pohjoisluoteisia uurteita sisältävä kulumistaso on säilynyt nuoremman, länsiluoteisen fasetin suojasivulla. Rovaniemi, Marraskoski (Hyyppä 1948, s. 115).

Silokallion yhteydessä esiintyy toisinaan myös vastasivun suunnasta poikkeavia kulumispintoja eli fasetteja, jotka tavallisesti selvin ja terävin särmin rajoittuvat vastasivun kulumispintaan. Mikäli näiden pienempien fasettien uurteet ovat keskenään yhdensuuntaisia, on syytä olettaa, että sivufasetit ovat jätettä aikaisemmista vastasivuista tai muista kulumispinnoista, joita myöhempi kulutus ei ole kokonaan hävittänyt muodostaessaan nykyisin näkyvän vastasivun. Tällöin on erikoisesti haettava kulumismerkkejä myös muista suunnista kuin siitä, jota vastasivu osoittaa. Vanhemmat fasetit uurteineen ovat parhaiten säilyneet nuoremman fasetin suojasivulla (kuva 1, Hyyppä 1948). Kuitenkin on huomattava, että jää usein lohkaisee suojasivulta laakeita ja matalia simpukkamurroksia, jotka se hioo fasetiksi (Edelman 1949, Ljungner 1930). Tällaiset fasetit eivät siis merkitse muutoksia jään liikkumissuunnassa (kuva 2).

Jos taas sivufasetin uurteet poikkeavat suunnaltaan suuresti toisistaan, on todennäköisempää, että fasetit ovat plastisen, s.o. alustansa pienois-



Kuva 2. Kaavamainen esitys simpukkamurroksen (*Muschelbruch*, *mussel scar*) ja sivufasetin synnystä silokallion vasta- ja suojasivun taitteessa. Nuolet esittävät jäätikön paineen suuntaa kallionpinnalla (Ljungner 1930, s. 274).

topografiaan mukautuvan jään kuluttamia kallionpintoja. Tällöin ne on voinut kuluttaa samasta suunnasta tullut jäätikkö, joka on tehnyt näkyvän vastasivunkin. Jos kallionpinnalla on eri fasetteja on joka tapauksessa aina syytä epäillä myös muuta jäätikön liikettä kuin sitä, joka ilmenee vastasivun suunnassa.

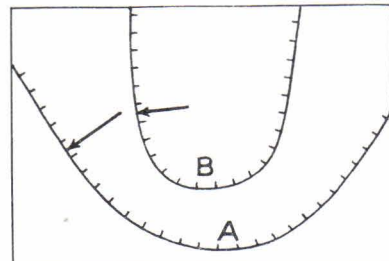
URTEET

Yleisimmät jäätikön aiheuttamat kulumismerkit kallionpinnalla ovat uurteet, joiden on katsottu tarkimmin osoittavan jäätikön virtaussuuntia jollakin alueella, ainakin sen viimeisiä liikkeitä.

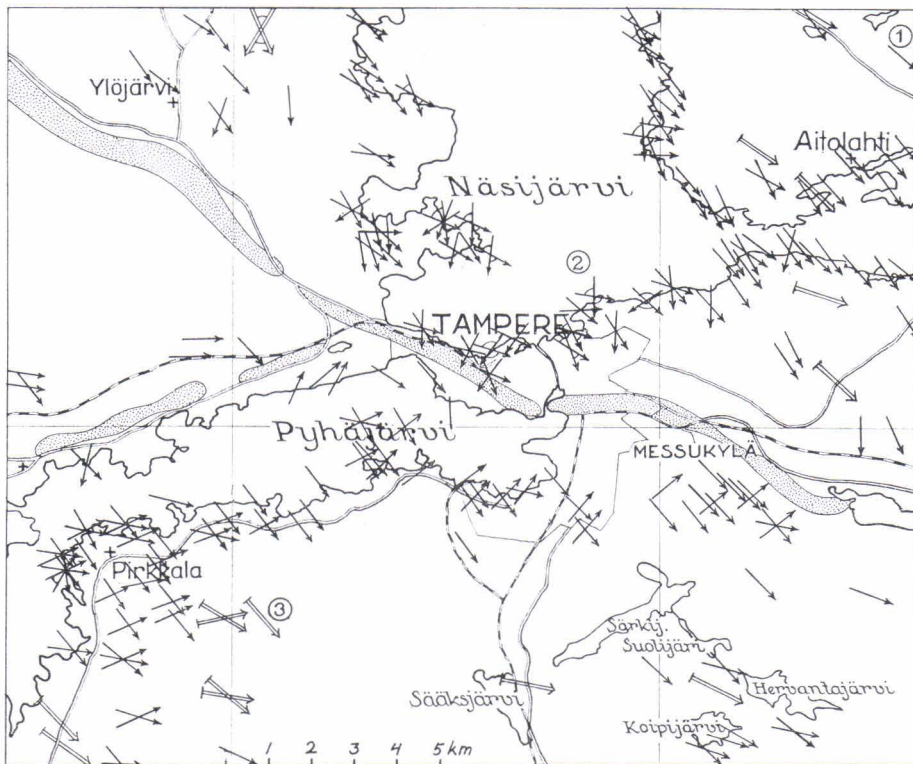
Uurteista on ensiksikin huomattava, että kaikki uurteet eivät ole glasiaalista alkuperää. Myös muut ulkoiset voimat kuin mannerjäätikkö ovat kuluttaneet niitä kallionpintaan. Meidän oloissamme tulevat lähinnä kysymykseen jokien, järvien ja meren talvinen jääpeite. Varsinkin keväisin jään laajenemispaine ja ahtojäät saattavat aiheuttaa rantakallioihin uurteita, jotka eivät ole glasiaalisia. Tällaiset uurteet ovat kuitenkin tavallisesti lyhyitä ja katkonaisia. Ne suuntautuvat ulapalle päin, ja sellaisina ne ovat usein helposti erotettavissa glasiaalisista uurteista.

Toiseksi on huomattava, että uurteet eivät itsessään osoita jäätikön virtaussuuntaa, vaan kaksi mahdollista kysymykseen tulevaa suuntaa. Toisinaan saattavat uurteet kylläkin olla epäsymmetrisiä, leveämpiä toisesta päästään ja kapenevia vastakkaiseen suuntaan. Epäsymmetriset uurteet sijaitsevat kallion vastasivulla siten, että niiden leveämpi pää osoittaa jään menosuuntaa ja kapeampi pää tulosuuntaa; suojasivulla järjestys on päinvastainen (Flint 1957). Tämä johtuu jäätikön erilaisesta kulutustyöstä silokallion eri osissa, vastasivulla se on hiomista, suojasivulla louhimista. Onneksi maassamme ei yleensä uurrehavaintoja tehtäessä ole epätietoista, kummasta suunnasta jäätikkö on edennyt. Tämä täytyy kuitenkin ottaa huomioon jäänjakajaseudulla Lapissa ja paikoin etelämpänäkin, kuten esim. Tampereen lähiympäristössä.

Kolmanneksi on huomattava, että samankin jäänliikkeen suunnissa esiintyy vaihteluita, joita aiheuttavat jään lohkotainen liikkuminen tai alustan topografiset vaihtelut. Jäätikön lohkoissa jää liikkuu säteittäisesti kohtisuoraan reunaan vastaan, ja tämä aiheuttaa poikkeamisia uurre-suuntiin (kuva 3). Esimerkkinä jäätikön lohkoliikunnan tuloksista meidän maassamme mainittakoon Salpausselkien keski-osan kaari, Hämeenkaan—Näsijärven



Kuva 3. Jäätikön supistuessa sen lohko-liikunta aiheuttaa vaihtelevia uurre-suuntia (Flint 1957).

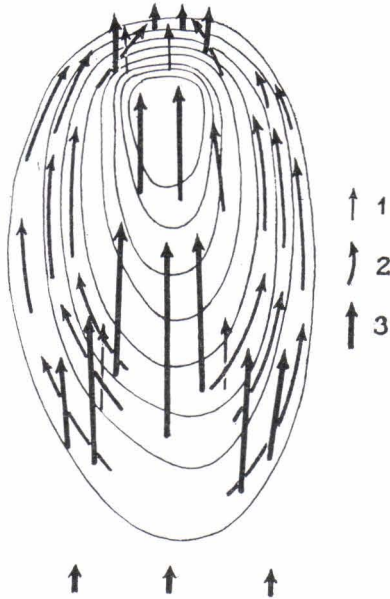


Kuva 4. Vaihtelevia uurresuuntia Tampereen ympäristössä. Pilkutus = Pynikin harju jatkeinen ja sivuhaaroinen. 1 = uurre, 2 = uurresuunta väliarvoineen, 3 = moreenikivien suuntausmaksimi. Vanhimmat uurteet lännestä, voimakkain uurresuunta luoteesta, nuorimmat, topografian selvästi kontrolloimat uurteet ensinnä lännestä, sitten Pynikin harjun eteläpuolella lounaasta ja pohjoispuolella pohjoisluoteen ja itäkoillisen väliltä. Jään viimeiset liikkeet ovat tapahtuneet kohtisuoraan harjua vastaan.

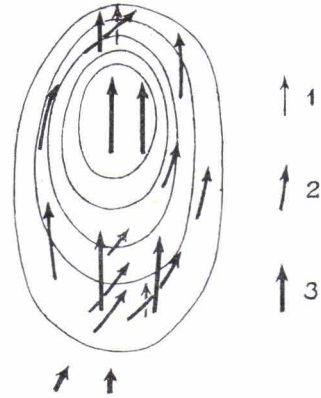
ja Laukaan—Jämsän reunamuodostumat sekä Jaamankangas ympäristöineen. Samallakin seudulla esiintyy siten erisuuntaisia uurreita, jotka vastaavat jäätikön lohkoliikunnan eri vaiheita.

Myös paikalliset korkeusvaihtelut ovat vaikuttaneet jäätikön liikuntasuuntiin ja yleensä sitä enemmän, mitä suuremmista korkeuseroista on kysymys. Siten suurissa jokilaaksoissa jään liike on tietystä vaiheesta suuntautunut usein laaksojen mukaisesti, vaikka tämä poikkeaisikin alueen jäätikön yleisestä liikkumissuunnasta. Täten voidaan eräissä tapauksissa tehdä ero »laaksouurteiden» ja »ylänköuurteiden» välillä.

Etelä-Suomessakin ovat paikalliset korkausvaihtelut monin paikoin vaikuttaneet jäätikön viimeisiin virtaussuuntiin, kuten esim. Tampereen seudulla, jossa on tavattu hyvin vaihtelevia uurresuuntia (kuva 4).



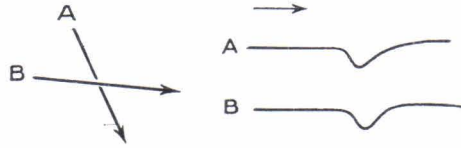
Kuva 5. Kaavamainen esitys plastisten ja ei-plastisten jääliikkeiden kuluttamista ristiurteista silokallion eri osissa. Plastiset urteet sijaitsevat symmetrisesti kallionpinnalla. Jään liikkumissuunnassa ei ole tapahtunut muutoksia urteiden ja silokallion muodostumisaikana. Kuvan alareunassa olevat nuolet osoittavat jään liikkumissuuntaa. 1 = vanhemmat ei-plastiset urteet, 2 = plastiset urteet, 3 = nuoremmat ei-plastiset urteet (Johnsson 1956).



Kuva 6. Kaavamainen esitys plastisista ja ei-plastisista urteista silokallion pinnalla silloin, kun jäätikön liikuntasuunnassa on tapahtunut muutoksia urteiden muodostumisaikana. Plastiset urteet sijaitsevat epäsymmetrisesti silokallion pinnalla. Kuvan alapuolella olevat nuolet osoittavat jään liikkumissuuntaa. Muut selitykset kuten kuvassa 5 (Johnsson 1956).

Paitsi tätä makrotopografiaa vaikuttaa jään virtaussuuntaan myös alustan mikrotopografia. Jo aivan pientenkin korkeuserojen on todettu huomattavasti vaikuttaneen urteiden suuntaan, kuten esim. Edelman (1949, 1951) on Turun saaristossa osoittanut. Samallakin silokalliolla urteiden suunnat usein vaihtelevat kallion eri osissa. Tällaisia urteita on kutsuttu tavallisesti plastisiksi, koska ne edellyttävät jäätikön liikettä, joka on herkästi mukautunut alustan topografiaan. Samankin jään liike voi siten jäätiköitymisen eri vaiheessa aiheuttaa samalla paikalla erisuuntaisia ja toisiaan leikkaavia ristiurteita.

Plastiset urteet sijaitsevat symmetrisesti silokallion pinnalla (kuva 5). Jos sen sijaan jään virtaussuunnassa on todella tapahtunut muutoksia, ne ilmenevät siten, että plastiset urteet sijaitsevat kallionpinnalla epäsymmetrisesti (kuva 6). Aina ei kuitenkaan koko silokallio ole näkyvissä, tavallisesti vain suurempi tai pienempi osa siitä. Tällöin on vaikeampi päätellä, onko mahdollisesti esiintyvät ristiurteet tulkittava saman liik-



Kuva 7. Nuoremmat uurteet (B) leikkaavat vanhempia uurteita (A) ja ovat kuluttaneet vanhemmat uurteet poikkileikkauksessa epäsymmetrisiksi, nuoremmat uurteet sen sijaan ovat poikkileikkauksessa symmetrisiä.

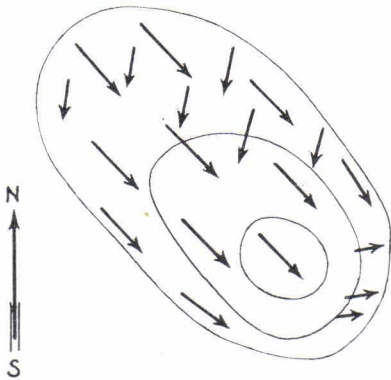
keen plastisiksi ja vähemmän plastisiksi uurteiksi vai onko todella kysymys kahdesta erisuuntaisesta jäätikön liikkeestä. Edellinenkin mahdollisuus on otettava huomioon.

Jos alueelta on tavattu useampia jäätikön liikuntasuuntia, niiden välillä ei yleensä esiinny väliarvoja kuten plastisissa uurteissa. Tämän toteaminen edellyttää kuitenkin uurrehavaintoja lukuisilta silokallionpinnoilta.

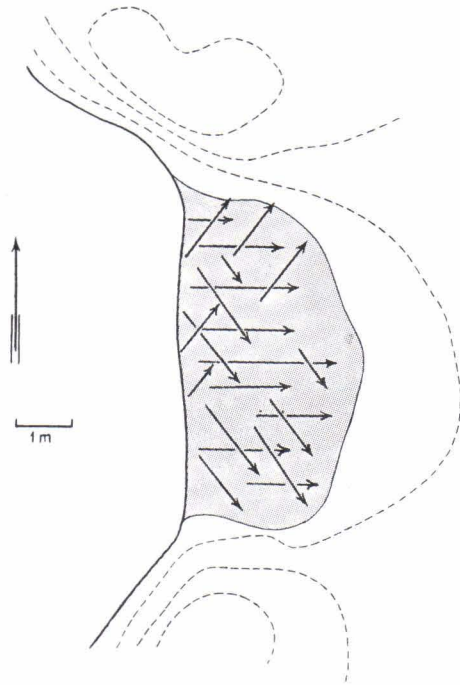
Useammansuuntaisista uurteista, jotka eivät ole aiheutuneet topografisista tai muista paikallisista tekijöistä, on pyrittävä määräämään uurteiden keskinäinen ikäsuhde. Tämä käy parhaiten päinsä sellaisilla kallioilla, joissa esiintyy erisuuntaisia uurteita joko toisiaan leikkaavina eli ristiuurteina tai silokallion eri osissa sijaiten.

Yksinkertaisin tapaus on tällöin, että ristiuurteista määrätään, mikä tai mitkä suunnat näistä ovat nuorimmat. Hyvin usein ovat kallionpinnat kuitenkin siksi rapautuneita, ettei läheskään aina voi todeta, mikä uurre-suunta leikkaa toisia ja on niin ollen näitä nuorempi. Useista muista merkeistä voidaan tällöin päätellä uurteiden keskinäinen ikäjärjestys. Nuoremmat uurteet ovat usein kuluttaneet vanhemmat uurteet poikkileikkaukseltaan epäsymmetrisiksi. Vanhempien uurteiden nuorempaa liikettä vastassa oleva sivu on tällöin kulunut loivemmaksi kuin suojasivu (kuva 7). Nuorimmat uurteet ovat tavallisesti myös hienompia ja terävämpiä kuin vanhemmat. Selvimmin heikot uurteet tulevat näkyviin märillä kallionpinnoilla, joista auringonvalo heijastuu. Niinikään nuoremmat uurteet sijaitsevat säännöllisesti jäätikön viimeiseen liikuntaan nähden vastasivulla, kun taas vanhemmat uurteet ovat parhaiten säilyneet nuorempaan liikkeeseen nähden suojasivulla (kuvat 8 ja 9). Erisuuntaisten uurteiden ikäsuhde voidaan todeta myös silloin, kun leveiden uurteiden tai kourujen pohjalla tavataan muunsuuntaisia hienompia uurteita, eikä näitä ole käsitettävä plastisiksi uurteiksi (Edelman 1951, s. 163). Hienommat uurteet ovat silloin nuorempia kuin leveämmät.

Tavallisesti silokallion vastasivun uurteet ovat samansuuntaisia kuin itse vastasivukin. Molemmat ovat silloin syntyneet samansuuntaisen jään-



Kuva 8. Kaavamainen esitys silokalliosta, jossa voimakkain uurre-suunta ja vastasivun suunta on luoteesta. Vanhemmat, läntiset uurteet sijaitsevat suoja-sivulla, nuoremmat, pohjoiset uurteet ovat silokallion pohjoisosassa.

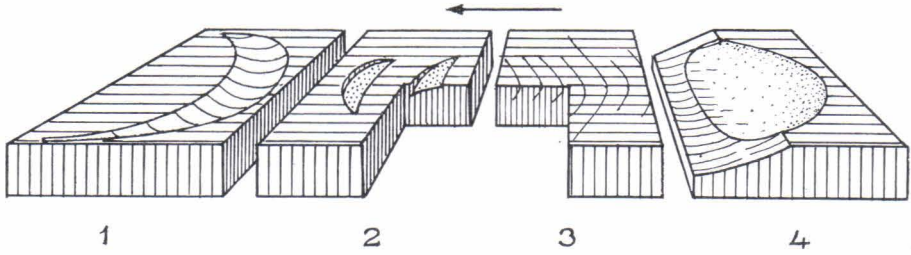


Kuva 9. Kaavamainen piirros erään Tampereen Pyhäjärven itärannalla sijaitsevan silokallion uur-teista. Vastasivu kulunut läntisestä suunnasta, missä suunnassa sijaitsevat myös lukuisimmat uurteet. Läntistä suuntaa nuorempia, luoteisia uurteita ta-vataan vain silokallion eteläosassa, koska kallion pohjoisosa sijaitsee vähäisen kohouman suoja-sivulla. Samasta syystä nuorimmat, lounaiset uurteet esiin-tyvät vain kalliopaljastuman pohjoisosassa. Katko-viivat kuvaavat korkeuskäyriä.

liikkeen kulutustuloksena. Toisinaan tavataan kuitenkin silokallioita, joiden uurteet poikkeavat vastasivun keskiviivan suunnasta. Uurteet osoittavat silloin nuorempaa liikettä kuin vastasivun kuluttanut jäätikön liike. Täl-laiset tapaukset ovat kuitenkin maassamme harvinaisia.

MUUT GLASIAALISET KULUMISMERKIT

Joskus on nuorempi jäätikön liike hävittänyt kaikki vanhemmat uurteet, jopa muuttanut silokallion muotoakin. Usein ovat kallionpinnat lisäksi siksi rapautuneita, että niistä turhaan etsii uurteiden merkkejä. Eräät muut glasiaaliset kulutusmuodot saattavat näissä tapauksissa antaa viit-teitä jäätikön virtaussuunnista. Jäätikkö on yleisesti kallionpintaan repinyt



Kuva 10. Eräitä silokallion pinnoilla tavattavia suuntautuneita glasiaalisia kulumismuotoja. 1 = sirppikouru (*Sichelwanne, lunate fracture*), 2 = sirppimurros (*Sichelbruch, crescentic gouge*), 3 = pirstekaarre (*Parabelriss, crescentic fracture*), 4 = simpukkamurros (*Muschelbruch, musselscar*). (Ljungner 1930, s. 287).

ympyränkaaren muotoisia hienoja rakoja, pirstekaarteita (kuva 10), jotka ulottuvat muutamia senttimetrejä pinnan alapuolelle ja jotka usein säilyvät silloinkin, kun rapautuminen tai nuorempi liike on hävittänyt kaikki uurteet. Pirstekaarteita tavataan miltei kaikkialla, missä jäätikön kuluttamia kallionpintojakin. Joskus on pirstekaarteita myöten lohjennut kallionpinnasta puolikuun muotoisia kappaleita (kuvat 10 2, 11); näiden lohkeamispaikkoja on kutsuttu sirppimurroksiksi (Saksela 1949, Okko 1950).

Yleisiä kallionpinnalla ovat myös laakeahkot ja laaja-alaiset simpukkamurrokset sekä eräät muut kulumismuodot, joilla kaikilla ei vielä ole suomenkielistä nimitystäkään. Simpukkamurroksia (kuva 10 4) tavataan varsinkin silokallion vastasivun ja suojasivun taitteessa (kuva 2), missä ne toisinaan muodostavat selviä fasetteja.

Kaikki glasiaaliset kulumismuodot eivät ole suuntautuneet jään liikkeen mukaisesti. Suuntautumattomiin muotoihin kuuluvat mm. hiidenkirnut, jotka on selitetty osaksi glasiaaliseksi kulumismuodoiksi (Johnsson 1956). Toistaiseksi maassamme ei ole kukaan yksityiskohtaisesti tutkinut kallionpintojen glasiaalisia kulumismerkkejä.

MOREENIN SUUNTAUTUMINEN

Edelläeslostetun kaltainen uurteisiin ja muihin glasiaalisiin kulumismuotoihin perustuva alueellinen analyysi on tarpeen varsinkin silloin, kun ei ole tarkempaa tietoa paikasta, mistä malmikivi on löytynyt, tai kun se on löytynyt maanpinnalta. Viimeksimainitussa tapauksessa on malmikiven löytöpaikkaansa saattanut kuljettaa mikä alueella tavattu jäätikön liike hyvänsä tai useammatkin liikuntasuunnat, vieläpä muutkin tekijät kuin jäätikön kuljetus (Okko 1948). Myös silloin, kun malmikivi on löytynyt tarkasti määritetystä moreenin osasta, on alueellisen analyysin tekeminen



Kuva 11. Sirrpihurroksia silokalliolla (Repo 1957, s. 21).

paikallaan. Monesti on todettu, että malmikivi on löytöpaikalleen joutunut useammansuuntaisen jäätikön liikkeen tuomana, kuten Aurolan (1955) tutkimukset lohkarikuljetuksesta Pohjois-Karjalassa osoittavat. Jäätikön useamman virtaussuunnan tuloksena syntynyt lohkariviuhka on leveä; jos taas jäätikön liikunnat ovat hyvin vähän vaihdelleet kuljetuksen aikana, muodostuu kapea ja teräväpiirteinen lohkariviuhka.

Jos malmikivi on sijainnut primäärisessä moreenissa, on koetettava saada selville malmikiven löytösyvyys. Samasta syvyydestä tehty moreenikivien pituusakselien suuntaanalyysi antaa hyviä viitteitä siitä suunnasta, mistä malmikivi on löytöpaikalleen tullut. Moreenin pintaosat sisältävät enemmän pitkämatakaista ainesta kuin pohjaosat. Moreenin pintaosasta löytyneellä malmikivellä on siten ollut suurempi mahdollisuus kulkea kauemmin jäätikön mukana kuin syvemmillä sijainneella kivellä. Tämä johtuu jäätikön liikkeen yleisestä taipumuksesta nostaa liikunnan mukana ainesta ylöspäin ja sitä enemmän, mitä kauemmas aines lähtöpaikastaan on kulkenut. Tästä ovat hyvänä kouluesimerkkinä Hyvärisen (1958) Korsnäsissä suorittamat tutkimukset.

Kivien suuntautumista moreenin pintaosassa ovat häirinneet ja muuttaneet rantavoimien huuhtova toiminta Itämeren postglasiaalisten vesivaiheitten aikana sekä roudan pyrkimys nostaa kiviä maanpinnalle. Pohjamoreenissa tai moreenin pohjaosissa ovat kivet yleensä paikallisempia ja sekundääriset tekijät ovat vähemmän muuttelleet moreenin sisäistä rakennetta.

Roudan toiminta on varsin huomioonotettava tekijä moreenin lohka-reiden ja suurehkojen kivien nostamisessa maanpinnalle. Tämän huomaa esim. Lapin tuntureilla, joiden laet usein ovat miltei yhtenäisen louhikon peitossa. Kivikon alla saattaa olla normaalikivistä moreenia, jonka suurimmat kivet ja lohkat routa on nostanut maanpinnalle. Muuttuneiden ilmastosuhteiden aikana routa on nostanut kiviä suuressa mitassa myös Etelä-Suomessa ja sitä tapahtuu vähäisemmässä määrässä vieläkin, kuten havainnot moreeniviljelmiltä osoittavat. Tunnetaan tapauksia, että malmin puhkeamasta on lohkat noussut suoraan ylöspäin maanpinnalle.

Tässä yhteydessä ei ole tarkoitus puuttua suuntautumisanalyysin tekniiseen suoritustapaan. Suuntautumislasku on pyrittävä mieluummin tekemään vaakatasosta kuin pystyseinämästä, jossa helposti tulevat näkyviin ja laskussa huomioonotetuksi seinämää vastaan kohtisuorassa olevat kivet. Amerikassa selvitettiin toissa vuosikymmenellä hyvin yksityiskohtaisesti moreenikivien suuntautuminen jäätikön liikunnan ilmaisijana. Näissä tutkimuksissa on käsitelty mm. kivien muodon vaikutusta niiden suuntautumiseen (Holmes 1941). Selvimmin ovat jäätikön liikkeen suuntaisiksi Holmesin mukaan asettuneet seuraavat kivet:

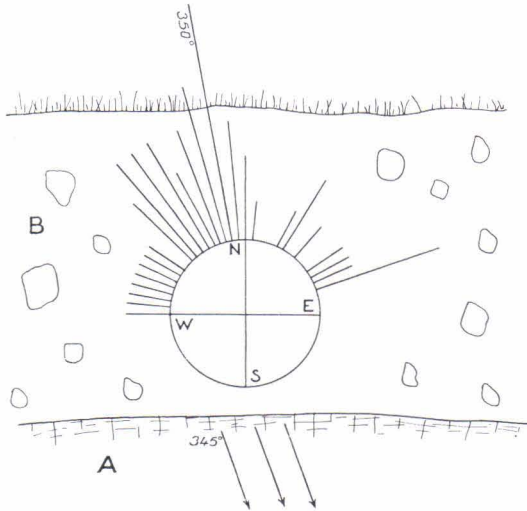
- 1) Terävasärmäiset, kiilamaiset ja munamaiset kivet, joiden pisin akseli on alle 5 cm ja vain vähän toiseksi pisintä akselia eli väliakselia pitempi.
- 2) Terävasärmäiset rombiset kivet, joiden akselisuhde on suunnilleen sama kuin edellisten.
- 3) Terävasärmäiset kiilamaiset kivet, joiden väliakselin kaltevuus on alle 70°.
- 4) Terävasärmäiset tai vähän kuluneet kiilamaiset kivet, terävasärmäiset rombiset kivet ja munamaiset, hyvin pyörityneet kivet, joilla kaikilla on selvä pituusakseli ja väliakselin kaltevuus on alle 15°.

Osa moreenin kivistä sen sijaan on asettunut poikittain jäätikön liikkeeseen nähden. Tällaisia kiviä ovat:

- 1) Heikosti pyörityneet rombiset kivet, joilla ei ole selvää pituusakselia.
- 2) Kiilamaisia ja terävasärmäisiä, rombisia kiviä lukuunottamatta kaikki kivet, joiden pituusakseli on vähintään 5 cm pitkä ja vain vähän muita akseleita pitempi.
- 3) Heikosti pyörityneet munamaiset kivet.
- 4) Terävasärmäiset ja pitkänomaiset rombiset kivet, joiden väliakselin kaltevuus on 75° tai enemmän.

Mitenkä tämä Amerikassa saatu tulos soveltuu meidän oloihimme, ei ole toistaiseksi yksityiskohtaisesti tutkittu. Tämän kirjoittajan kokemuksen mukaan kivet sijaitsevat yleensä sitä selvemmin jäätikön liikunnan suunnassa, mitä selvempi pituusakseli niillä on, samaten kuin joessa pitkät tukit helpommin uivat virran suuntaisina kuin lyhyet pöllit.

Suuntautumislasku on pyrittävä tekemään routarajan alapuolelta, Etelä-Suomessa siis vähintään puolen metrin syvyydestä, mieluummin vieläkin syvemmältä. Suorituspaikaksi ei sovi runsaskivinen moreenin kohta. Koke-



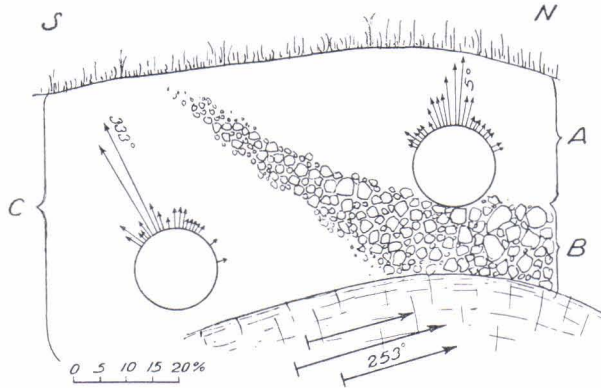
Kuva 12. Moreenikivien pituusakselien suuntautumisen suhde alustan kallioperän uurteisiin. Uurteiden suunta 345° , moreenikivien suuntautumismaksimi 350° , moreenikivien suuntauksen keskiarvo 341° . Tuusula, Punakivenmäki.

mus osoittaa, että kiviä saattaa olla moreenissa niin paljon, etteivät kaikki ole suorastaan ehtineet järjestyä jäätikön liikkeen suuntaisiksi. Samoin suuntautumislaskun teossa on vältettävä suurten kiven ja lohcareiden läheisyyttä, sillä pienemmät kivet usein sijaitsevat pyörteenkaltaisesti lohcareen ympärillä.

Tilastollisesti saadaan sitä luotettavampi kuva moreenin suuntautumisesta, mitä enemmän kiviä lasketaan. Tavallisesti kuitenkin riittää sadan, usein jopa 50 kiven suuntakulman mittaaminen.

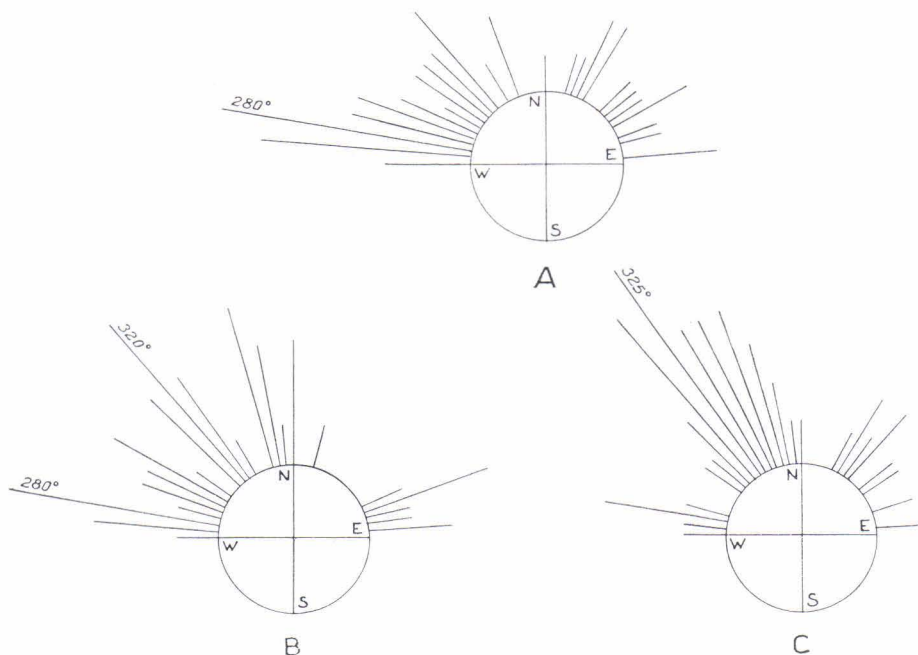
Suuntautumislaskenta on koetettava tehdä mieluummin tasaiselta alustalta kuin rinteeltä. Viimeksimainitussa tapauksessa on mahdollista, että maan valuminen on häirinnyt jäätikön liikkeen moreenikiville antamaa suuntaa, jopa muuttanutkin sen rinteeseen suuntaiseksi (Lundqvist 1948). Yleensäkin aina silloin, kun kiven suunta on rinteeseen mukainen, on epäiltävä, että sen on aiheuttanut maan valuminen, vaikka paikalla ei nykyisin sellaista olisikaan todettavissa. Suotuisissa olosuhteissa maan valumista on todettu tapahtuneen jopa 2° kaltevilla rinteillä (Washburn 1947).

Suuntautumislaskuja on koetettava tehdä, mikäli mahdollista, useampia samalta havaintopaikalta, mutta eri syvyyksiltä. Vasta tällöin tulee näkyviin, onko jäätikön liikkeessä moreenin kerrostumisaikana tapahtunut muutoksia ja minkäsuuntaisia nämä muutokset ovat olleet.



Kuva 13. Kaksi eri suunnista tullutta moreenipatjaa A ja C, joita erottaa toisistaan huuhtoutunut kivi-kerros B. Alustan silokallion uurteet osoittavat kolmatta jäätikön liikuntasuuntaa (Virkkala 1951, s. 27).

Normaalisessa tapauksessa moreenikivien suunta on sama kuin alustana olevan kallioperän uurteiden suunta; jäätikkö on ensinnä kuluttanut uurteet ja sen jälkeen kerrostanut moreenia kalliopinnalle (kuva 12). Tämä sääntö ei läheskään aina pidä paikkaansa. Uurteet ja moreenin suuntautuminen osoittavat jäätiköitymisen eri vaiheita, ja tällöin on jäätikön liikkeessä edellä selostetun mukaisesti usein tapahtunut suunnan muuttumisia. Myöhempi jään liike on toisinaan työntänyt aikaisemmin kerrostuneen moreenin päälle uutta moreenia toisesta suunnasta kuin vanhempi liike (kuva 13). Pintamoreenin kivissä esiintyy siten usein toinen suunta kuin pohjamoreenissa ja uurteissa. Toisinaan on nuorempi jään liike kerrostanut moreenia vanhemman jään liikkeen mukaan kuluneen kallioperän pinnalle. Tällöin moreenikivien järjestäytymisessä ja uurteissa esiintyy eri suunta. Mahdollista on myös, että nuorempi liike on joko kokonaan tai osaksi uudestaan järjestänyt vanhemman liikkeen aikana kerrostuneen moreenin. Jos uudelleen järjestäytymistä on tapahtunut moreenissa vain osaksi, ilmenee tämä moreenikivien suuntautumisessa siten, että siinä esiintyy kaksi maksimia, joista toinen osoittaa nuorempaa ja toinen vanhempaa jäätikön liikuntasuuntaa. Moreenikivien vanhempi suunta on siten ikäänkuin säilynyt reliktiinä nuoremman jään liikunnan aikana. Joskus voi tämän mukaisesti moreenin pintaosan kivillä olla nuoremman jäänliikkeen mukainen suunta, sen alla olevassa moreenin osassa esiintyvät sekä nuorempi että vanhempi jäänliike ja alinna on jäätikön vanhimman liikkeen aikana kerrostunutta moreenia. Korpela on todennut tällaisen moreenin suuntautumisen Sipoosta (kuva 14). Jos jäätikön erisuuntaiset liikkeet ovat tulleet erilaisen kallioperän alueelta, kuvastuu tämä myös moreenin petrografisessa kokoomuksessa.

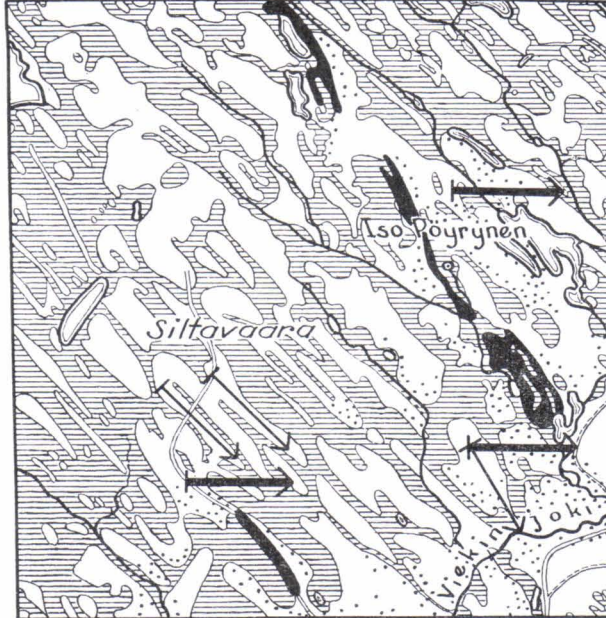


Kuva 14. Vaihtelevia moreenikivien suuntia moreenin eri syvyyksistä. Kolmen metrin syvyydessä selvä länsiluoteinen maksimi (A), pintamoreenissa 1 m:n syvyydessä pohjoisluoteinen suuntaus (C), näiden välisessä moreenin osassa (B) esiintyy useita epäselviä maksimeja, joista läntisin osoittaa reliktiinä säilynyttä vanhempaa jäänliikettä. Sipoo. Korpelan mukaan.

Lisäksi on mahdollista, että moreenin kaikki kivet ovat uudestaan järjestyneet nuoremman jäänliikkeen mukaisesti, vaikka moreeni alun perin olisi tullutkin toisesta suunnasta. Jos alueella on niukalti kalliopaljastumia, ei tämän viimeisen liikkeen suuntaisia uurteita välttämättä tarvitse selvästi esiintyä kalliopinnalla. Kulumismuotojen alueellinen analyysi on tällöin moreenin suuntautumisanalyysin apuna jäätikön liikuntasuuntia määrättäessä.

Paitsi moreenikivet ovat eräät muutkin moreenin rakenteelliset osat suuntautuneet moreenin kerrostaneen jään liikkeen mukaisesti. Lamellirakenteisessa moreenissa lohkeavat lamellit yleensä pieniksi, paralleelipipedin muotoisiksi kappaleiksi, joiden pituussuunta yhtyy jäätikön virtaussuuntaan tavallisesti paremmin kuin moreenikivien pituussuunta. Lamellimoreenia esiintyy maassamme varsinkin Itä-Suomessa ja Kainuussa (Repo 1957, s. 46; Virkkala 1948, s. 27).

Moreenikivien suuntautuminen osoittaa kuten uurteetkin kaksi mahdollista kysymykseen tulevaa jäätikön virtaussuuntaa. Kivien kaltevuuskulman mittaaminen yhdistettynä niiden suuntakulman määräämiseen



Kuva 15. Drumlinimaastoa Pielisjärven Viekin kylän pohjoispuolelta. Drumlinien luoteinen suunta osoittaa jäätikön voimakkainta kerrostamissuuntaa. Jäätikön viimeiset, läntiset liikunnat ovat uudestaan järjestäneet drumlinien pintaosien kiviä läntisen suunnan mukaan, mutta liikunta on ollut siksi heikko, ettei se ole pystynyt maaston selvää suuntausta vähääkään häiritsemään. Vaalea moreenia, musta harjua, pisteet rantahiekkaa, viivoitus soita, ohuet nuolet uurteita, paksut nuolet moreenin kiviaineksen suunta (Virkkala 1948, s. 25).

näyttää kuitenkin antavan viitteitä myös siitä, kummasta suunnasta jäätikkö on tullut. Menetelmä on kuitenkin hidaskäyttöinen ja aikaa vievä, eikä maassamme tiettävästi sitä ole tutkittu.

Luotettavimman ja varhimman tuloksen moreenikivien suuntautumista suhteessa jäätikön liikkeen ilmaisijana antavat tasaisilta moreenialueilta suoritetut suuntauslaskut. Jos moreenikivissä tällöin esiintyy suuntautumista, jolla ei ole vastinetta uurteissa, on pikemminkin syytä otaksua, että jäätikön virtaussuunnassa on tapahtunut muutoksia kuin että suuntauslasku olisi antanut virheellisen kuvan.

Jään liikkeen suuntaisten moreeniselänteiden eli drumlinien kiviaines on yleensä yhdensuuntainen drumlinien pituussuunnan kanssa. Jos drumlinin aineksessa esiintyy muuta suuntausta kuin selänteen suunnassa olevaa, on jäätikön virtaussuunnassa tapahtunut muutoksia drumlinin kasaantumisen jälkeen. Tällaisiakin esimerkkejä tunnetaan maastamme (kuva 15). Ruotista tiedetään kuitenkin tapauksia, että drumlinien kivet ovat asettuneet poikittain selänteen suuntaa vastaan (Lundqvist 1948).

Jäätikön reunan suuntaisissa moreeniselänteissä eli päätemoreeneissa sen sijaan aineksen suunta vaihtelee enemmän. Tavallisimmin näidenkin moreenikivien suunta on sama kuin jäätikön liikuntasuunta, siis kohtisuorassa päätemoreenia vastaan, mutta kivien suunta voi olla myös kohtisuorassa jään liikettä vastaan eli päätemoreenin suuntainen. Tämä ilmeisesti riippuu siitä, kuinka voimakas jään liike on ollut päätemoreenin muodostumisaikana.

Kuoppa- eli ablaatiomoreeni, huuhtoutunut ja/tai runsaskivinen ja -lohkareinen moreeni sekä useasti myös moreenin pintaosat ovat heikosti suuntautuneet tai suuntautumista ei voi todeta.

MOREENIN PETROGRAFINEN KOKOOMUS

Moreenin suuntautumisen lisäksi on malminetsinnässä yleisesti käytetty myös moreenin petrografisen kokoomuksen määrittämistä kivilaskujen avulla. Malmikiven kivilajiseurueen perusteella koetetaan tehdä johtopäätöksiä moreenin kulkeutumissuunnasta ja -matkasta.

Jäätikön liikkeen sisäisestä mekanismista johtuu, että moreeni jään mukana kulkiessaan on huomattavassa määrässä myös petrografiselta kokoomukseltaan sekoittunut. Siinä tavataan sekä lähempää että kauempaa tullutta ainesta. Luotettavan kuvan saaminen moreenin kulkeutumissuunnasta ja -matkasta petrografisen kokoomuksen perusteella edellyttää varsin suurta aineistoa. Paikalliset tekijät vaikuttavat nimittäin moreenin kivilajikoostumukseen paljon suuremmassa määrässä kuin esim. kallioperän glasiaalisiin kulumismuotoihin tai moreenin suuntautumiseen. Näistä paikallisista tekijöistä ovat tärkeimmät seuraavat:

1) Kivilajin laatu, kovuus, rapautuvuus, rakoilutaipumus, kyky vastustaa kulutusta jne. Siten esim. kvartsiitit ovat yleensä kulkeutuneet huomattavasti kauemmaksi lähtöpaikastaan kuin kulutusta vähemmän kestävät kivilajit.

2) Kallioperän laatu. Laajalla yhtenäisen kallioperän alueella moreenin petrografinen kokoomus muodostuu paikalliseksi ja vastaa alustan kallioperää. Sen sijaan vaihtelevan kallioperän alueella moreenin kivilajikoostumus ei useinkaan kuvasta alustan kallioperää.

3) Moreenin lähtöpaikan topografia. Suhteellisen tasaisella alustalla moreeniainesta alkaa kerrostua runsaimmin juuri lähtöpaikan läheisyydessä. Jos tasaiselta alustalta nousee yksinäinen kohouma, niin siitä lähtenyt aines saavuttaa moreenissa maksimimääränsä vasta muutaman kilometrin päässä lähtöpaikastaan.

4) Moreenin kerrostumispaikan topografia. Tasaisella alustalla moreenissa on runsaammin kauempaa tullutta ainesta kuin suuremman reliefin

alueella. Esimerkkinä tästä mainittakoon allaoleva asetelma moreenikivien kulkeutumismatkasta tasaisen reliefin alueelta Keski-Pohjanmaalta (Laitakari 1937, Kivekäs 1946) sekä suuremman reliefin alueelta Kainuusta. Molemmat havainnot perustuvat melko suureen aineistoon.

	Moreenin kiviaineksesta kulkeutunut	
	Keski-Pohjanmaalla	Kainuussa
alle 10 km	31 %	80—90 %
10—20 km	28 %	10—15 %
yli 20 km	41 %	alle 5 %

Ero on sangen huomattava ja ilmeisesti kasvaa reliefin suuretessa.

5) Maanpinnan yleiset kaltevuussuhteet moreenin lähtöpaikan ja kerrostumispaikan välillä. Jos jäätikkö etenee vastamäkeen, sen kyky kuljettaa pohjassaan ainesta pienenee, moreeni kerrostuu aikaisemmassa vaiheessa ja jää kiviainekseltaan paikallisemmaksi kuin myötämäkeen etenevässä jäätikössä.

6) Moreenin petrografisen kokoomuksen vaihtelu vertikaalisuunnassa. On yleisesti tunnettua, että moreenin pintaosat sisältävät runsaammin kauempaa tullutta ainesta kuin pohjaosat tai pohjamoreeni. Tämä johtuu jään liikkeen sisäisestä mekanismista, joka pyrkii nimenomaan jäätikön reunavyöhykkeessä, missä sen nopeus on suurin ja kulutus voimakkain, nostamaan moreeniainesta jään liikkeen mukana ylöspäin jäässä.

7) Moreenin topografinen sijainti. Edellisen kohdan mukaan moreenin kiviaines on sitä kauempaa tullutta, mitä korkeammalle se nousee jäässä. Suurehkojen kohoumien rinteillä on siten tavattu vyöhykkeitä, joiden pintamoreenin aines on pitkämatkaisempaa kuin alemmilla ja ylempillä korkeusvyöhykkeillä.

8) Moreenin kiviaineksen raekoko. Moreenin kulkeutumisesta jäätikön mukana johtuu, että moreenin lohkat (yli 20 cm) ovat usein ratkaisevasti paikallisempia kuin kivet (2—20 cm) ja sora-aines (2—20 mm). Erittäin helposti lohkeilevissa kivilajeissa saattaa suhde olla päinvastainenkin (J. Lundqvist 1952). Sen sijaan kivien ja soran petrografinen kokoomus moreenissa ei useinkaan poikkea toisistaan (J. Lundqvist 1952, Repo 1957). Moreenin petrografinen kokoomus voidaan siten laboratoriossa määrittää moreeninäytteiden soralajitteesta usein yhtä tarkasti mikroskoopin avulla kuin tekemällä aikaa vieviä kivilaskuja maastossa.

9) Sekundääriset tekijät. Aallokon ja roudan toiminta ovat usein muutelleet moreenin primäärisiä kivilajisuhteita. Routa on voinut nostaa maanpinnalle kiviä, jotka alunperin ovat sijainneet syvemmillä moreenissa. Myöskin jäälautat ovat siirtäneet moreenin ainesta sekä myöhäis- että postglasiaaliaikana. Varsinkin myöhäisglasiaaliaikana on »lauttakuljetus»

ollut paikoin varsin huomattava, kuten Helsingin seudun runsas maanpinnalla oleva rapakivilohkareisto osoittaa.

Kaikki mainitut paikalliset tekijät aiheuttavat sen, että moreenin kiviaines ei aina anna yhtenäistä kuvaa sen alueen kallioperästä, jonka yli jäätikkö on kulkenut. Moreenin kivilajikoostumus vaikuttaa useasti siltä, kuin sen kiviainesta olisi sattumanvaraisesti louhittu sieltä täältä jäätikön etenemissuunnassa. Läheskään kaikkia moreenin syntyyn, kulkeutumiseen ja kerrostumiseen vaikuttavia tekijöitä ei ole vielä pystytty selvittämään, ja tästä johtuukin osaksi se sattumanvaraisuus, jolta moreenin petrografinen kokoomus usein vaikuttaa.

Edellä sanottu koskee vain sitä moreenin osaa, josta kivilajimääritys voidaan suorittaa, nim. soraa ja sitä karkeampia lajitteita. Useasti on moreenin aineksesta kuitenkin pääosa hiekkaa tai sitä hienompia lajitteita. Yksityiset rakeet eivät tällöin esiinny kivilajeina, vaan mineraaleina. Moreenin petrografisen koostumuksen määrittäminen on tällöin vaikeampaa, emmekä toistaiseksi tiedäkään moreenin mineraalirakeiden kulkeutumisesta jäätikön mukana maassamme juuri muuta, kuin että se on todennäköisesti pitempi kuin karkeamman aineksen kulkeutumismatka. Kun malminetsinnässä maassamme on viime vuosina moreenin hienomman aineksen geokemiallinen tutkimus voimakkaasti edistynyt, olisi olemassa käytännölliset perusteet teoreettisesti selvittää moreenin mineraalirakeiden kulkeutumista emäkalliostaan. Tällainen olisi suhteellisen helposti ja vähin kustannuksin suoritettavissa esim. siellä, missä esiintyy kallioperässä riittävän runsaasti magneettisesti separoitavia mineraaleja. Näiden kvantitatiivisen määrän tutkiminen moreenin eri lajitteissa ja eri etäisyyksillä emäkalliosta antaisi ainakin paikallisesti vastauksen kysymykseen moreenin hienoimpien lajitteiden kulkeutumismatkasta.

Moreenikivien suuntautuminen ja petrografinen kokoomus yhdessä kallioperän lasiaalisten kulumismuotojen analyysin kanssa tarjoavat useissa tapauksissa hyvän apukeinon moreenista löydetyn malmikiven kulkuun määräämiseksi. Eräät tässä yhteydessä sivuutetut muut moreenitutkimukset, kuten malmikivien lohkarviuhkan määrääminen ja moreenin geokemiallinen tutkiminen, ovat myös usein käytettyjä menetelmiä malmikiven alkuperäistä kulkeutumissuuntaa määrättäessä. Mahdollisimman monen menetelmän yhdistäminen alueelliseksi tutkimukseksi antaa tässäkin tapauksessa luotettavimman tuloksen.

SUMMARY

The glacial erosion forms of rocks and the study of till to facilitate ore prospecting: Important indicators of the trend of glacial erosion on rocks are erosion facets, striations, and various friction cracks. The till fabric likewise yields evidence of the direction of the glacier movement, although it should be taken into consideration that, *e.g.*, a later movement of the ice may have re-arranged the till deposited during an earlier movement. The petrographic composition of the till is affected by numerous local factors, of which the character of the bedrock and the topography are the most important.

KIRJALLISUUTTA

- AUROLA, E. (1955), Über die Geschiebeverfrachtung in Nordkarelien. Geologischen tutkimuslaitos. Geotekn. julk. 56.
- EDELMAN, N. (1949), Some morphological details of the roches mouttonnées in the archipelago of SW Finland. Bull. Comm. géol. Finlande 144.
- (1951), Glacial abrasion and ice movements in the area of Rosola—Nötö, S. W. Finland. Bull. Comm. géol. Finlande 154.
- FLINT, R. E. (1957), Glacial and Pleistocene geology. New York.
- HOLMES, Ch. D. (1941), Till fabric. Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 52.
- HYVÄRINEN, L. (1958), Lyijymalmin geokemiallisesta prospektoinnista Korsnäsissä. Summary: On the geochemical prospecting for the lead ore at Korsnäs. Geologinen tutkimuslaitos. Geotekn. julk. 61.
- HYYPÄ, E. (1948), Tracing the source of the pyrite stones from Vihanti on the basis of glacial geology. Bull. Comm. géol. Finlande 142.
- JOHANSSON, G. (1956), Glacialmorfologiska studier i södra Sverige. English summary: Glacial morphology in Southern Sweden. Medd. Lunds Univ. Geogr. Inst., Avh. 30.
- KIVEKÄS, E. K. (1946), Zur Kenntnis der mechanischen, chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der finnischen Moränen. Acta Agralia Fenn. 60, 2.
- LAITAKARI, A. (1937), Vuosikertomus Geologisen toimikunnan toiminnasta 1936.
- LJUNGNER, E. (1930), Spaltentektonik und Morphologie der schwedischen Skagerrack-Küste III. Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala, XXI.
- LUNDQVIST, G. (1948), Blockens orientering i olika jordarter. Sver. Geol. Unders. Ser. C, N:o 497.
- (1952), Bergarterna i Dalamoränernas block- och grusmaterial. Sver. Geol. Unders. Ser. C, N:o 525.
- OKKO V. (1948), On the origin of the Alavieska pyrite boulder. Bull. Comm. géol. Finlande 142.
- (1950), Friction cracks in Finland. Bull. Comm. géol. Finlande 150.
- REPO, R. (1957), Untersuchungen über die Bewegungen des Inlandeises in Nordkarelien. Bull. Comm. géol. Finlande 179.
- SAKSELA, M. (1949), Lohkaretutkimus ja malminetsintä. Deutsches Referat: Geschiebeforschung und Erzsuche. Terra N:o 1.
- WASHBURN, A. L. (1947), Reconnaissance geology of portions of Victoria Island and adjacent Arctic Canada. Geol. Soc. Am., Mem. 22.
- VIRKKALA, K. (1948), Maalajikartan selitys D 4. Nurmes. Suomen geologinen yleiskartta, 1:400 000.
- (1951), Glacial geology of the Suomussalmi area, East Finland. Bull. Comm. géol. Finlande 155.

SAVI JA SEN TEOLLINEN KÄYTTÖ

JUHO HYYPPÄ

Käsitettä savi on vaikea määrittää täsmällisesti ja samalla yleispätevästi. Sen vuoksi eri tarkoituksia varten laaditut määritelmät poikkeavat toisistaan. Teollisuuden raaka-aineena savi voidaan määrittää seuraavasti: erittäin pienistä rakeista, olennaiselta osalta vesipitoisista silikaattimineraleista, ns. savimineraleista, koostunut luonnontuote, joka murskautuu helposti ja jolla on merkittävä plastisuus sekoitettaessa siihen sopiva määrä vettä. Plastisuudella tarkoitetaan, että kun saven vesipitoisuus on määrättyjen raja-arvojen (ns. kiinteän saven ja nestemäisen savi-vesi-seoksen) välissä, voidaan sitä muovata haluttuun muotoon ja saatu muoto säilyy käsittelyn jälkeen. Savi saa kuivuessaan nahkamaisen kovuuden, ja poltettaessa se muuttuu kivimäiseksi. Saven rakeiden koon mittasuhteita selvittää maamme maalajien luokittelussa yleisesti noudatettu käytäntö, jonka mukaan täytyy alle 0.002 mm:n kokoisten rakeiden eli ns. savilajitteen painoprosenttiluvun olla yli 30.

Savea muodostuu maapallon pinnalla ja lähellä pintaa vallitsevissa olosuhteissa. Ilma, vesi ja sen muut olomuodot, kasvi- ja eläinmaailman toiminnot sekä monissa muissa luonnon tapahtumissa syntyvät kemialliset yhdisteet hajoittavat maapallon pinnalla kiviä yhä pienemmiksi ja pienemmiksi osiksi, aiheuttavat niissä muutoksia alkuaineiden keskinäisissä paljousuhteissa ja mineraalikoostumuksessa. Lopputuloksena tästä auringon energian ylläpitämästä fysikaaliskemiallisesta rapautumisilmiöstä syntyy myös savea joko residuaalisina tai sedimenttisinä muodostumina. Toiset savet ovat syntyneet maapallon pinnan alapuolelta tulevan energian avulla, lämmön ja kemiallisten yhdisteiden vaikutuksesta; esim. muutaman sadan asteen lämpötilassa olevien CO₂- ja SO₂-pitoisten liuosten purkautuessa ylöspäin voi sivukivenä oleva graniitti kaoliiniutua. Näitä muutoksia kutsutaan hypogeenisiksi tapahtumiksi. Siten syntyneet savet esiintyvät taval-

lisesti residuaalisina savina, mutta myös uuteen paikkaan siirtyneinä sedimenttisavina.

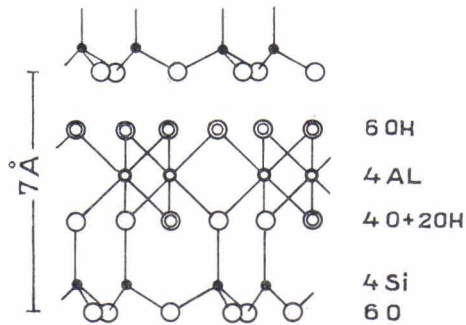
Savi on vanhimpia ihmisen käyttämiä tarveaineita. Kun on ruvettu puhumaan teollisuuden raaka-aineista, on niihin kuulunut myös savi. Saven monet ominaisuudet ovat olleet tunnettuja vuosituhansien ajan, mutta näihin ominaisuuksiin eniten vaikuttava tekijä, pienikokoisimpien aineosasten rakenne on selvitetty vasta tällä vuosisadalla. Savien ominaisuuksien vaihtelun vuoksi niiden teollisessa käytössä esiintyi monia vaikeuksia, koska ei oltu selvillä muutoksien syy-yhteyksistä. Röntgendiffraktio- ja ns. DTA-menetelmät ovat olleet ratkaisevana apuna todettaessa saven pienimpienkin osasten olevan pääasiallisesti kiteistä ainesta. Lisäksi eri savien kiderakenteet ovat hyvin erilaisia.

Kolmen viime vuosikymmenen tutkimuksien tuloksena on todettu, että savien ominaisuuksiin vaikuttavat pääasiassa seuraavat tekijät:

- 1) Saven savimineraalikoostumus: mineraalilajit, niiden määrä ja raekoko.
- 2) Saven muiden mineraalien koostumus: mineraalilajit, niiden määrä ja raekoko.
- 3) Saven vaihtokykyiset ionit ja vesiliukoiset suolat, niiden laatu ja määrä.
- 4) Orgaanisen aineksen laatu ja määrä.

Yleiskäsityksen saamiseksi savien teollisesta käytöstä voidaan ne jakaa savimineraalikoostumuksen mukaan kolmeen ryhmään: kandiittimineraaleja (kaoliittimineraaleja), smektiittimineraaleja (montmorilloniittimineraaleja) ja kiillemäisiä savimineraaleja sisältävät savet. Tällöin jäävät kuitenkin käsittelyn ulkopuolelle esim. vermikuliitti- ja kloriittiryhmät sekä nauhasilikaatteihin kuuluvat attapulgiitti- ja sepioliittiryhmät, koska ne ovat harvoin ominaisuuksia määräävänä aineksena savissa. Kandiittiryhmään kuuluvia halloysiittimineraaleja ei myöskään tarkastella niiden erikoisominaisuuksista huolimatta. Siirryttäessä käsittelemään kolmea savimineraalikoostumuksen mukaan nimitettyä savityyppiä on muistettava, että on erittäin vaikea löytää vain yhden savimineraaliryhmän mineraaleja sisältävää savea. Saven ominaisuuksiin eniten vaikuttavan ryhmän lisänä on toisia savimineraaliryhmiä ja lisäksi muita mineraaleja. Erityisesti näin on tilanne kiillemäisiä savimineraaleja sisältävässä ryhmässä.

Nimistön käyttö savimineralogiassa ei ole kiteytynyt vielä yleisesti hyväksytyksi järjestelmäksi. Tässä kirjoituksessa on käytetty kaoliniitti- ja montmorilloniittiryhmistä uusia nimiä kandiitit ja smektiitit Brownin (1955) ja Mackenzien (1959) mukaan, koska kaoliniitti- ja montmorilloniittinimiä on käytetty sekä mineraaliryhmän että mineraalilajin niminä. Smektiitti-sana on lisäksi huomattavasti vastinettaan lyhyempi.



Kuva 1. Kandiittimineraalien (kaolinitimineraalit) hilarakenne.

KANDIITTIMINERAALEJA SISÄLTÄVÄT SAVET

Kandiittimineraalien rakenne on muodostunut siten, että yksi pii- ja happiatomeista muodostunut ns. piitetraedrikerros ja yksi aluminium- ja happiatomeista sekä hydroksyyliyhdistä rakentunut ns. aluminiumoktaedrikerros (gibbsiitti-rakenne) ovat liittyneet yhteiseksi kerrostoksi piitetraedrien happiatomien välityksellä (kuva 1). Näin muodostunut rakenne kertautuu kuin kortit pakassa. Nykyisen tietämyksen mukaan pitävät päällekkäisiä kerrostoja koossa pääasiassa van der Waalsin voimat. Kerrostot voivat kytkeytyä päällekkäin eri tavoilla ja sen perusteella poikkeavat kandiittiryhmän mineraalit toisistaan, esim. kaoliniitti dickiitistä tai nakriitistä.

Aluminiumoktaedrien keskustapaikoista aluminium on miehittänyt vain kaksi kolmasosaa, muut ovat vapaita. Lisäksi on todettu aluminiumin korvautumisen muilla alkuaineilla olevan erittäin vähäistä. Siksi kandiittimineraaleilla on hilassa varaustasapaino ja pieni ioninvaihtokyky. Samasta syystä kandiittiryhmän mineraaleja sisältävien savien plastisuus ja sitomiskyky ovat pienet verrattuna kahteen muuhun käsiteltävänä olevaan saviinryhmään (taulukko 1), mikäli raekoot ovat edes likipitäen samaa suuruusluokkaa. Esitetyn kiderakenteen mukaan sisältää esim. kaoliniittimineraali teoreettisesti 46.54 % piihappoa, 39.50 % aluminiumoksidia ja 13.9 % vettä. Vesi poistuu kuumennettaessa alle 600° C:n lämpötilassa. Jäljelle jäävät komponentit Al_2O_3 ja SiO_2 muodostavat systeemin, jonka sulamispiste on korkea. Puhtaimmilla tämän ryhmän savilla on Segerin keilamenetelmällä määrätty sulamispisteet SK 36 eli n. 1 800° C, ja niiden väri on polttamatomana ja poltettuna puhtaan valkoinen.

Maassamme on tavattu pääasiassa kandiittiryhmän savimineraaleja sisältäviä savia Itä- ja Pohjois-Suomessa. Puolangan ja Kuusamon esiintymät ovat tunnetuimmat, mutta kumpikaan ei ole nykyisin käytössä.

Taulukko 1. Muutamien savimineraalien Atterbergin plastisuusluvut
(White 1949)

Savimineraali	Raekoko μ	Plastisuusrajat		Plastisuusluku
		alaraja	yläraja	
Kaoliiniitti				
Union Co., Illinois		36.29	58.35	22.06
(hienorakeinen)	< 1.0	37.14	69.20	27.06
Twiggs Co., Georgia	0.5	39.29	71.60	32.31
(karkearakeinen)		29.86	34.98	5.12
Montmorilloniitti				
Belle Fourches, S. Dakota		97.04	625—700	528—603
(Na-Montmorilloniitti)				
Pontotoc, Mississippi		81.41	117.48	36.07
(Ca-Montmorilloniitti)	< 1.0	109.48	175.55	66.07
Illiiitti				
Grundy Co., Illinois		35.70	61.20	25.50
	< 1.0	39.59	83.00	43.41
	0.5	52.27	103.65	51.38
La Salle Co., Illinois		24.75	35.90	11.15
	< 1.0	46.21	85.55	39.34
	0.5	52.98	111.25	58.27
Vermilion Co., Illinois		23.87	29.05	5.18
	< 1.0	44.44	95.05	50.61
	0.5	44.90	—	—
Jackson Co., Ohio		28.77	53.95	25.18
	< 1.0	35.16	61.25	26.09

Puolangan esiintymän ainesta on Väyrynen (1930) pitänyt serisiittikvartsiitteja vanhempana ja Frosterus (1928) ko. kvartsiitteja nuorempana rapautumistuotteena. Soverin (1957) tutkimuksen mukaan maamme kvartääriset savet eivät sisällä varmasti edes vähäisiä määriä kandiittiryhmän savimineraaleja.

Teollisuuden ja kaupan piirissä jaetaan pääasiassa kandiittimineraaleja sisältävät savet ainakin kolmeen ryhmään: *kaoliinit*, *ball clay* ja *fire clay* savet. Kaoliinit ovat puhtaimpia kandiittisavia ja niitä saadaan useimmiten hydrotermisesti syntyneistä muodostumista. Kautta maailman tunnettuja kaoliiniesiintymiä ovat mm. Cornwall ja Devon Englannissa ja Zettlitzer Tšekkoslovakiassa. Kaoliineja käytetään eniten paperin valmistuksessa. Paperin täyte- ja peiteaineina käytetyn kaoliinin täytyy olla puhtaan valkoista ja raekoostumukseltaan sopivaa. Täyteaineena käytetyt kaoliinit ovat karkearakeisempia kuin peiteainekaoliinit. Muut tärkeät kaoliinin käyttöalueet ovat hienokeraaminen teollisuus ja tulenkestävien tuotteiden valmistus, väri-, kumi-, sementti-, laasti-, lääke- ja kosmeettinen teollisuus.

Ball clay savet ovat saaneet nimensä Englannissa esiintyvistä suolattomaan veteen kerrostuneista mioseeniajan savista. Ne ovat hienojakoisempia, plastisempia, epäpuhtaampia ja vähemmän käytettyjä kuin kaoliinit.

Niitä tarvitaan hienokeraamisessa teollisuudessa, kivitavaran, lattia- ja seinätiilien sekä tulenkestävien tuotteiden valmistuksessa. Halvimpia *ball clay* savia käytetään täyteaineena kumi-, maali- ja muoviteollisuudessa.

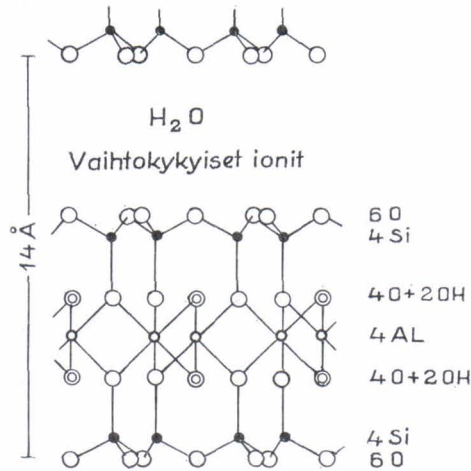
Fire clay savet ovat tunnetuimpia tulenkestäviä savia ja niitä käytetään tulenkestävien tuotteiden valmistuksessa, esim. tulenkestävien tiilien ainekseksi. Niiden pehmenemispisteen on oltava vähintään $1\,500$ — $1\,600^\circ\text{C}$, eivätkä ne saa paljon kutistua poltettaessa. Englannin tärkeimmät *fire clay* muodostumat ovat geologiselta iältään kivihilikautisia. Muutamien aines ei ole enää plastista (ns. *flint clay*).

Suomen virallisen tilaston ulkomaankauppaa käsittelevän vuosijulkaisun mukaan maahamme tuotiin vuonna 1958 kaoliinia lähes 63 000 tonnia, raha-arvoltaan n. 386 miljoonaa markkaa. Melkein koko määrä tuli Englannista. Muun tulenkestävän saven tuontimäärä oli 45 000 tonnia, arvoltaan 171 miljoonaa markkaa. Lisäksi tuotettiin maahan näistä saviraaka-aineista valmistettuja tavaroita huomattava määrä. Maamme paperiteollisuus on käyttänyt kaoliinia vuosittain n. 50 000 tonnia ja hienokeraaminen teollisuus n. 8 000 tonnia.

SMEKTIITTIMINERAALEJA SISÄLTÄVÄT SAVET

Kun kandiittimineraalien kiteissä SiO_4 -tetraedrikerrosten ja ns. aluminiumoktaedrikerrosten suhde on 1:1, niin vastaava luku on smektiittimineraaleissa 2:1. Ko. kerroksien yksityiskohtaisesta järjestäytymisestä yhteisiksi kerrostoiksi on eri mielipiteitä, mutta niihin ei ole mahdollista puuttua tarkemmin tässä yhteydessä. Kuvassa 2 esitetty luonnos on Hoffmannin, Endellin ja Wilmin (1933), Marshallin (1935) ja Hendricksin (1942) käsitysten mukainen. Siinä on oktaedrikerros kahden SiO_4 -tetraedrikerroksen välissä ja tetraedrien kärjet ovat suuntautuneet asematasopintoja vastaan kohtisuorina sisään päin. Edelmannin ja Favejeen (1940) käsityksen mukaan puolet SiO_4 -tetraedrien kärjistä on suuntautunut vastakkaiseen suuntaan eli ulospäin, ja näissä kärjissä on hapen tilalla OH-ryhmä.

Smektiittimineraaleille ominainen piirre on huomattava diadokia. Esim. dioktaedrisissa smektiiteissä voivat aluminium-ionit korvautua oktaedreissa kokonaan tai osaksi muilla kolmiarvoisilla ioneilla, esim. Fe^{+3} :lla ja Cr^{+3} :lla, sekä osaksi kaksiarvoisilla ioneilla, esim. ryhmän yleisimmässä mineraalissa montmorilloniitissa Mg^{+2} :lla. Lisäksi on SiO_4 -tetraedreissä todettu aluminiumin korvaavan osaksi piitä. Huomattavan diadokian takia on ko. mineraaleissa tuntuva positiivisten varausten vaje. Se aiheuttaa kationien ja dipooliluonteisten molekyylien, esim. veden, kiinnittymisen päällekkä-



Kuva 2. Smektiittimineraalien (montmorilloniittimineraalit) hilarakenne.

käisten kerrosten väliin ja kiteiden ulkopinnoille. Pällekkäisten kerrosten keskeiset sidokset ovat löyhiä. Sitä osoittaa, että kerrosten välissä olevat kationit voidaan helposti vaihtaa toisiin kationeihin. Myös veden määrä vaihtelee hilassa ympäristön kosteuden mukaan. Smektiitit ovat ns. paisuvahilaisia mineraaleja, mihin perustuu niiden tunnistaminen röntgendiffraktiomenetelmällä. Kun smektiittimineraalihilojen mitat muuttuvat herkästi C-akselin suunnassa, voivat pienet kiteet myös rikkoutua helposti yhä pienemmiksi, jos vettä pääsee tunkeutumaan runsaasti päällekkäisten kerrosten väliin.

Smektiittimineraalirakeiden hienojakaisuuteen ja huomattavaan ioninvaihtoon kytkeytyvä suuri adsorptiokyky ja plastisuus (taulukko 1) muihin käsiteltävinä oleviin savimineraalityyppeihin verrattuna sekä helposti synnyttävä tiksotropia-ilmiö, jolla tarkoitetaan liukseen sekoitetun savimineraalisoolin muuttumista geeliksi, ovat ne ominaisuudet, joita käytetään hyödyksi ennen kaikkea öljyjen puhdistamisessa, valuhiekköjen sitomisessa valimoissa ja ns. porauslietteessä poraustekniikassa. Kun smektiittimineraalien kemiallinen koostumus vaihtelee melko paljon, on pääosaltaan niistä muodostuneissa savissa yhteisten piirteiden lisäksi myös toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Erityisen merkittävä ominaisuuksiin vaikuttava tekijä smektiittimineraalilajin ohella on vaihtuvien kationien laatu, joita vaihtamalla smektiittisavien ominaisuuksia voidaan muuttaa melkoisesti.

Smektiittimineraaleja sisältävät savet tunnetaan kaupassa ja teollisuudessa bentoniitteina, mutta ns. *fuller earth* on usein saman ryhmän mineraaleista koostunut tuote. Bentoniitti nimi on tullut ensin käytäntöön

Wyomingin liitukautisesta muodostumasta Fort Bentonin läheltä löydetyn erittäin hienorakeisen ja plastisen vulkaanisesta tuhkasta rapautumalla muodostuneen saven mukaan. Wyomingin bentoniittiesiintymä Yhdysvalloissa on vieläkin maailman tunnetuin, ja sen savissa on smektiittiryhmän mineraalina montmorilloniitti sekä vaihtuvana kationina natrium. Savi on erittäin paisuvaa, kuten kaikki Na-bentoniitit, ja soveltuu erityisesti valimoiden käyttöön ja porauslietteeksi, mutta esim. öljyjen puhdistukseen ja katalyysaattorien valmistukseen sitä ei käytetä. Värien adsorptioon ja öljyjen kirkastamiseen kelpaavat lähinnä ne bentoniitit, joiden vaihtuvana kationilajina ovat magnesium ja kalsium. Nämä savet eivät paisu niin runsaasti kuin Na-bentoniitit, ja siksi niitä joskus kutsutaan paisumattomiksi bentoniiteiksi tai metabentoniiteiksi. Na- ja Ca-bentoniittien monet fysikaaliset ominaisuudet, kuten pehmenemispiste (n. 1 140—1 160° C) ja sulamispiste (n. 1 350° C) sekä suuri kuivauskutistuma, ovat suurin piirtein samanlaisia. Sekä Na- että Ca-bentoniitteja voidaan käyttää valuhiekköjen sitomisaineena, jolloin Na-bentoniiteilla saadaan vähäinen tuorelujuus ja huomattava kuivalujuus, kun taas Ca-bentoniitteja käytettäessä tilanne on päinvastainen.

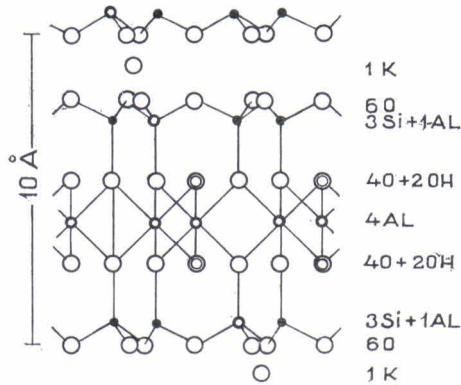
Useimmat käytössä olevat bentoniitti-esiintymät ovat geologiselta iältään tertiäärisiä. Muutamat metabentoniittiesiintymät ovat paleotsooisia. Suomessa ei ole tavattu bentoniitteja, vaan ainoastaan muutamia pieniä smektiittimineraaliesiintymiä kallionraoissa lähinnä savimineralogisina harvinaisuuksina. Esim. Lappväärtissä olen todennut saponiittia juonimuodostumana.

Maahamme tuotetun bentoniitin määrä sisältyy ulkomaankaupassamme nimikkeeseen muu savi, joten ei ole olemassa tarkkoja lukuja bentoniitin tuonnista. Merkittävä osa nimikkeestä muu savi, jonka määrä vuonna 1958 oli 2.6 miljoonaa kiloa ja sen raha-arvo 38.8 miljoonaa markkaa, on kuitenkin bentoniittia. Yhdysvalloista oli tuonti 1.2 miljoonaa kiloa.

KIILLEMÄISIÄ SAVIMINERAALEJA SISÄLTÄVÄT SAVET

Monissa saviliuskeissa ja nuorimmissa savisedimenteissä on runsaasti kiderakenteeltaan kiillemineraalien kaltaisia, mutta lähinnä kemialliselta koostumukseltaan ja raekooltaan niistä poikkeavia savimineraaleja, joita kutsutaan ryhmänä joko kiillemäisiksi savimineraaleiksi, hydrokiilteiksi tai illiiteiksi. Ehdottoman täsmällistä ja yleisesti hyväksyttyä nimitystä ei ole vakiintunut käyttöön. Ryhmän savet sisältävät yleisesti myös muita savimineraaleja.

Kiillemäisiksi savimineraaleiksi kutsuttujen savimineraalien rakenteen kuvaus voidaan suorittaa esim. dioktaedrisen kiilleryhmän edustajan musko-

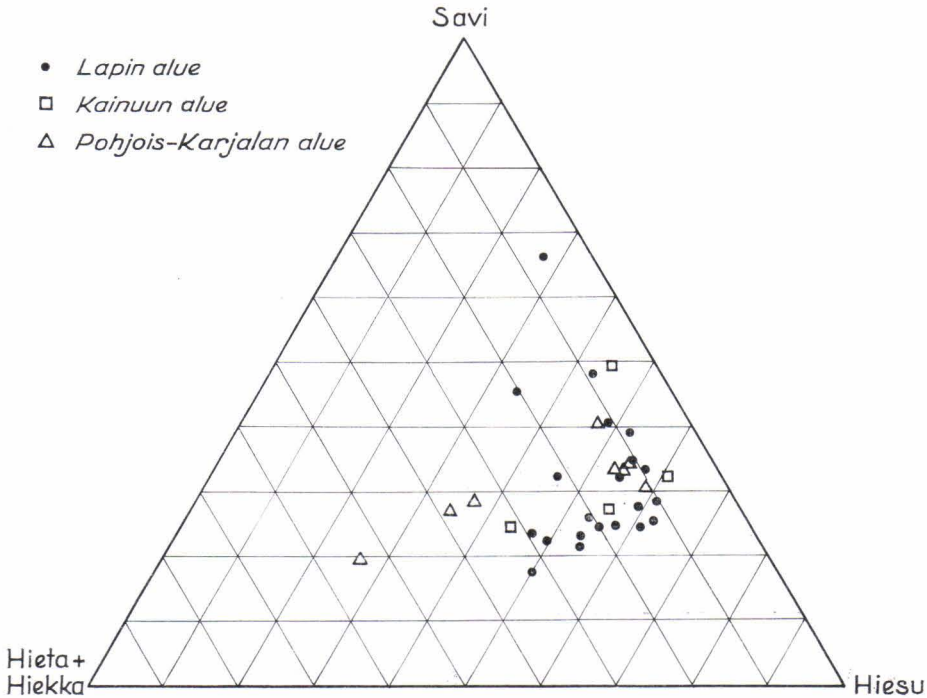


Kuva 3. Muskoviitin hilarakenne.

viitin avulla (kuva 3). Muskoviitin kiderakenteen kerrostot muodostuvat smektiittien tapaan kahdesta SiO_4 -tetraedri- ja yhdestä aluminiumoktaedrikerroksesta. Pällekkäin asettuneita kerrostoja sitovat toisiinsa kalium-ionit sähköisin voimin. Tetraedrikerroksen joka neljännen piin korvautuminen aluminiumilla aiheuttaa hilassa yhden yksikön suuruisen positiivisen varausvajakuksen. Smektiittien vastaava arvo on 0,33. Kalium-ionit sitovat kerrostoja toisiinsa niin lujasti, ettei vesi pääse tunkeutumaan niiden väliin kuten smektiitteihin, ja sen vuoksi muskoviitti ei ole paisuvahilainen.

Kiillemäisten savimineraalien hilarakenne on sama kuin muskoviitin ja biotiitin, mutta niiden kalium-pitoisuus on pienempi sekä vesipitoisuus suurempi kuin karkearakeisempien kiillemineraalien. Kaliumin määrän väheneminen tapahtunee $(\text{H}_3\text{O})^+$ -ionin tunkeutumisena kerrostojen väliin, kuten Norrish ja Brown (1952) ovat esittäneet. Lisäksi saattavat Na- ja Ca-ionit korvata kaliumia. Kiillemäisissä savimineraaleissa voidaan täten todeta smektiittimineraalien ominaisuuksien vivahte. Vähän kaliumia ja runsaasti vettä sisältävissä tämän ryhmän mineraaleissa on todettu röntgendiffraktiotuloksissa 10 Å:n viivan vähäinen siirtymä pieniin kulmiin päin. Kiillemäisten savimineraalien kemiallinen koostumus vaihtelee runsaasti. Ne sisältävät piin, aluminiumin, raudan jne. lisäksi huomattavasti maa-alkaleja ja alkaleja.

Kemiallisen koostumuksen vuoksi on kiillemäisten savimineraalien tulenkestävyys huono ja polttoväri ruskehtava, punertava tai kellertävä. Niiden ioninvaihtokyky ja plastisuusarvot ovat usein kandiitti- ja smektiittimineraalien vastaavien arvojen välillä (taulukko 1). Kiillemäisiä savimineraaleja sisältävät savet soveltuvat lähinnä raskaaseen keraamiseen teollisuuteen ja sementtiteollisuuteen.

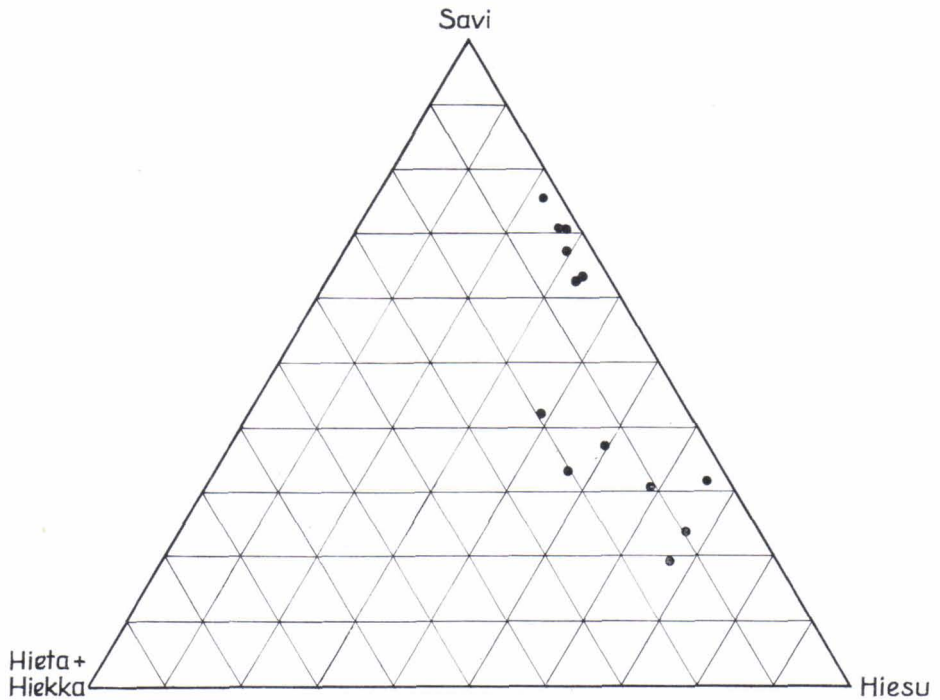


Kuva 4. Lapin, Kainuun ja Pohjois-Karjalan savet ja hiesut.

MAAMME SAVET TIILITEOLLISUUDESSA

Maamme kvartaariset savet sisältävät Soverin (1957) tutkimuksen mukaan olennaisimpana osana kiille- ja hydrokiilleryhmän mineraaleja. Hydrokiilteet ovat trioktaedrista illiittiä sekä kiilteiden ja hydrokiilteiden muodostamia seoshilamineraaleja. Lisäksi ne sisältävät kloriitti- ja vermikuiliittiryhmän mineraaleja sekä kvartsia, maasälpää ja amfiboleja. Raesuuskoostumukseltaan likimain samanlaisten savien mineraalikoostumuksen vaihtelut ovat suhteellisen vähäisiä, mutta savilajitteen osuuden lisääntyessä kasvaa myös varsinaisten savimineraalien osuus.

Mineraalikoostumuksen perusteella ovat kvartaaristen savien pehmenemis- ja sulamispistelämpötilat alhaiset eli 1 100—1 200° C, mutta sitä ennen ne palavat kovaksi 900—1 000° C lämpötila-alueella ja saavat tällöin tavallisesti punaisen polttoväriin. Nämä yleiset ominaisuudet ilmaisevat meikäläisten savien soveltuvan keraamisessa teollisuudessa lähinnä tiilien valmistukseen. Kaikki savet eivät ole kuitenkaan samanarvoisia ja kelvollisia tiilien tekoon, vaikka niiden mineraalikoostumuksen vaihtelut ovat vähäisiä. Saven erilaisuuden syynä ovat ennen kaikkea niiden kerrostumisen

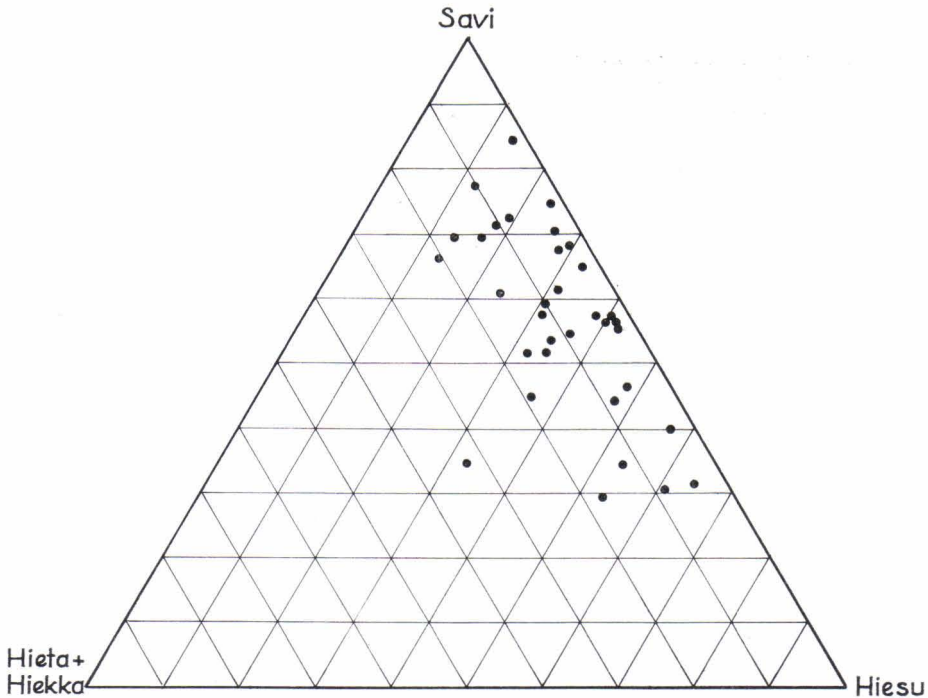


Kuva 5. Järvi-Suomen savet ja hiesut.

aikana vallinneet erilaiset olosuhteet, jotka ilmenevät lähinnä raesuuruuskoostumuksen, orgaanisen aineksen ja vesiliukoisten suolojen määrän vaihteluina.

Tiilien valmistukseen käytettävän saven erikokoisten rakeiden määräsuhteiden on oltava sellaiset, että hienorakeisin lajite, ns. sitova aines, riittää juuri peittämään karkeammat rakeet. Vaatimuksen täyttävät parhaiten ns. suhteistuneet savet, joissa savilajitteen osuus on 30—40 ja hiesulajitteen 35—45 painoprosenttia sekä loput hietalajitetta. Vähemmän suhteistuneistakin savista, joissa savilajitteen määrä on esim. 40—60 painoprosenttia, voidaan laihdutusainetta sopivasti lisäämällä saada tiilien valmistukseen kelpaavaa ainesta. Runsaasti humusta ja meidän savissamme samalla runsaasti liukoisia suoloja sisältävät savet ovat laadultaan huonoja teolliseen käyttöön, varsinkin jos ne ovat erittäin laihoja tai lihavia.

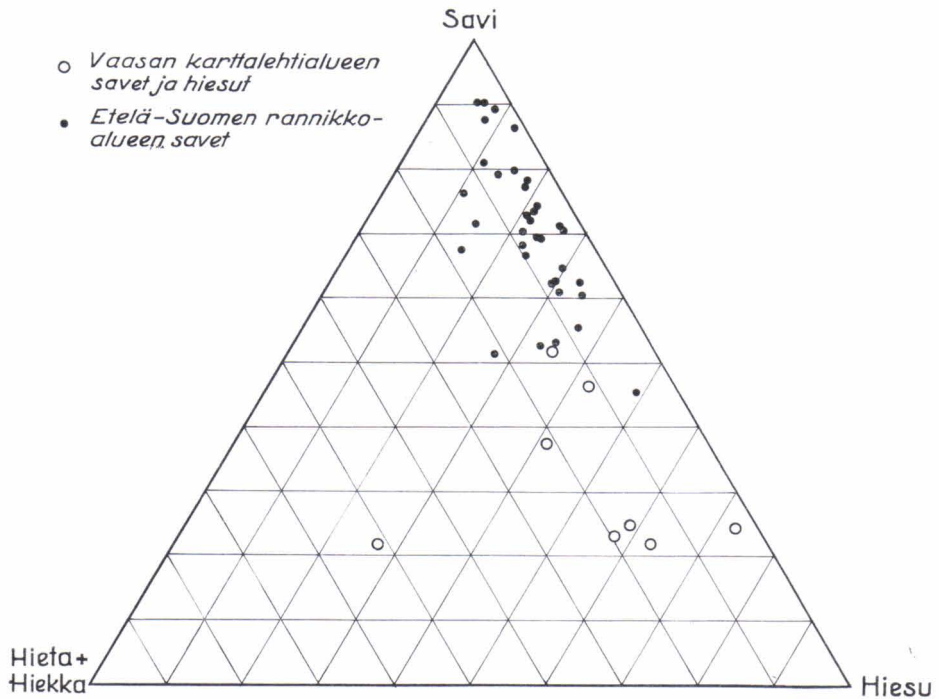
Kuvissa 4—7 on esitetty kolmiodiagrammien avulla maamme kvartääristen savien ja osaksi muiden hienorakeisten sedimenttien alueittaista raesuuruuskoostumusta geologisessa tutkimuslaitoksessa suoritetujen tutkimusten mukaan. Kuvassa 4 nähdään vähäsavisen alueen eli Lapin, Kainuun ja Pohjois-Karjalan hienojakoisten sedimenttien raesuuruuskoostumuksia.



Kuva 6. Etelä- ja Lounais-Suomen glasiaalisavet.

Tiilien tekoon kelpollisia saviesiintymiä on sielläkin, mutta ne ovat kooltaan pieniä. Usein on alueen laihoissa savissa hiesulajitteen määrä suuri eli n. 55—60 %, jolloin niistä valmistetut tiilet ovat lujudeltaan heikkoja ja niiden vedenimukyky suuri sekä säänkestävyys heikko. Tilavuuspaino saattaa olla suhteellisen pieni, mutta plastisuus ja sitomiskyky ovat siksi vähäiset, ettei sahajauhoa voi käyttää. Järvi-Suomen savista on kuvassa 5 niukasti havaintoja, mikä johtuu sekä geologisen tutkimuslaitoksen tällä alueella suorittamien tutkimuksien että saviesiintymien vähäisyydestä. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että alueelta on mahdollista tavata tiiliteollisuudelle raesuuruuskostumukseltaan erinomaisia glasiaalisavia, joskin esiintymät ovat pienialaisia.

Etelä- ja Lounais-Suomessa saviesiintymät yleistyvät ja glasiaalisavet muuttuvat enemmän savilajitetta sisältäväksi (kuva 6). Salpausselkämuodostuman läheisyydestä on löydetty maamme parhaat tiilisavet. Ne saattavat toisinaan vaatia laihdutusainelisyksen, mutta ko. suhteutuksen suoritus ei tuota vaikeuksia, koska laihdutukseen tarvittavia lajitteita on käytettävissä riittävästi. Kattotiilien valmistukseen käytetään ainoastaan Etelä- ja Lounais-Suomen savia. Mitä enemmän etelään ja lounaaseen



Kuva 7. Suomenlahden ja Pohjanlahden rannikkoalueen postglasiaalisavet ja -hiesut.

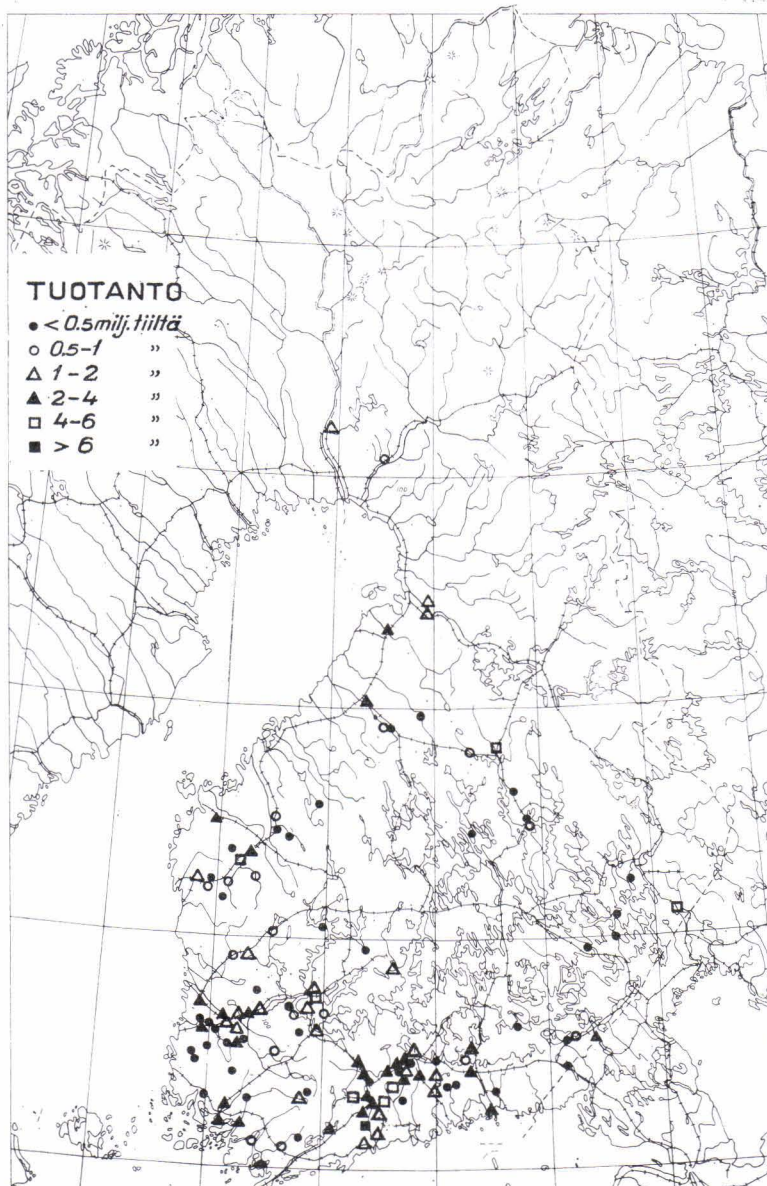
siirrytään, sitä lihavammiksi savet muuttuvat ja sitä enemmän alkaa ilmaantua laihdutusvaikeuksia.

Pohjanlahden ja Suomenlahden rannikkoalueilla ovat glasiaaliset savet postglasiaalisten savien peittämät. Glasiaalisavia saattaa esiintyä maan pinnassa vain rinteillä. Kuvassa 7 nähdään Suomenlahden rannikkoalueen savien olevan erittäin lihavia, ja ne sisältävät lisäksi runsaasti humusta ja vesiliukoisia suoloja. Sen tähden ne ovat usein huonoja tiilisavia, koska niiden kuivaus- ja polttokutistumat ovat erittäin suuret ja tiilet rikkoutuvat helposti. Pohjanlahden rannikkoalueen savet ovat taas usein laihoja (kuva 7) ja sisältävät siksi runsaasti haitallisia rikkiyhdisteitä ja vesiliukoisia suoloja, että myös ne ovat huonoa tiilien raaka-ainetta.

Kuvassa 8 on esitetty tiilitehtaiden sijainti ja muuritiilien tuotanto vuonna 1955 tilastollisesta päätoimistosta kerätyn aineiston mukaan (Okko 1957). Kartasta nähdään selvästi tiilitehtaiden huomattava keskittyminen ns. hyvien savien alueelle. Eniten tiilitehtaita on Jokelan ja Hämeenlinnan sekä Riihimäen ja Lahden välillä. Järvi-Suomen, Lapin, Kainuun ja Pohjois-Karjalan sekä ns. Suomenselän alueella tehtaita on niukasti, joskin kysyntä on myös näillä alueilla vähäisin. Vuonna 1957 oli Suomen tiiliteollisuuden

SUGMI - FINLAND.

1:400 000



Kuva 8. Tiilitehtaiden sijainti ja tuotanto vuonna 1955 (Okko 1957).

tuotanto 710 000 tonnia (Holma 1958), mistä sala-ojaputkien ja katto-tilien osuus oli 50 000 tonnia. Vuonna 1958 aleni tuotanto taloudellisen laskukauden johdosta 605 000 tonniin. Suomen virallisen teollisuustilaston mukaan oli vuonna 1957 tiilitehtaiden tuotannon arvo n. 2.8 miljardia markkaa ja raaka-aineena käytetyn saven määrä vähän yli miljoona tonnia, raha-arvoltaan 31.8 miljoonaa markkaa.

SAVI SEMENTTITEOLLISUUDESSA

Kun poltetaan oikeissa painosuhteissa valmistettu jauhetun kalkkikiven ja saven seos, tavallisesti 1 osa savea ja 3—4 osaa kalkkikiveä, sintrautumislämpötilaan saakka, saadaan jäähtyneestä polttotuotteesta eli ns. klinkkeristä jauhamalla hydraulinen, sementiksi nimitetty sidonta-aine, jonka käyttö betonin valmistuksessa on yleisesti tunnettu. Hydraulisella sidonta-aineella tarkoitetaan, että kovettuminen esim. betonissa tapahtuu veden mukana ollessa, kun taas sammutetusta kalkista, hiekasta ja vedestä tehty laasti kovettuu ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Savi on siten hydraulisuuden tuoja.

Valmistettaessa sementtiä polttouunissa nostetaan lämpötila runsaasti yli 1 000° C:n, jolloin sekä saven että kalkkikiven mineraalien rakenteet ehtivät hajota ja muodostuu uusia mineraaleja, joiden kemialliset koostumukset ovat pääasiallisesti trikalsiumsilikaattia, dikalsiumsilikaattia, tetra-kalsiumaluminiumferriittiä ja trikalsiumaluminaattia. Yleensä melkein kokonaan kalkkikivestä peräisin oleva CaO on reaktiotulosten emäksinen komponentti ja saven ainekset, SiO₂, Al₂O₃ ja Fe₂O₃, ovat taas happoanhydridejä. Sementin valmistuksessa on nämä pääkomponentit suhteutettava niin, että saadaan tarkoitetut reaktiotuotteet. Raaka-aineseoksen laskemista varten on kirjallisuudessa monia valmiita kaavoja, jotka kuitenkin poikkeavat toisistaan lähinnä sen vuoksi, ettei sementin kaikkia reaktioita tunneta niiden moninaisuuksien takia yksityiskohtaisesti. Arvosteltaessa saven kelpoisuutta sementin valmistukseen määrätynkokoomuksisen kalkkikiven kanssa ratkaisu perustuu pääasiallisesti saven kemiallisen koostumuksen tuntemiseen.

Eniten käytettyjen sementtien (ns. Portland-sementtien) kemiallinen koostumus voi vaihdella Kühlin (1951) mukaan seuraavasti: CaO 59—67 % SiO₂ 16—26 %, Al₂O₃ 4—8 %, Fe₂O₃ 2—5 %, MgO 0.3—5.0 %, K₂O 0.4—0.9 %, Na₂O 0.2—0.6 %, SO₃ 0.5—3 % ja S 0—2 %.

Sementin ominaisuuksia tarkastellaan usein sen sisältämien pääkomponenttien tiettyjen suhteiden avulla. Kauan käytetty on ollut ns. hydraulinen moduli, jolla merkitään CaO-painomäärän suhdetta SiO₂- ja Al₂O₃-painomäärien summaan. Sen lukuarvojen vaihtelualue on 1.8—2.2. Toinen tunnettu suhdeluku on ns. silikamoduli ja sillä tarkoitetaan SiO₂-määrän

suhdetta Al_2O_3 - ja Fe_2O_3 -määrien summaan. Tavallisten Portland-sementtien silikamoduli on 1.8—3.0 ja käytännössä on edullista valmistaa sementtejä, joiden silikamoduli on 2.3—2.8. Al_2O_3 -määrän suhde Fe_2O_3 -määrään vaikuttaa huomattavasti sementin ominaisuuksiin. Runsaasti Al_2O_3 :a sisältävät sementit sitovat nopeasti, kun taas Fe_2O_3 -määrän kasvaessa sitomistapahtuma hidastuu. Al_2O_3 -moduli vaihtelee alueella 1.5—4.0. Erittain haitallisia aineita ovat magnesium- ja rikkiyhdisteet, jos niitä on savessa paljon. MgO-määrän täytyy jäädä alle 5 % ja SO_3 -määrän alle 2.5—3.0 %. Runsa alkalipitoisuus on myös haitallinen, vaikka sillä onkin toisaalta sintrautumista edistävä vaikutus.

Tavallisen Portland-sementin valmistukseen melko puhtaan kalkkikiven kanssa soveltuvat parhaiten sellaiset savet, joiden silikamoduli on 2.0—2.6 ja Al_2O_3 -moduli 1.5—2.5. Maamme kvartaaristen savien 50 analyysituloksesta lasketun tilaston mukaan vaihteli niiden silikamoduli 1.5—3.8 ja Al_2O_3 -moduli 1.2—4.1. Silikamoduli oli alle 1.8 neljässä ja yli 3.0 kuudessa savessa, kun taas alle 2.0 se oli kymmenessä ja yli 2.6 kahdeksassa tapauksessa. Al_2O_3 -moduli oli alle 1.5 kolmessa ja yli 2.5 viidessätoista savessa. Noin 40 %:lla savista olivat molemmat modulit ns. normaalisien sementtisaven arvojen alueella. Tämän suhteellisen niukan aineiston avulla ei voi tehdä vielä yleisiä johtopäätöksiä. Lukujen perusteella todettakoon vain, että maassamme on sementtiteollisuuteen soveltuvia savia ja vieläpä kalkkikiviesiintymien lähetyvillä. Sellaisenaan soveltumaton savi-kalkkikivi-seos saadaan oikein suhteutetuksi tarpeellisten lisäaineiden avulla.

Maamme sementtiteollisuuden tuotanto oli vuonna 1958 957 000 tonnia (Junttila 1958) ja raha-arvoltaan noin 5 miljardia markkaa.

SUMMARY

Clay and its industrial utilization: Properties with a bearing on the industrial utilization of clay are: mechanical composition, mineral composition, chemical composition and the nature and amount of organic material. The clays of Finland contain chiefly micaceous minerals, and this limits their industrial utilization largely to the brick and cement industries.

KIRJALLISUUTTA

- BROWN, G. (1955), Report of the clay minerals group subcommittee on nomenclature of clay minerals. *Clay Min. Bull.* 2, s. 293—300.
- EDELMAN, C. H. ja FAVEJEE J. C. L. (1940), On the crystal structure of montmorillonite and halloysite. *Z. Krist.* 102, s. 417—431.
- FROSTERUS, B. (1928), Über Kaolin im kristallinen Felsgrunde Finnlands. *Fennia* 50, N:o 39.
- GRIM, R. (1953), *Clay Mineralogy*. McGraw — Hill. London.
- HENDRICKS, S. B. (1942), Lattice structure of clay minerals and some properties of clays. *J. Geol.* 50, s. 276—290.
- HOFMAN, U., ENDELL, K. ja WILM, D. (1933), Kristallstruktur und Quellung von Montmorillonit. *Z. Krist.* 86, s. 340—348.
- HOLMA, M. (1958), Keraaminen teollisuus vuonna 1958. *Tekn. Kemian Aikakausi-lehti* 13, s. 416.
- JUNTILA, A. (1958), Sementti- ja kalkkiteollisuus vuonna 1958. *Tekn. Kemian Aikakausi-lehti* 13, s. 419.
- KÜHL, H. (1951), *Zement-Chemie II*. Verlag Technik. Berlin.
- MACKENZIE, R. C. (1959), The classification and nomenclature of clay minerals. *Clay Min. Bull.* 4, s. 52—66.
- MARSHALL, C. E. (1935), Layer lattices and base-exchange clays. *Z. Krist.* 91, s. 433—449.
- NORRISH, K. ja BROWN, G. (1952), Hydrous Micas. *Miner. mag.* 29, s. 929—932.
- OKKO, V. (1957), Die Tonvorkommnisse und die Ziegelindustrie in Finland. *Fennia* 81, N:o 3.
- SOVERI, U. (1956), The mineralogical composition of argillaceous sediments of Finland. *Acad. Sci. Fenn. A III*, 48.
- SVT I A: 78. (1959), Suomen virallinen tilasto. Ulkomaankauppa 1958. Helsinki.
- SVT XVIII A: 73. (1959), Suomen virallinen tilasto. Teollisuustilasto 1957. Helsinki.
- VÄYRYNEN, H. (1930), Über Chemismus der finnischen Kaolinvorkommen verglichen mit Verwitterungssedimenten. *Bull. Comm. géol. Finlande* 87.
- WHITE, W. A. (1949), Atterberg plastic limits of clay minerals. *Am. miner.* 34, s. 508—512.

PIIMAAN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

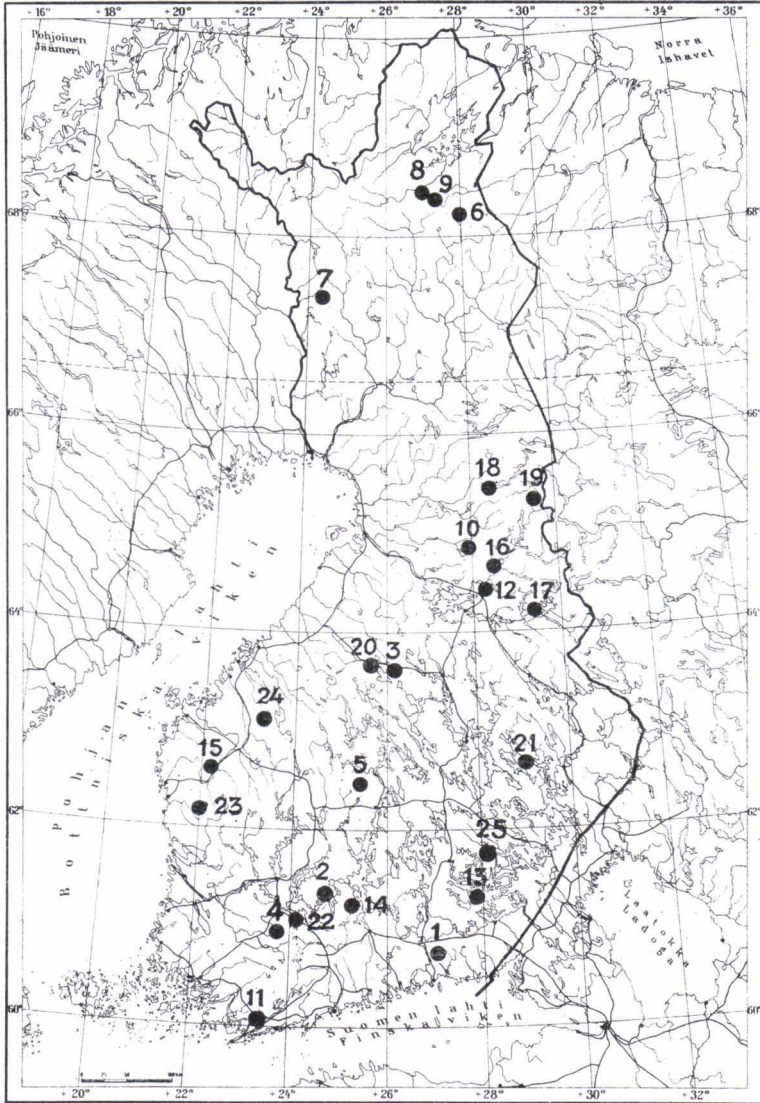
KARL MÖLDER

Piimaa on valkoista tai harmaata, vesien pohjalla tai soissa turpeen alla tavattavaa maalajia, joka on muodostunut yksinomaan tai pääasiassa piilevien kuorista. Piimaata syntyy meillä etupäässä niukkaravinteisissa järvissä, joiden vesi on runsashappista pohjaan saakka. Piilevien mukana kerrostuneet orgaaniset aineet hapettuvat tällöin helposti ja piimaa esiintyy puhtaana, usein hohtavan valkoisena kerrostumana. Runsaat ravinteisissa vesissä on sen sijaan happea vähemmän, orgaanisten aineiden hapettuminen on epätäydellistä ja piimaa esiintyy epäpuhtaana, väriltään harmaana.

Piimaaesiintymiä on maassamme varsin lukuisasti, mutta vain harvat ovat siksi laajoja tai puhtaita, että niillä on käytännöllistä merkitystä. Kuvassa 1 on esitetty tähän mennessä tutkitut ja tunnetut esiintymät maassamme. Piimaata nostavat ja käyttävät meillä Suomen Mineraali Oy ja Pii Oy.

Kemialliselta kokoomukseltaan piimaa on piidioksidia. Piimaan monet erikoislaatuiset fysikaaliset ominaisuudet, kuten keveys, huokoisuus, lämmöneristyskyky, suodatuskyky, nesteiden imemiskyky, hienorakeisuus, kestävyys jne., ovat antaneet piimaalle sangen monipuolisen käytön mitä erilaisimmilla teollisuuden aloilla. Tähän mennessä tunnetaan lähes 70 teollisuudenhaaraa, joissa piimaata käytetään raaka-aineena. Tärkeimmät näistä ovat kemiallinen- ja rakennusteollisuus.

Piimaan käyttö teollisuuden palveluksessa sai alkunsa v:n 1860 tienoilla, jolloin Nobel keksi dynamiitin valmistuksen nitroglyseriinistä ja piimaasta. Keksintö juontaa alkunsa pelkästä sattumasta. Kerran lähetettiin Ruotsissa piimaan sisään pakattu nitroglyseriinipullo Nobelin laboratorioon. Pullo oli matkalla särkynyt, ja nitroglyseriini oli imeytynyt pullon ympärillä olevaan piimaahan. Tällöin Nobel huomasi, ettei nitroglyseriinin räjähdysvoima ollut suinkaan vähentynyt, vaan tuntuvasti lisääntynyt. Siitä lähtien on valmistettu dynamiittia pieninä, parafiiniin pakattuina putkina, joita



Kuva 1. Suomen piimaesiintymät.

on helppo käsitellä. Piimaadynamiitti valmistetaan kolmesta osasta nitroglyseriiniä ja yhdestä osasta piimaata. Seokseen lisätään hieman soodaa ja puristetaan n. 10 cm pituisiksi patruunoiksi. Viime aikoina on guurdynamiitin käyttöä supistanut uusien, voimakkaampien räjähdysaineiden keksiminen. Näistä mainittakoon oxyliquit, joka sisältää 50 % nestemäistä ilmaa, 30 % piimaata ja 20 % paloöljyä. Nestemäistä happiräjähdyksainetta valmistetaan sekoittamalla nopeasti 31 osaa 98-%:ta spritä 25 osaan piimaata. Seokseen lisätään 44 osaa nestemäistä happea juuri ennen käyttöä.

Suuren pihappopitoisuutensa ja hienorakeisuutensa johdosta piimaa on sopivaa raaka-ainetta vesilasin valmistuksessa. Myös muissa pihappoa sisältävissä tuotteissa piimaata käytetään hiekan ja kvartsin ohella.

Lasiteollisuudessa piimaa sopii erikoislasien ja lasituksien valmistamiseen. Piimaan, kaliumkarbonaatin ja kobolttioksidin seosta sulattamalla saadaan kaunista kobolttinsinistä lasia. Rakoilemattomia lasituksia valmistetaan sulattamalla boorihappoa ja kalkkia tai magnesiumia piimaan kanssa.

Väriteollisuus käyttää piimaata ultramariinisinisen, -punaisen ja violetin valmistukseen. Tähän sopii parhaiten rautahydroksiditon piimaa, joka sisältää, 93—94 % pihappoa ja 4—5 % alumiinioxidia. Ultramariiniviolettiä saadaan kuumentamalla ultramariinisinistä 24 tuntia 5-%:ssa ammoniakissa ja 150°:n lämmössä. Ultramariinipunaista taas syntyy, kun ultramariiniviolettiä kuumennetaan typpihapossa.

Puhdas piimaa pystyy suodatettaessa pidättämään liuoksissa olevat epäpuhtaudet, mikä tuntuvasti nostaa suodatusnopeutta. Tästä syystä on piimaata viime aikoina ruvettu paljon käyttämään sokeriteollisuudessa suodattimena. Puhdas piimaa sekoitetaan sokeriliuokseen, mistä epäpuhtaudet imeytyvät piilevien kuorien sisälle, tai piimaata levitetään kankaalle, jonka läpi sokeriliuos suodatetaan. Molempia menetelmiä yhdessä käyttämällä saavutetaan parhaat tulokset. Piimaalla suodatettu sokeriliuos ei vaahtoa niin paljon kuin muuten suodatettu, liuos kiteytyy nopeammin eikä sokeria mene hukkaan.

Sokeriteollisuuden lisäksi käytetään piimaata suodattimena öljy-, rasva-, viini-, sprii- ja likööriteollisuudessa. Mineraalivesiteollisuus käyttää piimaa-suodattimia, joilla vesi voidaan puhdistaa bakteereista ja liuenneista suoloista. Suorastaan korvaamattomia ovat tällaiset suodattimet alueilla, missä puhdasta juomavettä ei ole saatavissa, kuten erämaissa ja suola-aavikoilla.

Koska piilevien kuoret ovat erittäin vastustuskykyisiä kemiallisille aineille, käytetään piimaata happojen suodattamiseen, happopullojen pakkaamiseen ja kuljettamiseen sekä erilaisten liuoksissa olevien väriaineiden poistamiseen. Tavallisesti sekoitetaan piimaata hiilen tai valkaisumaan joukkoon ja käytetään seosta teknillisten liuosten ja öljyjen puhdistamiseen.

Kemiallisessa teollisuudessa on piimaalla merkitystä myös katalyysaattorina. Piilevien pinnoille, mutta erittäin runsaslukuisille pinnoille las-

keutuneet yhdisteet lisäävät kemiallisten reaktioiden nopeutta. Samoin piimaa soveltuu katalyysattoriksi orgaanisten happojen ja aldehydien valmistuksessa teollisuussmittakaavassa.

Piimaa soveltuu kaasujen puhdistamiseen sellaisissakin tapauksissa, jolloin ei muilla tavoilla voida kaasuja erottaa. Asetyleenistä saadaan piimaan avulla poistetuksi rikkivety, ammoniakki ja muut myrkylliset kaasut, jotka antavat asetyleenille epämiellyttävän hajun. Helposti räjähtävän asetyleenin säilyttämiseksi täytetään teräspullo piimaalla ja siihen lisätään asetonia. Vasta sen jälkeen täytetään pullo 12—15 ilmakehän paineessa kuivatulla asetyleenillä. Lisäksi piimaata käytetään myös muitten tulenarkojen nesteiden, kuten bensiinin ja bensolin varastointiin ja kuljettamiseen.

Piimaalla on tärkeä osuus myös tulensammutusaineitten valmistuksessa. Tulensammutusnesteet, bromin, jodin ja kloorin johdannaiset, jotka sellaisinaan ovat ihmiselle vaarallisia, sekoitetaan piimaahan. Seoksella tukahdutetaan tuli sopivia heittämiä käyttäen.

Tulitikkutehtaissa käytetään piimaata tulitikun päiden ja laatikoiden sytytyspintojen valmistamiseen. Fosfori sekoitetaan piimaahan, joka muuttaa tulitikun pään ja laatikon pinnan karkeammaksi ja helpommin syttyväksi.

Vähämetsäisissä maissa piimaasta valmistetaan sytykettä rusko- ja kivihiiltä poltettaessa. Piimaa kyllästetään helposti syttyvillä aineilla ja sekoite puristetaan ohuiksi laatoiksi käytettäväksi pieninä kappaleina.

Piimaan käyttö erilaisina täyteaineina on teollisuudessa hyvin monipuolista. Puhdasta, valkoista piimaata käytetään täyteaineena paperissa, kautsussa, väreissä ja lakoissa.

Paperiteollisuudessa on piimaa useissa tapauksissa syrjäyttänyt entiset täyteaineet, kaoliinin, kipsin, bariumsulfaatin ja magnesiumkarbonaatin. Liimatuissa paperilaaduissa piimaa poistaa aukot ja epätasaisuudet. Erittäin ohuitten paperien tasoittamisessa piimaan käytöllä estetään paperin liiallinen läpikuultavuus. Paksuissa paperilaaduissa taas on piimaa keveytensä vuoksi sopiva täyteaine. Puhtaan valkoiset piimaalaadut ovat syrjäyttäneet paperiteollisuudessa täydellisesti *blanc fix*-aineen.

Imupaperin valmistuksessa sekoitetaan piimaa pienennettyjen lumppujen joukkoon. Seos jauhetaan ja paperi valmistetaan tavalliseen tapaan. Myös liimattomien paperien valmistuksessa käytetään täyteaineena miltei yksinomaan piimaata. Viime aikoina on valmistettu myös piimaasekaista pahvia, joka on sopivaa eristysainetta rakennuksien ja väliseinien peitteenä.

Myös kumiteollisuudessa piimaa on saavuttanut laajan käytön täyteaineena. Piilevien kuorien huokoisuus, keveys, kovuus ja vastustuskykyisyys siirtyvät piimaan mukana kumiin. Piimaa on kumiteollisuudessa täyteaineena parempi kuin liitu tai kaoliini.

Eboniitin täyteaineena piimaa lisää eboniitin kovuutta ja muuttaa sen kestävämmäksi happoja ja lämpöä vastaan, mutta alentaa samalla sen murtumiskestävyyttä. Edelleen käytetään piimaata täyteaineena kitissä, liimassa ja lakkateollisuudessa.

Tärkeimpiä piimaan käyttöaloja on rakennusteollisuus. Satama- ja vesirakennuksessa piimaa tekee sementin merivettä kestäväksi. Tällä tavalla voidaan valmistaa valkoista sementtiä, joka kovettuu myös veden alla. Sen valmistukseen käytetään 25 osaa piimaata, 75 osaa liitua ja 2.5 osaa kalium- tai natriumkarbonaattia. Sekoite kuumennetaan punahehkuun ja jauhetaan hienoksi. Portland-sementti muuttuu merivettä kestäväksi, jos siihen sekoitetaan 15—25 % piimaata. Tällöin sementin sitkeys lisääntyy ja vedenläpäisykyky pienenee. Jo v. 1905 Edelmann ja Wallin sekoittivat piimaata sementin joukkoon, joka muuttui kuormitusta ja venytystä vastaan kestävämmäksi. Piimaata lisäämällä betoni muuttuu notkeammaksi ja täyttää helpommin pienetkin raot. Samoin piimaa estää veden haihtumista ja hidastaa siten betonin liian nopeaa kovettumista. Piimaata sisältävä betoni tarttuu myös helpommin rautaesineisiin.

Rakennuksissa piimaata käytetään lautaseinien ja lattioiden täyteenä sahajauhojen sijasta. Piimaa estää tällöin sienten ja bakteerien kasvun ja samalla se on hyvä ääneneristäjä. Menestyksellisesti on piimaasta valmistettu myös lattialaattoja; ne ovat tehokkaita lämmöneristäjiä ja samalla kestävät hyvin kulutusta. Sahajauhojen ja piimaan sekoitusta on käytetty katukivien sekä sen ja saven sekoitusta kivitalojen väliseinätiilien valmistukseen. Piimaasta valmistetut tiilet ovat sopivia erikoistarkoituksiin, kuten naftan tislauసుunien väliseinien eristyskerrokseksi, öljysäiliöiden sisäseinien vuoraukseen, kattilahuoneiden eristykseen sekä väkevien happojen varastojen seiniin. Piimaasta, sementistä ja hiekasta tehdyt kattotiilet ovat kestävämpiä ja pitkäikäisempiä kuin tavalliset kattotiilet.

Metallien ja jalokivien kiillotusaineena tunnettu trippeli on myös osaksi piimaata. Tähän tarkoitukseen sopivat parhaiten *Melosira*-lajien kuoret, erikoisesti *Melosira distans*, jota on maamme pohjoisosissa laajoilla alueilla. Kiillotuspulveria saadaan sekoittamalla tinaa ja lyijyä piimaahan ja typpi-happoon. Seosta kuumennetaan, saatu tuote jauhetaan jäähtymisen jälkeen ja käytetään sellaisenaan. Piimaasta valmistetaan jalometallien puhdistusainetta sekoittamalla 30 osaa magnesiumkarbonaattia, 30 osaa kalsiumkarbonaattia, 15 osaa piimaata, 1.8 osaa dekstriiniä ja 15 osaa vettä.

Piimaata käytetään myös desinfioimistarkoituksissa imeyttämällä puhdistava aine pölevien kuorien sisään. Näin käsiteltyä piimaata levitetään puhdistettavaan paikkoihin, missä se tuhoaa vaaralliset bakteerit, itiöt ym. Sekoittamalla esim. bromia piimaan joukkoon saadaan erittäin hyvää desinfioimisainetta, jota on helppo levittää. Piimaata voidaan sekoittaa

kovien desinfiomisaineiden joukkoon, jotka tällöin muuttuvat kuohkeamiksi ja helpommiksi levittää.

Soilla ja muilla vähän piihappoa sisältävillä mailla piimaata käytetään lannoitteena. Piimaa sopii myös nestemäisten lannoitteiden imeyttämiseksi ja kovien lannoitteiden kuohkeuttajaksi. Navetoissa ja talleissa sitä käytetään virtsan imeyttämiseen. Ammoniakin haihtumisen estämiseksi lisätään tavallisesti piimaan joukkoon vähän kipsiä.

Piimaata tarvitaan myös terveyden- ja kauneudenhoidon alalla. Hammas-tahnassa se on yleinen lisäaine ja sopii paremmin hampaiden puhdistamiseen kuin esim. liitu. Hammastahnan valmistamiseen suosittelee F. Wischo seuraavaa ohjetta. Sekoitetaan 50 % puhdasta piimaata, 10 % natriumbentsonaattia ja 1 % keittosuolaa. Seokseen lisätään 25 % glyseriinin vesiliuosta ja lopuksi 5 % neutraloitua saippuaa, jossa on hieman tymolia tai mentolia. Samoin piimaasta valmistetaan puuteria, kynsien kiillotusainetta jne. Tähän tarkoitukseen kelpaa ainoastaan puhdas piimaa, jossa ei ole rautayhdisteitä.

Edellisestä on käynyt selville, että piimaalla on erittäin monipuolinen ja yhä lisääntyvä käyttö mitä erilaisimmilla teollisuuden aloilla. Koska maamme piimaesiintymät tunnetaan vielä varsin pintapuolisesti, on meillä suuret mahdollisuudet löytää lisää teknisesti käyttökelpoista piimaata. Geologien ja muidenkin kansalaisten on syytä maastossa liikkueensa pitää silmällä tämän arvokkaan maalajin esiintymistä.

SUMMARY

The utilization of diatomite in industry: Diatomite is used in the chemical, food, paper and building trades as insulating, filling, filtering material, etc. In Finland there are numerous diatomite deposits, but the majority of them are too slight to be of commercial value.

POHJAVESITUTKIMUKSISTA

RISTO VANHALA

Pohjavesi on maanpinnan alla esiintyvää vettä. Se keräytyy pääasiallisesti maahan tulevasta vesi- ja lumisateesta. Vain osa tästä vedestä pääsee tunkeutumaan maan sisään, osa haihtuu takaisin ilmaan ja osa valuu maan pintaa myöten vesistöihin. Sademäärä, haihtumisen suuruus, kasvipeite ja maankuoren geologinen ja topografinen rakenne ovat tärkeimpiä pohjaveden muodostumiseen vaikuttavia seikkoja. Jos geologiset- ja sääolosuhteet eivät salli veden tunkeutumista ja keräytymistä maan sisään, ei suurikaan vuotuinen sademäärä kykene muodostamaan pohjavettä.

Maankamarassa pohjavesi vajoaa niin syväälle, kunnes se tapaa vettä-läpäisemättömän kerroksen. Virtauksessaan vettä-läpäisemättömän alustan päällä pohjavesi noudattaa painovoimalakia. Virtausten nopeus riippuu kerrostumien kaltevuussuhteista ja vedenläpäisevyydestä.

Suunniteltaessa veden hankintaa pohjavedestä on ratkaistava, kuinka runsaasti pohjavettä on kulloinkin kysymyksessä olevassa tapauksessa saatavissa. Veden hankinta on perustettava pohjaveden vuotuisesta sateesta saamaan täydennykseen. Jos täydentymistä vastaava määrä ylitetään, pohjavesivarastot ehtyvät, mikäli ei keinotekoisesti lisätä pohjavettä. Saatavissa olevien pohjavesimäärien arvioimiseksi on selvitettävä, kuinka suuri ja minkäläatuinen geologiselta rakenteeltaan on pohjaveden kerääntymisalue, joka voi tulla kysymykseen. Kerääntymisalueen määrittely on suoritettava topografian ja maankamaran geologisen rakenteen perusteella. Useinkaan ei topografinen vedenjakaja vastaa pohjaveden jakajana toimivaa maanalaista kallioselännettä tai tiivistä moreenikerrosta, joiden olemassaolo on selvitettävä joko maakairauksilla tai erikoismenetelmillä.

Kirjallisuudessa on esitetty sekä kokeellisesti määrättyjä arvoja että arvioita erilaisissa geologisissa olosuhteissa saatavissa olevista pohjavesimääristä. Saksassa on kokeellisesti todettu hiekkamaaperässä pääsevän sademäärästä n. 37 % pohjavedeksi ja hietaisessa hiekassa sekä moreenia vastaavissa olosuhteissa n. 10—17 %. Tämän kirjoittaja on suorittanut

geologisesti ja topografisesti tarkoin määriteltävissä olevilla alueilla pitkäaikaisia koepumppuamisia ja verrannut pumputtua vesimäärää keskimääräiseen sademäärään. Pumppuaminen on suoritettu niin tehokkaasti, että pohjaveden pinnan alenemisessa on saavutettu tasapainotila. Tällöin ei pohjaveden pinta pumppuamista jatkettaessa enää ole alentunut, vaan on pysynyt stabiilina. Näin ollen on oletettavissa, että pumputtu vesimäärä vastaa juuri ko. sadealueen saamaa pohjaveden täydennystä. Maaperän ollessa soraa ja hiekkaa on tulokseksi saatu, että sademäärän ollessa 550 mm voidaan yhdeltä neliökilometriltä saada n. 345 m³/vrk, mikä vastaa n. 1 500 asukkaan keskimääräistä vedentarvetta. Sateen määrään verrattaessa edellisen perusteella voidaan todeta, että edellä kuvatuissa olosuhteissa keskimääräisesti vuotuisesta sademäärästä voidaan laskea saatavan pohjavettä käytettäväksi 22—23 %. Vastaava prosenttiluku on 28 %, jos maaperä on yksinomaan karkeahkoa soraa, josta hiekka ja sitä hienommat ainekset jokseenkin kokonaan puuttuvat. Jos taas soran joukossa on hiekkaa ja lisäksi hienoa hiekkaa, saadaan muuten edellisiin verrattavissa olosuhteissa vain 18 % vuotuisesta sademäärästä.

Tulokset vastaavat jonkin verran pienempiä pohjavesimääriä kuin Saksassa kokeellisesti saadut arvot. Sederholm on päättänyt huomattavasti suurempiin vesimääriin arvioidessaan harjujemme pohjavesimääriä. Hänen mukaansa harjuista saatavissa olevat pohjavesimäärät ovat n. 50 % keskimääräisestä vuotuisesta sademäärästä.

Tutkimustuloksiani arvosteltaessa on huomattava, että esittämäni luvut perustuvat kussakin tapauksessa yhdestä pisteestä suoritettuihin koepumppuamisiin, joten on ilmeistä, että ko. sadealueilta on tapahtunut pohjaveden virtausta myös muita teitä. Kuitenkin esittämäni tulokset voivat antaa perusteita käyttöön otettavissa olevien pohjavesimäärien arvioimiseksi.

Geologinen sadealueen laadun ja rakenteen määrittely eivät yksinomaan riitä jonkin alueen vedenhankintaa suunniteltaessa. Tärkeän ja suuressa määrin geologisen kysymyksen muodostaa oikean ja taloudellisimman vedenottotavan määrittely. Kun vedenottamista varten rakennetaan kaivo — olkoonpa se millainen tahansa — on selvitettävä erilaisten geologisten kerrostumain laatu, jotta kaivon oikea syvyys ja mahdolliset siiviläkerrokset saadaan määritellyksi siten, että kaivon vedenantokyky ja kerrostumain geologinen rakenne vastaavat toisiaan.

Kaivosta saatavissa oleva vesimäärä riippuu mitä suurimmassa määrin vettäjohtavan kerrostuman vedenläpäisevyydestä eli sen k-arvosta. Yleensä on ollut käsityksenä, että moreenit ovat huonoja vedenantajia. On kuitenkin otettava huomioon, että moreenin laatu melkoisesti vaihtelee. Minulla on ollut tilaisuus tehdä kokeita eri moreenien vedenläpäisevyydestä. Verrattessani niiden hienoainespitoisuutta eli alle 0.074 mm:n rakeiden määrää vedenläpäisevyyteen olen voinut todeta, että hienoainespitoisuuden vähen-

tyessä moreenin vedenläpäisevyys verrattain nopeasti kasvaa. Kun hienoespitoisuus laihoissa moreeneissa saattaa olla alle 20 %, voidaan tällaisista moreeneista suorittamieni pumppuamisten mukaan saada pohjavettä ilman erikoistoimenpiteitäkin n. 15 % vastaava määrä vuotuisesta sademäärästä. Näin ollen eräillä moreenialueilla tarvitaan noin 1 km² suuruinen sadealue 1 000 asukkaan keskimääräisen vedentarpeen tyydyttämiseksi.

Erittäin tärkeä merkitys vedenhankinnassa on veden laadulla. Tässä suhteessa pohjavettä on pidettävä yleensä parempana kuin pintavesiä. Pintavedet ovat useimmiten jo saastuneita tai ainakin vaarassa saastua. Maankamarassa oleva pohjavesi sen sijaan on paremmin suojassa saastumiselta ja useimmiten onkin säilynyt hygieeniset vaatimukset täyttävänä hyvänä juoma- ja talousvetenä. Pohjavesi on tasalaatuista; siihen ei vaikuta vuodenaikojen vaihtelu, vaan se pysyy samanlaatuisena kesällä ja talvella. Varsin tärkeä ominaisuus on, että pohjavesi pysyy myös jokseenkin tasalämpöisenä (+4°—+6°) eri vuodenaikoina.

Tavallisena haittana pohjavedessä on sen putkistoa syövyttävät ominaisuudet ja usein esiintyvä rautapitoisuus. Nämä haitat ovat kuitenkin useissa tapauksissa yksinkertaisin keinoin poistettavissa.

Selvää on, että liikkeessaan maa- tai kallioperässä pohjavesi liuottaa läpäisemistään kerrostumista erilaisia aineksia. Missä määrin vesi näitä aineksia saa, riippuu ensiksi tietenkin maa- tai kivilajin sisältämien mineraalien helppoliukoisuudesta ja siitä, kuinka kauan pohjavesi kyseisessä kerrostumassa viipyy. Voidaan sanoa, että pohjaveden kemiallinen koostumus riippuu maankamaran kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista. Eri tutkimuksissa on selvästi käynyt ilmi, että irtaimissa maakerrostumissa pohjaveden sisältämien liuenneiden aineiden määrä on suurempi, jos kysymyksessä ovat hienohkot ja huonosti vettäläpäisevät maalajit. Karkeissa maalajeissa vesi sisältää vähemmän liuenneita aineita. Tämä johtuu toisaalta siitä, että hienot ainekset ovat alttiimpia veden liuottavalle vaikutukselle, toisaalta siitä, että veden virtaus hienoissa aineksissa on hidasta.

Maaperän mineraaliainekset ovat tavallisesti läheisessä suhteessa kallioperään ja siinä esiintyvät pienialaisetkin kivilajivaihtelut vaikuttavat pohjaveden laatuun. Tämä ilmenee esim. rautapitoisuuden ja kovuuden vaihteluna suhteellisin pienin etäisyyksin otetuissa pohjavesinäytteissä.

Huomattava on, että pohjaveden kokoomus ei sellaisenaan kuvasta läpäisemänsä maa- tai kivilajikerrostuman kokoomusta, vaan osoittaa, mitkä ainekset vähimmin ovat kyenneet vastustamaan veden liuottavaa vaikutusta. Toisaalta voidaan pohjavedessä esiintyvien aineiden perusteella määrittellä, minkälaisilta kivilajialueilta pohjavesi keräytyy ja mitä aineksia pohjavedessä on odotettavissa geologisesti tutkituilla alueilla.

Veden rautapitoisuus on läheisesti riippuvainen maa- ja kallioperän mineralogisesta koostumuksesta. Varsinkin liuskealueilla, missä kalli-

perässä esiintyy myös kiisupitoisuutta, on yleensä pohjavedessä todettavissa suurehko rautapitoisuus. Kiisupitoisuudesta saattaa aiheutua myös pohjaveden tavallista suurempi happamuus, joka johtuu kiisujen rapautumisessa syntyvästä rikkihaposta.

Maanpinnan alla esiintyvän pohjaveden virtauksia ja saantimahdollisuuksia ei ole yhtä helppo tutkia kuin näkyvissä olevia pintavesiä. Pohjaveden käyttäminen edellyttää perusteltuja laskelmia veden riittävydestä ja myös toimenpiteiden määrittelemistä, joilla pohjavesi maasta on edullisimmin otettavissa. Tästä syystä on suoritettava pohjavesitutkimus. Se tehdään tavallisesti vaiheittain. Alustavassa pohjavesitutkimuksessa selvitetään pohjaveden syntymisen ja esiintymisen yleiset edellytykset kulloinkin kysymyksessä olevalla alueella. Suurehkossa vedenhankinnassa on ratkaiseva geologisiin ja topografisiin karttoihin sekä maastossa tehtyihin havaintoihin perustuva alustava tutkimus.

Mikäli alustava tutkimus osoittaa, että kyseessä olevaan vedentarpeeseen nähdän on olemassa edellytyksiä riittävälle pohjaveden saannille, ryhdytään maaperän yksityiskohtaisiin tutkimuksiin. Tutkimustyö suoritetaan painokairauksena koetintangoilla ja eri kerrostumista otetaan maalajinäytteitä niiden ominaisuuksien määrittelemistä varten. Näiden tutkimusten perusteella voidaan määrätä edullisin kohta koepumppuamisen suorittamista varten. Koepumppuamisella todetaan lopullisesti veden riittävyys ja otetuista vesinäytteistä tutkitaan veden laatu.

Kun tutkimus suoritetaan edelläkuvatulla tavalla vaiheittain, ei jouduta tekemään haparoivaa työtä, vaan edeten tutkimuksissa askel askeleelta edellisen vaiheen tutkimustulokset huomioonottaen päästään varmimpaan lopputulokseen ja säästytään turhilta kustannuksilta.

Pohjaveden hyvien ominaisuuksien vuoksi sen ottaminen kannattaa jonkin verran kauempaakin, ennen kuin ryhdytään puhdistamaan pintavettä.

Maaseudun asutustaaajamien suuruusluokkaa (1 000—5 000 asukasta) olevien yhdyskuntien vedentarve on noin 70 000—400 000 m³ vuodessa. Tämän pohjavesimäärän hankkiminen kannattaa taloudellisestikin vielä n. 5—10 km etäisyydeltä suotuisissa tapauksissa. Jos oletamme, että pohjaveden syövyttävyys joudutaan poistamaan kalkin tai lipeän käytöllä, lyhenee kannattavuusetäisyys n. 1 km:llä.

Pitkähkön kuivan kauden jälkeen alenee pohjaveden pinta. Tämä ilmenee veden loppumisena joistakin kaivoista. Ilmeistä on, että tällaisissa tapauksissa ei kaivoa tehtäessä ole otettu huomioon kaikkia niitä seikkoja, joita pohjaveden järkipäinen käyttäminen edellyttää.

Kulloinkin kyseessä olevan alueen hydrologisten ja geologisten olosuhteiden tarpeellinen tuntemus muodostavat perustan laskelmille, joihin pohjaveden käyttämisen tulee nojautua.

SUMMARY

On ground water studies: On basis of the results obtained by test pumpings, the writer notes that on the average 18—28 % of the annual precipitation in Finland can be drawn from ground water of sand and gravel beds. If the content of grains measuring under 0.074 mm in the till is less than 20 %, test pumping will yield 15 % of the annual precipitation.

POHJAVETTÄ KOSKEVAA KIRJALLISUUTTA

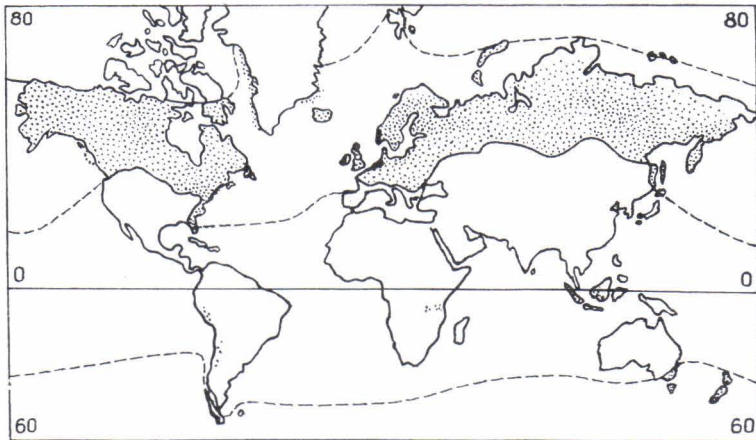
- HYYPÄ, J. (1959), Pohjavesi. Keravan maaperäkartan selitys. Geologinen tutkimuslaitos.
- MARMO, V. (1958), Pohjavesien ja kasvintuhkien käytöstä malminetsinnässä. Geologinen tutkimuslaitos. Geoteknillisiä julkaisuja N:o 61.
- SEDERHOLM, J. J. (1909), Suomen pohjavedestä, sen esiintymisestä, paljoudesta ja liikkeistä. Suomen Geologinen Komissioni. Geoteknillisiä tiedonantoja N:o 4.

TURVE JA SEN KÄYTTÖ

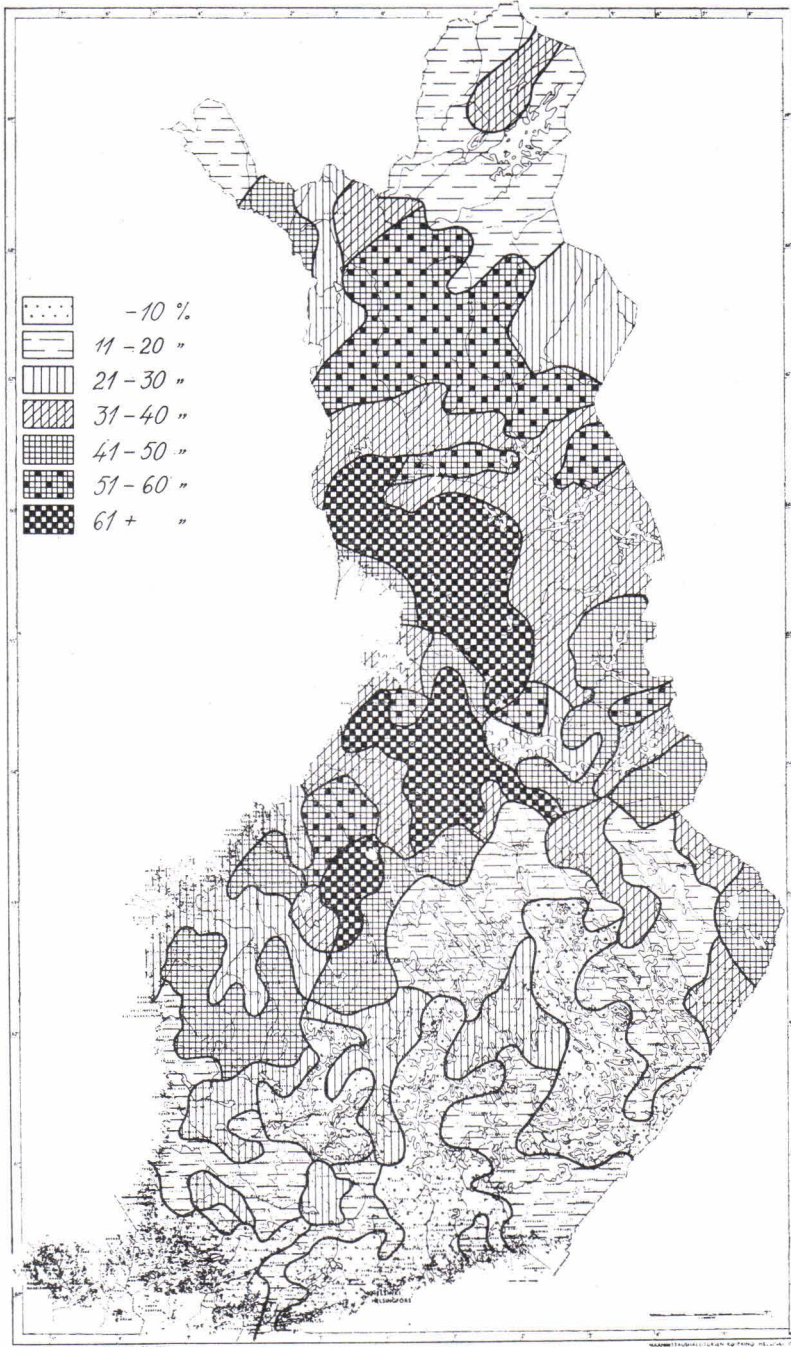
MARTTI SALMI

SOIDEN ESIINTYMINEN

Maapallon suokartta (kuva 1) osoittaa, että enin osa soista sijaitsee lauhkeissa vyöhykkeissä (Bülow 1925). Koska eteläisellä pallonpuoliskolla mainittu vyöhyke käsittää pääasiassa merta, on soiden esiintymisen painopiste selvästi pohjoisella pallonpuoliskolla. Lauhkeissa vyöhykkeissä muodostuu suhteellisen runsaasti kasvimassaa ja kasvien jäännösten hajoaminen on hidasta, joten muodostuu turvetta. Tropiikin optimaalisissa kosteus- ja lämpöolosuhteissa syntyy runsaasti kasvimassaa, mutta kasvien jäännökset hajoavat siellä nopeasti, mistä syystä tropiikissa ei ehdi muodostua ainakaan laajempia turvekerrostumia. Pienet suomäärät, joita päiväntasaajan seuduilla on, sijaitsevat enimmäkseen vuoristoissa, tulvivien jokien varsilla jne. Kylmissä vyöhykkeissä taas kasvimassan tuotto on niin vähäistä, ettei siellä siitä syystä tavata sanottavampia turve-esiintymiä.



Kuva 1. Soiden levinneisyys maapallolla v. Bülow'in (1925) mukaan.



Kuva 2. Soiden osuus maamme maapinta-alasta Ilvessalon (1960) mukaan.

Koko maapallon suoalaksi arvioidaan n. 125 milj. ha (Kazakov 1953). Suomessa on soita 9.7 milj. ha (Ilvessalo 1956) eli noin 8 % koko maapallon suoalasta ja likimain kolmannes maamme pinta-alasta. Suomi on suhteellisesti maapallon soisin maa.

Ilvessalon (1960) esittämän kartan mukaan (kuva 2) on maamme eniten soistuneita seutuja Perämeren rannikkoalue. Soita on runsaasti myös Pohjois-Satakunnassa, Etelä-Pohjanmaalla, eräissä Raja-Karjalan pitäjissä, Kainuussa ja Lapissa. Vähiten soistuneita seutuja ovat koko Etelä-Suomi, järvialue ja maamme pohjoisin osa.

Valtakunnan metsien toisen linja-arvioinnin tulosten perusteella laskien on maamme turvevarojen kokonaismäärä n. 120 miljardia m³ (Salmi 1950 a), mutta kolmannen metsien linja-arvioinnin tulosten perusteella suorittamani tarkistuslaskelmien mukaan nykyisen Suomen kokonaisturvevarat ovat hieman pienemmät eli n. 100 miljardia m³ luonnontilaista turvetta.

TURVELAJIT JA ERÄITÄ NIIDEN OMINAISUUKSIA

Riippuen siitä, minkä kasvien jäännökset turvetta muodostavat, erotetaan useita turvelajeja. Puhutaan rahkavaltaisista ja saravaltaisista turpeista aina sen mukaan, ovatko rahkasammalien vai sarojen jäännökset turpeen pääaineiksina. Tavallisimpia rahkavaltaisia turvelajeja ovat rahka (S)-, tupasvillarahka (ErS)-, sararahka (CS)- ja puunjäännösrahkaturve (LS) sekä saravaltaisia sara (C)-, rahkasara (SC)-, ruskosammalsara (BC)- ja puunjäännössaraturve (LC).

Turve on organogeeninen maalaji, joka on muodostunut suokasvien jäännöksistä, lähinnä niiden juuristoista sekä tyviosan solukoista. Mainitut kasvien osat ovat suossa veden peitossa tai vedenpinnan tasossa ja säilyvät enemmän tai vähemmän hajaantuneina eli maatuneina. Suokasvien maanpäälliset osat sen sijaan mätänevät suurelta osalta, ennenkuin ne ehtivät hautautua turvekerrostumaan. Vain niiden vastustuskykyisimmät osat saattavat säilyä turpeessa, kuten puiden ja pensaiden kuori sekä puuaines, havupuiden kävyt, erilaiset kuivat hedelmät, siemenet sekä siitepöly, joka on kaikkein vastustuskykyisintä kasviainesta. Sen suureen säilyvyyteen perustuu siitepölytutkimus. Turvekerrostumat muodostavat tärkeän arkiton hyvin moninaisille tutkimuksille.

Turpeen orgaanisen aineksen valtaosa on hiiltä. Sitä on keskimäärin 52 % turpeen kuiva-aineesta eli hieman enemmän kuin puussa, jossa sitä on n. 50 %. Happea on turpeessa 38 %, vetyä 5.5 % ja typpeä 1.5 %. Tuhka-aineiksia on maamme turpeissa yleisesti 2—5 %. Turpeen maatuessa sen hiilipitoisuus nousee ja happipitoisuus laskee. Siten aivan maatumattomassa turpeessa on hiiltä 46 % ja täysin maatuneessa turpeessa n. 58 % kuiva-aineesta, happea on vastaavasti 44 % ja 32 %.

Turpeiden ominaisuuksista mainittakoon, että niiden vedenpidätyskyky on suuri, mikä johtuu niissä olevien kolloidien paisumisesta. Paisuneiden hiukkasten välillä olevat huokokset ja aukot pienenevät ja veden liikunta vaikeutuu. Heikosti maatuneen rahkaturpeen vedenpidätyskykyä lisäävät rahkasammalien isot rahkasolut.

Turpeiden suuren vedenpidätyskyvyn vuoksi veden liikkuminen turpeissa on hyvin hidasta. Se on sitä hitaampaa, mitä paremmin maatunutta turve on ja mitä tiiviimpään se on painunut. Heikosti maatuneessa turpeessa vesi pääsee kulkemaan jokseenkin helposti, mutta hyvin maatuneessa ja tiiviiksi painuneessa turpeessa veden liikkuminen on melkein yhtä hidasta kuin jäykässä savimaassa. Tätä valaisee Malmströmin suorittama koe.

Turpeiden vedenläpäisevyys Malmströmin (1928) mukaan.

Turvelaji	Maatumisaste H	1 tunnin kuluessa juossut l	
		ylhäältä alaspäin	sivusuuntaan
Sararahkaturve	2	27.6	—
Tupasvilla-rahkaturve	2	5.49	29.40
Rahkaturve	3	12.30	59.40
»	4—5	2.52	7.56
»	6	1.00	0.54
»	7	0.24	0.24
Turvemuta	8—9	0.15	0.13
»	9	0.02	0.04

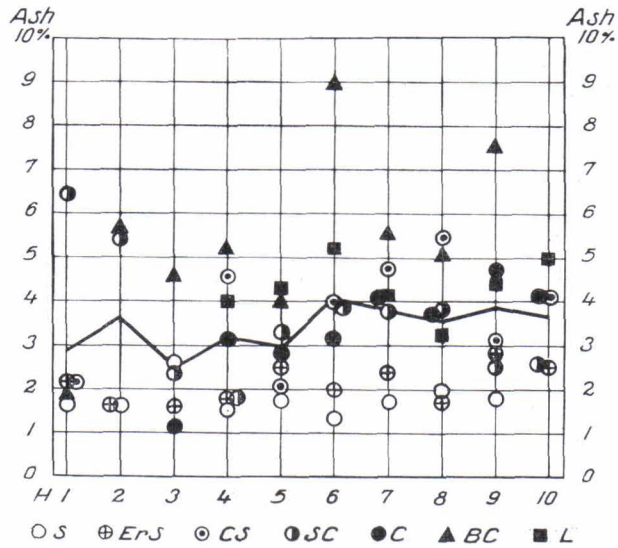
Turpeen ominaispaino vaihtelee turvelajin, maatumisasteen ja tuhka-pitoisuuden mukaan. Tacken (1929) mukaan turpeiden ominaispaino on 1.5—1.8, mutta runsaasti tuhkaa sisältävän turpeen ominaispainoksi on saatu niinkin korkea arvo kuin 2.5. Ominaispainon perusteella vedessä kelluvan turpeen pitäisi painua pohjaan, niin pian kun ilma siitä on poistunut.

TURPEEN KÄYTTÖ

Sivuutamme tässä yhteydessä sen, että turvemaita on raivattu maasamme viljelykseen vajaat miljoona hehtaaria ja että metsäojitettuja soita on Suomessa jo toista miljoonaa hehtaaria. Kumpaankin mainittuun tarkoitukseen käytetään turvemaita jatkuvasti ja entisestään tehostetummin raivausmenetelmin. Laajempaa huomiota kiinnitämme turpeen teknisiin käyttömuotoihin, lähinnä polttoturpeen, turvepehkun sekä turvemullan valmistukseen ja käyttöön.

POLTTOTURVE

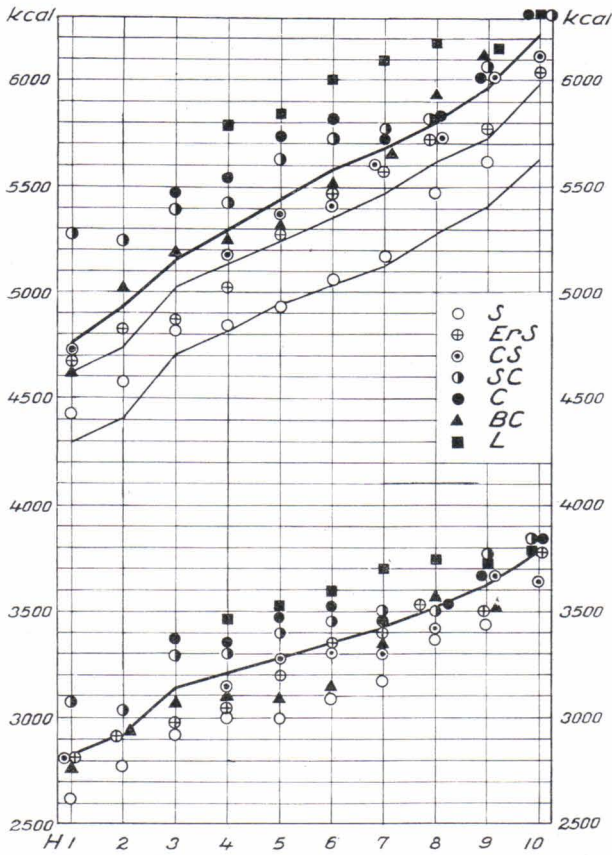
Luonnontilainen turve sisältää vettä n. 92 %. Siten esim. kuutiometri suosta otettua turvetta, joka painaa n. 1 000 kg, sisältää 920 kg vettä ja n. 80 kg turpeen kuiva-ainetta. Jotta turpeesta saataisiin teholtaan hyvää



Kuva 3. Tuhkapitoisuus turvelajeittain ja maatumisasteittain. Murtoviiva osoittaa näytteiden yhteisen keskiarvon (Salmi 1954 a ja b).

polttoturvetta eli n. 30 % vettä sisältävää, on turvekuutiosta poistettava vettä n. 896 kg, jolloin jäljelle jää n. 104 kg polttoturvetta. Vaikka osa vedestä, n. 1/12, voidaankin turpeesta poistaa soiden ojituksen yhteydessä, jää huomattava määrä siitä kuitenkin haihdutettavaksi kentällä, mikä ainakin tähän mennessä on osoittautunut taloudellisimmaksi veden poistamiskeinoksi. Veden poistaminen turpeesta muodostaa turveteollisuudessa epäilemättä vaikeimman pulman. Kosteuden ohella vaikuttavat turpeen käyttöarvoon monet muutkin tekijät, kuten turvelaji, maatumisaste ja tuhkapitoisuus.

Kuva 3 esittää maamme turpeiden tuhkapitoisuuksien keskiarvoja 300 näytettä käsittävän aineiston perusteella (Salmi 1954 a ja b). Aineisto on kerätty eri puolilta maata, ja se jakaantuu jokseenkin tasan seitsemän turvelajin ja L. v. Postin kymmenen maatumisasteen osalle. Turvelajien tuhkapitoisuudet on merkitty kuvaan erilaisilla merkeillä maatumisasteittain ja koko aineiston yhteinen keskimääräinen tuhkapitoisuus murtoviivalla. Tällöin todetaan, että pienimmät tuhkapitoisuudet ovat S- ja ErS-turpeissa. Niiden tuhkamäärä vaihtelee eri maatumisasteissa 2 %:n molemmiin puolin ja jää selvästi tuhkapitoisuuden keskiarvoviivan alapuolelle. Keskiarvoviivan vaiheille sijoittuvat CS-, SC- ja C-turpeet. Niiden tuhkapitoisuus on 3.5—4.0 %:n vaiheilla. L- ja BC-turpeet sisältävät tuhkaa selvästi eniten eli 4.3 ja 5.4 % ja sijoittuvat yhteisen keskiarvoviivan yläpuolelle. Koko aineiston näytteissä on tuhkaa keskimäärin 4.48 %. Se on verrattain alhainen, mutta vastanee sängen hyvin laajojen ja paksuturpeisten soiden



Kuva 4. Lämpöarvot turvelajeittain ja maatumisasteittain (Salmi 1954 a ja b). Selostus tekstissä.

keskimääräistä tuhkapitoisuutta Suomessa. Samaten se on varsin lähellä maassamme nykyisin valmistetun polttoturpeen tuhkapitoisuuden keskiarvoa. Tuhkapitoisuuden keskiarvoviivassa on havaittavissa lievää nousua maatumisasteen lisääntymisen suunnassa.

Samasta näyteaineistosta tuhkapitoisuustutkimuksien kanssa on suoritettu myös turpeiden lämpöarvotutkimuksia. Niiden tulokset nähdään kuvassa 4. Siinä ylin merkkien ryhmä osoittaa tuhkattonien ja vedettömien turpeiden kalorimetrisen lämpöarvon turvelajeittain ja maatumisasteittain sekä ylin murtoviiva niiden yhteisen keskiarvon. Toinen murtoviiva ylhäältä lukien osoittaa keskimääräisesti kaikkien turvelajien yhteisen kalorimetrisen lämpöarvon turpeen kuiva-aineelle. Ylimmän ja tämän murtoviivan erotus osoittaa siis tuhkan alentavan vaikutuksen kalorimetrisissä lämpöarvoissa. Se on keskimäärin n. 4 %.

Kolmas keskiarvoviiva ylhäältä kuvaa vedettömien turpeiden tehollista lämpöarvoa sekä alin merkkien ryhmä keskiarvoviivoineen 30 % vettä sisältävien turpeiden tehollisia lämpöarvoja. Viimeksi mainituilla on merkitystä lähinnä käytännön kannalta, koska hyvä polttoturpe sisältää keskimäärin n. 30 % vettä.

Kuvassa kiintyy huomio ensiksi siihen, että maatumisasteen vaikutus turpeiden lämpöarvoihin on selväpiirteinen. Se näkyy keskiarvoviivojen melko säännöllisenä nousuna alimmasta maatumisasteesta ylimpään. Lisäksi on todettavissa, että lämpöarvoissa on selviä eroja eri turvelajien kesken. Niinpä *Sphagnum*-turpeitten merkit ovat kaikissa maatumisasteissa alinna, joten niiden lämpöarvo on vähäisin. Yleensä turvelajit sijoittuvat tehollisten lämpöarvojensa keskiarvojen perusteella heikoimmasta parhaimpaan lueteltuna seuraavaan järjestykseen: S-, BC-, ErS- ja CS-turpeet, jotka kaikki jäävät yhteisen keskiarvon alapuolelle, sekä edelleen SC-, C- ja L-turpeet, joiden lämpöarvot ovat yhteistä keskiarvoa korkeammat. Lopputuloksena eri turvelajien lämpöarvoista on täten todettavissa, että ruskosammalta sisältävät turpeet ovat selvästi heikompia kuin saravaltaiset ja puunjäännöksiä sisältävät turpeet. Mainittakoon vielä, että 30 % vettä sisältävien turpeiden yhteinen tehollinen lämpöarvo on tämän aineiston mukaan 3 342 kcal. Mutta jos otetaan huomioon vain maatumisasteet 5—10, jotka käsittävät polttoturpeeksi parhaiten kelpaavan raaka-aineen, saadaan keskiarvoksi 3 496 kcal; maatumisasteissa 1—4 se on 3 015 kcal. Mainittakoon, että 30 % vettä sisältävien halkojen lämpöarvo on n. 3 000 kcal eli selvästi vähemmän kuin kunnollisen polttoturpeen lämpöarvo painoyksikköä kohden.

Polttoturvetta valmistetaan edullisimmin koneellisesti joko kappale-turpeena tai jyrshinturpeena, joka on pulverimaista. Pistoturpeen valmistusta voidaan ajatella enää vain kotitalouksien käyttöön.

Polttoturpeen valmistus on Suomessa sangen vähäistä. Myyntiturpeen tuotanto on kulutettu pääasiassa vetureissa, mutta koska rautatielaitos on äskettäin luopunut tästä turpeen käytöstä, on myyntiturpeen sijoittamisessa ollut vaikeuksia. Tuotanto on siitä syystä osoittanut jyrkkää laskusuuntaa. Voidaankin sanoa, että tällä hetkellä polttoturpeen tuotannon painopiste on sellaisten työmaiden osalla, jotka toimivat jonkin teollisuuslaitoksen oman polttoaineen tuottajina.

Suuri parannus ja kehitys saataisiin aikaan maamme polttoturvetteollisuudessa, mikäli eräiden muiden turvemaiden tapaan meilläkin ryhdyttäisiin käyttämään turvetta sähköön kehittämiseen. Tällä hetkellä tilanne vaikuttaa siltä, että tämä turvemiesten unelma lähiaikoina toteutuukin. Periaatepäätös turvekäyttöisen voimalaitoksen rakentamisesta on tehty. Avoinna on kuitenkin vielä voimalaitoksen sijoittamispaikka, jota parhailaan selvittelään. Muun muassa Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäosasto

on suorittanut vuosina 1958—60 turvevarojen jatkotutkimuksia Etelä-Pohjanmaalla, jonne maamme ensimmäinen turvevoimalaitos on suunniteltu rakennettavaksi. Sen tehoksi on ajateltu 80 MkW eli noin puolet Imatran vesivoimalaitoksen tehosta.

Laskelmien mukaan (Salmi 1950 a) on maamme suoalasta vain n. 3 % eli 300 000 ha laajemman polttoturvetuotannon käyttöön kelpaavaa — polttoturpeen nykyiset laatuvaatimukset huomioonottaen. Mainitun alan turvemäärästä voidaan laskea saatavan n. 600 milj. tn ilmakuivaa polttoturvetta. Nykyisin maamme polttoturpeen tuotanto on vain n. 150 000 tn vuodessa, mutta jos se kohoaisi esim. 2 000 000 tonniin, jolloin polttoainetta liikenisi 3—4 suurehkolle turvevoimalaitokselle sekä nykyistä suurempi määrä muuhun käyttöön, riittäisivät mainitut turvevarat 600 vuodeksi eteenpäin. Polttoturvetuotannon melkoiseen laajentamiseen maassamme on siis edellytyksiä. Käyttökelpoisiksi arvioiduista turvevaroista on tähän mennessä tutkittu vasta n. 20 %. Tutkimusurakkaa on siten vielä jäljellä sukupolvien ajaksi, mikäli tutkimuksia suoritetaan samalla vauhdilla kuin nykyään.

TURVEPEHKU

Turvepehkon raaka-aineeksi on parasta heikosti maatunut (H_1-4) rahkaturve, ennen kaikkea *Sphagnum fuscum*-turve. Tämä johtuu lähinnä siitä, että rahkaturpeen ominaisuuksiin kuuluu suuri vedenimemiskyky, mihin perustuu turvepehkon käyttö kuivikkeena talleissa, navetoissa, kanaloissa jne. Hyvä turvepehku imee ilmakuivana vähintään 12-kertaisen painomääränsä kosteutta.

Heikosti maatunut rahkaturve on kuivana ilmavaa ja siitä syystä turvepehkuä käytetään myös lämmöneristykseen. Siitä valmistetaan mm. eristelevyjä. Kunnollisen turvepehkon suuresta happamuudesta johtuen bakteerit eivät siinä viihdy. Tästä syystä turvepehku on oivallista hedelmien pakkausainetta. Keveytensä puolesta se sopii mainittuun tarkoitukseen myös erittäin hyvin.

On laskettu, että maassamme on turvepehkon valmistukseen kelpaavaa suoaluetta n. 570 000 ha, mistä voidaan arvioida saatavan 6 miljardia paalia ilmakuivaa turvepehkuä (Salmi 1950 a).

Maamme turvepehkon tuotanto on ollut ja on yhä edelleenkin kovin vähäistä. Suurimmillaan se on ollut n. 500 000 paalia vuodessa, mutta on nykyisin huomattavasti pienempi. Jos ajattelemme jatkuvaksi tuotannoksi mainitun määrän, riittäisivät maamme arvioidut turvepehkon raaka-ainevarat 12 000 vuodeksi. Näin ollen turvepehkon valmistukseen sopivaa raaka-ainetta on meillä käytännöllisesti katsoen rajattomasti. Sitä riittäisi jopa laajallekin vientiteollisuudelle, ja laadultaan maamme turvepehkuä saataisiin korkeat laatuvaatimukset täyttävää.

TURVEMULTA

Turvemullalla tarkoitetaan tässä yhteydessä maanparannusaineeksi sekä lannoitusteollisuuden raaka-aineeksi käytettävää turvetta.

Kuten tunnettua vähenee viljelyn maan humuskerros. Tämä kuluminen riippuu paikallisista olosuhteista, kuten ilmastosta, maan kaltevuussuhteista sekä viljelyksen voimaperäisyydestä. Maan ravinnepitoisuutta voidaan lisätä keinolannoitteilla ja hivenaineilla ja myös humuskerroksen säilyttäminen on osoittautunut tärkeäksi. Tämä edellyttää orgaanisen aineksen lisäämistä maahan ja turve on todettu tarkoitukseen sopivimmaksi. Sen etuina mainittakoon suhteellisen helppo kuljetus hajallisena tai etäämmälle paaleiksi puristettuina, sen suuri kyky imeä itseensä kosteutta ja kaasuja, verrattain halpa hinta ja sen runsas esiintyminen maapallolla. Koska turpeen laatu ei tässä yhteydessä ole ratkaiseva tekijä, ovat esim. Suomessa myös turvemullan raaka-ainevarat käytännöllisesti katsoen rajattomat.

Kansainvälisillä markkinoilla turvemulta on tällä hetkellä tärkein turvetuote. Turvemullan suurin käyttäjä on eräiden Etelä- ja Keski-Euroopan maiden lisäksi USA. Tuottajamaista ovat Länsi-Saksa, Kanada, Hollanti, Irlanti, Englanti, Tanska ja Ruotsi tärkeimmät. Näistä ainakin Länsi-Saksa, Hollanti, Englanti ja Tanska joutuvat lähivuosina supistamaan turvemullan vientiä oman maan käytön lisääntyessä ja turvevarojen hupetessa. Sen sijaan Suomella näyttäisi olevan mahdollisuuksia laajaankin vientiin ja päästä jopa USA:n markkinoille. Tässä mielessä onkin koelähe-tyksiä jo suoritettu.

USA:ssa on turvemullan käyttö jatkuvasti lisääntymässä. Sekä kotimaan tuotanto että tuonti ovat kohonneet jokseenkin samassa mitassa. Niinpä kummatkin olivat v. 1950 n. 2.5 milj. paalia ja v. 1953 vastaavat luvut olivat jo n. 4 milj. paalia. Nykyisin USA:n tuonti on n. 5 milj. paalia turvemultaa, jonka rahallinen arvo on n. 3 miljardia markkaa. Turvepehkun tuonti on sen sijaan jatkuvasti taantunut; v. 1954 se oli enää vain 7 % turvemullan tuonnista.

Suomessa turvetta on käytetty maanparannusaineena viime vuosisadan puolelta alkaen lähinnä kivennäismaiden fysikaalisten ominaisuuksien parantamiseksi. On kuitenkin ilmeistä, että turpeen käyttö sekä kuivikkeena että turvemullan muodossa tulee meilläkin yhä enemmän tarpeelliseksi sitä mukaa, kuin leikkuupuimureiden käyttö lisääntyy eikä olkia enää oteta talteen ja viljelys entisestään voimaperäistyy.

Eräät liikeyritykset ovat meillä ryhtyneet äskettäin valmistamaan lannoittamatonta turvehumusta puutarhoja ja kasvilavaviljelyä varten sekä lannoitettua turvemultaa lähinnä kukkien ruukkukasvatukseen. Kysynnän vilkkaus lupaa ainakin tällä hetkellä valmistuksen jatkuvuutta. Toivotavasti turvemullasta kehittyä maallemme vähitellen myös vientitavara.

TURPEEN MUU KÄYTTÖ

Paitsi edellä mainittuja on turpeella eräitä muita käyttömuotoja, joista useimmat kuitenkin ovat vielä enemmän tai vähemmän kokeiluasteella. Mielenkiintoisena mainittakoon mm. turpeen kemiallinen koetehdas Neuvostoliitossa, jossa heikosti maatuneesta jyrshinturpeesta valmistetaan eri vaiheiden tuloksena etyylialkoholia, furfurolia sekä etikka- ja oksaalihappoa. Levyiksi puristettu turvejäte käytetään polttoaineeksi. Edelleen mainittakoon turpeen kaasutukseen ja kuivatislaukseen liittyvät kokeilut ja tutkimukset, joita mm. meillä suoritetaan. Turpeen kuivatislauksen tuotteena turvekoksi on tullut mielenkiinnon kohteeksi erikoistarkoituksissa, kuten metalli- sekä kemiallisessa ja keraamisessa teollisuudessa. Tällöin turvekoksin erinomaiset ominaisuudet — reaktiivisuus ja puhtaus — pääsevät oikeuksiinsa. Edelleen mainittakoon kokeilut turpeen uuttamiseksi, jolloin saadaan ensiluokkaisia vahoja, hartseja sekä erilaisia sivutuotteita ja uutettua turvetta. Menetelmät ovat jo pitkälle kehitettyjä ja sopisivat esim. turvevoimalaitoksien yhteydessä käytettäväksi, mikäli riittävän runsasbitumista turvetta olisi saatavissa.

Geologien kannalta lienee vielä lopuksi paikallaan todeta, että turpeen käyttö turvekemiallisen malminetsinnän kohteena on osoittautunut mielenkiintoiseksi suon alla olevien malmiaineksien rikastajana ja ilmaisijana (Salmi 1950 b, 1955, 1956, 1958). Täten nuo vetiset ja monen mielestä harmilliset suot ovat tulleet entistä läheisemmiksi laajoillekin geologiipiireille.

SUMMARY

Peat and its utilization: The percentage of the area covered by bogs in the different parts of Finland is presented in Figure 2. *Sphagnum* peat and *Carex* peat are the most common varieties of peat. The technical utilization of peat depends primarily on its degree of humification and its ash content. It has been estimated that Finland has 300 000 hectares of peat suitable for utilization as fuel; though this is the equivalent of some 600 million tons, the annual production is only 150 000 tons. A power plant utilizing peat as fuel is being planned. In addition, peat is used in the production of peat litter and peat mold.

KIRJALLISUUTTA

- v. BÜLOW, K. (1925), Moorkunde. Sammlung Göschen 916. Berlin.
- ILVESSALO, Y. (1956), Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Metsätiet. tutkimusl. julk. Comm. Inst. Forest. Fenn. 47, 1.
- »— (1960), Suomen metsät kartakkeiden valossa. — The forests of Finland in the light of maps. — Die Wälder Finnlands im Licht von Karten. Ibidem 52, 2.
- KAZAKOV, G. (1953), Soviet peat resources. A descriptive study. Research program on the U.S.S.R. New York.
- MALMSTRÖM, G. (1928), Våra torvmarker ur skogsdikningssynpunkt. Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt. Häfte 26. Stockholm.
- TACKE, BR. (1929), Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorkultur. Verlagsbuchhandlung Paul Parey. Berlin.
- SALMI, MARTTI (1950 a), Suomen turvevarat ja niiden käyttö. Geol. tutkimusl. geotekn. julk. 50.
- »— (1950 b), Turpeiden hivenaineista. (With an English Summary: On trace elements in peat). Geologinen tutkimuslaitos. Geological Survey of Finland. Geotekn. julk. 51.
- »— (1954 a), Investigation of the calorific values of peats in Finland. Intern. peat symposium, Section B 3. Dublin.
- »— (1954 b), Turvetutkimukset Geologisessa tutkimuslaitoksessa. Suo 4—5.
- »— (1955), Prospecting for bog-covered ore by means of peat investigations. Bull. Comm. géol. Finlande 169.
- »— (1956), Peat and bog plants as indicators of ore minerals in Vihanti ore field in Western Finland. Ibidem 175.
- »— (1958), Soiden peittämän kallioperän vaikutus turpeiden pH-arvoihin. (With an English Summary: On the pH-values of peat as affected by the underlying bedrock). Geologinen tutkimusl. — Geological Survey of Finland. Geotekn. julk. 61, 3.

GEOLOGISET TUTKIMUKSET VOIMALAITOSSUUNNITTELUSSA

KAUKO KORPELA

JOHDANTO

Talvisodan rauhanteossa menetettiin kolmannes rakennetusta vesi-voimastamme. Se antoi lopullisen sysäyksen valtion voimalaitoshankkeiden alullepanemiseen. Oulujoen kosket kuuluivat pääasiassa valtiolle. Keväällä 1941 perustettiin Oulujoen rakentamista varten Oulujoki Osakeyhtiö.

Pyhäkoskella rakennusvaiheen aikana sijainnut Oulujoki Osakeyhtiön betonilaboratorio laajennettiin 1949 Betoni- ja geoteknilliseksi toimistoksi, jonka tehtäviin aikaisempien betonitöiden valvonnan ja erilaisten betonitutkimusten lisäksi tulivat kuulumaan siitä lähtien myös mm. maa- ja kallioperätutkimukset, maaperän tiiviyskysymykset, rakennusmateriaalin etsintä ja inventointi. Nykyisin tällä edelleen Pyhäkoskella sijaitsevalla toimistolla on verrattain laaja ammattihenkilökunta, mm. kymmenkunta akateemisen loppututkimuksen suorittanutta (koko henkilökunnan vahvuus on noin 135). Tutkimuksissa käytettävästä kalustosta mainittakoon 11 syväkairauskonetta, kahdet seismiset ja sähköiset laitteet, 2 heijarikairauskalustoa sekä painokairaus-, mäntäkairaus- ym. maalajien pintakairaukseen soveltuvia kairoja, 53 cm putkikairauskalusto isoja maanäytteitä varten sekä kaikuluotausvene laitteineen. Tutkimustehtävien suorittamista varten on uusi ajanmukainen betoni- ja geoteknillinen laboratorio, joka suorittaa myös virallisia aineenkoetus- ja tutkimustehtäviä yhtiön ulkopuolisille tilaajille. Geologista asiantuntija-apua joudutaan antamaan runsaasti voimayhtiöiden ulkopuolelle. Hyvien suhteiden ansiosta olemme puolestamme saaneet apua geologikollegoiltamme mm. Geologisen tutkimuslaitoksen maalajiosastolta.

Imatran Voima Osakeyhtiö, Kemijoki OY ja Oulujoki Osakeyhtiö ovat kaikki valtioonemmistöisiä voimayhtiöitä ja keskenään vielä sisaryhtiöitä, joten Betoni- ja geoteknillinen toimisto suorittaa kaikkien näiden yhtiöiden geologiset tutkimukset.

Sodanjälkeisissä vesivoimanrakennussuunnitelmissa ja jo toteutetuissa voimalaitoshankkeissa on esiintynyt yleisenä tendenssinä laitospaikkojen valinnan vaikeutuminen. Nykyisillä koskiosuuksilla ei ole enää sellaisia paikkoja, jotka kiistattomasti ovat toisia vaihtoehtoja parempia. Joudutaan tutkimaan täydellisesti useita vaihtoehtoisia laitospaikkoja, joista pystytään valitsemaan vasta tutkimustulosten mukaan laadittujen vertailevien kustannusarvioiden perusteella oikeat laitospaikat. Uutena piirteenä voimalaitoshankkeissa on selvästi havaittavissa maapatojen käytön voimakas lisääntyminen. Ennen rakennettiin keskitettyihin koskiosuuksiin kallio-pohjalle. Nykyisin on pyrkimyksenä laatia jokaisen joen rakennussuunnitelma siten, että ennen arvottomiksi katsotut loivat jokiosuudet saadaan hyödyksi voimalaitoksen putouskorkeuteen. Tällainen kokonaisporrastus vaatii pitkiä rantapatoja (Petäjäskoskella noin 14 km) ja niiden pohja- ja materiaalitutkimuksissa tarvitaan geologista ja geoteknillistä asiantuntemusta.

Aikaisempina vuosina voitaneen täysin perustein väittää esiintyneen voimalaitospaikkojen tutkimuksissa ja suunnitteluvaiheessa selvää geologisen perustietämyksen puutetta. Myöhemminkin geologisia tutkimuksia suoritettaessa on esiintynyt johdonmukaisten ja yhtenäisten työnsuoritusmenetelmien tarvetta. Ennen kaikkea lisätutkimusten olisi aina täydennettävä edellisiä tutkimuksia. Lisätutkimustarve on suunniteltava siten, ettei mitään aikaisempia tuloksia tarvitse hylätä nykyisiin laitossuunnitelmiin soveltumattomina.

Käytännön kokemus ja tarve on muotoillut geologisten tutkimuksien laajuustarvetta, menetelmiä ja suorittamisjärjestystä, jotka tietysti paikallisten geologisten olosuhteiden mukaan voivat vaihdella, mutta tutkimusjärjestys on yleensä nelivaiheinen seuraavan sivun taulukon mukaisesti:

Vaihe A. Geologinen aluekartoitus

- » B. Geologinen paikalliskartoitus
- » C. Rakennusalueiden geologinen tutkimus
- » D. Rakennuspaikan geologinen selvitys

Jokaisella vaiheella on määrätty tavoite (so. esim. tutkimustulos jostain määrätystä kohteesta), joka pitää saavuttaa, vaikka haluttuun tulokseen pääsemiseksi joissakin tapauksissa täytyisi tehdä suhteellisesti enemmän työtä kuin toisissa. Tällöin joudutaan B kohtaa varten suorittamaan suuri määrä erilaisia tutkimuksia, jotka soveltuvat käytettäväksi myös C-vaiheessa.

Jokaisessa neljässä vaiheessa on tärkeää tietojen kokoaminen jo työn aikana tai ainakin heti sen päätyttyä, jotta suunnittelu- tai rakennusosasto pääsee heti käyttämään tutkimustuloksia.

A-VAIHE. GEOLOGINEN ALUEKARTOITUS

Pyrkimyksenä on määritellä, mitä geologisia ja siis myös taloudellisia edellytyksiä on olemassa suunnittelun alaisen paikan rakentamiselle. A-vaihe käsittää kaiken saatavissa olevan aikaisemman aineiston keräämisen ja hyväksikäytön. Tällöin tulee tietysti kysymykseen geologinen kartta selityksineen ja muut mahdolliset geologiset julkaisut. A-vaihe on alustavaa tutkimusta.

Maaston tarkastelun suorittaa tavallisesti kolmen miehen ryhmä, kallio-perä- ja maalajigeologi sekä insinööri. Tarkastusta ei rajoiteta vain mahdollisiin rakennuspaikkoihin, vaan se ulotetaan myös ympäristöön, jotta saataisiin selville kalliojaljastumat, rakoilusuunnat, kulut, kaateet, kivilajien kontaktit, jotka ilmenevät epäselvinä mahdollisella rakennuspaikalla.

Tämän vaiheen tarkoituksena on todeta yleispiirteisesti maapadon tiivistemateriaalin, suodatinkerrosten, tiesoran ja betonisoran mahdolliset saantipaikat tai niiden ilmeinen puuttuminen rakennuspaikalta.

Tätä vaihetta varten suoritetaan yleensä koko jokiosuuden fotogeologinen ilmakuvantulkinta.

A-vaiheen tutkimuksissa käytetään työvälineinä vain geologin vasaraa, kenttälapiota, kompassia ja silmiä. Helikopteri on osoittautunut erinomaiseksi apuvälineeksi yleiskäsityksen saamiseksi maalajeista sekä on apuna kalliojaljastumien, rakosuuntien ja harjujen paikallistamisessa. Ilmakuvien käyttö on ehdoton edellytys nopean ja luotettavan alustavan geologisen kartoituksen syntymiselle.

A-vaiheen tutkimukset ovat yksinomaan geologisia. Pyrkimyksenä on, ettei suunnittelija lausu vielä tässä vaiheessa julki suunnitelmiaan, jotta geologi voisi suorittaa havaintonsa tuijottamatta liiaksi vain yhtä kohdetta.

Alustavan tutkimuksen selostus on pyrittävä kirjoittamaan pitäen mielessä, että sitä tullaan korjaamaan ja täydentämään B-vaiheessa. Ainoastaan siinä tapauksessa, että geologiset olosuhteet ovat peräti yksinkertaiset, ei B-vaiheessa tarvita paljoakaan lisätöitä. Käytännössä useinkin kiireen ja tutkimusajan niukkuuden takia joudutaan tekemään tutkimuksia samanaikaisesti vaiheessa A ja B.

B-VAIHE. GEOLOGINEN PAIKALLISKARTOITUS

Alustavan tutkimuksen jatkona suoritetaan tarvittavat tutkimukset rakennuspaikkojen vertailua ja valintaa varten. Edelleen on suoritettava geologisten yksityiskohtien vertailua, määrättävä kivilajien kairattavuus, lohkeilu, rakoilusuunnat, ruhjeytyshyökkeet, maakerrostumien paksuus, kerrosrajat, kaivettavuus eri konetyypeillä, kivisyys, kantavuusominaisuudet,

Taulukko 1. Voimalaitos- ja patopaikkojen
geologisten tutkimusten eri vaiheet

Työvaihe	Geologiset tutkimukset	
	Maaperägeologia	Kallioperägeologia
Vaihe A: Geologinen aluekartoitus	Geologinen kartoitus ilmakuvatul- kinnan perusteella mittakaavaan 1: 100 000 tai 1: 50 000. Maalajien tarkistus maastokäyntien avulla; pintakuoppia tarpeen mukaan.	Kalliopaljastumien merkitseminen geologiseen karttaan.
Vaihe B: Geologinen paikallis- kartoitus	Pääasiassa maastossa ilmakuvia apuna käyttäen, tehty geol. kar- toitus mittakaavaan 1: 20 000 tai 1: 10 000. Koekuoppia ja matala- kairauksia. Alustavia maalajipro- fiileja. Rakennusaineksien saantialueiden etsintä.	Kallioperän kartoitus paljastu- mien perusteella. Mahdollisten ruhjeytyöhykkei- den määrittäminen ilmakuvien perus- teella.
Vaihe C: Rakennusalueiden geologi- nen tutkimus (Rak. paikan valinta). Tutkimussuunnitelma tehty geologisten olosuhteiden mukaan.	Paikalliskartoituksen pohjalla maastossa suoritettu geologinen tutkimus 1: 4 000 kartalle ja pato- linja- ym. profiilit 1:4 000 tai 1: 2 000/1: 200 kalliioon asti. Rakennusaineksien inventointi.	Kallioperän arvostelu seismisten ja syväkairaustietojen pohjalla.
Vaihe D: Rakennuspaikan geologinen selvitys. Tutkimussuunnitelma tehty rakennussuunnitelmien mukaan.	Täydentävät geol. tutkimukset rakennuspaikalla. Rak. paikan maa- lajien tekn. ominaisuudet ja käyttö- mahdollisuudet.	Täydentävät kallioperätutki- mukset syväkairausta käyttäen. Kallioperän laadun, rikkonai- suuden ym. ominaisuuksien sel- vittäminen.

vedenläpäisevyys ja kaivettavien maiden sopivuus käytettäviksi esim. maapatorakenteisiin jne.

Rakennusaineksista suoritetaan vertailevia laboratorioskokeita ja määritellään aineksien soveltuvuus, mutta lopulliset laatuselvitykset ja inventoinnit kuuluvat vasta C-vaiheeseen.

Rakennuspaikan valinnan (varsinaisesti C-vaihetta) selvittämiseksi joudutaan usein laajentamaan ja täydentämään tutkimuksia jo B-vaiheessa. Tällöin laaditaan yksityiskohtaiset geologiset kartat vaihtoehtoisista rakennuspaikoista. Geologisen kartan avulla tulee mahdolliseksi vaihtoehtoisten rakennuspaikkojen vertailu ja niiden avulla saadaan käsitys lisätutkimustarpeesta. Geologiset kartat ovat tutkimusohjelman halvimpia vaiheita, mutta niistä riittää hyötyä kaikkiin muihin tutkimuksiin ja jokaiseen tutkimusvaiheeseen.

B-vaiheen tutkimuksia koskevat geologiset tiedot lisätään alustavan tutkimuksen tuloksiin ja laaditaan uusi parannettu painos muistiotia.

Muistio sisältää geologisen yleiskuvauksen, tiedot kallio- ja maakairauksista, koekuopista, geologiset poikkileikkaukset ja profiilit sekä rakennusmateriaalin saantipaikat. Se on geologinen selostus lopullista valintaa varten suunnittelijoille.

C-VAIHE. RAKENNUSALUEIDEN GEOLOGINEN TUTKIMUS.
RAKENNUSPAIKAN VALINTA

C-vaiheen tutkimuksista saadaan kaikki alustavan suunnitelman ja kustannusarvion laatimiseen tarvittavat tiedot. Ne ovat tietysti täydellisemmät kuin yksistään valintatarkoitukseen käytetyt tutkimukset. Tämän vaiheen tutkimuksien tarkoituksena on myös selvittää yksityiskohtaisemmin rakenteiden sijaintipaikkojen maa- ja kallioperän laatu ja todeta tarkemmin rakennusaineisten ominaisuudet, määrä ja kustannukset. C-vaiheen tutkimusten laajuus riippuu A- ja B-vaiheiden tutkimusten täydellisyydestä.

Geologinen kartta selityksineen rakennusalueesta, mikäli sitä ei ole tehty B-vaiheessa, tehdään näiden tutkimuksien perusteella. Geologisesta kartasta ja selostuksesta tulee ilmetä:

- kalliopaljastumat,
- kivilajit, kulku ja kaade, fysikaalinen olomuoto, rapautumisaste,
- siirrokset, murrosvyöhykkeet ja -tasot, rakoilusysteemit,
- maalajit, huomioituna myös morfologia, joka usein antaa viitteitä maalajien teknisistä ominaisuuksista,
- maalajikerroksien paksuus (seismiset tutkimukset, koekuopat, kairaukset),
- geologiset profiilit, joista ilmenee kaikki niin pinta- kuin syvemmistä kerroksista saadut tutkimustulokset ja tehdyt päätelmät,
- maa- ja kalliokairauspisteiden sijainnit ja yksityiskohtaiset tulokset profiileina,
- materiaalitutkimuksista lopullinen laatu- ja määräninventaario, betonin kiviaineksen kelpoisuuden ennakkokokeet,
- maalajilaboratorion koetulokset otetuista näytteistä rakennusaineksien sopivuuden, määrien ja kustannuksien vertailemiseksi,
- geofysikaalisten pohjatutkimusten kartat ja profiilit.

Selostusosa sisältää edellä mainitun lisäksi suppean selosteen mm. alueen geologisesta kehityksestä, päätelmät kivilajeista, siirroksien ja rapautumisen vaikutuksista. Päätelmissä käsitellään kaadetta, kulkua, poimuttamista, rakoilua ja kerrostumasarjan ulottuvaisuuksia. Muistioon liittyvät edelleen:

- selosteet poikkileikkauksista,
- » rakennuspaikoista,
- » geofysikaalisista pohjatutkimuksista maalajipeitteen paksuuden selvittämiseksi,
- päätelmät vedenläpäisevyyksistä, huokosvesipaineista, leikkauslujuuksista, pohjavesisuhteista, rakeisuus- ja lieteanalyyseistä, kitkakulmista, luonnon- ja optimikosteudesta, kokoonpuristuvuudesta,
- kuvaukset erityisistä olosuhteista, kuten eroosiolle alttiista kohdista, paksuista sulfidihiesualueista, moreeninalaisista sorakerrostumista jne.

D-VAIHE. LOPULLISEN RAKENNUSPAIKAN GEOLOGINEN SELVITYS

C-vaiheen aikana joutuivat geologit ja suunnittelijat jatkuvaan kanssakäymiseen tuloksien tiedottamiseksi ja uusien tutkimusohjeiden laatimiseksi. D-vaiheessa suunnittelijat ovat vielä enemmän mukana tutkimuksissa ja ohjelmat on laadittava siten, että tuloksista on höytyä sekä geologiselle selvittelylle että suunnitteleville ja rakentaville insinööreille. Geologiset tutkimukset antavat lisäselvitystä lopullisiin suunnitelmiin ja laadittaviin työselityksiin. Neuvottelut käydään tavallisesti geologien ja insinörien kesken rakennuspaikalla ja tuloksena on usein lisätutkimusohje lopullisella laitospaikalla tai patolinjalla. Saadut lisätiedot vaativat geologisen selostuksen täydentämistä ja korjaamista.

Rakennusvaiheen aikana saadaan uusia tietoja jatkuvasti leikkauksista. Geologisia tuloksia ja piirustuksia tarkastetaan kaivutöiden edistyessä, jolloin käsitykset alueen geologisesta rakenteesta muotoutuvat lopullisiksi.

Varsinaisten neljän tutkimusvaiheen perässä seuraa vielä työmaavaihe, E, jonka aikana ei enää geologilla pitäisi olla sanottavasti asiaa työmaalle. Kuitenkin joutuu geologi antamaan lausuntoja työmaalle, jos rakennussuunnitelmat muuttuvat tai jos ilmenee jotain ennakolta arvaamatonta. Luiskasortumat, patojen vuodot, materiaalin laadun tarkkailu, injektointityöt, kaivojen kuivuminen ja seismitron-mittaukset tunneleissa kuuluvat geologin tehtäviin.

Ruotsin Kungliga Vattenfallstyrelsenin organisaatiossa on varsinaisten tutkimusgeologien lisäksi määritelty työmaageologin tehtävät ja sellainen onkin palkattu siellä. Omien geologien lisäksi he käyttävät tutkimusvaiheessa runsaasti konsultoivia geologeja apunaan.

Yllä esittämäni neljä tutkimusvaihetta vievät aikaa 3—5 vuotta, mikäli tutkimuksien välillä voidaan pitää tulosten käsittelyä varten tauot. Tutkimuskustannukset ovat 1—2 % voimalaitoksen rakennuskustannuksista.

Edellä esitetyn oman ohjelmansa lisäksi geologi avustaa toimistonsa virkatovereita mm. seismisissä tulkinnoissa, maalajikerrosrajojen selvit-

telyssä, työmaita kaivinkoneiden valinnassa, maapatokontrollissa ja betoni-
 aseman laadun tarkkailussa.

Ylläesitettyä voimalaitos- ja patopaikkojen nelivaiheista geologista
 tutkimusta ei luonnollisestikaan voida aina suorittaa kirjaimellisesti numero-
 järjestyksessä, mutta geologista tietämystä tarvitaan joka tapauksessa run-
 saasti voimalaitosrakentamisessa. Betoni- ja geoteknillisen toimiston suorit-
 taessa omien yhtiöiden ulkopuolisia tutkimuksia on voitu todeta yllä-
 esitetyn tutkimusjärjestyksen soveltuvan kaikkien rakennusalueiden geol-
 ogisiin selvityksiin. USA:n, Ruotsin ja Neuvostoliiton voimalaitosgeologit
 käyttävät tutkimuksissaan nelivaiheista tutkimussysteemiä, joissa on luon-
 nollisesti paikallisista olosuhteista johtuvia eroavuuksia.

Toiminta geologialle Suomessa ennen täysin vieraalla alalla on mielen-
 kiintoista käytännön ja tekniikan parissa työskentelyä, jossa joutuu pakosta
 itsenäiseen toimintaan. Meillä on käytännön geologian alalla vielä paljon
 tehtävää ja moni työsektori tarvitsee geologia, kunhan päästään siitä täysin
 yleisestä harhakäsityksestä, että käytäntö ja teknillinen ala eivät kuulu
 geologian piiriin. Geologiliitolla ja yksityisillä geologeilla on velvoittava
 tehtävä edessään laajentaa edelleen geologisen tiedon käyttömahdollisuuksia.

SUMMARY

*Geological investigations in the planning and construction of hydroelectric power
 plants:* With regard to the present power plant projects it has generally been noticed
 that the selection of the plant sites has become more difficult. Consequently the
 need for the geological investigations has increased in connection of power plant
 design. Four different stages can be distinguished in the geological investigation of
 sites for power plants: A: Preliminary geological survey, B: Local geological mapping,
 C: Geological investigation of construction areas and selection of the construction
 site, and D: Geological description of the building site.

ALAN KIRJALLISUUTTA

- HEATON, R. L. ja HAMILTON, L. W. (1947), Sequence of Geological Investigations.
 Geology Report No. G—95, US Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
 MAAPATOTÖIDEN SUORITUS- JA VALVONTAOHJEET. Rakennusinsinööriyhdistyksen jul-
 kaisu A 36, Helsinki 1959.
 VUORINEN, J. (1956), Piirteitä nykyaikaisesta maapatotekniikasta. Rakennusinsinööri-
 yhdistys, Vesistökurssi.
 —»— (1959), Piirteitä Oulujoki Osakeyhtiön Betoni- ja geoteknillisen tutkimus-
 laboratorion toiminnasta. Oulun teknillinen seura, Oulu.

ILMAKUVANTULKINTA MAAPERÄNKARTOITUKSEN APUNA

SEPPÖ PENTTILÄ

MITÄ ILMAKUVANTULKINTA ON

FOTOGEOLOGIA JA ILMAKUVANTULKINTA

Tutkimusmenetelmälle, jossa valokuvien avulla tehdään geologisia arviointeja, on vakiintunut nimitys fotogeologia. Lentokoneesta otetut ilmavalokuvat muodostavat kuitenkin käyttöarvoltaan niin ylivoimaisen kuvatyypin geologisen tiedon lähteenä, että fotogeologia käytännössä voidaan rinnastaa nimenomaan ilmakuvien geologisen käytön kanssa.

Ilmakuvien käytössä erotetaan tavallisesti kolme tapaa: lukeminen, tulkinta ja mittaus.

Sanonta kuvan lukeminen viittaa suoraan kartan lukemiseen, vanhastaan käytössä olevaan ilmaisuun. Kuvia lukemalla koetetaan aivan samoin kuin kartanluvulla muodostaa yleiskäsitys maastosta. Tähän riittää se, että pystyy tuntemaan, mitä kuvan yksityiskohdat vastaavat maastossa.

Kuvan tulkinnaksi sanotaan kuvien tarkkaa ja järjestelmällistä tutkimista. Tällöin yksityiskohtien ominaisuuksien, nim. niiden muodon, koon, ryhmittymisen jne. avulla, tehdään pitkälle meneviä päätelmiä niiden lajista ja yhteyksistä. Samoin kuvassa näkyvien laajempien kuviohahmojen avulla etsitään erilaisten maisematekijöiden esiintymisessä ilmeneviä säännönmukaisuuksia ja riippuvuussuhteita.

Kuvamittauksessa kuvia käytetään suuntien, välimatkojen ja korkeuserojen mittaamiseen. Teknillisenä tieteenhaarana kuvamittausta, joka sisältää myös täydellisen ilmakuvien avulla suoritetun topografikartoituksen, nimitetään fotogrammetriaksi.

Mahdollisuus ilmakuvien hyväksikäyttöön geologisessa tutkimustyössä perustuu nimenomaan kuvantulkinnan käyttämiseen. Tietynlaajuiset mittaukset ovat nekin joskus tosin tarpeellisia geologisessa kuvantulkinnassa, mutta suureksi osaksi varsinaiset fotogrammetriset mittaukset jäävät

geologin tarpeiden ulkopuolelle. Kuvien lukeminen liittyy itsestään selvänä alkuvaiheena tulkintaan, mutta ilmakuvien käyttäminen pelkästään pohjakarttoina on aineiston tuhlausta.

STEREOTARKASTELU JA STEREOSKOOPIT

Jo yksityinen ilmakuva sisältää runsaasti kuviointia, jota voidaan käyttää apuna maaston rakenteen selvittämisessä. Mutta kuvantulkinnan varsinaiset mahdollisuudet johtuvat siitä, että kahta ilmakuvaa samanaikaisesti tarkastelemalla maastosta voidaan muodostaa kolmiulotteinen avaruusmalli.

Luonnollinen stereonäkeminen perustuu siihen, että kumpikin silmä tarkastelee ympäristöä hiukan eri näkökulmasta. Eri etäisyydellä olevien pisteiden vähäisen suhteellisen siirtymisen silmien verkkokalvokuvilla havait-sija tajuaa syvyysvaikutelmana. Tuon siirtymän eli parallaksin suuruus riippuu paitsi tarkasteltavana olevan kohteen etäisyydestä myös silmien välin suuruudesta. Tämän vuoksi ihminen, jonka silmät ovat vain noin 6.5 cm:n päässä toisistaan, voi tehdä tarkkoja etäisyyttä koskevia havain-toja vain lähiympäristöstään.

Syvyysvaikutelmaa voidaan lisätä, jos kummankin silmän luonnollinen näkökuva korvataan valokuvalla ja tällaisen kuvaparin eli stereoparin kuvat otetaan kauempaa toisistaan kuin silmänvälin päästä.

Ilmakuvat otetaan kartoituskuvauksessa siten, että jokainen kuva peit-tää n. 60 % myös edellisen kuvan peittämästä maastosta. Tämän yhteisen alan osalta kaksi vierekkäistä ilmakuvaa muodostaa siis stereoparin. Ja kun kuvien ottoväli on ilmakuvauksessa kilometrin verran ja enemmänkin, maaston korkeussuhteet tulevat niiden muodostamassa avaruusmallissa esiin suuresti liioiteltuina. Vielä 4 000 metrin korkeudesta otetuissa kuvissa voidaan erottaa alle 1 metrin korkeuseroja. Korkeussuhteiden kuvautuminen liioiteltuina on aivan erityisen tärkeä avaruusmallin ominaisuus geologisen tulkinnan kannalta. Maanpinnan morfologiasta saadaan näin erittäin yksi-tyiskohtainen, paljastava kuva. Vastaavan maaston tarkastelu paljain sil-min lentokoneesta ei anna läheskään yhtä hyvää mahdollisuutta analysoida pinnanmuodostusta, puhumattakaan rajoitetusta maastoperspektiivistä.

Kuvaparia tarkastellaan tavallisesti erityisellä laitteella, stereoskoopilla, joka helpottaa silmien työskentelyä ja samalla suurentaa kuvia. Yksinker-taisin muunnos näistä laitteista on linssistereoskooppi, joista puolestaan on kätevin taitettavilla jaloilla varustettu taskustereoskooppi. Tällä voidaan suorittaa melko vaativiakin tulkintatehtäviä ja se sopii erinomaisesti myös maastokäyttöön. Linssistereoskoopissa on haittana se, että kojetta täytyy liikutella ja kuvia taivutella, jotta voitaisiin tarkastella koko stereoalaa, sillä kuvat on pidettävä vain silmänvälin päässä toisistaan. Lisäksi tila

linssien ja kuvien välillä on ahdas merkintöjä tekevää kättä varten. Nämä haitat on korjattu peilistereoskoopissa. Siinä kuvia katsellaan linssien lisäksi vielä peilien välityksellä. Kuvat voidaan pitää kauempana toisistaan ja suuristakin kuvista voidaan tarkastella koko avaruusmallin alaa tarvitsematta vaihtaa kuvien reunojen asentoa. Maastokäyttöön peilistereoskooppi ei suuren kokonsa vuoksi sovi.

KUVANTULKINNAN EDUT JA RAJOITUKSET

Ilmakuvien tarkastelijalla on mahdollisuus kaikessa rauhassa tehdä havaintoja laajalta alueelta samalla kertaa. Tällöin hahmottuu yhteen asioita, jotka maastossa hajoavat säännöttömäksi mosaiikiksi. Hyvään yleiskatsaukseen liittyy toisaalta tavaton detaljimäärä, joka saadaan esiin käyttämällä tarkastelussa voimakkaampaa suurennusta. Yksityiskohtien kuvautumisella on kuitenkin rajansa. Niinpä kuvissa, joiden mittakaava on 1: 20 000, on vaikea erottaa läpimitaltaan metriä pienempiä selviäkään yksityiskohtia. Tässä mielessä kuvantulkinta tarkimmillaankin jää yleispiirteiseksi tutkimiseksi, joka vaatii maastotyötä tuekseen ja jatkokseen. Tämä merkitsee myös sitä, että tutkittavana olevan ilmiön alueellisesta laajuudesta riippuu osaltaan se, onko fotogeologisista menetelmistä hyötyä sen selvittelyssä. Ilmakuvantulkinnasta saatu hyöty on suurimmillaan silloin, kun tutkimus kohdistuu hyvin suuriin alueisiin ja on luonteeltaan tunnustelevaa. Erikoisesti perifeerisillä alueilla, missä liikkuminen on hankalaa, kuvantulkinta voi tarjota korvaamatonta apua. Esim. suurissa maa- ja vesirakennusohjelmissa nopeaa fotogeologista kartoitusta käytetään edullisimpien rakennuspaikkojen ja rakennusmateriaalin saantipaikkojen löytämiseksi. Jatkotutkimukset tehdään sitä enemmän maastossa, mitä yksityiskohtaisempia tuloksia rakennustyö vaatii. Geologisten karttojen laatimisessa työ voidaan jättää sitä enemmän kuvantulkinnan varaan, mitä pienempikaavaisesta kartoituksesta on kysymys. Mutta siinäkin tapauksessa, että työn painopiste on maastossa, kuvantulkinta lisää suunnitelmallisuutta ja vähentää kallista kenttätöitä.

Ilmakuvat sisältävät paljon geologin kannalta toisarvoista aineistoa. Ensimmäinen tehtävä fotogeologisessa analyysissä on tunnistaa ne yksityiskohdat ja laajemmat kuviot, joilla on geologista merkitystä. Näitä sisältyy kaikkiin maisematekijöihin, ennen kaikkea tietenkin maankamaraan, mutta yhtä hyvin myös veden, kasvillisuuden ja kulttuurinkin muotoihin. Harjaantuminen kuvantulkintaan tekee mahdolliseksi löytää nopeasti ja ilman eri pohdintaa kulloinkin tutkittavaan asiaan liittyvät oikeat indikaatiot. Kuvantulkintaa voi menestyksellisesti käyttää apunaan vain henkilö, jolla on riittävät tiedot niiden muodostumien luonteesta, joita hän tutkii. On sen vuoksi vaikea uskoa, että tulkitseja voisi päästä kovinkaan pitkälle ilman

perusteellista ja jatkuvaa, tulkinnan kanssa samoihin muodostumiin kohdistuvaa maastotutkimusta. Alueelliset eroavaisuudet ovat omankin maamme puitteissa jo niin suuret, että tulkitsijan on ainakin alustavasti perehdyttävä maastossa hänelle uuden alueen erikoisuuksiin.

Eri alueilla kuvantulkinnan käyttökelpoisuus vaihtelee melko paljon muodostumien luonteen, häiritsevien tekemuotojen runsauden ja maankamaraa peittävän kasvillisuuden, ennen kaikkea metsän tiheyden vuoksi. Viimeksimainitusta syystä esimerkiksi pohjois-Suomi on helpommin tulkittavaa aluetta kuin etelä-Suomi, missä metsän peittävyys on paljon suurempi.

MAALAJIEN TUNNISTAMINEN ILMAKUVIEN AVULLA

YLEISTÄ

Geologinen kuvantulkinta on erityisen käyttökelpoinen maaperään kohdistuvissa tutkimuksissa. Maaperä on maastossa lähinnä pintaa, valokuvauskoneen objektiivin parhaiten tavoitettavissa. Morfologia, jonka tutkimiseen ilmakuvat erikoisen hyvin soveltuvat, on maaperän geneettisessä luokituksessa keskeisellä sijalla. Nimenomaan maaperänkartoitukseen fotogeologia onkin tuonut tervetulleen, aikaa ja kustannuksia säästävän lisän.

Näkökulma, josta maaperää tutkitaan, on ilmakuvantulkinnassa perusteellisesti totutusta poikkeava. Kuvien välityksellä maastoa tarkastellaan muutaman tuhannen metrin korkeudesta. Tavanmukainen kartoitus taas perustuu aivan läheltä tehtyihin maalajihavaintoihin. Maastossa kartoitus etenee siten, että todettuja maalajisuhteita merkitään kartalle. Suuri määrä lajitehavaintoja muodostaa vähitellen kartalle kuvan, josta alkavat hahmottua kunkin muodostuman ulottuvuudet. Tämän karttakuvan sekä maastossa samalla tehtyjen morfologiaa ja sisärakennetta koskevien havaintojen avulla päätellään myös muodostuman synty tapa. Ilmakuvantulkinnassa edetään päinvastaisessa järjestyksessä. Laajaa näköalaa hyväksikäyttäen koetetaan määrittellä suoraan muodostuman geneettinen laatu. Tämän perusteella päätellään sitten edelleen, mistä lajitteista se on muodostunut. Tämä mahdollisuus perustuu siihen, että synty tapa määrää paitsi kuvissa näkyvän ulkoisen muodon myös sisärakenteen ja lajitekokoomuksen. Toisissa tapauksissa syy-yhteys on kiinteämpi, toisissa löyhempi. Varsinkin geomorfologian osuus kartoitusteknisenä aputieteenä kasvaa ratkaisevasti kuvantulkintaan siirryttäessä.

Morfologigeneettisen päättelyn apuna on runsaasti ekologisia indikaatioita, sillä kasvipeite kuvastaa alustan ominaisuuksia ja antaa siten vihjeitä maaperän lajitekokoomuksesta. Joskus maalajin oma värisävy on poikkeuksellisen luonteenomainen ja näkyy ilmakuvassa. Eräissä tapauksissa, kun alkuperäinen morfologia on vaikeasti tulkittavissa, myöhäiset

kulutusmuodot helpottavat päättelyä. On myös muistettava, että ns. teko-muotojen esiintyminen antaa sekin runsaasti viitteitä, jotka helpottavat ja varmistavat maalajisuhteiden määrittelyä.

TURVEKERROSTUMAT

Turpeen erottaminen muista maalajeista on helpoimpia maaperägeologisia tulkintatehtäviä. Metsän puuttuminen tai sen kitulias kasvu, luonteenomainen pintakuvioitus ja vetisten rimprien olemassaolo osoittavat suon. Pohjois-Suomessa ohutkin turvekerros soistuvassa metsässä on selvästi havaittavissa ilmakuvista. Etelä-Suomessa paljastaa metsän sisään jäävän turvekerroksen usein ojitus.

Suot peittävät yleensä maankamaraan painanteita ja niiden pinta pyrkii olemaan suurin piirtein vaakasuora. Myös rinnen suot, jotka kiipeävät kohoumien lakiosaan asti, ovat tavallisesti rinteeseen muodostuneessa painanteessa. Tasainen, paljaaksi hakattu tai palanut entinen metsäkangas on maastotyyppi, joka saattaa muistuttaa ilmakuvassa suota. Tarkemmin katsoessa tällaisessa näkyy kuitenkin tavallisesti kiviä, polkuja, hakkuujätteitä tai topografisia pienmuotoja, joiden perusteella sen voi erottaa suosta.

Suon pinnan tummuussävy kuvassa riippuu suon kosteudesta ja pintakasvillisuuden laadusta. Niinpä saranevat eroavat varpua kasvavista siksi, että sarat ja heinälajit ovat vaaleampia kuin varpunevojen valtakasvit kanerva, suopursu ja vaivaiskoivu. Kohosuon luonteenomainen kuvio muodostuu tummemmasta, varpua kasvavasta keskiosasta ja sitä reunustavasta saranevakauluksesta. Lapin soissa on vaaleasävyisten jänteiden esiintyminen hyvin silmiinpistävää. Ne ilmaisevat paitsi suon olemassaolon myös sen viettosuhteet muodostaen eräänlaisia luonnollisia korkeuskäyriä sen pinnalle.

Pintakasvillisuudeltaan yhdenmukaisessa suossa kosteammat paikat näkyvät tummempina. Siksi esim. ohutturpeisissa aapasoiissa alustan painanteet näkyvät kosteuden välityksellä suhteellisen selvästi.

MOREENIKERROSTUMAT

Mineraalimaalajeista pohjamoreeni peittää suurinta osaa maamme pinnasta. Sen kartoitus vie vastaavasti aina suuren osan kartoittajan ajasta. Pohjamoreeni voi sekä ainekseltaan että pinnanmuodoiltaan vaihdella melko paljon. Sen vuoksi aivan tiettyjen tuntomerkkien antaminen on mahdotonta. Ilmakuvantarkastelua varten voisi pikemmin negatiivisesti määritellä, että maastoalue, jolla ei ole minkään muun muodostumatyyppin ominai-

suuksia, on ilmeisesti pohjamoreenia. Pohjamoreenin pinta on aina jossain määrin aallokas, se myötäilee kallioperän muotoja ja siinä itsessäänkin on kauttaaltaan pientä epätasaisuutta. Moreenimaan värisävy on useimmiten tumma, joka johtuu tämän maalajin huonosta vedenläpäisevyydestä. Poikkeuksia kuitenkin on. Vaaleat pohjamoreenikerrostumat ovat rakentuneet hienoainekseltaan köyhemmästä ja sen vuoksi vettä paremmin läpäisevästä aineksestä. Tällaisen alueen erottaminen voi perustua vain tyypillisen moreenimorfologian havaitsemiseen. Tavallisesti maastokontrolli on välttämätön asian varmentamiseksi.

Pohjamoreenin pinnan tummuusasteen lisäksi sen pienmuodot kuvastavat joskus aineksen karkeusastetta. Karkeammasta aineksestä rikkaat tyypit ovat pinnaltaan epätasaisempia. Jos moreeni on kovin lohkkareista, pinalohkkareet voi suorastaan nähdä ilmakuvista, joiden mittakaava on 1: 20 000 tai sitä suurempi. Siinäkin tapauksessa, että yksityiset lohkkareet eivät näy, ne antavat maanpinnalle levottoman pintakuvioituksen. Lohkkareinen tai kivinen moreeniaines sisältää tavallisesti runsaammin myös muita karkeampia lajitteita, siis soraa ja hiekkaa. Moreenin runsas savipitoisuus näkyy joskus rinteillä siten, että siinä on tapahtunut pientä maanvuotoa koheesiomaalajeille luonteenomaisella tavalla.

Aineksen ja pinnanmuotojen väliset riippuvuussuhteet vaihtelevat eri alueilla. Vieläpä moreenikerrostuman topografinen sijainti voi joillakin alueilla antaa vihjeitä aineksen kokoomuksesta. Tämäntapaisten säännönmukaisuuksien käyttäminen kartoituksessa vaatii kuitenkin, että tulkitseja on varmentanut asian riittäväillä maastohavainnoilla.

Pohjamoreenin morfologia alkaa sitä enemmän kuvastaa allaolevan kallioperän muotoja, mitä ohuemmaksi kerrostuma käy. Kun kallioperän murrostektoniikka pikkupiirteissään alkaa kuultaa läpi, on jo kysymys vain metrin suuruusluokkaa olevasta moreenikerroksen paksuudesta.

Moreenimäkimaasto, joka on muodostunut pienehköistä moreenikummuista ja harjanteista, jotka vaihtelevat kuoppien ja vakojen kanssa, erottuu ilmakuvassa tavallisesti hyvin tämän luonteenomaisen pinnanmuodostuksensa takia. Tällaisen maaston rajoittaminen ja toteaminen käy kuvista paljon yksinkertaisemmin kuin maastossa. Muodostuma voi olla synnyltään jään alla kasaantunutta erikoista pohjamoreeniakkumulaatiota, sisämoreenin sulamisesta syntynyttä tai kerrostumaan jääneen runsaan kuolleen jään takia muodoiltaan deformatunutta ablaatiomoreenia. Kaikki syntyvät aiheuttavat sen, että moreenimäkimaastossa aineksen laatu vaihtelee erittäin paljon. Kerrokset ovat sekavia ja oikullisesti vaihtelevia. Mitä tyypillisin moreeniaines saattaa jyrkästi vaihtua lajittuneeksi soraksi ja hiekaksi. Tässä tapauksessa kuuluu siis asian luonteeseen, että aineksen laatua on tarkemmin vaikea päätellä, vaikka muodostuman geneettinen tyyppi on kuvista helposti määriteltävissä. Aineksen toteaminen jää

maastotarkistuksen varaan. Luotettava selvitys on maastossakin tavallisesti vaikea ja aikaa vievä työ.

Pienikokoiset, jään alueelliseen virtaussuuntaan nähden poikittaiset päätemoreeniharjanteet ovat ilmakuvien avulla morfologisesti monesti kartoitettavissa hyvinkin yksityiskohtaisesti. Myös niiden aines saattaa sisältää suuria lajittuneita osueita, joiden toteamisessa ilmakuvista ei ole apua. Suuret salpaussekäytyypiset reunamuodostumat voivat olla melkein kauttaaltaan lajittuneista maalajeista koostuneita. Niiden kohdalla jo alustava tulkinta voi vaatia usean kuvaparin käsittelyä, vertailuja ja alueellista selvittelyä. Aineksen tarkempi kartoitus vaatii aina melko paljon myös maastohavaintoja.

Drumlinit ovat tavallisesti siinä määrin ympäristöstään erottuvia virta- viivaisia moreeniharjanteita, että niiden tunnistaminen ja kartoitus käy kuvantulkinnalla helposti päinsä. Drumlinit esiintyvät melkein aina ryhminä. Kallioperän voimakas tektoninen suuntaus, joka sattumalta yhtyy jään virtaussuuntaan, on monesti selvästi auttanut drumlinikentän muodostumista. Tavallisesti drumlinilla onkin kalliokohouma sydämenä.

Drumlinit ovat suuntauselementtejä ja ilmaisevat kuten uurteet jään virtaussuunnan. Liiottelevan avaruusmallin avulla voidaan moreenikerrostuman pinnassa todeta heikosti kehittynyttä drumlinimaista kuvioitusta joskus silloinkin, kun ilmiön näkeminen maastossa on käytännössä mahdotonta. Tässä on keino määritellä ilmakuvantulkinnalla jään virtaussuuntia myös varsinaisten drumlinien puuttuessa. Tämä hieman vähentää sitä fotogeologisen kartoituksen heikkoutta, että mannerjään liikesuunnista saadaan useimmilla alueilla kovin puutteellinen käsitys.

GLASIFLUVIAALISET MUODOSTUMAT

Silmiinpistävimmän glasifluviaalisten kerrostumien ryhmän muodostavat harjut. Kun harju on tyypillisimmillään, se on varsin helppo tunnistaa ilmakuvasta. Mikään muu maa- tai kallioperän muodostuma ei esiinny samanlaisena pitkin maastoa luikertelevana, melkein katkeamattomana, jyrkkärinteisenä selännejonona, jaksona. Vähäaineksinen, katkeileva harjujakso sen sijaan saattaa olla vaikeammin tunnistettava ja sen esiinsaaminen voi vaatia laajan alueen analysointia. Korkeimman merirajan yläpuolella harjuihin liittyy usein voimakkaita eroosiomerkkejä, kuivia kuruja.

Pitkän ja korkean jakson ollessa kysymyksessä voimme myös ilman muuta päätellä, että sen aines varsinaisessa harjanneosassa on lajittunutta hiekkaa ja soraa. Tavallisesti myös metsätyyppi ja maaston vaalea värisävy osoittavat samaa. Harjujen sivustoilla on usein muodoiltaan epämääräisiä sora- ja hiekkakankaita, jotka sulautuvat valokuvassa pikemmin ympäröi-

viin moreenimaihien kuin liittyvät harjun selkään. Harjuaineuksen levinneisyyden tarkkailulle sivusuunnassa on sen vuoksi varattava kylliksi maastohavaintopisteitä. Joissain harjuissa, varsinkin korkeimman rannan yläpuolella, aines on kauttaaltaan moreenimaista. Toisinaan taas lajittunutta harjun ydinosa peittää metrin, parin vahvuinen moreenivaippa. Tällaisten suhteen oikea tulkinta on vaikeampaa, sillä kasvillisuus reagoi vettäpidättävän moreenikapan mukaisesti.

Kames-topografia on harjujaksoihin liittyvää, lajittuneesta aineksesta rakentunutta, kuoppaista ja kumpuista maastoa. Se muistuttaa moreenimäkimaastoa, mutta on tavallisesti mittasuhteiltaan suurempaa. Mikäli vähäaineksinen kames-alue on irrallinen, eikä vastaavan glasifluviaalisen virtauksen merkkejä ole näkyvissä, voi vain aineksen tutkiminen maastossa ratkaista muodostuman geneettisen laadun.

Suuri glasifluviaalinen delta saattaa esiintyä mm. harjujakson tai pääte-moreenikaaren rakenneosana. Jos se on syntynyt runsaasta ainesmäärästä, se on tasaisine lakineen ja jyrkänpartaisten jälleen ilmakuva-analyysissä helposti tunnettava muoto. Joskus deltamainen glasifluviaalinen reuna-muodostuma on morfologialtaan niin epämääräinen, että sen tunnistaminen on vaikeaa. Muodostuman voi silloin erottaa esim. sen pintaa peittävän, moreenimaasta poikkeavan metsätyypin vuoksi tai siksi, että siihen on kaivettu sorakuoppia. Näin saatu varmuus, että muodostuma on rakentunut sorasta ja hiekasta, helpottaa etenemään sen rajoittamisessa.

Kenties kaikkien tyypillisimmät, vaikkakin usein kooltaan pienet deltat tapaa Lapin tuntureiden rinteillä, missä niitä on syntynyt pieniin jään patoamiin järviin myöhäisglasiaaliaikana. Lajittunut aines näyttäytyy Lapissa erikoisen hyvin sen vuoksi, että kuivat hiekkakankaat ovat vaalean poronjäkelän peittämiä.

Sanduri eli kuivan maan delta on muodoiltaan haaroittuneempi, ohuempi ja alaltaan laajempi kuin vastaavan ainesmäärän sisältävä delta. Ilmakuivassa sandurin pinnassa näkyy enemmän kuivaksi jääneitä uomia kuin deltan pinnalla. Sandureja on muodostunut vain korkeimman rannan yläpuolelle. Sielläkin niitä tapaa vähän, sillä sedimentaatio on pyrkinyt hajaantumaaan jään sisäisen virtausverkoston sokkeloihin tai on suosinut pitkiä laaksopegermiä eikä ole muodostanut selviä sandurimuotoja.

Korkeimman rannan yläpuolella häviävän jäätikön ulkopuolelle virranneet sulamisvesivirrat ovat tehneet myös merkittävää kulutustyötä ja uurtaneet vaihtelevankokoisia uomia. Supra-akvaattisella alueellamme on runsaasti esimerkkejä tällaisista, jääkauden loppuvaiheessa syntyneistä uomaverkostoista. Juuri kuivat kurut muodostavatkin todistusvoimaimman muotoryhmän, joka on osoittamassa, että jään sulaminen jollakin alueella on tapahtunut supra-akvaattisissa olosuhteissa. Kun kurut tavallisesti näkyvät hyvin ilmakuivissa, kuvantulkinnan käyttö tällaisen asian

toteamiseksi on monin verroin nopeampaa kuin vastaavan alueen tutkiminen maastossa.

Myöhäisglasiaaliset uomaverkostot saattavat olla jäsentelyltään hyvin monimutkaisia, sillä viettosuhteet ovat koko ajan muuttuneet sulamisen edistyessä. Näin on laita varsinkin voimakkaamman korkokuvan alueella. Osa uomista on syntynyt jäätikön reunaosan alla, osa jäänreunan ja vastassa olevan rinteen yhtymäkohdassa, osa reunan ulkopuolella. Kun uomat esiintyvät suurina sarjoina, ne tarjoavat erinomaista aineistoa myöhäisglasiaalisen kehityshistorian selvittelylle. Uomien luonteen ja niiden leikkautumissuhteiden analysointi laajempuna alueellisena työnä on käytännössä mahdoton ilman fotogeologiaa menetelmiä. Tarkemmassa työssä tulkintaan on liitettävä fotogrammetrinen korkeuden mittaus. Tämän luonteisesta laajoja mittauksia sisältävästä työskentelystä käytetään jo nimitystä kvantitatiivinen tulkinta.

Sulamisveden uomat ovat usein kaivautuneet kallioon asti. Tällaisia kohtia voi käyttää hyväksi moreenipeitteen paksuuden fotogrammetrisessä määrittämisessä.

JOKIKERROSTUMAT

Pääasiassa hiekasta ja hiedasta rakentuneilla postglasiaalisilla jokikerrostumilla on laajin levinneisyytensä alavilla mailla, missä ne sekä aineksensa että ulkomuotonsa puolesta pyrkivät sulautumaan merellisiin sedimentteihin ja toisaalta myös glasifluviaalisiin, lajittuneisiin kerrostumiin. Geneettinen erottelu näiden kesken vaatii stratigrafisia menetelmiä, eikä kuvantulkinnasta juuri ole apua.

Jos joki kulkee moreenimaiden ja soiden halki, sen rannoille tulvien yhteydessä sedimentoituneet kapeat hiekka-hieta-vallit näkyvät ilmakuvissa. Jokikerrostuma eroaa tässä tapauksessa niin paljon ympäröivistä maa-lajeista, että tunnistaminen on mahdollista.

Selväpiirteisissä kallioperän laaksoissa virtaavia pohjois-Suomen jokia reunustavat monin paikoin korkeat sedimenttipenkereet, joissa irtaimen aineksen määrä voi olla hyvin suuri. Sedimentit ovat kerrostuneet suurimaksi osaksi delttoina joen muinaisiin suistoihin. Maankohoamisen edistyessä deltanmuodostus on siirtynyt vähitellen korkeimman rannan tasosta alemmas ja on nyt Pohjanlahden pinnan tasolla. Kun joki on kaivanut kuiville jääneisiin delttakerrostumiin uomansa, sedimentit ovat nyt laakson sivuilla penkereinä, joissa on joen polveilun jäljiltä eri tasoilla olevia törmiiä. Fluviaaliset penkereet ovat ilmakuvantulkinnalla pääpiirteittäin erotettavissa. Vanhat jokiuomat näkyvät kuvissa monessa tapauksessa selvemmin kuin maastossa. Aines on jokikerrostumissa niin löyhää, että jokeen sivulta virtaavat pienet purot ovat kyenneet kaivamaan jyrkkärinteisiä ja syviä,

monihaaraisia pikku laaksoja, raviineja. Raviinien syvyys tarjoaa mahdollisuuden arvioida löyhän sedimenttikerroksen paksuutta, niiden poikkeusleikkaus puolestaan on syy-yhteydessä aineksen raekoon kanssa.

Jokisedimenttialueiden aines on yleisimmin hiekkaa ja sitä hienompia lajitteita. Tarkempi jaottelu vaatii aina maastokartoitusta. Kun joen eroosio on usein muuttanut glasigeenisten maalajimuodostumien alkuperäisen morfologian, näidenkin tunnistaminen on jokilaaksoissa vaikeaa.

RANTAMUODOSTUMAT

Edellä oli jo glasifluvialisten eroosiomuotojen yhteydessä puhetta siitä, että ainakin pohjois-Suomessa näyttää korkeimman morfologisen rannan erottaminen olevan mahdollista ilmakuvantulkinnan avulla. Se ei tosin käy päinsä mistä kuvaparista tahansa, vaikka kriittiset korkeudet niissä esiintyisivätkin. Laajemman alueen analyysissä kertyy kuitenkin hyvin pian todistusaineistoa supra-akvaattisten muotojen loppumisesta tietyllä korkeustasolla sekä rantamerkkien, deltojen ja merellisten sedimenttipatjojen esiintymisen alkamisesta siltä alemmas siirryttäessä. Kalottivaarat, laeltaan moreenipeitteiset, mutta rinteiltään voimakkaasti huuhoutuneet kohoumat, ovat erityisen selviä korkeimman rannan osoittajia. Näissä metsän puuttuminen sekä esiinhuuhoutuneen kallion vaalea väri aiheuttavat sen, että rantavyöhyke näkyy kuvassa erittäin hyvin.

Metsää kasvavilla rinteillä on usein mitä selvimpiä, mutta mittasuhteiltaan pieniä rantamuodostumia, jotka eivät näy ilmakuvissa. Kuvantulkinnalla ei siis voida muinaisrantojen etsinnässä korvata maastohavaintoja muuta kuin tiettyyn määrään saakka. Menestyksellisintä on fotogeologian hyväksikäyttö tässä yhteydessä puuttomalla alueella, missä rannan voi havaita stereoskoopilla silloinkin, kun se vähäpätöisyytensä vuoksi piiloutuu maastossa kulkijalta. Stereotarkastelussa hyvin monien, vaikkakin vähäisten eroosiomerkkien asettuminen samalle tasolle paljastaa siinä olevan rannan.

Parhaiten muodostuneita ja myös erinomaisesti kuvissa näkyviä muinaisrannat ovat harjujen rinteillä ja liepeillä, missä muokattavana olleen aineksen löyhyys ja jyrkähköt rinteet ovat edistäneet rantamuodostumien syntymistä. On kuitenkin huomattava, että vaikka kulumistörmä näkyykään selvästi, rantaan kuuluvan kerrostuman erottaminen muusta muodostumasta on tavallisesti hyvin vaikeaa. Muista maastoalueista ovat tavallista näkyvämmän rantavoimien kulutus- ja kerrostustyön kohteiksi joutuneet erillään olevat kohoumat, jotka joskus ovat olleet yksinäisinä kareina aavalla merellä. Useimmat kalottivaarat ovat juuri tällaisia.

Muutamilla alueilla, missä irtainta hiekkaa on ollut runsaasti, aallokko on kasannut mittavia rantavalleja. Tällaiset vallit erottuvat ilmakuvissa luonteenomaisten laakeitten, kaarevien muotojensa vuoksi suhteellisen helposti.

TUULIKERROSTUMAT

Ne dyynityypit, joita esiintyy Suomessa, ovat tunnistettavissa kuvantulkinnalla. Dyynit esiintyvät tavallisesti suurehkoina ryhminä. Kaarevista harjanteista koostuneen dyynikentän verkkomainen rakenne ei kuviona muistuta mitään muuta muodostumatyyppiä. Morfologisten tuntomerkkien lisäksi dyyneille on ominaista se, että pintakasvillisuus laikuittain puuttuu ja vaalea hiekka näkyy. Lapissa porot ovat huolehtineet tästä paljastamisesta. Kun dyynit tavallisesti ovat kauttaaltaan hiekkaa ja karkeaa hietaa, maaperäkartan teko dyynikentistä käy pänsä pelkän fotogeologian avulla.

Dyynit liittyvät aina johonkin laajempaan alkumuodostumaan, jossa on ollut tarjolla kylliksi hiekkaa ja hietaa. Tavallisesti tämä suurempi stratigrafinen yksikkö on jokin glasifluviaalinen kerrostuma: harju, delttatms. Harjuihin liittyy melkein säännöllisesti jonkinlaista dyynimuodostusta.

SAVIKOT

Hienoimmat sedimentit, hieta, hiesu ja savi, näyttävät ilmakuviissa samanlaisilta. Ne täyttävät maankamarassa painanteita, ovat pinnanmuotojensa pikku piirteiltään tasaisia ja metsää kasvaessaan tummasävyisiä. Hienoille sedimenteille luonteenomaisia haaroittuneita raviineja esiintyy savialueilla samaan tapaan kuin jokikerrostumissa. Asutuilla seuduilla savikot ovat yleensä viljeltyjä. Tämä on kartoituksessa varteenotettava vihje etelä-Suomessa. Kauan viljeltynä myös suo pyrkii muistutamaan savikkoa, mutta turpeen tumma väri ja suon rakennepiirteiden jätteet ovat kuitenkin havaittavana erotuksena.

Kun hienoimmat glasifluviaaliset sedimentit, sekä joki-, ranta- ja savikerrostumat eivät ilmakuvantulkinnalla ole erotettavissa toisistaan, voidaan stereotarkastelulla vain eristää alueita, joilla saven esiintyminen on mahdollista tai todennäköistä. Jos näitä mahdollisuuksia halutaan pohtia tarkemmin, on lähdettävä maalajikerrostuman topografisesta sijainnista. Ensinnä on luonnollisesti kiinnitettävä huomiota alueen sijaintiin korkeimman rannan suhteen. Tämän rajan yläpuolella saven esiintyminen on hyvin epätodennäköistä. Eräiden suurimpien jääjärvien altaisiin on tosin kerrostunut hiesuja, mutta niiden määrä on kokonaisuutta ajatellen hyvin pieni. Saven kerrostuminen meren pohjalle noudattaa tiettyjä sääntöjä, joissa ovat tekijöinä pohjavirtaukset, pohjan topografia ja veden syvyys. Tästä on seurauksena, että joillakin alueilla savikerrokset esiintyvät aivan määrättyissä topografisissa asemissa ja että niiden yläraja saattaa noudattaa tiettyä korkeustasoa. Tällaisten riippuvuussuhteiden hyväksikäyttäminen edellyttää, että tulkitsija on tutustunut etukäteen alueeseen ja tarkkaillut hienojen sedimenttien esiintymistä. Kaiken kaikkiaan ilmakuvantulkinnan apu jää

tarkemmassa maaperänkartoituksessa perin vähäiseksi sellaisilla alueilla, joilla savikon osuus maaperässä on suuri.

KALLIOPALJASTUMAT

Laajemman paljastuman merkinä on tavallisesti vaalea värisävy. Tummuusaste on kuitenkin jonkin verran riippuvainen myös kivilajin väristä. Metsä puuttuu kokonaan tai on harvaa ja pienikasvuista. Pienestä suosta, jota kalliopaljastuma kuviona saattaa muistuttaa, sen voi erottaa topografisen asemansa vuoksi. Hyvänä tuntomerkinä on kuvia suurennuksella tarkasteltaessa paljastuman pinnalla näkyvä, kalliolle ominainen rakoilu, joka kuvissa näkyy suoraviivaisina varjoina. Polku muuttuu kalliokon ylittäessään vaikeasti seurattavaksi tai näkymättömäksi. Se ei kuitenkaan karta kalliota kuten suota.

Koska kalliopaljastumista suuri osa on pienehköjä alaltaan, niiden tyydyttävän laaja toteaminen vaatii, että käytettävien ilmakuvien mittakaava on vähintään 1: 20 000. Myös rakoilun aiheuttama pintakuvioitus jää epäselväksi pienikaavaisilla kuvilla. Vanhemmat ilmakuvaukset ovat sitäpaitsi monesti niin hämäriä, että paljastumien erottaminen on vaikeaa.

Kalliopaljastumat ovat yleisimpiä nykyisillä ja muinaisilla meren rannoilla. Niitä on runsaimmin kohoumien lakiosissa. Varsinkin yksinäisiä huippuja muodostavat kohoumat ovat usein paljaita, niinkuin jo rantamuodostumien yhteydessä oli puhe. Vaarojen laelle ei aina ole moreenia sanottavasti kerrostunut alunperinkään. Korkeimman merirajan yläpuolella glasifluviaaliset eroosiovyöhykkeet ovat laajimpien kalliopaljastumien esiintymispaikkoja. Kuvissa nähtävät hyvin jyrkät törmät ovat kaikkialla tavallisesti esilläolevan kallion muotoja.

Kalliopaljastumiin on luettava myös rakat. Nämä ovat lohkkareiksi tai kivikoksi rapautuneita kallioaloja. Rakkoja on runsaimmin pohjois-Suomessa, ennen kaikkea pohjoisimmassa Lapissa, missä niillä on suurin levinneisyytensä tunturien ylärinteillä. Rinteillä rakat ovat usein valuneet ja muodostavat vuotomaalohkkareikkoja. Monet kosteat, roudan vaivaamat painanteet ovat nekin rakan peitossa.

Rakka on ilmakuvassa vähän tummempaa kuin kiinteä kallio, sillä lohkkareiden varjot sulautuvat yhteen antaen tasaisen harmaan sävyn. Suurusuhteisessa kuvassa voivat myös erilliset lohkkareet näkyä. Rakka-alue on muodoltaan haaroittunut, rinteillä kielekkeitä muodostava.

Kun pienet paljastumat eivät ilmakuvissa näy, kenttäkartoituksen suunnittelussa on hyödyllistä merkitä kuviin paitsi varmasti todetut myös pinnanmuodostuksen tai aseman vuoksi todennäköiset paljastumat. Näin menetellen kartta voidaan pienemmällä vaivalla täydentää maastossa.

MAAPERÄNKARTOITUKSEN KÄYTÄNNÖLLINEN SUORITUS

KUVIEN TILAUS

Ensimmäisenä tehtävänä käytännöllisessä työssä uudelle kartoitusalueelle siirryttäessä on ilmakuviin tilaaminen. Kuvien käyttäjä voi tilata tarvitsemansa kuvat maanmittaushallituksen ilmakuvaloimistosta. Hänen tarvitsee vain ilmoittaa ko. alueen tilausnumero kantakartaston lehtijaossa tai liittää mukaan aluetta kuvaava kartta. Jokaisesta kuvauksesta on myös olemassa kuvarekisteri eli limikuvalehti. Siinä kuvat on ladottu siten, että niiden sivuun merkityt numerot voi nähdä. Limikuvasta voi tuntea alueen karttakuvan piirteet ja siihen on lisätty joitakin paikannimiä ja koordinaatteja. Jos tilaaja haluaa kustannusarvion tai muun syyn takia tutustua tarkemmin tilanteeseen tai jos hän joutuu työskentelemään pienehköillä, hajallaan olevilla alueilla, hänen on syytä tilata ensin tällaiset limikuvalehdet tutkimusalueestaan ja valita niistä tarvitsemansa kuvat.

Tilattaessa on mainittava, halutaanko kuvat pinnakkais- eli kontaktivedoksina vai suurennuksina. Suurennusten käyttäminen on kuvantulkinnassa hyvin harvoin tarpeellista. Jos kuvat on tilattu vain alueen numeron avulla, on syytä erikseen mainita, että kuvat halutaan stereopeitteisinä. Myös valokuvauspaperin pinnan laatu on ilmoitettava. Koska tulkinnassa kuviin tavallisesti halutaan tehdä merkintöjä, puolihimmeä pinta on käytännöllisin. On kuitenkin huomattava, että kiiltäväpintaiselle paperille kopioiduissa kuvissa näkyy paljon enemmän sävyeroja. Tällainen kuva on näin ollen täydellisempi, mutta merkintöjen teko siihen on — kuten sanottu — varsinkin maasto-olosuhteissa hankalaa.

Ilmakuviin käyttäjä tuskastuu pian aineistoonsa, ellei hän säilytä kuvia jonottain numerojärjestyksessä.

MAASTOKARTOITUSTA EDELTÄVÄ TULKINTA

Varsinainen kuvantulkinta aloitetaan alueen järjestelmällisellä, mutta yleispiirteisellä stereotarkastelulla. Ensin tulkitaan ja merkitään vain suurpiirteisiä tai erittäin helposti havaittavia seikkoja. Samat kuvat otetaan sitten uudelleen tarkasteltaviksi ja kerta kerralta suoritetaan yhä tarkempaa yksityiskohtien analysointia. Tulkinnassa on siis edettävä yleisestä yksityiseen, tutusta tuntemattomaan.

Maalajien rajat ja muut merkinnät on käytännöllisintä tehdä kuviin. Tavanmukaisessa työskentelyssä niiden tekoon voi käyttää lyijykynää. Jos merkinnät kuitenkin jostain syystä on saatava hienommiksi tai väreiltään vaihteleviksi, piirtäminen on suoritettava plakaattiväreillä hienoa tuššiterää käyttäen. Tällainen väri lähtee pois kostealla vanulla pyyhittäessä. On käytettävä helposti poistettavia värejä, koska tehtyjä merkintöjä joudu-

taan työn aikana aina jonkin verran muuttamaan. Varmasti todetuista ja epävarmoista seikoista on syytä käyttää eri merkintöjä. Etukäteinen tulkinta voi jäädä hyvin eriasteiseksi riippuen siitä, mikä on kartoituksen tarkoitus ja miten tuttu alue on tyypiltään kartoittajalle.

Tulkinnan yhteydessä on suunniteltava mahdollisimman pitkälle myös tarvittavan maastotyön määrä ja laatu. Samalla kun kuviin piirretään eri maalajien levinneisyysrajoja, niihin myös merkitään, missä karttakuva ja esiintulleet geneettiset hypoteesit ovat parhaiten tarkistettavissa maastossa. Myös vaakittavat pisteet määrätään tässä vaiheessa. Käytännöllisintä on varata kuvajonon joka toinen kuva maastotarkistuspisteiden merkitsemistä ja joka toinen maalajikarttaa varten. Kuvantulkinnan muuten valmistuttua suunnitellaan kulkureitit maastotyötä varten. Kulkureittien on paitsi sivuttava kaikkia tarkistettaviksi määrättyjä kohteita myös käytettävä mahdollisimman hyvin hyödyksi teitä, polkuja tai vesistöjä; vaikeat soiden ja jokien ylitykset on vältettävä jne. Tarkistettavien paikkojen määrä ja siten myös tarkistusreittien tiheys on riippuvainen maaperäsuhteiden kompleksisuudesta ja siitä tarkkuudesta, mihin kartoitus pyrkii, siis tekeillä olevan maaperäkartan suhteesta.

Suurimmasta osasta etelä-Suomea on olemassa maaperäkartta kaavassa 1:400 000. Eteläisimmästä rannikkoseudusta on vanhempia karttoja kaavassa 1:200 000. Näitä on a.o. alueilla muistettava käyttää hyväksi vihjeitä antavina apuneuvoina suurikaavaisessakin työssä. Monilta alueilta on lisäksi käytettävissä kirjallisuutta, josta on tulkitsijalle suurta hyötyä.

Tottunut tulkitsija tekee alustavaa maaperäkarttaa 10—15 km² tunnissa. Yksityiskohtainen reitinsuunnittelu hidastaa luonnollisesti jonkin verran kartoitusnopeutta.

MAASTOTARKISTUS

Vaikka maastotarkistus tehdäänkin etukäteen suunniteltuja reittejä noudattaen, sen suorittamiseen voi kuitenkin tulla maastohavaintojen aiheuttamia muutoksia. Jokin stratigrafinen erikoisuus, esimerkiksi moreenin alaisten lajittuneiden kerrostumien alueellinen esiintyminen, voi pakottaa suunniteltua yksityiskohtaisempiin maastotutkimuksiin. Vieraammalla alueella voi käydä niin, että kartoittaja vasta maastotarkistuksen yhteydessä löytää joidenkin muodostumatyyppien oikeat indikaatiot. Sen vuoksi on tärkeää, että kartoittaja myös maastossa suorittaa kuvien stereotarkastelua ja jatkaa siten tulkintaa sekä tekee tarvittavia muutoksia tarkistusreitteihin.

Jos kulkureitit on suunniteltu oikein, ne sivuavat kaikkia suurempia maaleikkauksia ja muita paikkoja, joissa on mahdollisuus tehdä havaintoja maaperän sisärakenteesta. Edustavimmat näytteenottopaikat voidaan myös

tavallisesti määritellä etukäteen, samoin ne maastokohdat, joissa moreenin suuntausanalyysien avulla mannerjään alueelliset virtaussuunnat ovat parhaiten selvitettävissä. Kallioperän glasiaalisten kulumismuotojen analyysi jää pienmuotojen osalta kokonaan maastossa suoritettavaksi. Sen vuoksi alueilla, joilla kuvantulkinnan perusteella oletetaan löytyvän kalliopaljastumia, on aina suoritettava maastotarkistusta.

Kuvantulkinnassa ja maastotyössä on syytä käyttää eri merkintöjä, sillä tulkintaa uudistettaessa ja lopullista karttaa laadittaessa täytyy koko ajan olla selvillä, mistä kuviin merkityt havainnot ovat peräisin. Yksinkertaisinta on merkitä kuvantulkinnassa maalajeja symboleilla ja maastotarkistuksessa kirjainlyhennyksillä.

Kuvantulkintaa sovellettaessa voidaan entistä tehokkaammin käyttää hyväksi aputyövoimaa ja myös siten alentaa kartoituskustannuksia. Maalajien teknillisen jaotuksen oppiminen, niiden tunteminen maastossa, uurre-suuntien mittaaminen ja useimmat muut kartoitustoimenpiteet ovat senlaatuaisia, että niiden perehdyttämiseen riittää suhteellisen lyhytkin koulutus. Akateemisesti koulutetun henkilökunnan käyttäminen maalajien levinneisyysrajojen määrittämiseen johtuu lähinnä siitä, että se geneettisen näkemyksensä vuoksi pystyy tekemään kartoitustyön nopeammin ja taloudellisemmin kuin pelkän mekaanisen maalajituntemuksen omaava henkilöstö. Mutta myös vähemmän koulutetut apulaiset työskentelevät maastossa mahdollisimman ekonomisesti, jos he noudattavat geologin ilmakuville suunnittelemaa tarkistusreittejä. Mainittakoon, että Torniojoen maaperänkartoituksessa kukin apulaisena toiminut laborantti suoritti maastotarkistuksen 10—15 km²:n alasta päivässä. Kenttätyö tehtiin 1:100 000-kaavaista maaperäkarttaa varten.

Pienikaavaisessa kartoituksessa syrjäisillä seuduilla on ehkä halvin keino käyttää maastotarkistuksessa matalalla lentävää helikopteria, joka käy maassa ennakoita suunnitelluissa paikoissa.

UUDISTETTU TULKINTA JA KUVIOIDEN SIIRTÄMINEN KARTTAPOHJALLE

Maastotarkistuksen jälkeen kuvantulkinta on tarpeellisilta osiltaan uudistettava. Maastohavainnot antavat aina tilaisuuden karttakuvan tämentämiseen. Tarkistuksessa mahdollisesti havaittuja uusia indikaatioita on tässä yhteydessä sovellettava koko kartoitusalueella. Sitäpaitsi maastotarkistus voi osoittaa etukäteisen tulkinnan sisältäneen myös suoranaisia virhepäätelmiä. Myös näiden poistaminen vaatii kuvien yksityiskohtaista stereotarkastelua vielä kenttätyön jälkeen. Erikoisesti siinä tapauksessa, että maastotarkistukseen käytetään aputyövoimaa, joka ei itse suorita parannuksia suunniteltuihin kulkureitteihin, on edullista, jos kartoitusta johtavalla geologilla on mahdollisuus suorittaa uudistettu tulkinta jo kenttätyökäudella. Kenttätyön riittävyys tai riittämättömyys tulee heti

todetuksi ja mahdolliset lisätarkistukset on suoritettavissa vielä samana kesänä.

Vaikka ilmakuvat sellaisenaan ovat vaihtelevan suhteensa ja maastovirheittensä vuoksi epätasällisiä pohjakarttoina, ne sisältävät kuitenkin niin paljon yksityiskohtia maastosta, että havaintopaikat ovat määriteltävissä hyvinkin tarkkaan. Tämä merkitsee myös sitä, että merkinnät ovat kuvista siirrettävissä melkein miten tarkkaan pohjakarttaan tahansa. Geologisten karttojen tarkkuusvaatimukset ovat tavallisesti siksi kohtuulliset, että kuvioiden siirtäminen voi perustua pelkästään noiden kuvan yksityiskohtien hyväksikäyttöön. Tavallisesti piirtämiseen käytetään piirtomuuntokojetta. Tässä laitteessa teräslevylle kiinnitettyä ilmakuvaa katsotaan prisman läpi, jolloin kuva näkyy samanaikaisesti prisman alla pöydällä olevan kartan kanssa. Prisman etäisyyttä kuvasta ja kartasta vaihtelemalla kaksoiskuvan osat saadaan samansuhteisiksi. Kuvan kiinnityslevyä kääntämällä voidaan myös ilmakuvan kallistusvirheet poistaa. Piirtomuuntokojeella voi helposti jäljentää ylimalkaiseen pohjakarttaan kuvioita monimutkaista maaperäkarttaa.

Maaperänkartoituksen yhteydessä esiintyy myös tiettyjä tyyppialueita kuvaavien erikoiskarttojen tarvetta. Ilmakuva sopii monesti sellaisenaan tällaisen esityksen pohjaksi. Laajemmasta alueesta on kuvamosaiikki, useita ilmakuvia yhteenliittämällä aikaansaatu maaston kuva, nopeasti valmistettavissa oleva esityspohja. Suoraan kuvista tehtyjä karttapiirroksia voidaan liittää yhteen samaan tapaan kuin itse kuvia. Maastossa tehdyn karttaluonnoksen täytyy perustua melko työläisiin kenttämittauksiin, ennenkuin se on käyttökelpoisempi kuin tällainen piirros.

Kuvamittauksen menetelmistä, jotka lähinnä voivat tulla kysymykseen maaperäkarttojen laadinnassa, on ennen kaikkea mainittava mekaaninen kuvakolmiointi. Tämä on keino hankkia muutamasta tunnetusta pisteestä lähtien kuviin rajattomasti tasokoordinaateiltaan määrättyjä tukipisteitä. Kuvakolmiointi perustuu siihen ilmakuvien ominaisuuteen, että kahden maastopisteen välinen kulma on kuvan keskipisteestä katsoen oikea. Tukipisteverkon tihennystä tarvitaan puutteellisesti kartoitetuilla alueilla lähinnä suurempikaavaisia geologisia paikalliskarttoja laadittaessa.

Geologit ovat ottaneet kuvantulkinnassa käyttöön myös eräitä yksinkertaisempia fotogrammetrisiä kartoituskojeita (Stereotop, Kelsh-plotter, Multiplex). Näissä on mahdollisuus oikaista kuvien kallistusvirheitä, korkeustason vaihtelun aiheuttamia suhdevirheitä ja keskusprojektiosta johtuvaa maastovirhettä. Kartoituskojeitten käyttö vaatii, että on käytettävissä maastossa vaakittuja tukipisteitä. Näin puhtaasti kartografisten mittausten osuus työstä kasvaa melko suureksi. Kuvamittausta ja topografisten karttojen laatimista onkin suoritettu vain erityisen mielenkiintoisten pienehköjen alueiden kuvaamiseksi.

SUMMARY

Airphoto interpretation as an aid in mapping of superficial deposits in Finland: Aerial photographs have been successfully used in mapping superficial deposits — especially in northern Finland, where the vegetation is sparser than farther south. The following forms can in the majority of cases be recognized without difficulty in aerial photographs: rock outcrops, boulder fields, hummocky moraine terrain, moraine ridges, eskers, deltas and outwash plains, glaciofluvial channels, kames terrain, prominent shore cliffs, dunes and open or sparsely wooded bogs.

ILMAKUVANTULKINTAA KOSKEVAA KIRJALLISUUTTA

- HOPPE, GUNNAR (1959), Om flygbildstolkning vid jordartskartering jämte några erfarenheter från jordartskartering i norra Lappland. Geol. Fören. Förhandl. Bd 81, H. 2.
- Komittén för skoglig fotogrammetri (1955), Tolkning av flygbilder. Esselte Aktiebolag, Stockholm.
- KUUSELA, KULLERVO (1959), Metsän ilmakuvatulkinta ja kuvamittaus. Keskusmetsäseura Tapio, Helsinki.
- LUEDER, DONALD R. (1959), Aerial Photographic Interpretation, Principles and Applications. Mc Graw — Hill Book Company, Inc. New York.
- Photogrammetric Engineering. Julkaisija: The American Society of Photogrammetry. Tämä vuodesta 1935 alkaen ilmestynyt sarja sisältää runsaasti kirjoituksia geologisesta kuvantulkinnasta.

