

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 66

KONTIOLAHDEN LINNUNSUON TURVE-
TUOTANTO-OJITUSTEN VAIKUTUKSET
YMPÄRISTÖN POHJAVESITASOON

Jorma Mäkelä

V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N
M O N I S T E S A R J A

Nro 66

KONTIOLAHDEN LINNUNSUON TURVE-
TUOTANTO-OJITUSTEN VAIKUTUKSET
YMPÄRISTÖN POHJAVESITASOON

Jorma Mäkelä

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1988

VESI- JA YMPÄRISTÖ-
HALLITUS

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiristä.

ISBN 951-47-0281-6
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo
Helsinki 1988

ALKUSANAT

Tämä tutkimus liittyy osana kauppaja- ja teollisuusministeriön rahoittamaan sekä VAPO Oy:n ja vesi- ja ympäristöhallituksen yhteistyössä toteuttamaan projektiin Turvetuotannon ympäristövaikutukset. Tutkimus on valmistunut keväällä 1987.

FL Pirkko Selin ja FK Jari Marja-aho VAPO OY:stä sekä TkT Jouko Peltokangas Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiristä ovat lukeneet käsikirjoituksen. Kuvat on piirtänyt puhtaaksi Pirjo Schroderus vesi- ja ympäristöpiiristä. Heille kaikille esitän kiitokseni.

Jyväskylä 15.2.1988

Jorma Mäkelä

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1 JOHDANTO	7
2 OJITUSTEN VAIKUTUSPERIAATE	8
3 TUTKIMUSALUE	8
3.1 Sijainti ja yleispiirteet	8
3.2 Tuotantoalueet	12
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	13
5 TUTKIMUSALUEEN HYDROGEOLOGIA	15
6 TUTKIMUSTULOKSET	18
6.1 Vertailualue	18
6.2 Tutkimusalue	19
6.3 Vertailualueen menetelmän luotettavuudesta	23
7 TULOSTEN TARKASTELU	24
8 LOPPUPÄÄTELMÄT	26
9 TIIIVISTELMÄ	27
KIRJALLISUUS	28

1 JOHDANTO

Turvetuotantoalueiden määrä on lisääntynyt Suomessa voimakkaasti 1970-luvun alusta lähtien. Turpeen käytön kasvaessa on myös turvetuotannon ympäristövaikutuksia alettu selvittää. Turvetuotantoalueiden hydrologiaa on tutkittu varsin monella tuotannossa olevalla tai tuotantoon kunnostettavalla alueella. Tutkimustuloksia on kuitenkin toistaiseksi julkaistu vain osaksi, ja julkaisuista pääosa käsittelee turvetuotannon vesistökuormitusta. Metsäojitusten vaikutuksia suon hydrologiaan on sen sijaan selvitetty varsin laajasti (ks. Kurimo & Hovi 1984; Sallantaus 1986).

Turvetuotannon vaikutuksia pohjavesitasoon on Suomessa selvitetty vain muutamassa tutkimuksessa. Havaintojen mukaan suon pohjavesitaso laskee tuotantoalueilla ojitusten seurauksena (Oravainen 1978; Lehtimäki 1979; Menonen & Päivänen 1979). Muutamat yksittäishavainnot viittaavat siihen, että ojitus saattaa alentaa myös suon ympäristön pohjavesitasoa. Seurauksena on ollut esimerkiksi kaivojen kuivumisia (Kurimo & Hovi 1984:40). Yksityiskohtaisia tutkimuksia ojitusten vaikutuksista ympäristön pohjavesitasoon ei Suomessa ole kuitenkaan tehty.

Ruotsissa turvetuotanto-ojitusten vaikutusmahdollisuuksia ympäristön pohjavesitasoon on yleisesti pidetty vähäisinä (esim. Tamm et al. 1974; Bergquist et al. 1984; Lundin 1984). Havainnot perustuvat lähinnä yksittäisiin tutkimuksiin, joiden pääpaino on ollut valunta- ja vedenlaatukysymyksissä. Viime vuosina on Ruotsissa ollut käynnissä kaksi laajaa tutkimusta, joissa on selvitetty useiden turvetuotannossa olevien tai tuotantoon otettavien soiden hydrologiaa (Johansson & Olofsson 1985; Johansson 1985; sit. Sallantaus 1986). Tutkimuksia, joissa on seurattu mm. soiden ja kivennäismaiden pohjavedenpintaa, ei ole kuitenkaan toistaiseksi pääosiltaan raportoitu. Neuvostoliitossa on suo-ojitusten havaittu alentaneen pohjavesipintaa jopa useiden kilometrien päässä ojitusalueesta (Maslov 1972; Kolesin & Yanushevskiy 1985). Havaintoja ei voida kuitenkaan suoraan soveltaa Suomeen erilaisen ilmaston ja geologian vuoksi.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan turvetuotantoalueiden ojitusten vaikutuksia ympäristön pohjavesitasoon. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten suuria ja laaja-alaisia muutoksia suon käyttöönotto turvetuotantoon aiheuttaa ympäristön pohjavesitasoon. Tutkimuskohteena ovat VAPO Oy:n Linnunsuon turvetuotantoalueet Kontiolahdella Pohjois-Karjalassa. Tutkimukseen on otettu mukaan myös samalla suolla sijaitseva Osuus-kunta Metsäliiton turvetuotantoalue. Ojitusvaikutusten tarkkailuohjelmat on laatinut FT Esko Mälkki Kuopion vesi- ja ympäristöpiiristä.

2 OJITUSTEN VAIKUTUSPERIAATE

Turvetuotantoalueen peruskuivatusvaiheessa tuotantokentän ympärille kaivetaan tavallisesti reunaojat, joita myöten alueen ulkopuoliset vedet johdetaan kentän ohitse. Reunaojat ulotetaan usein kivennäismaahan, jolloin myös suon ympäristöstä kuivatusalueelle tulevaa pohjavesivirtausta voidaan vähentää. Varsinainen tuotantoalue kuivatetaan sarkaojituksin, joilla suon pohjavedenpinta pyritään laskemaan niin alas, että turpeen kuivumista häiritsevä kapillaarinen vedennousu turvekentän pintaan saadaan ehkäistyä. Veto-ojat kokoavat sarkaojien vedet laskuojaan, jota myöten tuotantokentän ja reunaojien vedet johdetaan pois alueelta (Lehtinen 1983).

Ojitus vaikuttaa suon hydrologiaan tyhjentämällä suon vesivarastoa sekä alentamalla suon pohjavesipintaa ja valuntakynnystä (Mustonen & Seuna 1971; Kytövuori 1979; Sallantaus 1983). Vesivaraston tyhjeneminen on usein voimakkainta ensimmäisinä kuukausina ojituksista, tyhjeneminen voi jatkua voimakkaana useita vuosia etenkin paksuturpeisilla soilla (Heikurainen et al. 1978). Vesivaraston tyhjeneminen alentaa suon pohjavesipintaa. Pohjavedenpinnan aleneminen vähentää suoraan suon pinnasta tapahtuvaa haihduntaa (evaporaatio) ja aiheuttaa muutoksia myös kasvien kautta tapahtuvaan haihduntaan (transpiraatio).

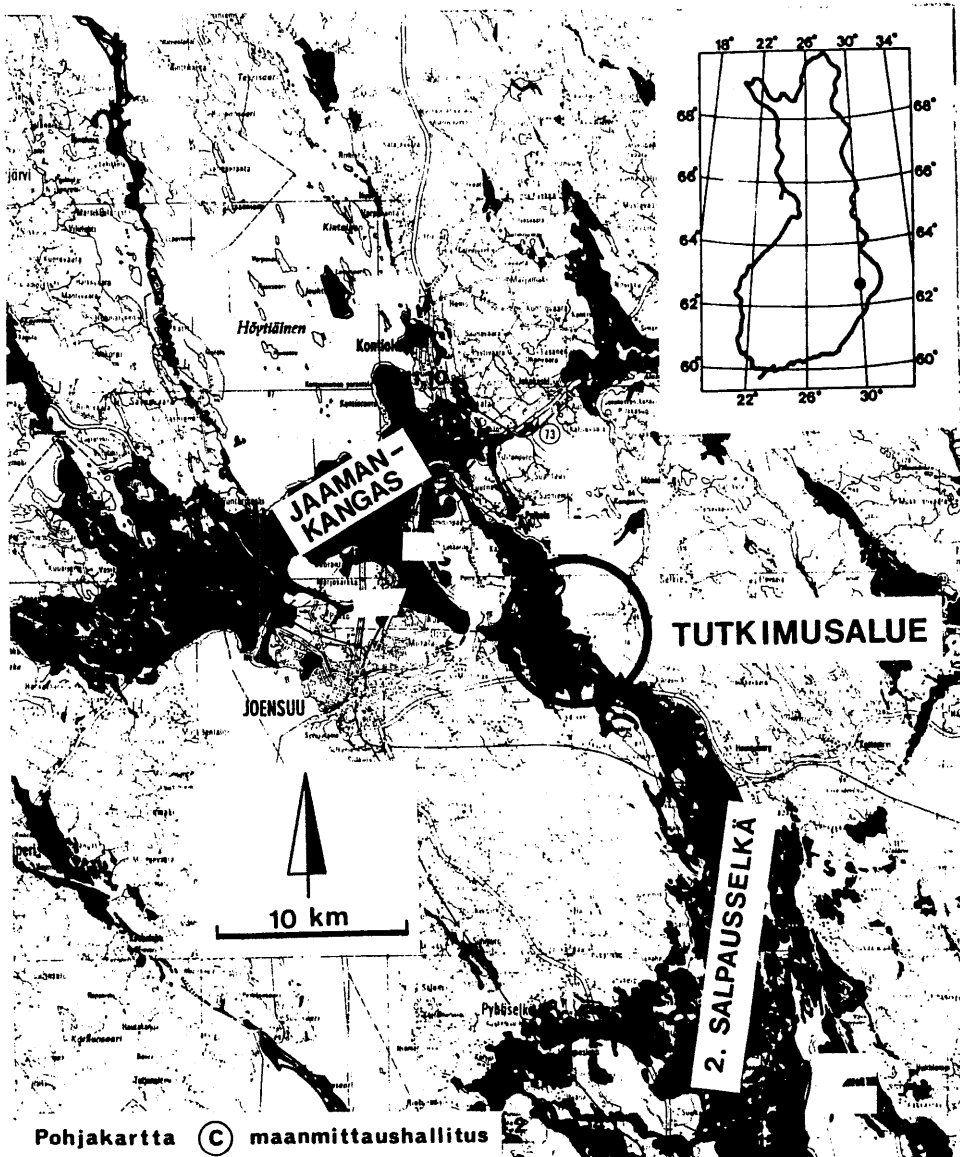
Ojitus voi alentaa suon ympäristön pohjavesipintaa erityisesti silloin, kun ojituksia tehdään minerotrofisilla soilla. Minerotrofinen suo on yhteydessä sitä ympäröiviin kivennäismaihin, joiden pohjavesistä suo saa kautta vuoden täydennysvesiä. Mitä karkeampaa kivennäismaa on, sitä voimakkaammin pohjaveden gradientti pyrkii palautumaan ennalleen, toisinaan sitä kiinteämmin ympäröivän kivennäismaan pohjavesipinta pyrkii seuraamaan suon pohjavesipintaa. Ombrotrofisten soiden pohjavesivarasto ei ole yleensä yhteydessä soita ympäröivien alueiden pohjavesiin. Näiden soiden ojituksilla ei siten ole juuri vaikutusta ympäristön pohjavesitasoon (Seuna 1981a, 1981b).

Pohjavedenpinnan aleneminen suon ympäristössä saattaa vähentää ympäristön pohjavesivarastoja, aiheuttaa kaivojen kuivumisia sekä vähentää lähteiden antoisuutta. Siitä saattaa olla seurauksena myös maan liiallinen kuivuminen ja tästä johtuva luonnon tasapainotilan häiriintyminen (Maslov 1972).

3 TUTKIMUSALUE

3.1 Sijainti ja yleispiirteet

Tutkimusalue sijaitsee Pohjois-Karjalan lääniin kuuluvan Kontiolahden kunnan eteläosassa noin 15 kilometriä Joensuusta itään. Linnunsuo, joka on pinta-alaltaan yli 10 km², on syntynyt Toisen Salpausselän ja tästä Jaamankankaalle suuntautuvan jatkeen itäreunalle (kuva 1, s. 3).

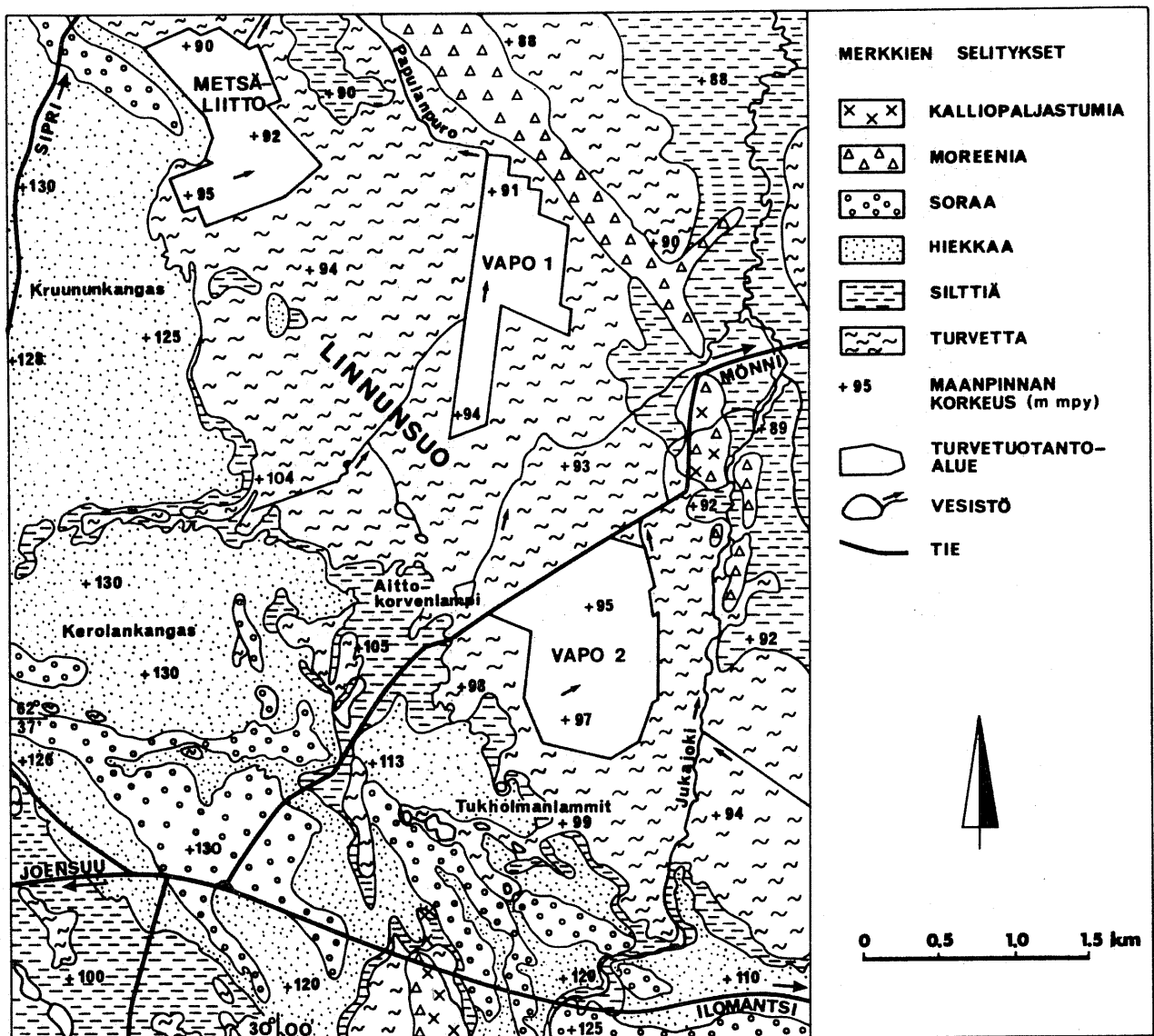


Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti. Harjualueetulkinta Lyytikäinen (1982).

Tutkimusalue vapautui mannerjäätikön alta viimeisen Weichsel-jääkauden loppuvaiheessa 10 500 - 10 000 vuotta sitten. Toinen Salpausselkä ja Jaamankankaalle suuntautuva harjujakso syntyivät jäätikön Järvi-Suomen ja Pohjois-Karjalan kielekervirtojen reuna-asemaan ja näiden väliseen saumaan. Linnunsuo alkoi kehittyä alueen noustua maankohoamisen myötä jäätikköä seuranneen meren ja myöhempien järvivaiheiden vedenpinnan yläpuolelle. Tutkimusalueen geologista kehitystä ovat kuvailleet mm. Repo (1957, 1969), Sauramo (1958), Punkari (1980), Kurimo (1982), Lyytikäinen (1982), Salminen & Hartikainen (1985) sekä Salonen (1987).

Tutkimusalueen keskimääräinen vuosisadanta on 630 mm. Noin 2/3 sateesta tulee kesän ja syksyn aikana. Eniten sataa elokuussa (83 mm) ja vähiten helmikuussa (30 mm) (Vesihallitus 1983). Tutkimusalueella haihtuu sadannasta maa-alueilla vuosittain keskimäärin 370 mm (Solantie 1976). Vuoden keskilämpötila on +2,5 °C; lämpimin kuukausi on heinäkuu (+16,7 °C) ja kylmin tammikuu (-10,5 °C) (Joensuun lentoasema; Kolkki 1966).

Tutkimusalueen korkeimmat kohdat Salpausselän harjalueella ovat hieman yli 130 metriä merenpinnan yläpuolella. Linnunsuo on alavinta aluetta, sen pinta viettää tasaisesti harjalueen reunasta koilliseen (+100 - +90 m mpy). Alueen pintavedet laskevat Jukajoen ja Papulanpuron kautta Pielisjokeen. Lounaiskolkasta vedet virtaavat Iiksenjoen kautta Pielisjokeen (kuva 2).

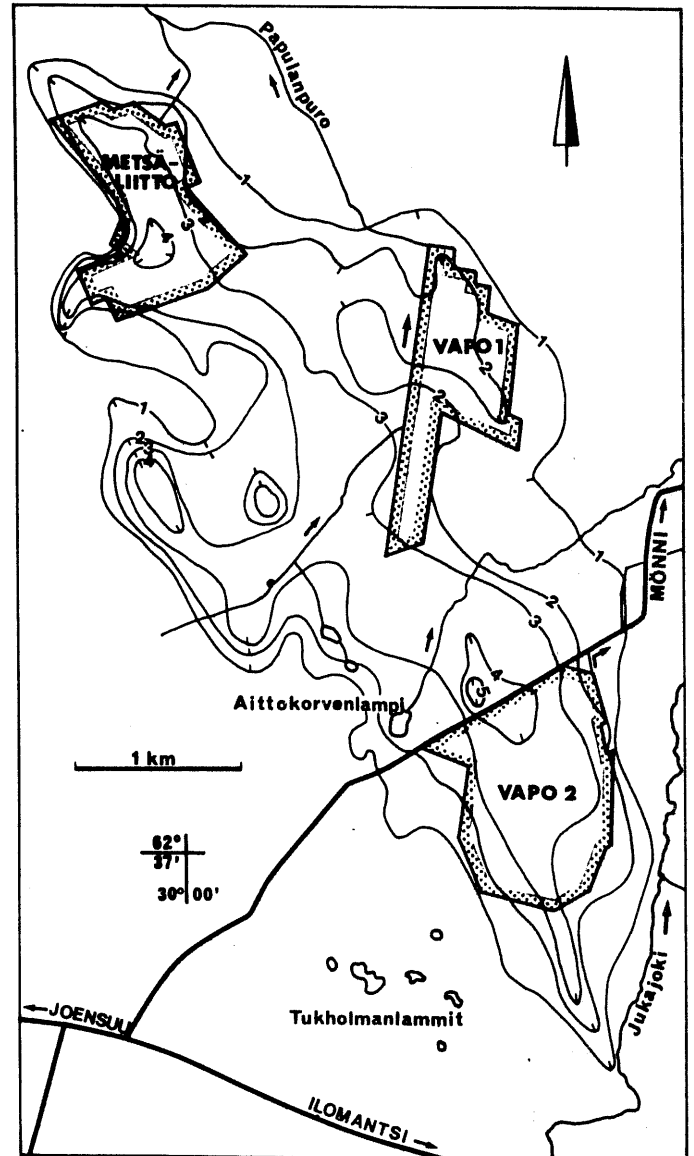


Kuva 2. Maaperäkartta tutkimusalueesta. Sora- ja hiekkamuodostumat Geologisen tutkimuslaitoksen inventoinnin (1975) mukaan.

Salpausselän alueella maaperä on pääasiassa hiekkaa ja soraa. Etenkin selänteet sisältävät soravaltaista ainesta. Selänteiden välisiä notkelmia ja suppia peittää usein ohut turvekerros. Harjualueen laiteilla maaperä muuttuu hienojakoiseksi hiekaksi ja siltiksi. Kalliopaljastumia on vain alueen eteläosissa ja Mönniin menevän tien varressa (Koho & Kurkinen 1975) (kuva 2). Tutkimusalueen kallioperä kuuluu laajaan karelidiseen fylliitti-kiilleliusku muodostumaan (Nykänen 1971a, 1971b; Simonen 1980).

Linnunsuo on maastonmyötäinen keidassuo, joka saa vetensä pääasiassa sateesta eli on ombrotrofinen. Suon länsiosat saavat vettä myös harjualueelta valuvista pohjavesistä, joten Linnunsuota voidaan pitää osaksi myös minerotrofisena. Suo kuuluu eksentrisiin keidassoihin, joilla vesi kulkee etupäässä yhteen suuntaan (koilliseen) (ks. Hosiaislouma 1961; Euro-la 1963). Suurin osa suon keskialueesta on harvassa mäntyä kasvavaa varpu- ja rahkarämettä. Suon laiteilla on tupasvillarämemuuntumia, joilla kasvaa usein myös koi-vua. Vaihettumisen päättävät korpirämet. Metsäojitusten vuoksi Linnunsuo on laajalti muuntunut, eikä alueella tavata puhtaita suotyyppejä (Geologinen tutkimuslaitos 1981).

Linnunsuo on syntynyt harjualueelta reunustavaan kaakko-luode-suuntaiseen altaaseen, jossa turvetta on paksuimmillaan 4 - 5 metriä (kuva 3). Turvekerroksen keskipaksuus on 2,3 metriä, josta heikosti maatuneen (H1-H4) pintakerroksen osuus on noin 0,5 metriä ja hyvin maatuneen (H5-H10) pohjaosan noin 1,8 metriä. Keskimääräinen maatumisaste on H6,8. Turve on valtaosaltaan tupasvillarämettä (ErS-t) ja rahkaa (S-t); syvemmällä tulee saraturve (C-t) paikoin hallitsevaksi (Geologinen tutkimuslaitos 1981).



Kuva 3. Linnunsuon turvekerroksen paksuus (m) Geologisen tutkimuslaitoksen ja VAP0 Oy:n kairausten mukaan.

3.2 Tuotantoalueet

VAPO Oy:n omistamat Linnunsuon tuotantoalueet ovat pinta-alaltaan yhteensä 225 ha. Varsinaista tuotantoalaa on VAPO 1 -alueella noin 80 ha ja VAPO 2 -alueella noin 120 ha. Metsäliiton alue, joka on osaksi vuokrattu, on pinta-alaltaan noin 80 ha, josta tuotantoalaa on 72 ha. VAPO 2 -alue ja Metsäliiton alue sijaitsevat lähellä harjuaalueen reunaa. VAPO 1 -alue on sen sijaan suoaltaan vastakkaisella reunalla yli kilometrin päässä harjuaalueelta (kuva 2).

Alueet on aikaisemmin kokonaan metsäojitettu. Viimeisimmät metsäojitukset tehtiin Linnunsuon länsilaidalla talvella 1983 - 1984 (tiedot Keskusmetsälautakunta Tapion Joensuun metsänparannuspiiri). Turvetuotantoa varten alueet on ojitettu luontaisia laskusuhteita käyttäen. VAPO 1:n ja Metsäliiton alueen kuivatusvedet johdetaan Papulanpuroa myöten Pielisjoen Kaisakanlahteen, VAPO 2:n vedet laskevat Jukajoen kautta Pielisjokeen (kuva 3).

VAPO Oy:n alueilla kaikki ojitukset on tehty 1,8 metrin syvyyteen lukuunottamatta paikkoja, joissa kivennäismaa on tullut aikaisemmin vastaan (VAPO 2:n lounaiskolkka, paikoin VAPO 1:n keskiosa). Metsäliiton alueella veto-ojitus on tehty (yli) kahden metrin syvyyteen, sarkaojat ovat noin 1,3 metrin syvyyttä. Reunaojitus ulottuu noin 1,5 metriin paitsi harjuaalueen reunassa, missä se on tehty kivennäismaahan asti. Sarkaojitus on tehty jokaisella alueella 20 metrin välein; turvevarastoalueet on salaojitettu. Ulkopuolisten vesien pääsy tuotantoalueille on estetty reunaojituksin. Allaolevassa taulukossa on esitetty tuotantoalueiden kuivatusvaiheet (tiedot VAPO Oy:n Joensuun konttori, Metsäliiton Keski-Suomen metsäkonttori).

Taulukko 1. Linnunsuon turvetuotantoalueiden kuivatusvaiheet.

Alue	Puuston poisto	Reunaojitus Veto-ojitus	Sarkaojitus
VAPO 1	Syksy 1984	Talvi 1984-85	Talvi 1984-85
VAPO 2	Syksy 1985	Alkupalvi 1986	Alkupalvi 1986
Metsäliitto	1984	Syksy 1985	Alkupalvi 1986

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Ojitusvaikutusten selvittämiseksi rakennettiin tutkimusalueelle tarkkailuputkiverkosto, jonka avulla voitiin seurata ojitusalueiden ympäristön pohjavedenpintaa. Pohjois-Karjalan vesipiiri asensi VAPO Oy:n tuotantoalueiden ja Salpausselän väliseen maastoon kesällä 1984 16 havaintoputkea. Putket asennettiin kivennäismaahan kolmeen harjualueelta Linnunsuolle laskevaan linjaan; kaksi putkea sijoitettiin hajapisteisiin (kuva 4, s. 8). Ennen putkien asennusta havaintopisteissä tehtiin maaperätutkimukset lyöntikairauksin. Tuotantoalueille tai niiden itäpuolelle ei asennettu tarkkailuputkia.

Mittaukset, joista vastasi VAPO Oy, aloitettiin 10.9.1984 eli 2 - 3 kuukautta ennen VAPO 1 -alueen ja 1,3 vuotta ennen VAPO 2 -alueen ojituksia. Mittauksia tehtiin seurannan alkuvaiheessa kerran kuukaudessa, loppuvaiheessa joka toinen kuukausi. Viimeiset mittaukset tehtiin 22.1.1987 eli havaintojakson pituudeksi tuli vajaat 2,5 vuotta.

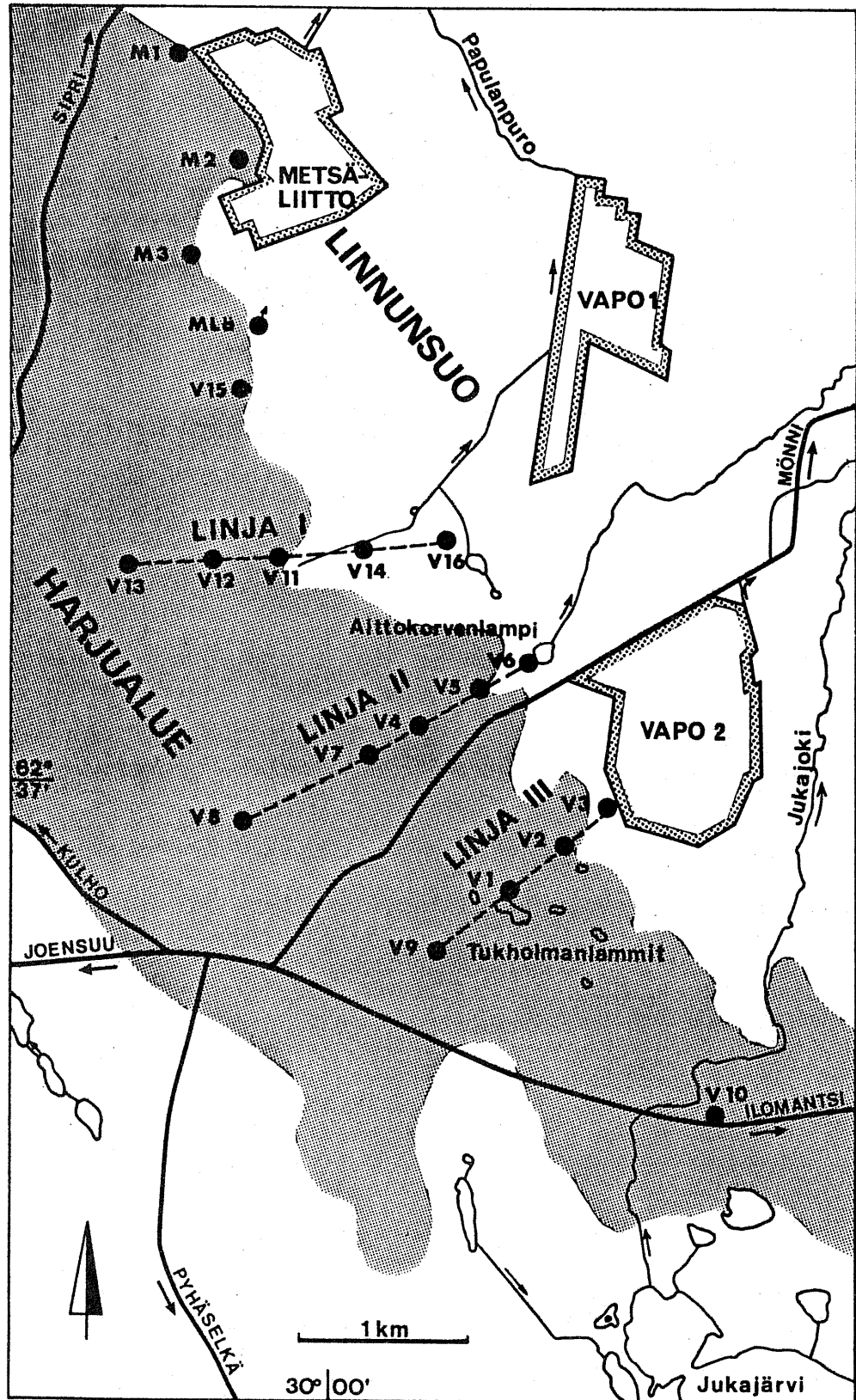
Aittokorvenlammen, Jukajärven ja suurimman Tukholmanlammen vedenkorkeudet vaaittiin sulan kauden aikana kerran kuukaudessa vuosina 1985 - 1986 (kuva 4).

Osuuskunta Metsäliiton tuotantoalueen länsireunalla teetti Metsäliitto maaperäkairauksia kuudessa pisteessä, joista kolmeen asennettiin pohjavesiputki tarkkailua varten. Lisäksi seurantaan otettiin yksi lähde (kuva 4). Tarkkailu aloitettiin 9.7.1985 eli 2 - 3 kuukautta ennen ojituksia. Havaintojakson pituudeksi tuli noin puolitoista vuotta. Kerran kuukaudessa tehdyistä mittauksista vastasi Metsäliitto.

Muuta tarkkailua (mm. sadanta, haihdunta, valunta) ei tutkimusalueella tehty. Sadanta-arvoina käytettiin Jakokosken (10 km N) havaintoaseman (4.34) arvoja, jotka saatiin vesi- ja ympäristöhallituksen hydrologian toimistosta. Joensuun kaupungin havaintoputkia, joita on myös tutkimusalueella, ei otettu tarkkailuun mukaan.

Tutkimusalueen hydrogeologiasta saatiin lisätietoja pohjavesitutkimuksista, joita oli tehty etupäässä Joensuun kaupungin vedenhankintaa varten (Oy Väylä 1973a, 1973b, 1974; Maa ja Vesi Oy 1977; Suunnittelukeskus 1983). Alueesta tehtiin lisäksi peruskartta- ja ilmakuvatulkinta. Tutkimusalueella tehtiin maastotarkastelu 1.7.1986.

Lyöntikairauksin saatiin tutkimuspisteistä riittävät maalajitiedot. Putkimittauksin voitiin tutkimusalueen pohjavesipintaa seurata luotettavasti; myös mittaustiheys oli riittävä. Sen sijaan tarkkailukausi jäi kolmivuotisessa tutkimusprojektissa aivan liian lyhyeksi ennen ojituksia ja niiden jälkeen kaikilla tuotantoalueilla. Ojitusten viivästyminen suunnitellusta aikataulusta vaikutti osaltaan tilanteeseen.



Kuva 4. Linnunsuon turvetuotantoalueiden tarkkailupisteet
 V = VAPO Oy M = Metsäliitto.

Tarkkailukauden lyhyiden vuoksi tulosten tarkastelussa käytettiin vertailualueen menetelmää. Vertailualueeksi valittiin tutkimusalueesta noin 15 kilometrin päässä sijaitseva Jaamankangas, jossa on vesi- ja ympäristöhallituksen ylläpitämä pohjavesiasema. Tutkimusalueen pohjavesihavaintoja verrattiin aseman havaintopisteiden kenttäkeskiarvoon (mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo). Kenttäkeskiarvo antaa luotettavan kuvan yleisestä pohjavesitilanteesta (Soveri 1985). Jaamankankaan valitseminen vertailualueeksi oli perusteltua, koska se on geologiansa ja sääolojensa puolesta samankaltainen alue kuin tutkimusalue. Kummallakaan alueella ei ollut tehty merkittäviä hakkuita moniin vuosiin eikä metsäojituksia tai muita toimenpiteitä, joilla olisi ollut vaikutusta tarkkailutuloksiin. Näin vertailualueen menetelmän käytön edellytykset olivat voimassa (vrt. Kurimo & Hovi 1984:14, Seuna 1986:388).

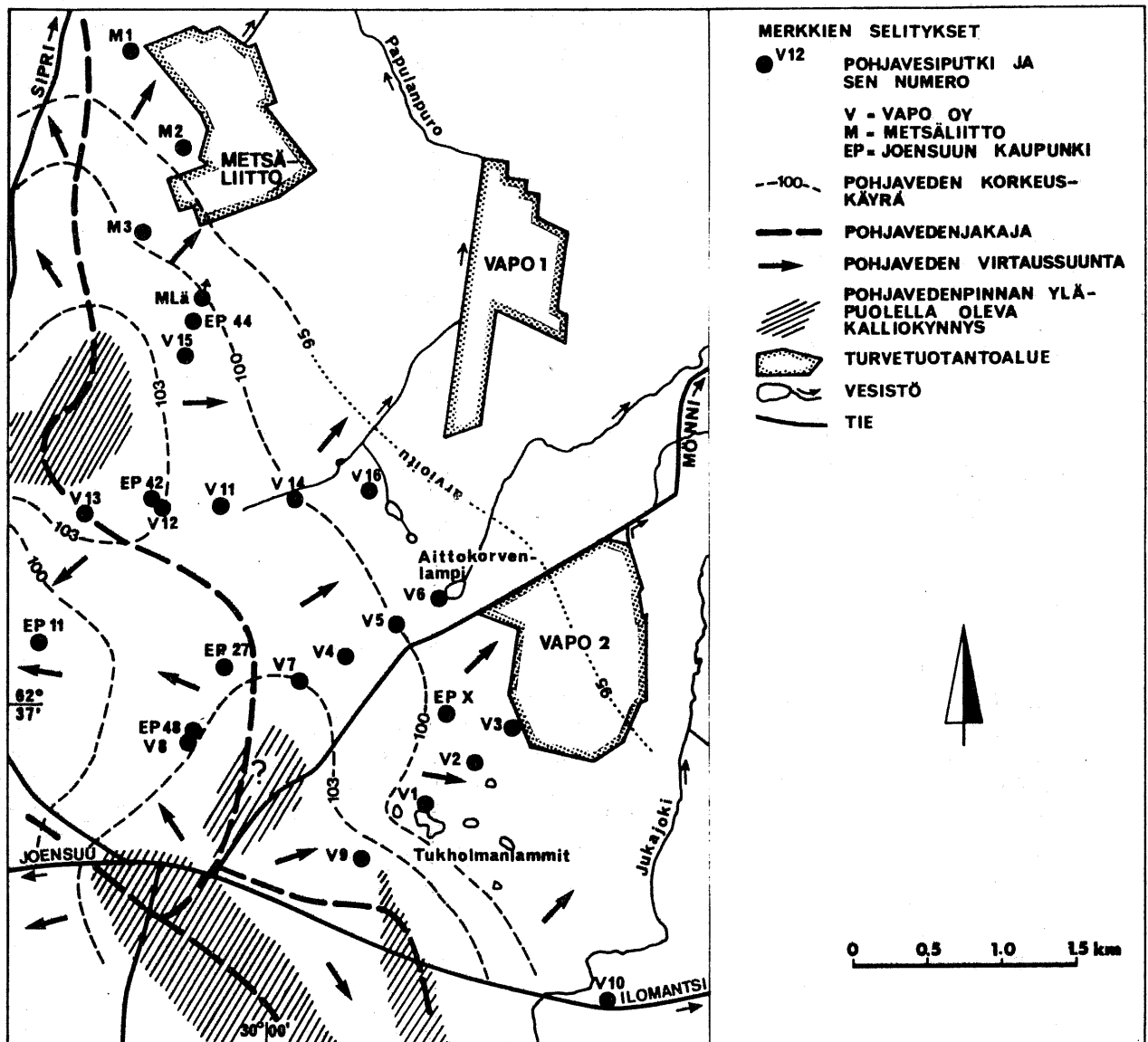
Erolanniemen pohjavedenottamon (6 km W) tarkkailuputkihavaintoja ei käytetty vertailuaineistona, koska säännöllisessä tarkkailussa olevat putket sijaitsevat vedenottamon vaikutusalueella (ks. Suunnittelukeskus 1980).

5 TUTKIMUSALUEEN HYDROGEOLOGIA

Salpausselän alue ja Linnunsuo poikkeavat hydrogeologialtaan toisistaan merkittävästi. Salpausselkä, joka on muodostunut etupäässä hyvin vettä läpäisevästä harjumateriaalista, toimii suurena pohjaveden muodostumis- ja varastoitumisalueena. Linnunsuo puolestaan on lähinnä Salpausselän pohjavesien purkautumisaluetta, jossa pohjaveden muodostuminen on hyvin vähäistä. Se osa sateesta, joka ei haihdu, valuu pinta- tai pintakerrosvaluntana pois alueelta.

Pohjavedenpinta on korkeimmillaan Salpausselän alueella (103 - 104 m mpy). Pohjavesi voi paikoin olla jopa 30 metrin syvyydellä maanpinnasta. Harjumuodostuman peittämät kalliokynnykset ovat osaksi pohjavedenpinnan yläpuolella (kuva 5, s. 10). Pohjavesi virtaa Salpausselän keskivaiheilla olevalta pohjavedenjakajalta kahteen pääsuuntaan, itään ja länteen. Pohjavedenpinta laskee vedenjakajalta tasaisesti Linnunsuon suuntaan. Suoaltaan kaltevuuden mukaisesti pohjavesivirtaus pyrkii kääntymään suolla koilliseen. Metsäliiton tuotantoalueella pohjavesi virtaa jo lähes pohjoiseen. Havaintoputkien puuttuessa tuotantoalueilta ja niiden itäpuolelta ei pohjaveden virtaussuunnista suoalueella voida saada tarkkaa kuvaa.

Salpausselältä Linnunsuon suuntaan virtaavan pohjaveden muodostumisalue on pinta-alaltaan noin 8 km². Keskimäärin muodostuvaksi pohjavesimääräksi voidaan karkeasti arvioida 50 l s⁻¹ eli 4 000 m³ d⁻¹ (imeytymisprosentti 30). Linnunsuolla pohjavesi on 5 - 10 metriä alempana kuin Salpausselällä. Pohjavesi nousee suolla yleisesti lähelle turpeen pintaa. Pohjavesi purkautuu Linnunsuolla laaja-alaisesti suotautumalla ja lähteinä maanpintaan. Myös tuotantoalueiden ojiin purkautuu pohjavettä.

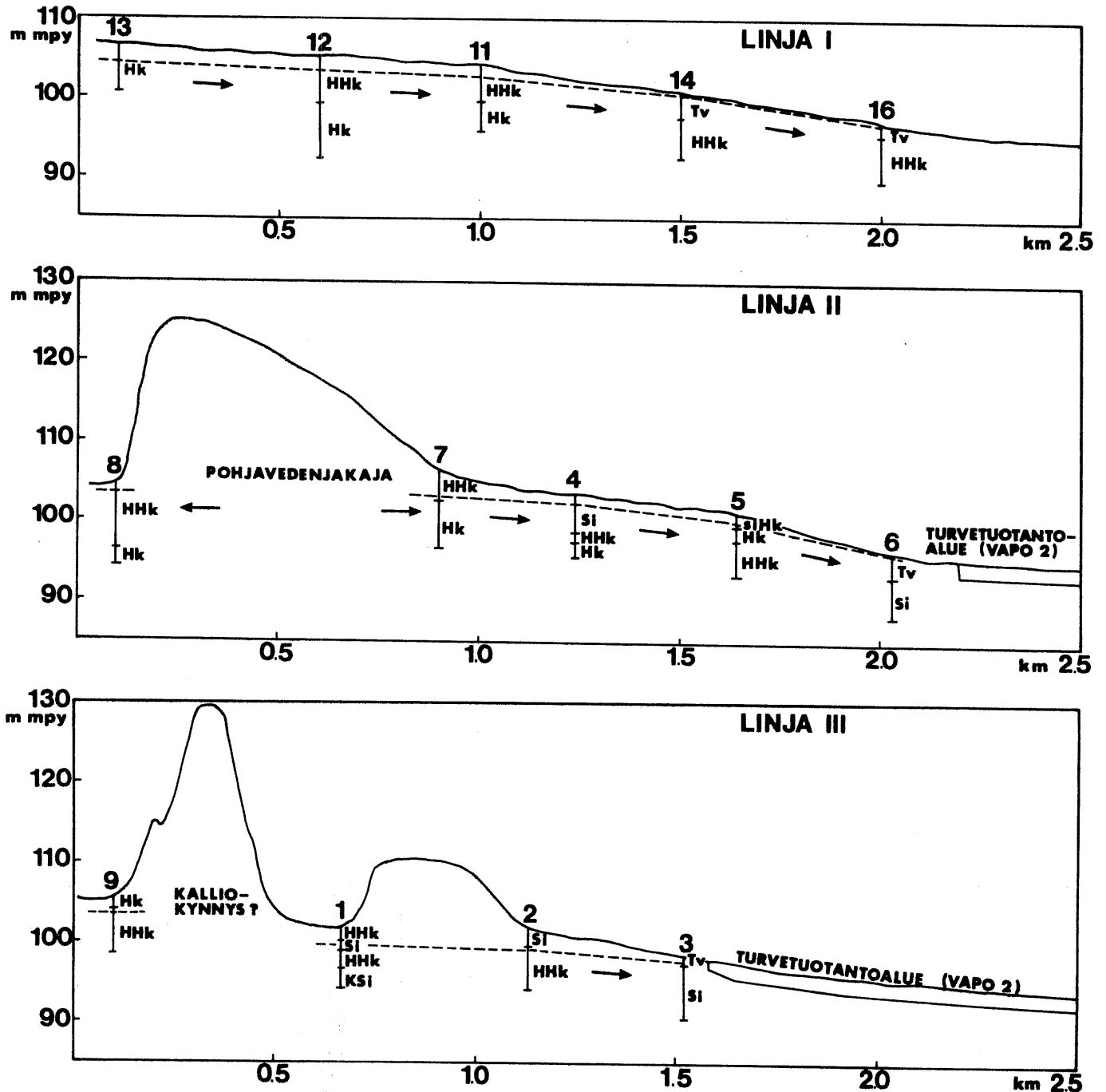


Kuva 5. Hydrogeologinen kartta tutkimusalueesta.

Suon laiteella sijaitsevat lammet (mm. Aittokorvenlampi) ovat lähdelampia, jotka saavat pääosan vedestään pohjavesistä. Pohjavettä haihtuu runsaasti suon länsiosissa (evapotranspiraatio). Orsivesiesiintymiä ei harjualueen laiteella kairauksen ja putkiverkoston rakentamisen yhteydessä havaittu.

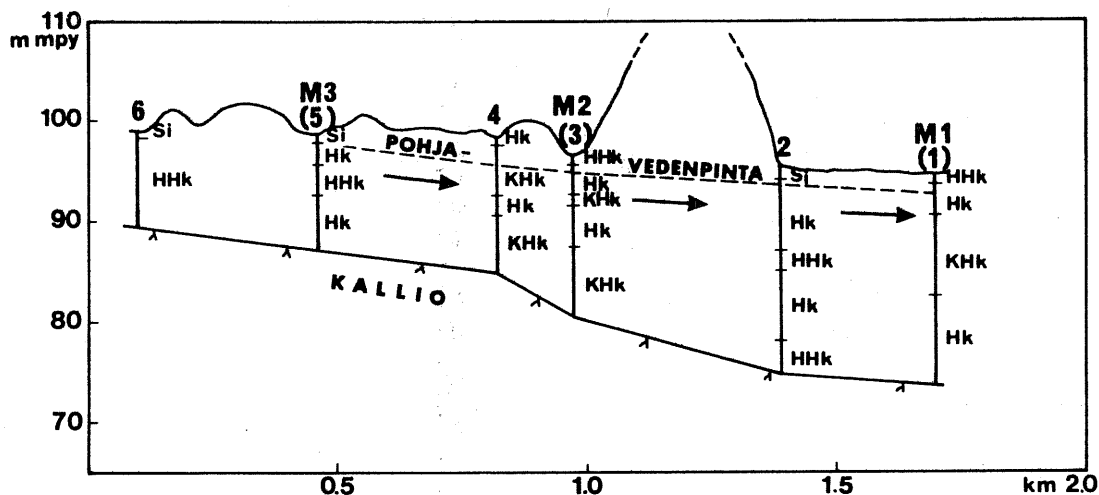
Salpausselän vedenjakajalta länteen virtaava pohjavesi otetaan suureksi osaksi Erolanniemen vedenottamon kautta Joensuun kaupungin käyttöön (v. 1986 keskimäärin $4\,767\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$, tieto Joensuun kaupunki).

Salpausselän laiteella, VAPO Oy:n tutkimuslinjoilla, maaperä on lähinnä hienoa hiekkaa ja hiekkaa (kuva 6). Suon suuntaan maaperä muuttuu siltiksi, joka on vallitseva maalaji myös turvekerrostumien alla. Maaperä on melko homogeenista, eikä ohuitakaan karkealajitteisia maakerroksia kairauksissa havaittu. Kairaukset lopetettiin määräsyyvyyteen, eikä maakerrostumien paksuudesta tai pohjaosien laadusta eikä kalliopinnan syvyydestä ole tietoa.



Kuva 6. VAPO Oy:n tutkimuslinjoilla I - III tehtyjen maaperäkairauksen tulokset. Pisteisiin asennettujen putkien keskimääräinen pohjavesipinta on merkitty katkoviivalla ja pohjaveden virtaussuunta nuolin.

Metsäliiton alueen reunassa kairaukset päättyivät kallioon 10 - 20 metrin syvyydellä maanpinnasta (kuva 7). Kalliopinta viettää pohjoiseen. Myös täällä maaperä on verrattain homogeenista; kairauksissa tavattiin paikoin karkeitakin hiekkakerroksia.



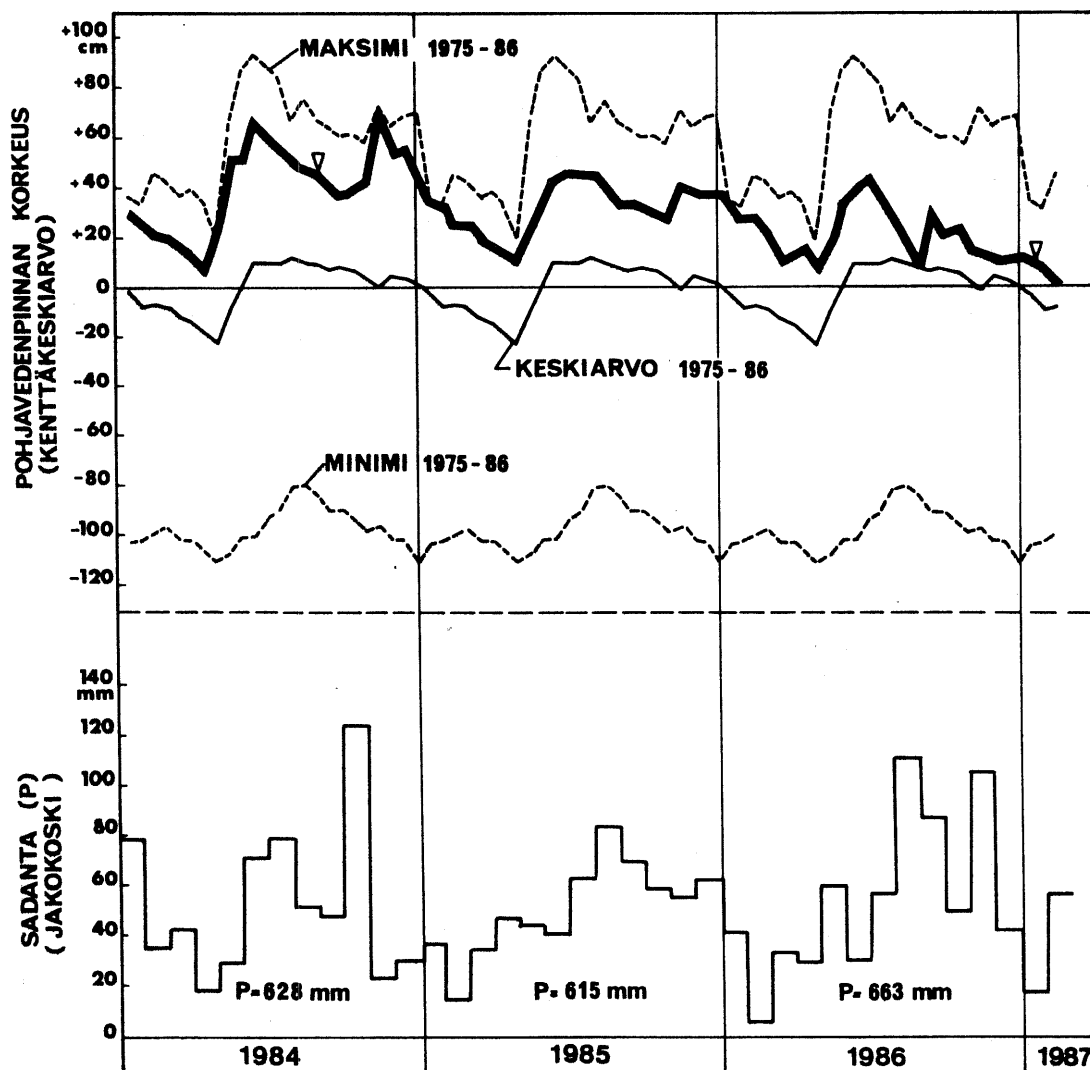
Kuva 7. Metsäliiton alueen reunassa tehtyjen kairausten tulokset. Pisteisiin 1, 3 ja 5 on asennettu pohjavesiputket.

Tutkimusalueella maaperän vedenläpäisevyys on yleisesti melko heikko. Tutkimuspisteiden maalajeille voidaan antaa seuraavat keskimääräiset vedenläpäisevyysarvot: siltti $1 \cdot 10^{-7}$ m s⁻¹, hieno hiekka - hiekka $5 \cdot 10^{-6}$ - $5 \cdot 10^{-4}$ m s⁻¹ ja karkea hiekka $1 \cdot 10^{-3}$ m s⁻¹. Hyvin vettä johtavien sora-akviferien vedenläpäisevyys on usein yli 1 m s⁻¹ (Freeze & Cherry 1979:29; Mälkki 1979). Pohjaveden hydraulinen gradientti vaihtelee tutkimuslinjoilla $1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-3}$, keskimäärin se on noin $4 \cdot 10^{-3}$. Lukemat ovat tyypillisiä hiekka-akvifereille (Mälkki 1979).

6 TUTKIMUSTULOKSET

6.1 Vertailualue

1980-luvun alun sateisten vuosien takia pohjavedenpinta (kenttäkeskiarvo) oli Jaamankankaalla lähes puoli metriä keskimääräistä ylempänä havaintokauden alussa syksyllä 1984. Lokaan sateet nostivat vielä pohjavedenpintaa loppuvuodesta, ja marraskuussa kenttäkeskiarvo oli jo lähellä maksimiaan (kuva 8, s. 13). Tämän jälkeen pohjavesipinta kääntyi pitkäaikaiseen laskuun. Vuoden 1986 loppupuoliskon runsaat sateet eivät kääntäneet vesipintaa nousuun. Tarkkailukauden lopulla vertailualueen kenttäkeskiarvo oli enää hieman pitkäaikaisen keskiarvonsa yläpuolella.



Kuva 8. Jaamankankaan pohjavesiaseman kenttäkeskiarvo oli tarkkailukaudella (nuolet) vuosien 1975 - 1986 keskiarvon yläpuolella. Kenttäkeskiarvo laskettiin aseman havaintoputkien 1, 2, 5, 6, 7, 8 ja 10 mittauslukemista, jotka saatiin vesi- ja ympäristöhallituksen hydrologian toimistosta.

6.2 Tutkimusalue

Mikäli tarkkailuputkien vesipinta alenee ojitusten vuoksi, syntyy putkien mittauslukemien aikasarjoihin vesipintamuutoksen suuruinen siirtymä. Siirtymä jää yleensä pysyväksi. Siirtymän pitäisi näkyä ensimmäisenä ojitusaluetta lähinnä olevissa tarkkailuputkissa, jotka ovat hydraulisesti yhteydessä ojitusalueeseen. VAPO 1 -alueen ojitusten vaikutuksia oli siis tarkasteltava lähinnä putkilinjan I perusteella ja VAPO 2 -alueen ojitusvaikutuksia putkilinjan III ja myös linjan II perusteella. Metsäliiton alueen ojitusten vaikutusten piti näkyä lähinnä pisteissä M1 - M3 (kuva 4, s. 8). Tarkkailuputkista V8 sijaitsee pohjavedenjakajan länsipuolella, mihin ojitukset eivät voi vaikuttaa. Putki V10 ei myöskään kuulu tuotantoalueiden valuma-alueeseen (kuva 5, s. 10).

V A P O O y : n t u o t a n t o a l u e e t

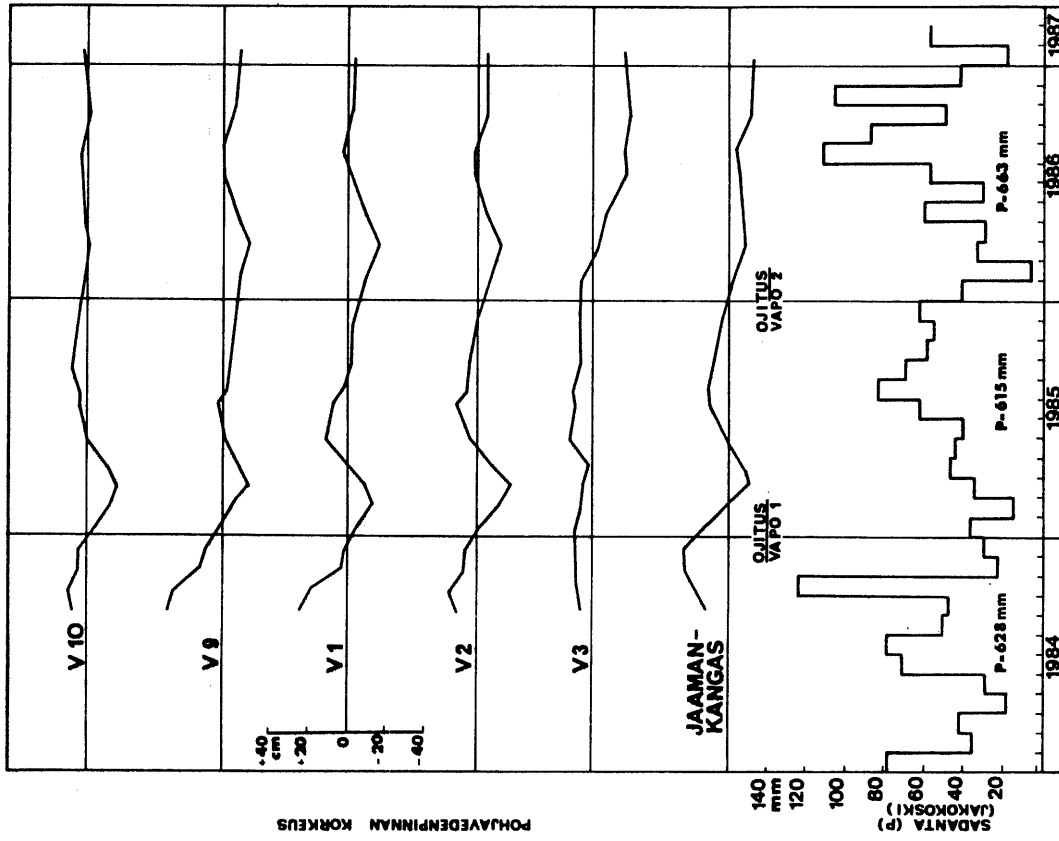
Kaikkien putkilinjojen pohjavesipinnoissa on havaittavissa samankaltainen laskeva trendi kuin vertailualueellakin (kuvat 9 - 11, s. 15 ja 16). Pohjavesi on ollut ylimmillään vuoden 1984 loppupuolella, ja se on alkanut laskea suurin piirtein samoihin aikoihin kuin Jaamankankaallakin. Vertailualueen pohjavesipinnan voimakas lasku kohti kevätminimiä 1985 näkyy selvästi lähes kaikissa putkissa. Joissakin putkissa tämä minimi edustaa koko tarkkailukauden alinta vesipintaa. Aivan tarkkailukauden lopulla muutamien putkien vesipinnat alkavat hitaasti kääntyä nousuun.

VAPO 1 -alueen ojitukset sattuvat ajankohtaan, jolloin pohjavesi on juuri kääntynyt laskusuuntaan. Linjan I vesipintojen aleneminen jatkuu ojitusten jälkeen. Tämä johtuu kuitenkin pohjaveden luonnollisesta laskutrendistä. Ojitusten aiheuttamia siirtymiä vesipintakuvaajissa ei ole havaittavissa (kuva 9). Maastotarkastuksessa kesällä 1986 havaittiin VAPO 1 -alueella kivennäismaahan ulottuvien sarkaojien pohjalla vain hyvin heikkoa pohjaveden purkautumista.

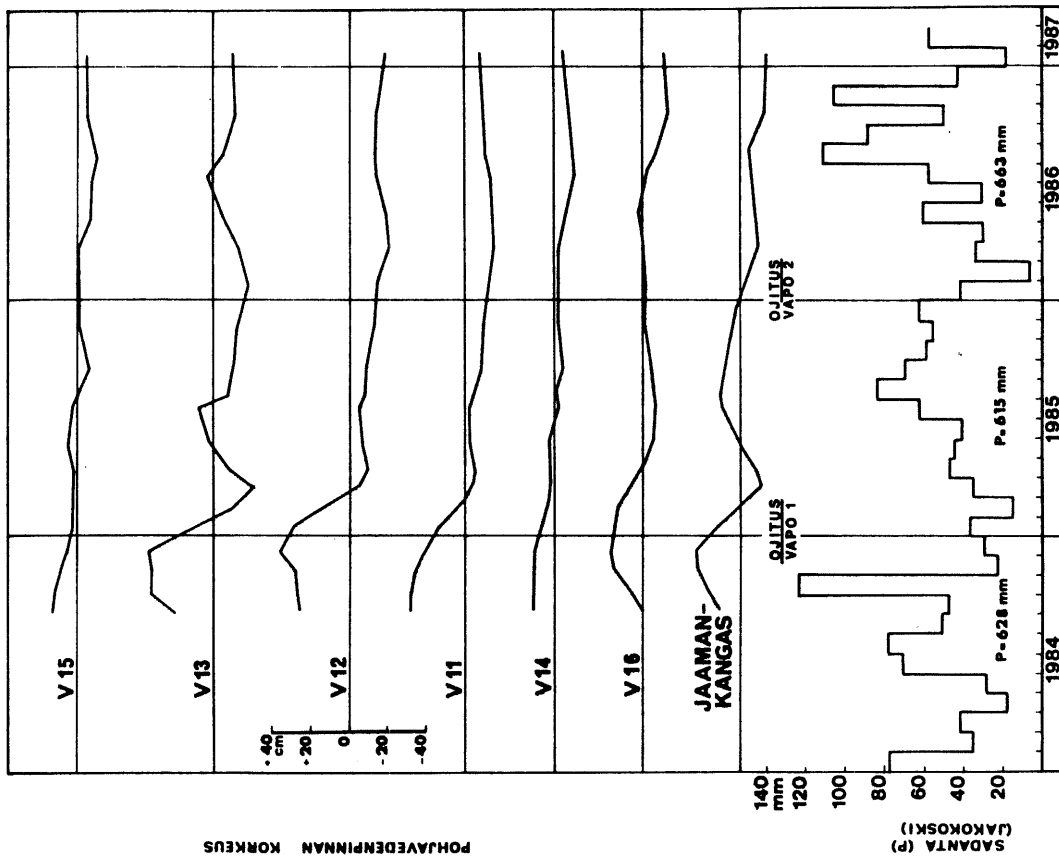
Myös VAPO 2 -alueen ojitukset aloitettiin ajankohtana, jolloin pohjavesi oli laskemassa kevätminimiinsä. Linjalla III vesipinnat seurailevat vertailualueen pohjavesipintaa. Ainoastaan putki V3 poikkeaa yleisestä trendistä (kuva 10). Putken vesipinta on melko vakaa tammikuuhun 1986 saakka, jonka jälkeen se alkaa selvästi pudota; tosin tarkkailukauden lopulla vesipinta kääntyy hitaaseen nousuun. VAPO 2 -alueen ojitukset ovat saattaneet vaikuttaa noin 60 metrin päässä tuotantoalueesta olevan putken vesipintaan. Mahdollinen ojitusten aiheuttama alenema jää kuitenkin vähäiseksi, se on korkeintaan noin 20 cm. Tuotantoalueen lounaiskulman sarkaojat on kaivettu kivennäismaahan asti, lounaiskulmaan ei ole kuitenkaan tehty reunaojaa. Alueen sarkaojiin purkautuu pohjavettä kivennäismaasta huomattavasti enemmän kuin VAPO 1 -alueella. Koko alueelta purkautuvaksi pohjavesimääräksi arvioitiin heinäkuun alussa 1986 yli 5 l s^{-1} .

Linjan II vesipintakuvaajissa ei ole havaittavissa ojitusten aiheuttamia siirtymiä. Pohjaveden aleneminen havaintokauden loppua kohti johtuu pohjaveden luonnollisesta laskutrendistä (kuva 11).

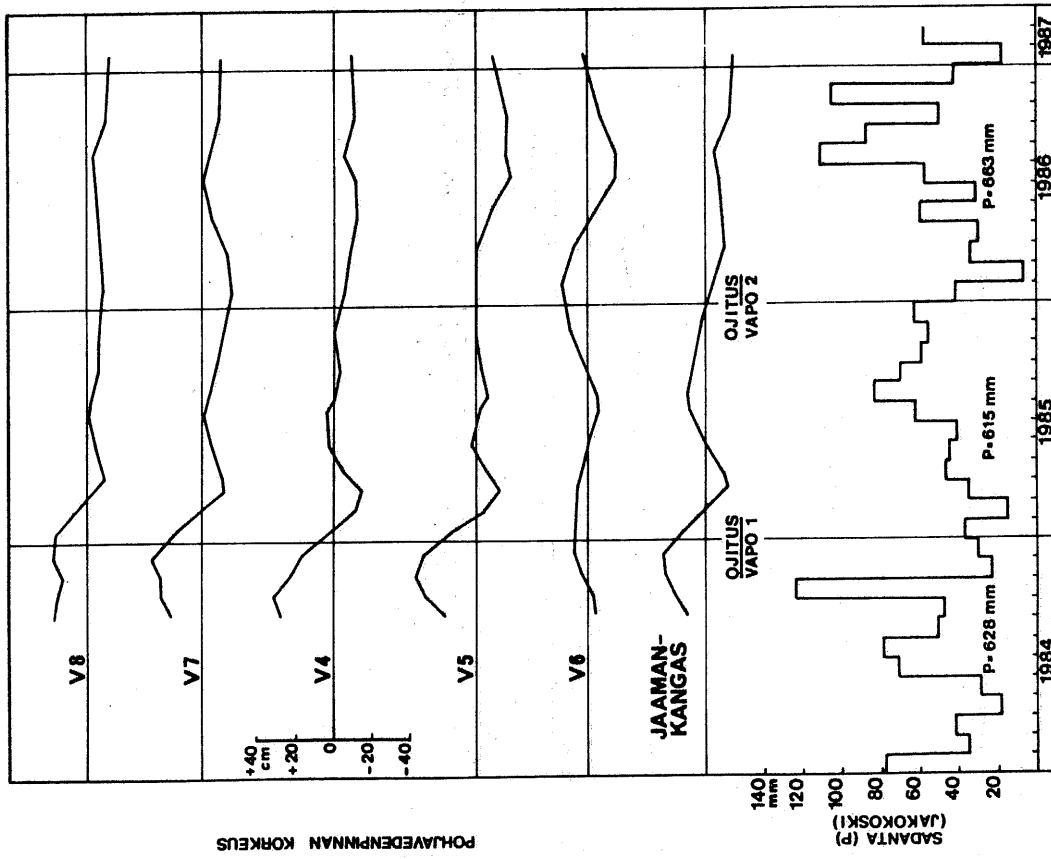
Tarkkailussa mukana olleiden lampien ja Jukajärven keskimääräiset vedenkorkeudet eivät ole muuttuneet havaintokauden aikana. Aittokorvenlammen vedenpinta on noin puolitoista metriä alueen pohjavedenpintaa (V6) alempana. Lammen vedenpinnan lasku vaatisikin ympäristön pohjavedenpinnan huomattavaa alenemista. Tukholmanlampi on ilmeisesti syntynyt huonosti vettä läpäisevälle alustalle, joka padottaa lammen vesipinnan pohjavesipinnan (V1) yläpuolelle. Ojituksilla ei ole ollut vaikutusta lampien vesipintoihin. Jukajärvi ei kuulu tuotantoalueiden vaikutusalueeseen.



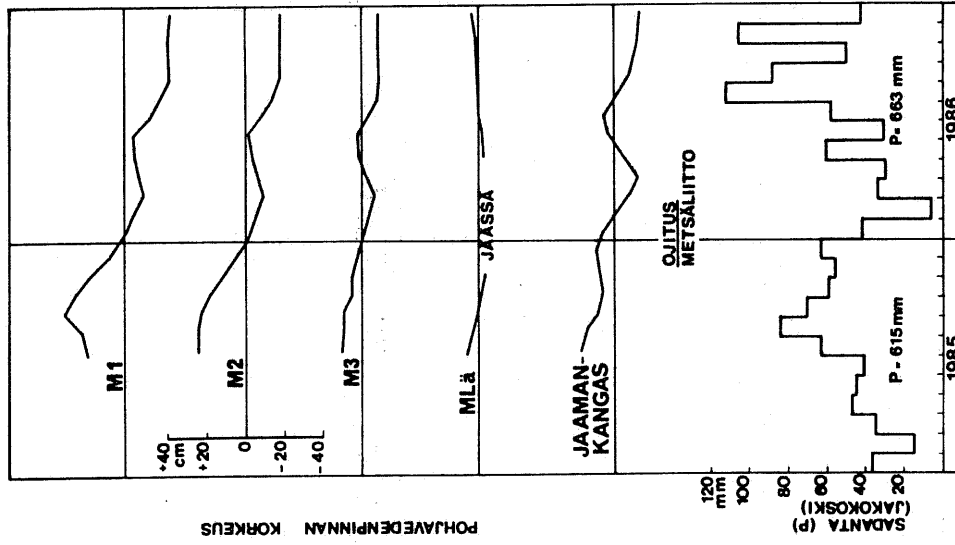
Kuva 9. Pohjaveden korkeusvaihtelu tutkimuslinjalla I (+V15). Mittauslukemien vaihtelu on ta-
soitettu liukuvan keskiarvon avulla tarkas-
telun helpottamiseksi (k=1, ks. Laasanen
1986: kaava 11-59). Kuvassa on esitetty
myös vertailualueen tarkkailukauden kenta-
keskiarvo, ojitusajankohdat sekä sadanta
Jakokosken havaintoaseman mukaan.



Kuva 10. Pohjaveden korkeusvaihtelu tutkimuslinjalla
III (+V10).



Kuva 11. Pohjaveden korkeusvaihtelu tutkimuslinjalla II.



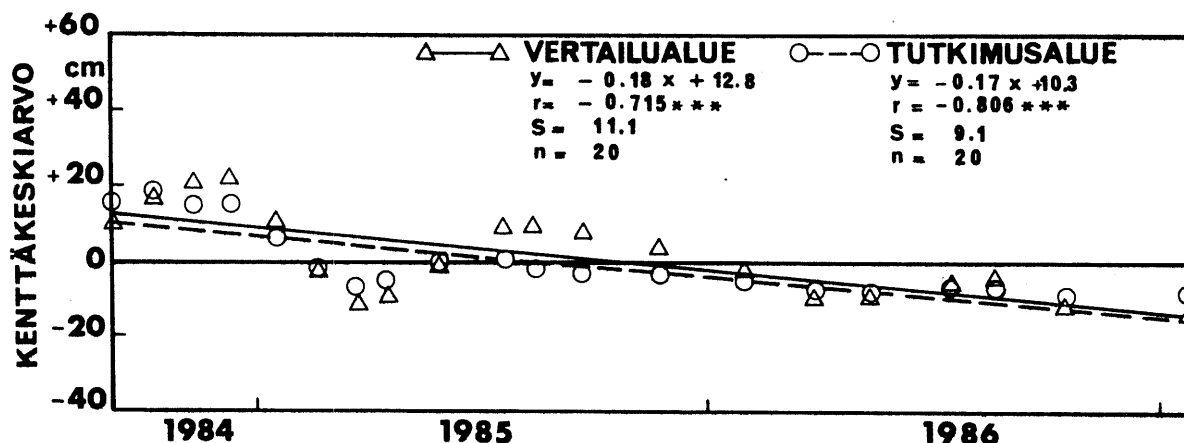
Kuva 12. Pohjaveden korkeusvaihtelu Metsäliiton tuotantoalueen tarkkailupisteissä.

Metsäliiton tuotantoalue

Metsäliiton tarkkailuputkien vesipintakuvaajissa on samankaltainen laskeva trendi kuin vertailualueen kenttäkeskiarvossa (kuva 12). Pohjavesipinta on laskenut putkissa M1 ja M2 suhteessa voimakkaammin kuin Jaamankankaalla. Koska pisteiden vesipinnan vuosivaihtelua ei tunneta, ei vedenpinnan alenemista voida välttämättä pitää ojitusten aiheuttamana. Mikäli aleneminen johtuu ojituksista, on alenema kuitenkin vähäinen, korkeintaan ehkä 20 cm. Putket sijaitsevat noin 100 metrin päässä tuotantoalueen kivennäismaahan kaivetusta reunaojasta. Lähteen vesipinta ei mittaa pohjaveden korkeutta, vaan se pysyttelee jonkin verran tämän alapuolella. Lähdeettä ei siis voi käyttää pohjavedenpinnan korkeusvaihtelun havainnointiin.

6.3 Vertailualueen menetelmän luotettavuudesta

Vertailualueen menetelmän käyttö edellytti, että luonnontilaisen pohjavedenpinnan käyttäytyminen oli tutkimus- ja vertailualueella mahdollisimman samankaltaista. Menetelmän luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla tutkimusalueelle laskettua, koko tarkkailukautta edustavaa kenttäkeskiarvoa (pisteet V1 - V16) vertailualueen kenttäkeskiarvoon (kuva 13). Näin voitiin tehdä, koska ojitukset eivät olleet vaikuttaneet tutkimusalueen tarkkailupisteiden vesipintoihin tai muutokset olivat vain hyvin vähäisiä. Kuvan 13 regressiosuorat ovat lähes yhteneviä, mikä osoittaa, että kenttäkeskiarvon lasku tarkkailukauden loppua kohti on ollut molemmilla alueilla paitsi yhtä nopeaa myös yhtä suurta. Myös pohjavedenpinnan vaihtelu on ollut molemmilla alueilla samansuuruista. Tutkimusalueen vesipintahavaintoja voitiin siis hyvin verrata Jaamankankaan pohjavesiaseman kenttäkeskiarvoon.



Kuva 13. Tutkimus- ja vertailualueen kenttäkeskiarvon käyttäytyminen tarkkailukaudella oli lähes samankaltaista. Kenttäkeskiarvot on laskettu mittauslukemien liukuvista keskiarvoista.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Koska yleensä useita vuosia vaativa kalibrointijakso jäi tutkimusalueella erittäin lyhytaikaiseksi, oli tulosten tarkastelun kannalta olennaista, että tutkimusalueen vesipintahavainnot voitiin luotettavasti verrata lähellä sijaitsevalla samankaltaisella alueella tehtyihin havaintoihin. Näin voitiin havaintoihin vaikuttava pohjavedenpinnan luonnollinen korkeusvaihtelu ja trendi ottaa huomioon mahdollisia ojitusten aiheuttamia vesipintamuutoksia tarkasteltaessa. Koska vertailualueen pohjavesipinnan muutoksiin sisältyivät jo mm. sadanta ja haihdunta, saavutettiin vertailualueen menetelmällä se lisäetuna, ettei näiden tekijöiden mittaus tutkimusalueella ollut välttämätöntä eikä tekijöiden puuttuminen tarkkailuohjelmasta siis vaikeuttanut tulosten tulkintaa.

Metsäliiton alueelle ja VAPO 2 -alueelle virtaa pohjavesiä harjualueelta. Näillä alueilla ojitukset ulottuvat arviolta 1 - 2 metriä alapuolisen kivennäismaan pohjaveden painekorkeuden alapuolelle. Ojituksin on siis voitu alentaa suon minerotrofisen laitteen ja harjualueen pohjavesitasoa. Ojituksilla ei ole kuitenkaan ollut ainakaan selvää vaikutusta tuotantoalueista 60 - 100 metrin päähän asennettujen putkien pohjavesipintaan. Pisteissä V3, M1 ja M2 havaittu vesipinnan aleneminen jää vähäiseksi, ja sen paneminen ojitusten syyksi lyhyen tarkkailukauden aikana tehtyjen havaintojen perusteella lienee kyseenalaista. Aleneminen on voinut johtua myös pohjaveden luonnollisesta korkeusvaihtelusta.

Ruotsissa Bergquist et al. (1984) totesivat pohjavedenpinnan alentuneen ojitusaluetta ympäröivässä moreenimaassa korkeintaan 10 cm, kun ojituksista oli kulunut kaksi vuotta. Pohjavesi aleni vain moreenimaan reuna-alueella, alle 10 metrin etäisyydellä suoalueesta. Ojitusvaikutusten erottaminen pohjaveden luonnollisesta korkeusvaihtelusta oli kuitenkin vaikeaa, eivätkä tulokset olleet aivan yksiselitteisiä. Maslovin (1972) tutkimalla alueella Neuvostoliitossa pohjavedenpinta laski suon ympäristössä (hiekkamaa) kahtena ojitusten jälkeisenä vuotena 30 - 70 cm. 4 - 5 vuoden kuluttua alenemat olivat paikoin kaksinkertaisia; vaikutusalue oli tällöin laajentunut 1,6 kilometriin. Maslov arvioi, että lopulliset vaikutukset tulevat näkyviin vasta korkeintaan 10 vuoden kuluttua ojituksista. Näissä tutkimuksissa tarkkailukausi oli pitempi kuin Linnunsuolla. Lisäksi tutkimusalueet ovat luonteeltaan niin erilaisia, etteivät tutkimustulokset ole suoraan vertailukelpoisia.

Linnunsuon ojitusten lopullinen vaikutus ympäristön pohjavesitasoon ei lyhyen tarkkailukauden aikana ilmeisesti ehtinyt tulla näkyviin. Tähän vaikutti osaltaan tutkimusalueen hienojakoinen, homogeeninen maaperä, jossa pohjaveden virtaus on verrattain hidasta. Ojitusten aiheuttamat alenemat, vaikka ne esimerkiksi reunaojien lähellä saattoivatkin olla jyrkkiä, jäivät ilmeisesti melko pienialaisiksi. Karkearakeisessa maaperässä vesipinta alenee ojitusten lähellä suhteellisen loivasti, mutta vesipinta voi laskea nopeasti melko kaukanakin ojitusalueesta (Dupuitin approksimaatio, ks. esim. Airaksinen 1978). Ojitusvaikutusten tarkastelu olisi helpottunut,

mikäli tarkkailuputkia olisi asennettu myös ojitetuille alueille tai ainakin lähemmäksi tuotantoalueita. Vaikutusten laajuus, voimakkuus ja nopeus olisi tällöin voitu suhteellisen tarkasti arvioida.

Tuotantoalueen sijainti suolla vaikuttaa siihen, missä määrin ojituksilla voidaan vaikuttaa suon ympäristön pohjavesitasoon. Suota ympäröivän kivennäismaan lähellä tehdyt ojitukset, jotka lisäksi ulottuvat vettä läpäisevään mineraalimaahan, voivat todennäköisesti tehokkaammin alentaa kivennäismaan pohjavesitasoa kuin kauempana tehdyt, turpeeseen ulottuvat ojitukset. Maatunut turvehan on yleensä huonosti vettä läpäisevää (esim. Huikari 1959; Päivänen 1973). Erityisesti tuotantoalueiden reunaajat, jotka tehdään usein kivennäismaahan asti, voivat lisätä merkittävästi pohjaveden purkautumista ympäristöstä (Maslov 1972).

Metsäliiton alue sijaitsee aivan harjualueen reunassa, joten pohjaveden alenemiselle on sen ympäristössä paremmat edellytykset kuin VAPO Oy:n tuotantoalueiden ympäristössä. Tätä ajatusta tukee se seikka, että Metsäliiton alueen reunassa kivennäismaan vedenläpäisevyys lienee jonkin verran suurempi kuin esimerkiksi VAPO 2 -alueella. VAPO 1 -alue sijaitsee suoaltaan vastakkaisella reunalla 1 - 2 kilometrin päässä harjualueelta, ja on todennäköistä, ettei sen ojituksilla ole vaikutusta harjualueen pohjavesitasoon pitkänkään ajan kuluessa. Ojitukset kyllä laskevat turvekerroksen pohjavesitasoa, sillä suon pohjavesipinta nousee lähelle turpeen pintaa. Ojitukset saattavat alentaa myös tuotantokentän itäpuolisen moreenialueen pohjavesitasoa, sillä suoaltaan topografian mukaan pohjavettä voi virrata tuotantoalueen pohjoisosaan itä-kaakkosuunnasta. Tästä ei kuitenkaan havaintoputkien puuttuessa voitu tehdä havaintoja.

Pohjavedenpinnan alenemaan ja sen laajuuteen vaikuttaa tuotantoalueiden kautta poistuvan vesimäärän suuruus. Mitä enemmän pohjavettä poistetaan ympäristöönsä yhteydessä olevilta tuotantoalueilta, sitä tehokkaammin ympäristön vesivarasto voi tyhjentyä. Tämä saattaa ennen pitkää näkyä pohjavedenpinnan alenemisena koko alueella erityisesti pienissä pohjavesiesiintymissä. Vaikka pohjaveden purkautuminen ojitusten vuoksi tutkimusalueella ilmeisesti voimistuikin (valuntaa ei seurattu), on kuitenkin varsin todennäköistä, etteivät ojitukset voi merkittävästi vähentää Salpausselän pohjavesivarastoa. Tähän viittaa varaston suuren vesimäärän ohella ojitusalueiden suhteellisen pieni osuus Linnunsuon valuma-alueesta. Tuotantoalueet ovat yhteiseltä pinta-alaltaan noin 1/3 pohjaveden muodostumisalueesta ja vain noin 1/6 koko valuma-alueesta. Jos VAPO 1 -aluetta ei lasketa mukaan, saadaan tuotantoalueiden osuudeksi vastaavasti 1/4 ja 1/10.

Vertailualuehavaintojen mukaan pohjavedenpinta oli tutkimusalueella keskimääräistä ylempänä tarkkailukauden aikana. Vasta aivan kauden lopulla vesipinnat olivat ilmeisesti lähellä keskimääräisiä lukemiaan. Mikäli pohjavedenpinnan pitkäaikainen vaihteluväli on tutkimusalueella samaa luokkaa kuin vertailualueella (noin 1,5 m), voi pohjavesi laskea havaintoputkissa vähäsateisina vuosina jopa metrin verran tarkkailukauden lukemien alapuolelle. Ojituksilla ei tarvitse tällöin olla vielä mitään vaikutusta pohjavedenpinnan asemaan.

Pohjavedenpinnan aleneminen tuotantoalueiden ympäristössä todennäköisesti vielä jatkuu ja ojitusten vaikutusalue samalla laajenee. Lopullisten ojitusvaikutusten selvittämiseksi onkin tarkkailun jatkaminen Linnunsuolla tarpeen. Tarkkailupisteiden mittauskertoja voidaan kuitenkin vähentää. Esimerkiksi neljä kertaa vuodessa tehtävin mittauksin saataneen luotettava kuva pohjavesitilanteesta. Pohjavedenpinnan ääriarvojen tavoittamiseksi tulisi mittaukset tehdä vuosittain tammikuun, huhtikuun, kesäkuun ja lokakuun puolella välissä. Seuranta tulisi jatkaa ainakin kolmen vuoden ajan. Lampien ja Jukajärven vedenpinnan tarkkailusta voidaan luopua. Joensuun kaupungin havaintoputket, jotka kuuluvat tuotantoalueiden valuma-alueeseen, tulisi ottaa tarkkailuun mukaan. Muutamia uusia havaintoputkia asentamalla voitaisiin tutkimusalueen pohjaveden korkeudesta ja virtaussuunnista saada lisätietoa.

Linnunsuolla tehtävillä ojituksilla ei ole vaikutusta Salpausselän pohjavedenjakajan länsipuoliseen alueeseen. Ojituksilla ei voida siis vähentää Erolanniemen pohjavedenottamon antoisuutta eikä yleensääkään sille suunniteltuun suoja-alueeseen tai Kulhon tärkeään pohjavesialueeseen kuuluvan harjumuodostuman pohjavesivarjoja (vrt. Suunnittelukeskus 1983; Pohjois-Karjalan vesipiiri 1982). Tuotantoalueiden valuma-alueellakaan ei ole vedenottamoita tai yksityisiä kaivoja, joihin tuotantoalueiden ojituksilla voisi olla vaikutusta.

8 LOPPUPÄÄTELMÄT

Linnunsuon ojitusten vaikutuksista ympäristön pohjavesitasoon ei voida tähänastisten tarkkailutulosten perusteella tehdä lopullisia johtopäätöksiä. Tutkimustuloksia ei pidä siten toistaiseksi käyttää edes Linnunsuon kaltaisten alueiden ojitusvaikutusten arviointiin. Ojitusten vaikutusalueen laajuutta tai pohjaveden aleneman suuruutta ei voida myöskään ennustaa, sillä ojitusvaikutusten arviointiin soveltuvat matemaattiset menetelmät vaatisivat pohjaveden korkeustietojen lisäksi havaintoja ainakin tuotantoalueilta purkautuvista pohjavesimääristä. Ainoa varteenotettava keino ojitusvaikutusten selvittämiseksi lieneekin tarkkailun jatkaminen. Tähänastisten tutkimustulosten ja jatkotarkkailuhavaintojen perusteella voitaneen Linnunsuon ojitusten vaikutukset ympäristön pohjavesitasoon luotettavasti selvittää.

Turvetuotantoalueiden ojitusten vaikutus ympäristön pohjavesitasoon riippuu monesta seikasta: alueiden maantieteellisestä sijainnista, suotyypistä, ympäristön maaperän rakenteesta ja raekoostumuksesta (vedenläpäisevyydestä), pohjaveden muodostumis- ja purkautumissuhteista, hydraulisesta gradientista, tuotantoalueiden koosta ja sijainnista suolla, ojitussyvyydestä ja -tiheydestä, ojitusten ulottumisesta kivennäismaahan jne. Esimerkiksi kapealla, soravaltaisella harjulla saattaa pohjavedenpinta harjun reunassa tehtyjen ojitusten vuoksi alentua huomattavasti enemmän ja laajemmalla alueella kuin suuressa, ojitusalueesta kauempana sijaitsevassa hiekkamuodostumassa.

Paineelliseen salpa-akviferiin ulottuvat ojitukset voivat alen-
taa ympäristön pohjavesipintaa paljon nopeammin ja kauempana
ojitusalueesta kuin vapaaseen akviferiin tehdyt ojitukset.
Toisaalta ojituksilla ei tarvitse olla mitään vaikutusta ympä-
ristön pohjavesitasoon. Näin voi asianlaita olla esimerkiksi
silloin, kun ojituksia tehdään ombrotrofisilla kohosoilla.

Turvetuotantoalueiden ojitusten vaikutuksia ympäristön pohja-
vesitasoon pitäisi tutkia mahdollisimman monella erityyppisellä
alueella, jotta tutkimuksista saatua tietoa voitaisiin käyttää
erityyppisten alueiden ojitusvaikutusten arviointiin. Tutkimus-
alueet tulisi valita tyypillisimmiltä ojituskohteilta maan eri
osista. Tutkimustulosten yleistettävyyttä edellyttäisi lisäksi,
että tutkimusalueista hankittaisiin riittävän kattavat ja luot-
tettavat taustatiedot. Tutkimukset pitäisi suunnitella moni-
vuotisiksi, jotta ojitusten pitkäaikaisvaikutuksetkin tulisivat
näkyviin tai ne voitaisiin ainakin luotettavasti arvioida.
Tutkimuskohteet pitäisi voida myös kalibroida luotettavasti,
sillä esimerkiksi vertailualueumenetelmää voitaneen ilman
kalibrointijaksoa käyttää vain poikkeustapauksissa.

9 TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten suuria ja laaja-
alaisia muutoksia suon käyttöönotto turvetuotantoon aiheuttaa
ympäristön pohjavesitasoon. Tutkimusalueena oli laaja, ainek-
seltaan hiekkavaltainen harjumuodostuma, jota reunustavalle
suolle oli suunnitteilla kolme turvetuotantoaluetta. Tuotanto-
alueiden ja harjualueen väliseen maastoon rakennettiin tark-
kailuputkiverkosto, jonka avulla pohjavedenpinnan korkeutta
seurattiin ennen ojituksia ja ojitusten jälkeen.

Kalibrointikausi jäi lyhytaikaiseksi, ja tulosten tarkastelussa
käytettiin vertailualueumenetelmää. Tarkkailutuloksia verrattiin
tutkimusalueen lähellä sijaitsevan pohjavesiaseman kenttäkeski-
arvoon. Tarkkailupisteiden pohjavesipinta noudatteli yleisesti
vertailualueen pohjavesipintaa. Ojitusten aiheuttamia vesi-
pintamuutoksia ei tarkkailupisteissä havaittu lukuunottamatta
ehkä tuotantoalueita lähinnä olevia tarkkailupisteitä. Näissä-
kin pisteissä vesipinnan aleneminen jäi vähäiseksi, eikä sen
voitu varmuudella todeta johtuneen ojituksista. Ojitusten lo-
pulliset vaikutukset eivät ilmeisesti lyhyen tarkkailukauden
aikana ehtineet tulla näkyviin. Tähän vaikutti osaltaan alueen
hienojakoinen maaperä, jossa pohjaveden virtaus on verrattain
hidasta. Myös tuotantoalueiden koolla ja sijainnilla oli toden-
näköisesti vaikutusta tutkimustuloksiin. Tulosten tarkastelua
vaikeutti tarkkailupisteiden puuttuminen tuotantoalueilta ja
niiden lähistöltä.

Tarkkailutulosten perusteella ei ojitusten vaikutuksista
voitu tehdä lopullisia johtopäätöksiä. Tarkkailua esitettiin
jatkettavaksi. Pitkäaikaisten tutkimusten tekemistä erityyppisillä
alueilla pidettiin tarpeellisena, mikäli turvetuotanto-
ojitusten vaikutuksia ympäristön pohjavesitasoon haluttiin
luotettavasti selvittää.

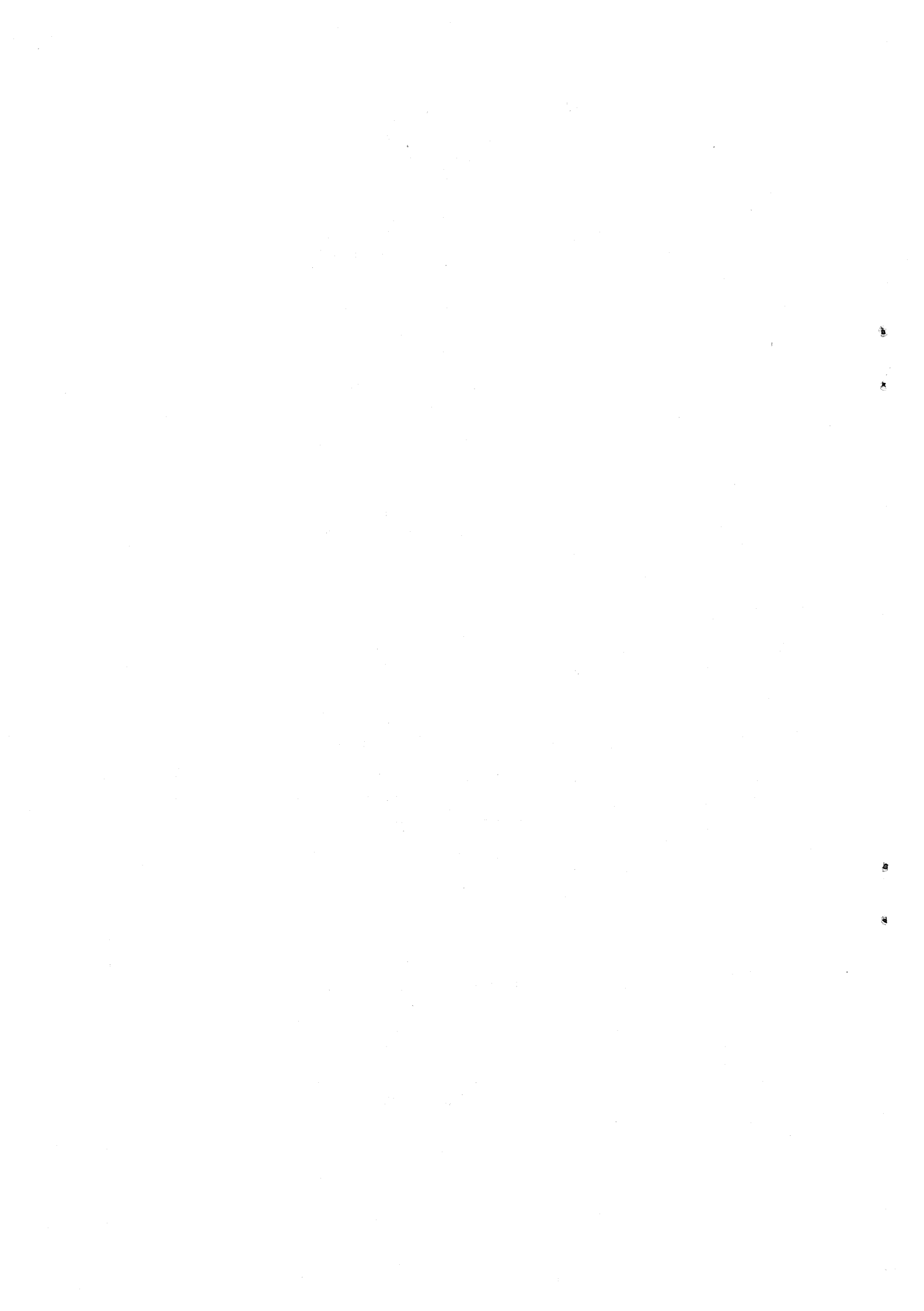
KIRJALLISUUS

- Airaksinen, J. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Pohjoinen. Oulu. 248 s.
- Bergquist, B., Lundin, L. & Andersson, A. 1984. Hydrologiska och limnologiska konsekvenser av skogs- och myrdikning. Siksjöbäcksområdet (Effects of peatland drainage on hydrology and limnology. The basin Siksjöbäcken). Uppsala Univ., Limnol. Inst., Forskningsrapp. 9, Rapp. LIU 1984 B, 4. 140 s.
- Eurola, S. 1963. Suomen keidassoista. Suomen Luonto 22:150-165.
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 604 s.
- Geologinen tutkimuslaitos 1981. Suotutkimukset Linnunsuon alueella. Tutkimusselostus DNro 00/22/81. Espoo.
- Heikurainen, L., Kenttämies, K. & Laine, J. 1978. The environmental effects of forest drainage (Metsäojituksen ympäristövaikutukset). Suo 29, 3-4:49-58.
- Hosiaislouma, V. 1961. Pohjanmaan keidassoista. Suo 12:2, 19-23.
- Huikari, O. 1959. Kenttämittaustuloksia turpeiden vedenläpäisevyydestä (Feldmessungsergebnisse über die Wasserdurchlässigkeit von Torfen). Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 51(1): 1-26.
- Johansson, J-Å. & Olofsson, H. 1985. Drainage water quality of peat mining areas. Proc. Peat and the Environment '85 Int. Peat Soc. Symp. Sept. 1985, Jönköping, Sweden. S. 69-85.
- Johansson, T. 1985. Hydrologiska miljökonsekvenser av torvtäkt, forskningsredogörelse och projektbeskrivning. 1.10.1985. 26 + 13 s. (Liitteet hakemukseen Statens naturvårdsverkille, L.Y. Nilsson, Inst. för kulturteknik, Kungl. Tekn. Högskolan. Kontraktsnr. 5977224-4).
- Koho, S. & Kurkinen, I. 1975. Soravarojen arviointi TVL:n Pohjois-Karjalan piirin eteläosassa I - IV. Geologinen tutkimuslaitos. XII ja 505 s.
- Kolesin, V.N. & Yanushevskiy, V.U. 1985. Peat deposits - drainage and environment. Proc. Peat and the Environment '85 Int. Peat Soc. Symp. Sept. 1985, Jönköping, Sweden. S. 102-111.
- Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931 - 1960. Ilmatieteen laitos. 42 s.
- Kurimo, H. 1982. Ice-lobe formation and function during the deglaciation in Finland and adjacent Soviet Karelia. Boreas 11:59-78.

- Kurimo, H. & Hovi, A. 1984. Metsätaloudellisten toimenpiteiden hydrologiset ja hydrometeorologiset vaikutukset. Kirjallisuustutkimus (Hydrological and hydrometeorological effects of silvicultural treatments - literature research). Vesi-hallitus - National Board of Waters, tiedotus - Report 251. 141 s.
- Kytövuori, T. 1979. Metsäojituksen vaikutus suon hydrologiaan kahtena ojituksen jälkeisenä kasvukautena. Suometsätieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 47 s.
- Laasanen, O. 1986. Aikasarja-analyysi. S. 307-323. Teoksessa: Sovellettu hydrologia (julk. Vesiyhdistys r.y.). Helsinki.
- Lehtimäki, M. 1979. Ojituksen vaikutus suon pinnan painumiseen polttoturvesoilla. Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 29 s.
- Lehtinen, A. 1983. Turvetuotantosoiden kuivatuksen suunnittelu. Vesihallitus, suunnittelutoimisto. Moniste. 62 s.
- Lundin, L. 1984. Torvmarksdikning. Hydrologiska konsekvenser för Docksmyren (Peatland drainage. Effects on the hydrology of the mire Docksmyren). Univ. Uppsala, dept. Physical Geogr., Hydrol. Div., Rep. Ser. A, 1984, 3. 75 s.
- Lyytikäinen, A. 1982. Pohjois-Karjalan harjumaiseman kehitys sekä nykyisen tilan ja maankäytön yleispiirteet (The development and present state of esker landscape of North Karelia, Eastern Finland). Valtakunnallinen harjututkimus - Nation-wide Esker Investigation, raportti - Report 22. 150 s.
- Maa ja Vesi Oy 1977. Erolanniemen pohjavedenottamon suoja-alue-suunnitelma. Joensuun kaupunki. Työ nro F 7839.
- Maslov, B.S. 1972. Ojituksen vaikutuksesta kuivatusalueen ympäristön pohjaveden korkeuteen. Vesihallitus - National Board of Waters, tiedotus - Report A 34(8): 1-16.
- Menonen, J. & Päivänen, J. 1979. Polttoturvesuon lisäkuivatus salaojituksella. Suo 2.
- Mustonen, S. & Seuna, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan (Influence of forest draining on the hydrology of peatland). Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja - Publications of the Water Research Institute, Finland 2. 63 s.
- Mälkki, E. 1979. Ground-water flow velocity as an indicator of the permeability and internal structure of eskers (Pohjaveden virtausnopeus ja sen kuvastama harjujen vedenläpäisevyys ja sisäinen rakenne). Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja - Publications of the Water Research Institute, Finland 32. 42 s.
- Nykänen, O. 1971a. Kallioperäkartta - Pre-Quaternary Rocks. Lehti - Sheet 4241 Kiihtelysvaara. Suomen geologinen kartta - Geological Map of Finland 1 : 100 000.

- Nykänen, O. 1971b. Kallioperäkartan selitys - Explanation to the map of pre-quaternary rocks. Lehti - Sheet 4241 Kiihtelysvaara. Suomen geologinen kartta - Geological Map of Finland 1 : 100 000. 68 s. Otaniemi.
- Oravainen, H. 1978. Havainnot ojitustavan vaikutuksesta pohjavesitasoon. Turveteollisuus 1978, 4: 21-29.
- Oy Väylä 1973a. Paiholan pohjavesitutkimus. Pohjois-Karjalan vesipiiri. Työ nro 5077.
- 1973b. Erolanniemen pohjavesitutkimus. Joensuun kaupunki. Työ nro 5125.
 - 1974. Selvityksiä Erolanniemen vedenottamon lupahakemukseen. Joensuun kaupunki. Työ nro 5160.
- Pohjois-Karjalan vesipiiri 1982. Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet. Kontiolahden kuntakansio.
- Punkari, M. 1980. The ice lobes of the Scandinavian ice sheet during the deglaciation in Finland. Boreas 9, 307-310.
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils (Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky). Acta Forestalia Fennica 129. 70 s.
- Repo, R. 1957. Untersuchungen über die Bewegungen des Inlandeises in Nordkarelien. Bulletin de la Commission géologique de Finlande 179. 178 s.
- 1969. Maaperäkartan selitys - Explanation to the map of surficial deposits. Lehti - Sheet 4223 Joensuu. Suomen geologinen kartta - Geological Map of Finland 1 : 100 000. 86 s. Otaniemi.
- Sallantaus, T. 1983. Turvetuotannon vesistökuormitus. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisusarja D 29. 122 s.
- 1986. Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset - kirjallisuuskatsaus (Impacts of peatland forestry and peat mining on watercourses - a review). Maa- ja metsätalousministeriön luonnonvarainjulkaisuja 11. 203 s. Helsinki.
- Salminen, R. & Hartikainen, A. 1985. Glacial transport of till and its influence on interpretation of geochemical results in North Karelia, Finland. Geological Survey of Finland Bulletin 335. 48 s.
- Salonen, V-P. 1987. Observations on boulder transport in Finland. Geological Survey of Finland, Special paper (painossa).
- Sauramo, M. 1958. Die Geschichte der Ostsee. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Ser. A III, 51. 522 s.

- Seuna, P. 1981a. Long-term effects on forestry drainage on the hydrology of an open bog in Finland (Metsäojituksen pitkäaikaisista vaikutuksista suon hydrologiaan Suomessa). Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja - Publications of the Water Research Institute, Finland 43: 3-14.
- 1981b. Metsäojituksen vaikutukset virtaamiin ja pohjavesiin. Vesihallitus, tutkimuksen sekä vesiensuojelun ja vesihuollon toimialojen yhteiset koulutuspäivät 4.-5.11.1981. Jyväskylä. 5 s.
- 1986. Ihmisen toiminnan vaikutus hydrologiseen kiertoon. S. 387-391, 397-408. Teoksessa: Sovellettu hydrologia (julk. Vesiyhdistys r.y.). Helsinki.
- Simonen, A. 1980. The Precambrian in Finland. Geological Survey of Finland Bulletin 304. 58 s.
- Solantie, R. 1976. Suomen vesitaseen laskeminen kaudelle 1931 - 1960. Helsingin yliopisto, geofysiikan laitos, lisensiaattitutkielma. 350 s.
- Soveri, J. 1985. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in quaternary deposits in Finland (Sulamisen vaikutus pohjaveden määrään ja laatuun Suomen kvartaarimuodostumissa). Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja - Publications of the Water Research Institute, Finland 63. 92 s.
- Suunnittelukeskus 1980. Ehdotus Jynkänniemen ja Erolanniemen pohjavedenottamoiden uudeksi tarkkailuohjelmaksi. Joensuun kaupunki. Työ nro 6188.
- 1983. Erolanniemen pohjavedenottamon suoja-alue-suunnitelman tarkistus. Joensuun kaupunki. Työ nro 1993.
- Tamm, C-O., Holmen, H., Popvic, B. & Wiklander, G. 1974. Leaching of plant nutrients from soils as a consequence of forestry operations. Ambio Vol 3(6): 211-221.
- Vesihallitus 1983. Hydrologinen vuosikirja 1980. Hydrological yearbook 1980. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja - Publications of the Water Research Institute, Finland 53. 174 s.
- - - -
- Peruskartta 1 : 20 000, lehti 4241 03 Selkie. 1974 (päällepainatus 1980). Helsinki, maanmittaushallitus.
- Peruskartta 1 : 20 000, lehti 4223 12 Utra. 1980. Helsinki, maanmittaushallitus.
- Pankromaatti-ilmakuvat 1 : 31 000. 77191:90-93, kuvattu 11.6.1977. Helsinki, maanmittaushallituksen ilmakuvatoimisto.



5

6

7

8