

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 1983:156

ESISELVITYS KORKEIDEN NITRAATTI-
PITOISUUKSIEN ESIINTYMISESTÄ
POHJAVESISSÄ

Eeva-Riitta Yrjänä

Nro 1983:156

ESISELVITYS KORKEIDEN NITRAATTI-
PITOISUUKSIEN ESIINTYMISESTÄ
POHJAVESISSÄ

Eeva-Riitta Yrjänä

PAINOPIKKA: vesihallituksen monistamo

ESISELVITYS KORKEIDEN NITRAATTIPITOISUUKSIEN ESIINTYMISESTÄ POHJAVESISSÄ

1. JOHDANTO

2. YLEISTÄ NITRAATIN KULKEUTUMISESTA POHJAVETEEN

3. AINEISTOT

3.1 Vesihallitus ja vesipiirit

3.11 Vedenlaaturekisteri

3.12 Vesihuoltolaitokset

3.13 Tärkeät pohjavesialueet

3.14 Puhtaiden alueiden pohjavesiasemat

3.15 Kalliokaivotutkimukset

3.16 Kaivotutkimus v. 1958

3.17 Vesipiirit

3.2 Geologinen tutkimuslaitos

3.3 Terveysviranomaiset

3.4 Muita aineistoja

4. SUOMEN POHJAVESIEN NITRAATTIPITOISUUKSISTA

4.1 Nitraattipitoisuuden alueellinen vaihtelu

4.11 Vesilaitokset

4.12 Maa- ja kalliokaivot

4.2 Maa- ja kalliopohjaveden eroavuudet

4.3 Maa- ja kallioperän laadun vaikutus pohjaveden nitraattipitoisuuteen

4.4 Nitraattipitoisuuden ja pohjaveden muiden kemiallisten ominaisuuksien väliset korrelaatiot

4.5 Nitraattipitoisuuden ajallinen vaihtelu

4.6 Ihmistoimintojen vaikutus

4.7 Sadeveden nitraattipitoisuudet

5. YHTEENVETO

6. KIRJALLISUUS

LIITTEET

1. JOHDANTO

Useissa maissa pohjavesien nitraattipitoisuuden kohoaminen on heikentänyt pohjavesien laatua. Ongelma on suurin voimakkaasti lannoitetuilla maanviljelyalueilla. Myös Suomessa on havaittu sallitut pitoisuusrajat ylittäviä pohjavesien nitraattikonsentraatioita.

Nitraatin terveydelliset riskit kohdistuvat ensisijassa imeväisikäisiin lapsiin aiheuttaen ns. methemoglobinemian. On myös epäilty, että suolistossa nitraatista muodostuvilla N-nitrosoyhdisteillä olisi osuutta mahalaukun ja virtsarakon syöpään. Juomavesistandardeissa nitraattipitoisuudelle on asetettu ylärajat. Suomessa lääkintöhallituksen suosittama enimmäispitoisuus on 30 mg/l NO_3 ja suurin sallittu pitoisuus 50 mg/l NO_3 .

Maamme pohjavesien nitraattitilanteen selvittämiseksi on koottu tietoja olemassa olevista tutkimustuloksista, ja niihin perustuen tarkasteltu pohjavesien nitraattipitoisuuden tasoa, alueellisia ja ajallisia eroja sekä pitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä.

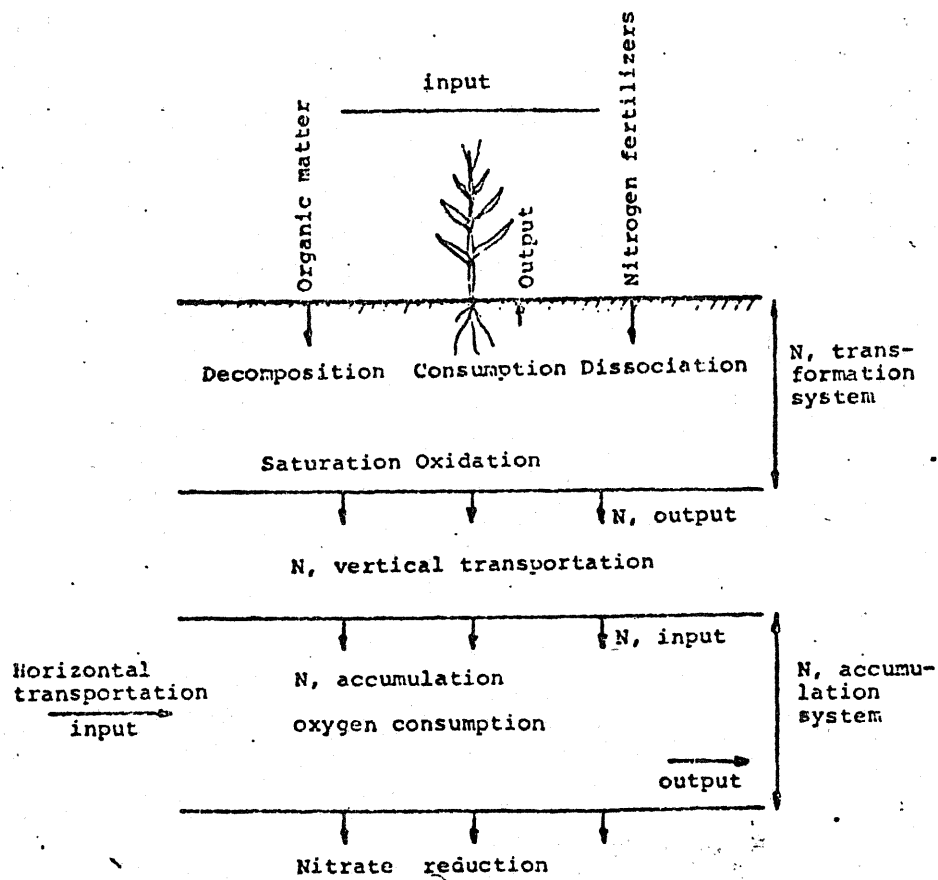
2. YLEISTÄ NITRAATIN KULKEUTUMISESTA POHJAVETEEN

Pohjaveden kemialliseen koostumukseen vaikuttavat mm.

- sadevesi
- maaperän ja kallioperän rakenne
- maaperän ja kallioperän kemiallinen koostumus
- alueen geologinen historia
- ihmistoimintojen aiheuttama kontaminaatio
(Mälkki 1979, Lahermo 1970).

Pohjavesien nitraattipitoisuuteen vaikuttavat ensisijassa ihmisen toiminta pohjaveden muodostumisalueella, kuten esim. maanviljelys, karjatalous, asutus, teollisuus. Luonnontilais-
ten alueiden pohjavesien nitraatti on peräisin pääosin ilma-
kehästä tai maaperän orgaanisen aineksen hajotessa vapautu-
vista typpiyhdisteistä (Lahermo 1970). Suomessa maaperän
keskimääräinen typpisisältö on Sillanpään (1982) mukaan n.
0,288 %. Kallioperässä ei ole typpeä merkittävässä määrin (Laakso 1966a).
Kalliopohjavesien nitraatti on pääosin peräisin maan pinta-
kerroksesta, jossa orgaanisen aineksen hajotessa muodostuu
nitraattia.

Typen kulkeutuminen pohjavesiin ei ole pelkästään yksinkertai-
sen suotautumisen tulos, vaan riippuu monista kemiallisista
ja biokemiallisista prosesseista, jotka ovat suhteessa pohja-
veden korkeuden muutoksiin (kuva 1) (Alföldi 1982).



Kuva 1. Typen kulkeutuminen pohjavesiin (Alföldi 1982)

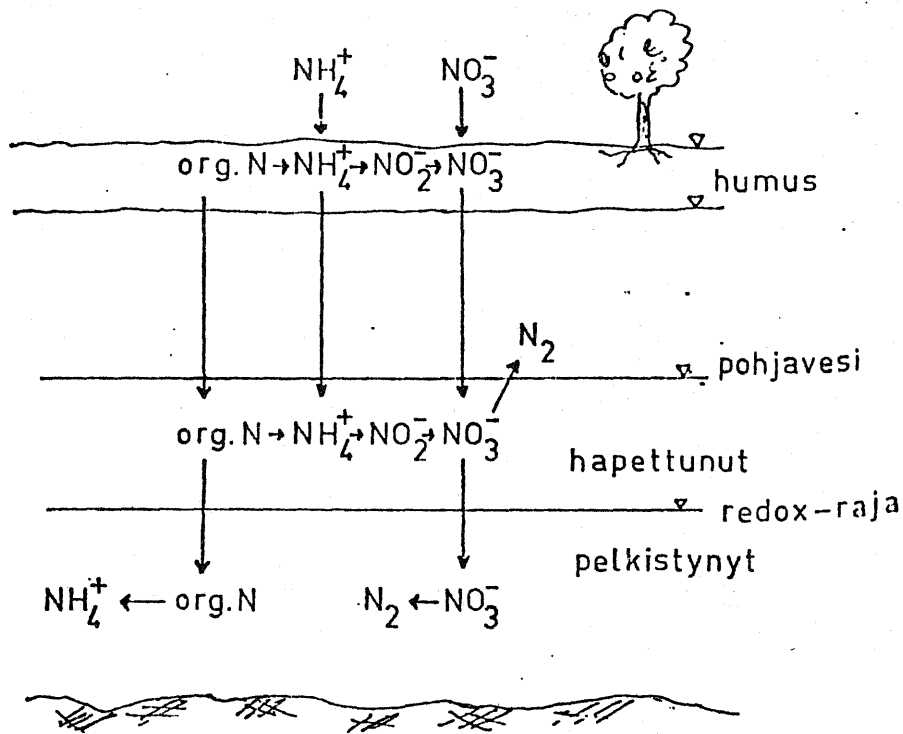
Maaperään joutuva orgaaninen aines hajoaa osittain imeytymisvaiheessa, hitaammin hajoavat yhdisteet pilkkoutuvat vasta varsinaisessa pohjavesivaiheessa (Seppänen 1977). Orgaanisen aineksen mineralisaatiossa vapautuu ammoniakkia, joka muodostaa vedessä ammoniumionin, NH_4^+ . Valtaosa muodostuneesta ammoniakista hapettuu maaperässä edelleen nitraatiksi. Ammonifikaatiota tapahtuu sekä hapellisissa että hapetomissa oloissa, myöskään pH ei yleensä rajoita tapahtumaa. Pohjaveden ammoniumpitoisuutta säätelee orgaanisen aineen hajoituksessa vapautuneen ammoniakin määrä, toisaalta ulkopuolisen ammoniakkikuormituksen suuruus (Seppänen 1977).

Ammoniumtyppi on verraten pysyvä typen esiintymismuoto pohjavesissä, kun veden happipitoisuus on alhainen. Ammoniumin suora kemiallinen hapettuminen lienee suhteellisen vähäistä. Biologiset toiminnat ovat tärkeimpiä typenkierron säätelijöitä. Ammoniumtypen biologinen hapetus, nitrifikaatio, jaetaan kahteen osavaiheeseen: nitritaatioon ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$) ja nitraataatioon ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Nitritaatiossa toimivat tehokkaimmin Nitrosomonas suvun bakteerit, nitraataatiossa suku Nitrobacter (Seppänen 1977). Mikäli pohjavesi on hapeton tai pH-taso alhainen, nitrifikaatio estyy ja typpi jää pohjaveteen ammoniummuodossa. Mikäli olosuhteet ovat suotuisat, ammoniumtyppi hapettuu bakteerien toimesta nitraatiksi. Nitraatti on pohjavesissä suhteellisen stabiili typen muoto, koska typen assimilaatio on vähäistä ja denitrifikaation edellytykset eivät useinkaan ole suotuisat.

Hapettomissa olosuhteissa saattaa tapahtua denitrifikaatio, nitraatin biologinen pelkistyminen. Reaktion lopputuloksena vapautuu kaasumaista typpeä, N_2 (kuva 2).

Rijteman (1982) mukaan n. 50 % pohjavesisysteemien nitraatista poistuu denitrifikaatiossa. Denitrifikaation määrään vaikuttavat mm. nitraattipitoisuus, hiilenlähteen määrä, kosteus ja lämpötila (OECD 1982).

Typpiyhdisteiden suotautuminen on riippuvaista maaperän koostumuksesta, maakerroksen paksuudesta, kerrosjärjestyksestä, ilmastollisista tekijöistä, kuormituksen määrästä ja kasvipeitteestä. Pohjaveteen vertikaalisuunnassa kulkeutuva typpi on pääosin nitraattimuodossa (Rijtema 1982, OECD 1982). Ammoniumtyppi adsorboituu positiivisen varauksensa vuoksi maahiukkasten pinnoille, ja sen liikkuvuus maassa on siten vähäistä. Nitraattityppi ei sen sijaan pidäty maahiukkasiin. Nitriitin liikkuminen maassa on samanlaista kuin nitraatin, mutta sitä esiintyy tuskin mitattavia määriä.



Kuva 2. Pohjaveden typenkierto (Seppänen 1977).

Maatalouden ja etenkin voimakkaan lannoituksen on todettu nostavan pohjaveden nitraattipitoisuutta (mm. Andersson 1982, McDonald ja Splinter 1982, Oakes 1982). Nitraattisaastumisen vaara on suurin hiekka- ja hietamailla, käytettäessä kasvin tarpeeseen nähden liian suuria lannoitemääriä tai nestemäisiä lannoitteita, kesannoinnin, sadonkorjuun ja palkokasvien viljelyn jälkeen.

Viljelymailla orgaanisen aineksen hajoamisessa muodostuvan nitraatin osuus on pieni verrattuna lannoitteiden aiheuttamaan pohjavesien typpikuormitukseen. Lannoituksen vaikutus pohjavesiin vaihtelee riippuen maaperän käsittelystä, hydrologisesta tilanteesta ja lannoitteiden määrästä (Rijtema 1982). Anderssonin (1982) mukaan viljelymailla sadon mukana poistuu n. 50 % lannoitetypistä, metsissä vain 20 % lannoitteiden mukana lisätystä typestä kulkeutuu puustoon.

Jos lannoitteiden määrä ylittää kasvien tarpeen, suotautuvan typen määrä kasvaa. Spaldingin ym. (1982) mukaan lannoituksen ollessa yli 170 kg/ha N se on pohjavesien nitraatin päälähde. Andersson (1982) pitää kriittisenä rajana 100 kg/ha N.

Rijteman (1982) mukaan Hollannissa luonnontilaisten hiekka-alueiden pohjavesien nitraattipitoisuus on n. 1,3 mg/l NO_3 . Lannoitetuilla viljelyalueilla (vuotuinen keinolannoitus 150 kg/ha N) matalan pohjaveden nitraattipitoisuus on keskimäärin satakertainen, n. 123 mg/l NO_3 .

Roman (1982) esittää tutkimustuloksia maankäyttömuodon ja lannoituksen vaikutuksesta pohjaveden nitraattipitoisuuteen puolalaisilla hiekkamailla (taulukko 1). Lannoitettujen viljelymaiden pohjavesien nitraattipitoisuudet olivat selvästi korkeimpia. Oakesin (1982) tutkimustulokset Englannista ovat samansuuntaisia.

Taulukko 1. Maankäyttömuodon vaikutus pohjaveden nitraattipitoisuuteen (Roman 1982).

Maankäyttö	lannoitus (kg/ha N)	Pohjaveden NO ₃ -pitoisuus (mg/l NO ₃)
viljelymaa	100	55,8
laidunmaa	80	0,89
havumetsä	0	1,30

Viljelylajike vaikuttaa huuhtoutuvan nitraatin määrään. Eniten typpeä huuhtoutuu alueilta, joilla viljellään viljoja, perunaa, sokerijuurikasta, palkokasveja tai öljykasveja sekä vihannesviljelmiltä ja viinitarhoista (Andersson 1982, Spalding ym. 1982, OECD 1982). Heinä- ja laidunmailta huuhtoutuvan typen määrä on sen sijaan pieni. Luonnonmetsien ravinnehuuhtoutumat ovat pienempiä kuin maanviljelyalueiden (Andersson 1982).

Myös asutus-, teollisuus- ja karjatalousalueilla on havaittu kohonneita typpipitoisuuksia pohjavedessä. Karjasuojista valuvat lantavedet, virtsa, lietelantasäiliöt ja tuorerehun puristeneste saattavat pilata pohjavettä. Myös turkistarhaus on muodostumassa ongelmaksi.

Lähes kaikissa maissa pohjavesien nitraattipitoisuudet ovat nousseet. Toistaiseksi nitraattisaastutus ilmenee kuitenkin pääosin matalissa akvifereissa. Syvissä kaivoissa havaitut nitraattipitoisuudet ovat yleensä pieniä (Gustavsson ja Ulen 1982, OECD 1982). Kaivon syvyydestä riippuen vierekkäisten kaivojen veden nitraattipitoisuus saattaa olla hyvinkin erilaista.

McDonald ja Splinter (1982) tutkivat kaivojen nitraattipitoisuuden muutoksia Iowassa USA:ssa. Matalissa, alle 30 m syvissä kaivoissa nitraattipitoisuus oli noussut 30 vuoden

kuluessa johtuen pääosin lannoitteista. Syvissä kaivoissa nitraattipitoisuus ei ollut kohonnut (taulukko 2).

Taulukko 2. Kaivon syvyyden vaikutus veden nitraattipitoisuuteen (McDonald ja Splinter 1982).

	kaivon syvyys m				kaikki kaivot
	<30	30-45	45-152	>152	
	Veden nitraattipitoisuus mg/l NO ₃				
1950-1959	8,1	5,4	5,0	2,3	5,0
1960-1969	9,0	5,0	3,2	1,4	4,5
1970-1979	11,7	5,9	3,2	1,4	5,4
keskiarvo	9,6	5,4	3,8	1,7	5,0

Hitaasta suotautumisesta johtuen lannoituksen vaikutus pohjaveden nitraattipitoisuuksiin ei näy heti. Nykyinen nitraattitaso kuvastaa aikaisempien vuosien lannoitustilannetta. Eri viljelyalueiden pohjavesissä voi siten olla eroja, vaikka nykyinen lannoitus olisi yhtä voimakasta. Anderssonin (1982) mukaan Ruotsin pohjavesien nykyinen nitraattitaso heijastaa 1960-luvun lannoitustilannetta. Voimaperäisen maatalouden aiheuttaman pohjaveden typpisaastutuksen ennustetaankin laajenevan lähi vuosina.

3. AINEISTOT

Veden nitraattipitoisuus määritetään useimpien pohjavesiselvitysten yhteydessä. Tuloksia on mm. vesihallituksessa, vesipiireissä, Geologisessa tutkimuslaitoksessa, terveysviranomaisilla. Suuri osa tutkimuksista kattaa pienehköjä alueita, mutta myös muutamia koko maan käsittäviä aineistoja on saatavissa.

3.1. Vesihallitus ja vesipiirit

3.11 Vedenlaaturekisteri

Vedenlaaturekisteriin oli tallennettu joulukuun 1982 alkuun mennessä 4 524 pohjavesien nitraattipitoisuustuloksen sisältävää tietuetta 2 193 havaintopaikalta. Vesipiirien välillä oli eroja tallennetun aineiston määrässä ja havaintopaikoissa. Tulokset olivat pääosin pohjavesiasemilta, lähteistä, koe-pumppausasemilta, lysimetreistä. Joidenkin vesipiirien alueilta oli myös kaivovesituloksia (taulukko 3). Jokaisen tietueen yhteydessä on sijaintikoordinaatit, joten havaintopisteiden tarkka paikallistaminen on mahdollista. Tietueet on järjestetty koordinaattien mukaan aikajärjestykseen. Tietyn havaintopaikan tulosten ajallisen vaihtelun tutkiminen on tällöin helppoa.

3.12 Vesihuoltotilastot

Vesihallitus kerää vuosittain yli 200 asukasta palvelevien vesilaitosten veden laatutiedot. Ne julkaistaan noin joka kolmas vuosi. Muiden vuosien tulokset on arkistoituna vesihuoltotoimistossa. Julkaistuja vedenlaatutietoja on vuosilta 1959 - 1960, 1967, 1970 - 1973 ja 1977 (Wäre 1961 a , Murto-mäki 1968, Vesihallitus 1972, 1973, 1974, 1975, 1979 a). Nitraattipitoisuuksia ei ole ilmoitettu läheskään kaikista vesilaitoksista. Pitkän aikavälin muutosten seuraamista vaikeuttaa laituskoodien ja vedenottamoiden nimistön muuttuminen. Vedenottamoiden sijaintikoordinaatteja ei ole ilmoitettu.

Taulukko 3. Vedenlaaturekisteriin tallennetut pohjavesien nitraattipitoisuustulokset vesipiireittäin joulukuussa 1982.

Vesipiiri	Havaintopaikkojen lukumäärä	Tietueiden lukumäärä	Vuodet, joilta tuloksia	Havaintopaikat
Hev	12	180	1975 - 81	pohjavesiasemia
Tuv	4	61	1975 - 79	pohjavesiasemia, lähteitä
Tav	30	220	1975 - 81	pohjavesiasemia, kaivoja
Kyv	30	253	1975 - 80	pohjavesiasemia, lysimetrikenttä
Niv	12	155	1971 - 80	pohjavesiasemia, kaivoja
Kuv	169	163	1975 - 80	pohjavesiasemia, lähteitä, lysimetrikenttä, pumppauspiste
Pkv	33	343	1974 - 81	pohjavesiasemia, lähteitä, lysimetrikenttä, pohjavesialueita ja -putkia
Vav	215	453	1972 - 80	pohjavesiasemia ja -alueita, lähteitä, kaivoja, koepumppauksia
Ksv	9	201	1975 - 80	pohjavesiasemia
Kov	17	205	1974 - 81	pohjavesiasemia ja -alueita, lysimetrejä, kaivoja
Ouv	1241	1098	1974 - 81	pohjavesiasemia, kaivoja, lähteitä, koepumppauksia, kairauspisteitä, ylivuotokaivoja
Kav	79	486	1970 - 81	pohjavesiasemia, kaivoja, lähteitä, pohjavesialueita ja -putkia, lysimetri
Lav	342	706	1972 - 80	koepumppauksia, lähteitä, kairauspisteitä
koko aineisto:	2 193	4 524	1970 - 81	

3.13 Tärkeät pohjavesialueet

Vedenhankintaan käytettävät tai muuten yleisen edun kannalta merkittävät pohjavesialueet on luettelointu vesihallituksen toimesta. Pohjavesialueet on ryhmitelty kunnittain. Yhdenmukaisesti laaditut asiakirjat on arkistoitu vesihuoltotoimistoon. Niistä löytyy tietoja myös pohjaveden laadusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, kuten maankäytöstä ja maaperästä (liite 1).

3.14 Puhtaiden alueiden pohjavesiasemat

Vesihallituksessa on tehty geohydrologista perustutkimusta vuodesta 1975 lähtien. Nykyinen tutkimusverkko käsittää 54 pohjavesitutkimusasemaa (liite 2). Asemilta tehdään fysikaalisten määritysten lisäksi pohjaveden laadun seurantatutkimuksia. Pohjavesinäytteet kerätään joka toinen kuukausi luonnon lähteistä tai näytteenottoa varten rakennetuista muoviputkista. Tulokset edustavat maaperän luonnontilaista pohjavettä. Maaperän vaikutuksesta asemien pohjaveden laatuun on valmistumassa tutkimus (Soveri, julkaisematon).

3.15 Kalliokaivotutkimukset

Maataloushallituksen insinööriosaston maa- ja vesiteknillisessä tutkimustoimistossa tehtiin 1960-luvulla selvitys vuosina 1951 - 1963 porattujen, 1 108 kalliokaivon veden laadusta ja antoisuudesta (Laakso 1966 a,b). Aineisto koostuu eri puolilla maata suoritettujen koeporausten tuloksista (liite 3).

Vesihallituksen kalliokaivotutkimus on valmistumassa vuoden 1982 loppuun mennessä (Rönkä, julkaisematon). Aineisto käsittää tulokset 400 kalliokaivosta, jotka sijaitsevat Keski-Suomessa, Savossa, rannikkoalueella ja Helsingin ympäristössä.

Rönkä ym. (1980) ovat julkaisseet tutkimuksen 28:sta Etelä- ja Keski-Suomessa sijaitsevasta peruskallioon poratusta kaivosta.

3.16 Kaivotutkimus v. 1958

Maataloushallituksessa tehtiin v. 1958 koko maan kattava talousvesitutkimus (Wäre 1961 b,c). Maalaiskunnista tutkittiin 2 764 kohdetta. Näytteitä otettiin kaivojen ohella myös talousvetenä käytetystä pintavedestä (liite 4). Kaivovesitulosten yhteydessä ei ole ilmoitettu sijaintikoordinaatteja, joten havaintokohteiden tarkka paikallistaminen on vaikeaa.

Verrattaessa Wäreen tutkimuksen nitraattipitoisuuksia nykyisiin tuloksiin on huomioitava ero määrittymenetelmissä. Nitraatti määritettiin salisylaattimenetelmällä kolorimetrisesti. Menetelmästä on luovuttu vuonna 1974 ja siirrytty amal-goidulla kadmiumpylväällä suoritettavaan pelkistykseen. Vertailtaessa vanhaa ja uutta menetelmää voidaan olettaa uuden antavan hieman suurempia tuloksia. Käytännössä ero on pieni, noin 10 %. Menetelmän herkkyys on kuitenkin kovin erilainen. Salisylaattimenetelmä on epäherkempi, sen määrittäysraja on noin 100 µg/l N (Vesihallitus 1979 b).

3.17 Vesipiirit

Vain osa vesipiirien pohjavesitutkimusten tuloksista on tallennettu vedenlaaturekisteriin. Tallentamattomien koepumpaus- ja kaivovesitulosten hyödyntämistä vaikeuttaa sijaintikoordinaattien puuttuminen.

Vesipiirien vesitoimistoille lähetettiin kirje, jossa pyydettiin pohjavesialueiden tilaa kuvaavia analyysituloksia. Joulukuun aikana saatiin vastaukset useimmista vesipiireistä:

Turun vesipiiri:

Vesitoimiston alueelta on määritetty haja-asutusalueen pohjavesien nitraattipitoisuuksia (Vainio, julkaisematon). Pohjaveden laatua on tutkittu myös haja-asutusalueen kaivopaikkaselvitysten yhteydessä. Nitraattipitoisuus on yleensä ollut pieni.

Tampereen vesipiiri:

Vesipiiristä lähetettiin tärkeiden pohjavesialueiden analyysituloksia. Nitraattipitoisuudet eivät ylittäneet yhdessäkään tapauksessa lääkintöhallituksen asettamia raja-arvoja.

Kymen vesipiiri:

Vesipiirin alueella ei ole ollut ongelmia pohjavesien nitraattipitoisuuksista. Ainoa pohjavesialue, jossa laatukysymykset ovat tulleet esille on Elimäen pohjavesien tutkimuskohde.

Kuopion vesipiiri:

Kohonneita nitraattipitoisuuksia on havaittu muutamissa koepumppauskohteissa (Sonkajärvi, Pielavesi, Tuusniemi, Vieremä). Yleensä koepumppausten nitraattipitoisuudet ovat n. 0,4 mg/l NO₃. Raja 30 mg/l NO₃ ylittyi muutamissa Vieremän kunnan pohjavesialueen kaivoissa. Vierekkäisten kaivojen nitraattipitoisuus vaihteli kuitenkin paljon.

Pohjois-Karjalan vesipiiri:

Vesipiirissä on tehty v. 1978 selvitys Pohjois-Karjalan kaivovesitilanteesta (Kontkanen 1978).

Kokkolan vesipiiri:

Vesipiirin alueella ei ole tavattu korkeita nitraattipitoisuuksia lukuunottamatta turkistarhojen läheisyydestä löydettyjä suhteellisen korkeita pitoisuuksia. Ne on esitetty Juha Helinin diplomityössä: "Turkistarhojen jätevesien vaikutus pohja- ja pintavesiin". Pohjavesialueilla ja vedenottamoilla nitraattipitoisuus on yleensä alle 1 mg/l NO₃. Kohonneet nitraattipitoisuudet johtuvat yleensä läheisyydessä olevista puutteellisesti rakennetuista lantaloista.

Kainuun vesipiiri:

Vesipiirissä on selvitetty kaivovesien laatua haja-asutusalueiden vesihuoltoselvitysten yhteydessä (Airaaksinen 1978).

Lapin vesipiiri:

Lapin läänissä pohjavesien nitraattipitoisuuden taso vaihtelee, mutta alittaa keskimääräisesti lääkintöhallituksen ohjearvot. Nitraattipitoisuuden kohoamiseen vaikuttavat mm. navettojen ja kaatopaikkojen läheisyys. Kaivojen nitraattipitoisuuksia on selvitetty Kemijärven kaupungin alueella, jolla havaittiin ohjearvoja ylittäviä nitraattipitoisuuksia (Seppälä 1978).

3.2. Geologinen tutkimuslaitos

Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäosastolla tehtiin vuosina 1978 - 1982 koko maan kattava hydrogeokemiallinen pohjavesikartoitus. Näytteenottotiheys oli 2 näytettä peruskarttalehteä kohti (10 km x 10 km). Näytteet kerättiin luonnontilaisista lähteistä, lähdekaivoista, maaperän kuilukaivoista ja maaputkikaivoista sekä kalliopohjaveden osalta porakaivoista. Näytepaikat valittiin siten, että ne edustavat mahdollisimman hyvin erilaisia maaperämuodostumia niiden esiintymissuhteessa. Ihmistoiminnan aiheuttamaa kontaminaatiota pyrittiin näytepaikkojen valinnassa välttämään (Taka 1981).

Koko maan aineisto ei ole vielä saatavissa. Tiedot Lapin läänin eteläosan ja suurin osa Uudenmaan, Turun ja Porin sekä Hämeen läänin tuloksista puuttuu (liite 5). Tutkimustulokset on tallennettu pohjavesitiedostoon, joten niiden käsittely on helppoa.

3.3. Terveysviranomaiset

Kuntien terveysviranomaiset seuraavat talousvetenä käytettävän pohjaveden laatua. Talousvesitutkimuksia tehdään ter-

veydenhoitolain määräämien kohteiden lisäksi kunnan asukkaiden kaivoista. Useimmiten kaivotutkimusten syynä on valitus tai riitakysymys, jolloin kaivon veden laatu on heikko ja likaaaja usein selvästi nimettävissä. Tulosten hyödyntämistä vaikeuttaa puutteelliset tiedot kaivon sijainnista.

Tiedot lääkintöhallituksen normit ylittävistä tuloksista sekä kaikki lakisääteisten talousvesitutkimusten tulokset on koottuna läänien terveystarkastajilla. Muut tulokset ovat kuntien terveystarkastajilla.

3.4. Muita aineistoja

Keski-Lappi:

Lahermo tutki Keski-Lapin alueen pohjavesiä Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäkartoituksen yhteydessä (liite 6). Näytteet otettiin vuosina 1962 - 1968. Aineisto muodostuu 1 300 pinta- ja pohjavesinäytteestä. Tutkimusalueella ihmisen toimintojen vaikutus pohjaveteen on vähäistä (Lahermo 1969, 1970).

Harjuaalueet:

Natukka (1963) on esittänyt tuloksia harjuaalueiden pohjavesien laadusta. Aineisto, 349 näytettä, on kerätty vuosina 1949 - 1961 eri puolilla Suomea suoritettujen koepumppausten yhteydessä.

Etelä-Suomi:

Pönkkä (1971, 1981) on julkaissut tutkimukset savenalaisten, vettäjohtavien kerrostumien ja Etelä-Suomen glasifluviaalisten muodostumien pohjaveden laadusta. V. 1981 julkaistun väitöskirjan 635 pohjavesiselvitystä sisältävä aineisto on osittain sama kuin Natukan tutkimuksissa käytetty.

Havaintopaikat sijaitsevat pääosin rannikkoseudulla, asutuskeskusten läheisyydessä ja edustavat antoisuudeltaan isoja akvifereja (liite 7).

Tampereen ympäristö:

Selvityksessä asutuksen ja teollisuuden haittavaikutuksista Tampereen ympäristöalueen maaperään ja pohjaveteen on esitetty myös pohjavesien nitraattipitoisuuksia (Soveri ja Soveri 1975). Pohjavesinäytteet otettiin luonnonlähteistä ja kai-voista, joissa paikallinen likaantuminen on mahdollisimman vähäistä. Havaintopaikat sijaitsivat hienorakenteisilla maaperäalueilla, säteittäisesti pääilmansuuntien mukaan 2, 10 ja 20 km etäisyyksillä kaupungin keskustasta (liite 8).

4. SUOMEN POHJAVESIEN NITRAATTIPITOISUUKSISTA

4.1 Nitraattipitoisuuden alueellinen vaihtelu

4.11 Vesilaitokset

Korkea nitraattipitoisuus ei ole yleensä haittana pohjavesilaitosten raakavedessä. Vuonna 1977 raakaveden nitraattipitoisuuksien mediaani oli pienissä vesilaitoksissa (alle 1500 m³/d) 0,85 mg/l NO₃ ja suurissa (yli 1500 m³/d) 1,4 mg/l NO₃, vuonna 1980 mediaani oli 1,0 mg/l NO₃.

Lääkintöhallituksen ohjearvon (30 mg/l NO₃) ylittäviä pitoisuuksia on havaittu vain muutamissa tapauksissa. Vuosina 1970 - 1981 pohjavesilaitosten raakaveden nitraattipitoisuus ylitti ajoittain 30 mg/l seuraavissa kunnissa:

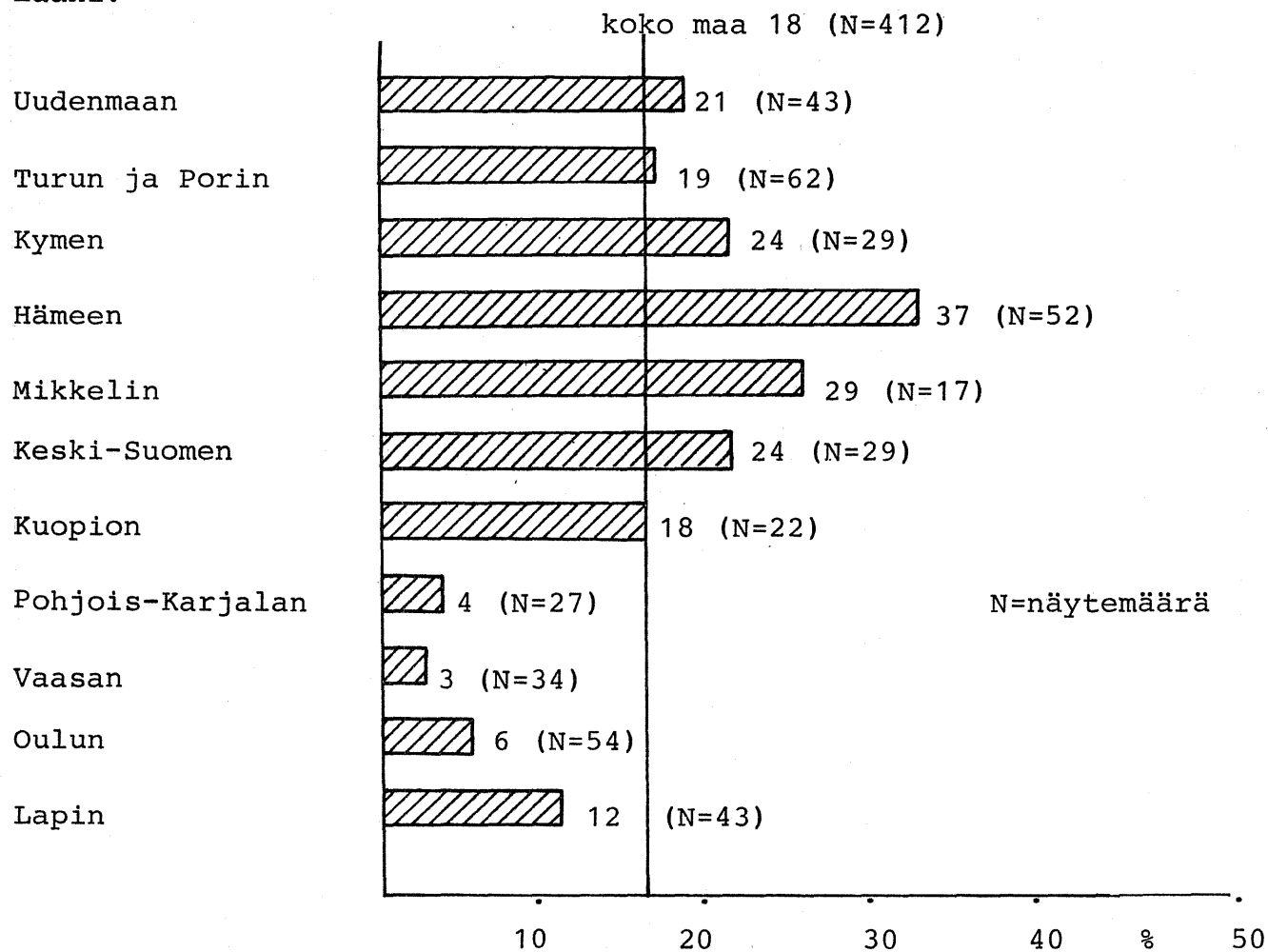
Sipoo, Halikko, Luvia, Pomarkku, Hamina, Elimäki, Valkeala, Juankoski, Maalahti, Joutsa, Jyväskylän mlk, Kolari, Rovaniemen mlk

Pohjavedenottomoiden kohonneet (yli 5 mg/l NO₃) nitraattipitoisuudet ovat selvästi yleisempiä Etelä- kuin Pohjois-Suomessa. Vuonna 1977 keskimääräistä enemmän kohonneita pitoisuuksia oli Hämeen, Mikkelin, Kymen, Keski-Suomen, Uudenmaan sekä Turun ja Porin lääneissä (kuva 3). Vuoden 1980 tulokset olivat saman suuntaisia. Kohonneiden pitoisuuksien suhteellinen osuus oli kuitenkin selvästi kasvanut Uudenmaan läänissä, 21 %:sta 40 %:iin (kuva 4).

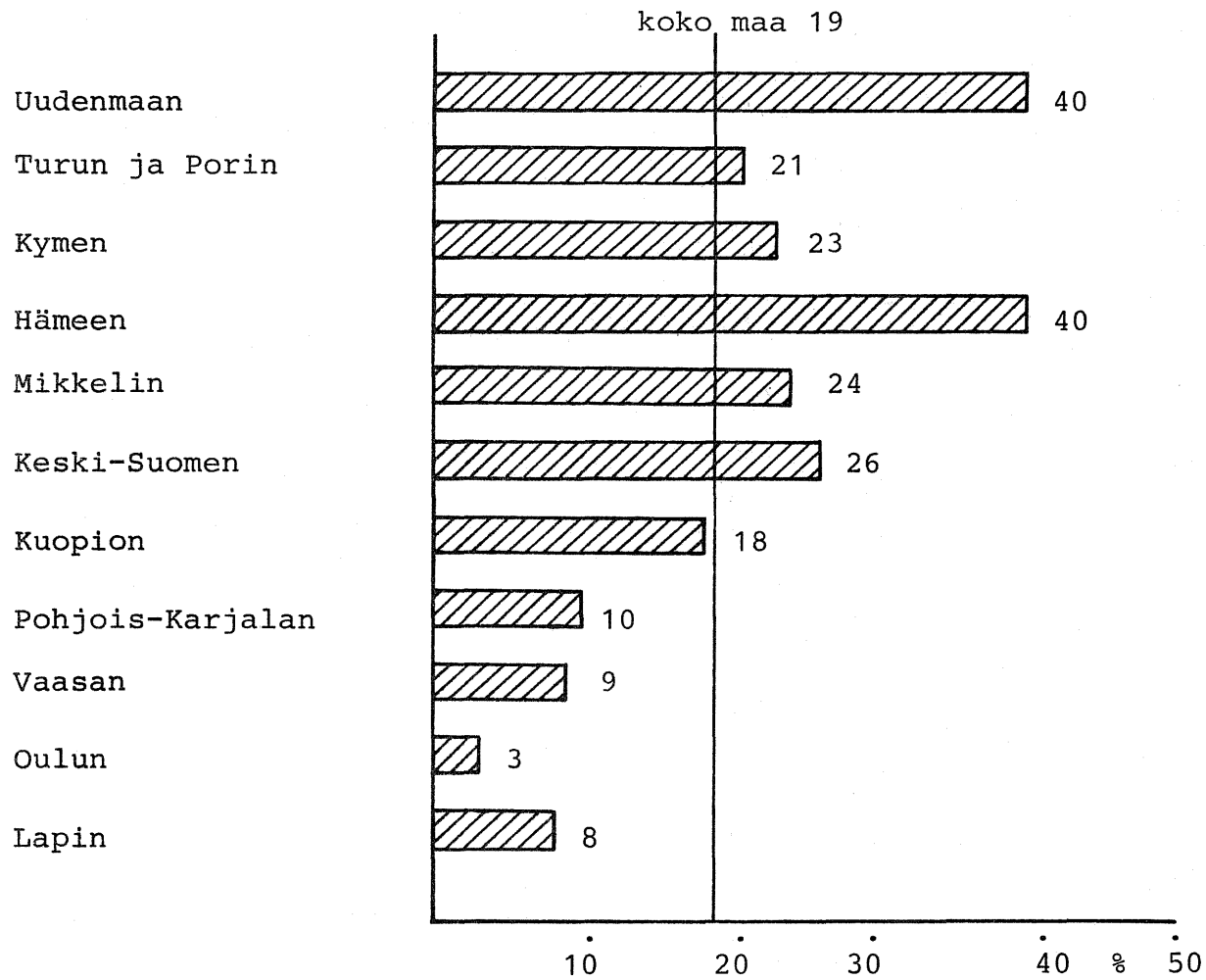
Alueet, joiden pohjavedenottomoiden raakavedessä on esiintynyt korkeita nitraattipitoisuuksia, on esitetty liitteissä 9/1 ja 9/2 .

Pohjavesilaitokset sijaitsevat yleensä antoisilla pohjavesialueilla. Niiden veden laatu on parempi kuin varsinaisten pohjavesialueiden ulkopuolella olevien kaivojen. Vesilaitostilastoissa ilmoitetut tulokset perustuvat kuitenkin muuta-

Lääni:



Kuva 3. Pohjavesilaitosten raakaveden 5 mg/l ylittävien nitraattipitoisuuksien prosenttiosuudet kaikista näytteistä lääneittäin vuonna 1977.



Kuva 4. Pohjavesilaitosten raakaveden 5 mg/l ylittävien nitraattipitoisuuksien prosenttiosuudet kaikista näytteistä lääneittäin vuonna 1980.

maan tai vain yhteen mittaukseen. Tällöin ne eivät välttämättä kuvaa vuoden keskimääräistä tilannetta. Toisaalta useimmissa vedenottamoissa, joissa on esiintynyt korkeita nitraattipitoisuuksia, ilmoitetut arvot ovat olleet vuodesta toiseen keskimääräistä suurempia.

4.12 Maa- ja kalliokaivot

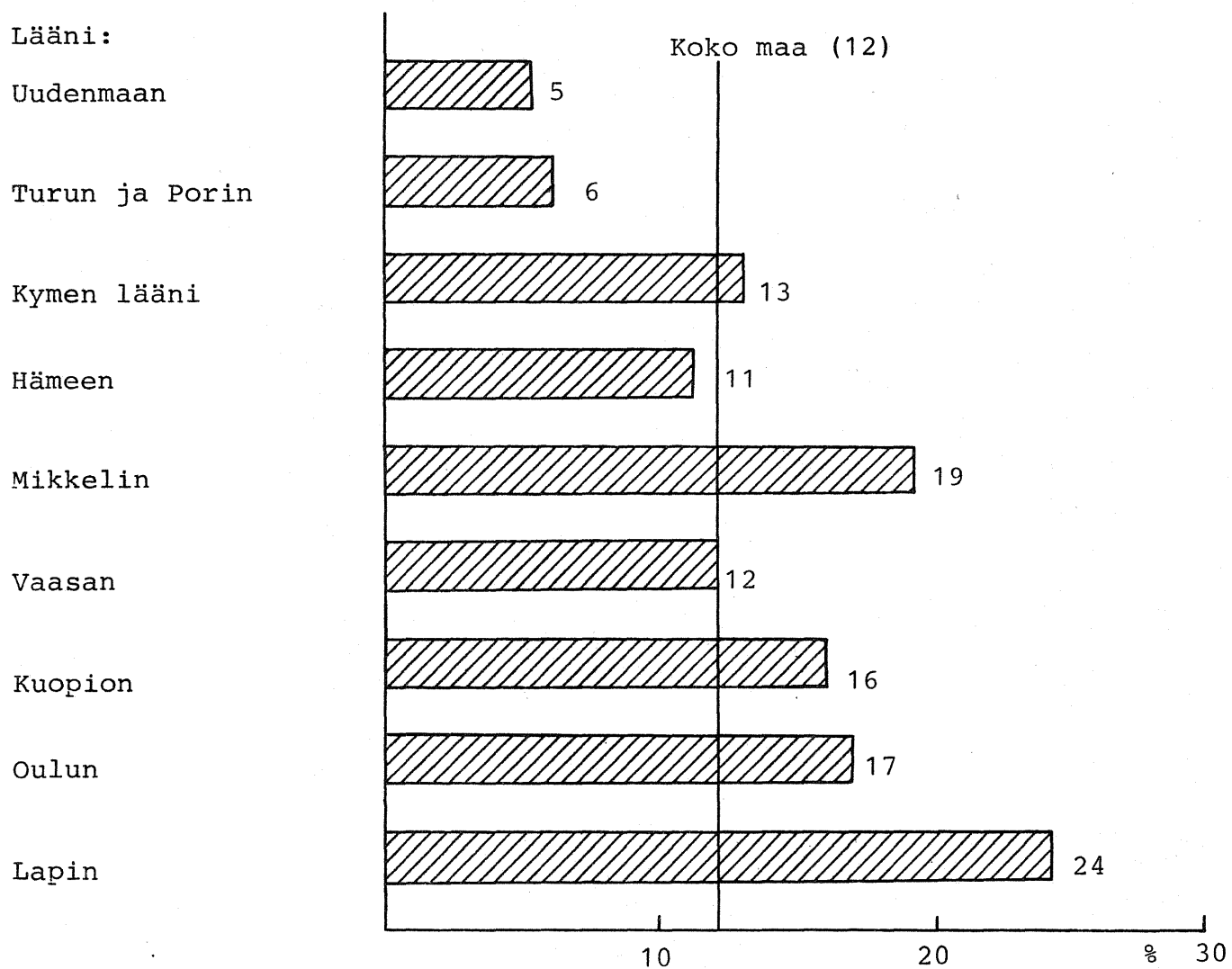
Maataloushallituksessa vuosina 1958 - 1959 tehdyssä kaivotutkimuksessa mitatut veden nitraattipitoisuudet ovat selvästi korkeampia kuin vesilaitosten veden pitoisuudet. Aineiston keskimääräinen nitraattipitoisuus oli 13 mg/l NO_3 . 12 % tutkituista näytteistä ylitti lääkintöhallituksen suosituksen, 30 mg/l NO_3 . 50 mg/l NO_3 ylittyi 5-10 %:ssa tutkituista kaivoista .

Eniten ylityksiä oli Lapin läänissä (24 %) ja vähiten Uudenmaan läänissä ja Ahvenanmaan maakunnassa (5 %) (kuva 5). Lääneittäisessä tarkastelussa on käytetty v. 1959 voimassa ollutta läänijakoa.

Maataloushallituksen kaivotutkimuksessa koko maan aineiston mediaani oli 5,7 mg/l NO_3 . Korkeimmillaan se oli Mikkelin ja Lapin lääneissä (12 mg/l NO_3). Maksimi-arvot eivät poikeneet paljoakaan lukuunottamatta Uudenmaan lääniä, jossa suurin havaittu pitoisuus olipuolet pienempi kuin muissa lääneissä (taulukko 4).

Kuntia, joissa tutkittujen kaivovesien nitraattipitoisuus ylittää 30 mg/l, oli eniten Vaasan ja Oulun lääneissä (liitteet 10 ja 11).

Natukan (1963) harjualueiden pohjavesiaineiston nitraattipitoisuuksien mediaani oli 1,5 mg /l NO_3 . Havaitut pitoisuudet vaihtelivat 0:sta 94:ään mg/l NO_3 . Koko maan aineistosta n. 2 % ylitti pitoisuuden 30 mg/l NO_3 . Suhteellisesti eniten korkeita pitoisuuksia oli Kymen läänissä, 8 % otetuista näytteistä (taulukko 5).



Kuva 5. 30 mg/l NO_3 ylittävien pitoisuuksien osuus kaivovesinäytteistä lääneittäin (Wäre 1961b,c)

Taulukko 4. Nitraattipitoisuuden ääriarvot ja lukuisuuden summakäyristä eräiden prosenttien kohdalta luetut vähimmäisarvot lääneittäin (Wäre 1961g)

Lääni	NO ₃ mg/l								
	Max.	5 %	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	95 %	Min.
Turun ja Porin	109	40	30	11	3,6	1,6	0	0	0
Uudenmaan	77	35	25	8,5	3,6	1,6	0	0	0
Kymen	150	50	34	14	7,1	3,4	1,1	0,05	0
Hämeen	150	50	30	14	6,3	2,7	0	0	0
Mikkelin	150	67	53	20	12	4,8	1,4	0,05	0
Vaasan	198	70	38	13	4,2	1,8	0	0	0
Kuopion	150	60	40	17	8	3,8	1,0	0	0
Oulun	150	90	50	18	6,7	2,4	0,05	0	0
Lapin	150	100	68	27	12	3,3	0,05	0	0
Koko maa	198	60	38	15	5,7	2,4	0	0	0
Pintavesi Koko maa	130	5,0	3,4	1,8	1,1	0	0	0	0

Taulukko 5. Harjualueiden pohjavesiesiintymien veden NO₃-pitoisuuksien prosentuaalinen jakaantuminen eri luokkiin (Natukka 1963).

Lääni	näyte- määrä	NO ₃ mg/l			
		≤ 1.0	1.1-30.0	30.1-50	>50
Koko Suomi	34,9	37,6	60,2	1,1	1,1
Turun ja Porin	42	42	55	0	3
Uudenmaan	61	29	65	4	2
Kymen	34	12	80	3	5
Hämeen	46	28	68	0	4
Mikkelin	18	65	35	0	0
Vaasan	35	40	60	0	0
Keski-Suomen	31	42	54	4	0
Kuopion	9	0	100	0	0
Pohjois-Karjalan	21	45	55	0	0
Oulun	34	50	50	0	0
Lapin	20	64	36	0	0

Vesihallituksen pohjavesiasemien tulokset kuvaavat luonnon-tilaisen pohjaveden nitraattitasoa. Aineistoa ei ole toistaiseksi julkaistu. Vuonna 1975 määritettyjen lähteiden nitraattipitoisuuksien keskiarvo oli 3,9 mg/l NO₃. Pohjois-Suomen arvo, 2,7 mg/l NO₃, oli hieman pienempi kuin Etelä-Suomen, 4,6 mg/l NO₃. Tulokset vaihtelivat 0:sta 21,6:een mg/l NO₃. Suurimmat pitoisuudet havaittiin Punkaharjun (21,6 mg/l), Mikkelin (21,7 mg/l) ja Isokyrön (15,4 mg/l) seuduilla (liite 12) (Soveri, julkaisematon). Tulokset ovat kahden näytteenottokerran keskiarvoja.

Laakson (1966 b) kalliokaivotutkimuksessa koko maan aineiston nitraattipitoisuuksien keskiarvo oli 7,02 mg/l NO₃. Hämeen, Pohjois-Karjalan ja Oulun läänien keskiarvot olivat hieman korkeampia kuin muiden alueiden (taulukko 6).

Taulukko 6. Kalliokaivojen nitraattipitoisuuksien keskiarvot lääneittäin (laakso 1966 b).

Lääni	NO ₃ mg/l	havaintojen lukumäärä
Turun ja Porin	6,03	97
Uudenmaan	5,07	190
Kymen	5,48	139
Hämeen	9,74	73
Keski-Suomen	7,00	87
Mikkelin	7,90	60
Pohjois-Karjalan	9,70	63
Vaasan	4,32	118
Kuopion	6,75	66
Oulun	11,25	165
Lapin	5,06	50

Laakson tutkimien kalliokaivojen nitraattipitoisuudet ovat pienempiä kuin Wäreen tutkimien maaperän kaivojen. Kallio-pohjaveden maksimipitoisuudet ovat lähes puolet pienempiä, eivätkä kaikissa lääneissä ylitä edes lääkintöhallituksen asettamaa sallittua enimmäispitoisuutta. Koko maan aineiston mediaani oli 1,95 mg/l NO₃ (taulukko 7).

Taulukko 7. Kalliokaivojen veden nitraattipitoisuuden ääri-arvot ja lukuisuuden summakäyristä eräiden prosenttien kohdalta luetut vähimmäisarvot lääneittäin (Laakso 1966 b).

Lääni	NO ₃ mg/l								
	Max.	5 %	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	95 %	Min.
Turun ja Porin	62,00	22,50	15,70	2,43	1,73	0,73	0	0	0
Uudenmaan	64,00	22,76	13,31	2,69	2,06	1,90	0,93	0,91	0
Kymen	40,00	27,90	12,85	4,02	2,08	1,90	0,93	0,90	0
Hämeen	50,00	41,14	32,29	8,19	2,60	1,91	1,00	0,90	0,10
Keski-Suomen	70,00	33,03	15,16	5,90	2,16	1,97	0,68	0,21	0
Mikkelin	47,00	42,83	20,00	6,73	4,00	2,03	0,91	0,25	0
Pohjois-Karjalan	53,00	38,73	26,99	9,55	2,14	1,95	0,95	0	0
Vaasan	63,00	20,41	7,29	2,24	2,02	1,04	0	0	0
Kuopion	45,00	32,71	16,64	2,29	2,07	1,02	0	0	0
Oulun	86,00	60,68	35,37	6,18	2,24	1,09	0	0	0
Lapin	50,00	18,48	9,29	2,28	1,07	1,00	0	0	0
Koko maa	86,00	32,83	18,63	4,77	1,95	1,50	0,49	0,29	0

Geologisen tutkimuslaitoksen maa- ja kalliopohjavesiä sisältävän aineiston nitraattipitoisuuden keskiarvo on 9,3 mg/l NO₃ (Taka, suullinen tiedonanto). Havainnoista n. 15 % ylittää pitoisuuden 30 mg/l (Hyyppä, suullinen tiedonanto). Korkeita (yli 30 mg/l NO₃) pitoisuuksia esiintyy melko tasaisesti kaikilla tutkituilla alueilla; koko maan aineisto ei ole vielä saatavissa. Selvää korkeiden pitoisuuksien keskittymistä ei ole havaittavissa (liite 13).

Kalliokaivojen korkeimmat pitoisuudet (yli 65 mg/l NO₃) ovat keskittyneet Oulun läänin itäosiin ja Kainuuseen (liite 14). Moreenimailla korkeimpia pitoisuuksia (yli 65 mg/l NO₃) on eniten Mikkelin läänissä, Oulun läänin keski-osassa ja Kuusamossa (liite 15). Havainnot hiekkamaiden ja savenalaisten kerrosten pohjavesien korkeista nitraattipitoisuuksista on esitetty liitteissä 16 ja 17.

4.2 Maa- ja kalliopohjaveden eroavuudet

Maa- ja kalliopohjavesien nitraattipitoisuuksissa on havaittavissa jonkin verran eroavuutta. Mälkki on tehnyt yhteenvetä Natukan ja Laakson pohjavesiaineistoista ja toteaa kalliopohjaveden nitraattipitoisuuden olevan Kymen lääniä lukuunottamatta kaikkialla Suomessa korkeampi kuin maapohjaveden. Pitoisuusero on kuitenkin pieni (Mälkki 1979).

Laakson kalliokaivoaineiston ja Wäreen maaperän kaivojen nitraattipitoisuuksia vertailtaessa voidaan monilla alueilla todeta pitoisuuden vähentyneen maaperästä kallioon mentäessä.

Airaksinen (1978) tutki Kainuun alueella erityyppisiä pohjavesiä. Tutkituista kohteista 43 % oli rengaskaivoja, 37 % porakaivoja ja 20 % lähteitä. Porakaivojen keskimääräinen nitraattipitoisuus, 21 mg/l NO₃, oli selvästi korkeampi kuin rengaskaivojen ja lähteiden. Suurin yksittäinen pitoisuus löytyi kuitenkin rengaskaivosta (taulukko 8).

Myös Geologisen tutkimuslaitoksen aineistossa korkeimmat kalliokaivojen nitraattipitoisuudet ovat keskittyneet Kainuun alueelle.

Taulukko 8. Pohjaveden nitraattipitoisuus Kainuun haja-asutusalueen eri tyyppisissä kaivoissa

	nitraattipitoisuus mg/l NO ₃			näytämäärä
	keskiarvo	min	max	
koko aineisto	16 ₊ 3	0	90	51
rengaskaivot	5 ₊ 5	0,44	90	22
porakaivot	21 ₊ 6	0	79	19
lähteet	5 ₊ 4	0,04	39	10

Lahermon (1970) Keski-Lapin alueelta keräämässä aineistossa maaperän kaivojen nitraattipitoisuudet olivat korkeampia kuin kalliopohjaveden. Luonnontilaisten lähteiden arvot olivat matalimpia (taulukko 9).

Taulukko 9. Erityyppisten pohjavesikohteiden nitraattipitoisuus Keski-Lapissa (Lahermo 1970).

Kohde	nitraattipitoisuus mg/l NO ₃				S	N
	min	med	mean	max		
Lähteet	0,01	0,10	0,59	7,50	0,59	352
Kalliokaivot	0,02	0,38	2,01	12,50	3,08	74
maaperän kaivot	0,11	4,09	8,80	57,1	14,9	16

4.3 Maa- ja kallioperän laadun vaikutus pohjaveden nitraattipitoisuuteen

Kalliopohjaveden laadun eroja eri kivilajialueilla ovat tutkineet mm. Laakso (1966 b) ja Rönkä ym. (1980). Laakson aineistossa nitraattipitoisuuden keskiarvo oli suurin Kuopion seudun migmatiitti ja Mikkelin seudun kiillegneissien ja -liuskeiden alueella (taulukko 10).

Taulukko 10. Kalliopohjaveden nitraattipitoisuuksien keskiarvot kivilajivyöhykkeittäin (Laakso 1966 b).

Kivilajivyöhyke	nitraattipitoisuus mg/l NO ₃ hav.			
	min	mean	max	lukumäärä
Kymen rapakivi	0	4,97	40,0	134
Vaasan graniitti-granodioriitti	0	6,52	70,0	80
Vaasan seudun migmatiitit	0,10	3,59	34,0	41
Kuopion seudun migmatiitit	0	10,5	45,0	30
Itä-Suomen graniittigneissit	0	6,70	45,0	77
Mikkelin seudun kiillegneissit ja -liuskeet	0	12,4	62,0	40
Helsingin seudun graniitit	0	6,52	64,0	68

Röngän ym. (1980) aineistossa pienin nitraattipitoisuuden keskiarvo oli kiillegneissialueiden näytteissä (taulukko 11). Röngän julkaisemattomassa kalliokaivotutkimuksessa rapakivialueen pohjaveden nitraattipitoisuus, keskimäärin 0,04 mg/l NO₃, on pienempi kuin muilla alueilla.

Taulukko 11. Kalliokaivojen nitraattipitoisuus Etelä- ja keski-Suomessa (Rönkä ym. 1980).

Kivilaji	näyttemäärä	nitraattipitoisuus mg/l NO ₃	
		aritmeettinen keskiarvo	Standardi poikkeama
granadioriitit	7	5,11	1,98
kvartsidioriitit	2	5,31	1,70
graniitit	6	4,29	1,58
kiillegneissit	7	1,61	0,43
kiilleliuskeet	2	4,87	0,14
amfibaliitit	4	3,08	1,01

Pönkkä (1981) on tarkastellut maaperän pohjaveden laadun riippuvuutta alueen kivilajista. Nitraattipitoisuuden keskiarvo oli suurin rapakivialueen pohjavesissä. Silisisten kivilajien alueiden pohjavesissä oli enemmän nitraattia kuin subsilisisten (taulukko 12).

Taulukko 12. Pohjaveden nitraattipitoisuus eri kivilajialueilla sijaitsevilla kaivoissa (Pönkkä 1981).

	NO ₃ mg/l					
	min	med	mean	max	S	N
Silisisten kivilajien alue	0	1,0	2,6	48,0	5,4	364
Subsilisisten kivilajien alue	0	0,9	1,6	9,9	2,3	24
Graniittialue	0	1,0	2,5	38,0	5,4	181
Rapakivialue	0	1,9	4,4	20,0	5,7	52
Kiilleliuske ja gneissialue	0	1,1	2,5	48,0	6,1	79
Amfiboliittialue	0	2,0	1,7	5,0	1,7	10

min= minimi, med= mediaani, mean= keskiarvo, max= maksimi,
S= Standardihajonta, N= näytteiden lukumäärä

Lahermon (1970) mukaan maa- ja kallioperällä ei ole merkittävää vaikutusta pohjavesien nitraattipitoisuuksiin.

Wäreen aineistosta valittiin hyväkuntoiset kaivot maaperän laadun ja kaivoveden nitraattipitoisuuden suhteen selvittämiseksi. Kaivot ryhmiteltiin maaperän mukaan seuraavasti:

Karkeat maalajit: sora, hiekka, hieta

Hienot maalajit: hiue, hiesu, savi

Moreenimaat

Eloperäiset maalajit: humus, turve

Uudenmaan, Hämeen ja Mikkelin läänien aineistoa tutkittiin em. neljän maalajin osalta. Suurimmat ja pienimmät arvot poikkesivat paljon toisistaan. Selvää säännönmukaisuutta kolmen läänin tulosten välillä ei ollut havaittavissa (taulukko 13).

Koko maan aineistosta tarkasteltiin karkeissa ja hienoissa maalajeissa olevien kaivojen nitraattipitoisuuksien eroja. Koko maan keskiarvo karkeilla, vettä hyvin läpäisevillä mailla oli 15 ± 4 mg/l NO_3 (n=380) ja vettä huonosti läpäisevillä mailla 8 ± 3 mg/l NO_3 (n=228). Myös läänikohtaisesti tarkasteltuna läpäisevien maiden pohjavesissä on selvästi enemmän nitraattia. Poikkeuksena kuitenkin Uudenmaan ja Keski-Suomen läänit, joissa hienojenmaalajien pohjavesien nitraattipitoisuus oli korkeampi (taulukko 14).

Pönkän (1981) tutkimuksessa savenalaisten akviferien nitraattipitoisuuden mediaaniarvot olivat pienempiä kuin muiden muodostumien (taulukko 15). Myös Pönkän 1971 julkaistussa tutkimuksessa savenalaisten, vettä johtavien kerrostumien nitraattipitoisuudet olivat pienempiä kuin harjualueiden (Pönkkä 1971). Pönkän mukaan savenpeittämien akviferien pelkistävät olosuhteet ovat syynä matalaan nitraattipitoisuuteen. Tiivis savikerros suojaa lisäksi pohjavettä likaantumiselta.

Myös Geologisen tutkimuslaitoksen aineistossa korkeiden (yli 30 mg/l NO_3) nitraattipitoisuuksien osuus oli selvästi pienin savenalaisissa akvifereissa (taulukko 16). Myös suurin havaittu pitoisuus oli savenalaisissa kerroksissa selvästi pienempi kuin muissa maaperämuodostumissa (taulukko 17).

Taulukko 13. Pohjaveden NO₃-pitoisuus (mg/l NO₃) erilaisissa maalajeissa Uudenmaan, Hämeen ja Mikkelin lääneissä.
(Wäreen aineiston pohjalta)

	Uudenmaan lääni	Hämeen lääni	Mikkelin lääni
Karkeat maalajit (sora, hiekka, hieta)			
$\bar{x} \pm S \bar{x}$	8 \pm 2	16 \pm 2	13 \pm 3
min, max	0,45	0,79	1,55
m	20	59	19
Hienot maalajit (Hiue, hiesu, savi)			
$\bar{x} \pm S \bar{x}$	9 \pm 2	7 \pm 2	2 \pm 2
min, max	0,77	0,70	0,6
m	44	36	3
Moreenimaat			
$\bar{x} \pm S \bar{x}$	13 \pm 2	13 \pm 2	21 \pm 3
min, max	0,63	81	91
m	63	81	91
Eloperäiset maalajit (humus, turve)			
$\bar{x} \pm S \bar{x}$	4 \pm 1	20 \pm 9	15 \pm 5
min, max	0,20	0,150	6,23
m	31	16	3
näytteitä yht.	158	192	116

Taulukko 14. Pohjavesien NO_3 -pitoisuus (mg/l NO_3) karkeissa ja hienoissa maalajeissa lääneittäin (Wäreen aineiston pohjalta).

	Karkeat maalajit	Hienot maalajit
	- sora - hiekka - hieta	- hiue - hiesu - savi
Uudenmaan lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	8 + 2	9 + 2
min, max	0, 45	0, 77
m	20	44
Turun ja Porin lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	13 + 3	5 + 1
min, max	0, 108	0, 53
m	40	81
Kymen lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	20 + 5	6 + 1
min, max	0, 150	0, 28
m	38	22
Hämeen lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	16 + 2	7 + 2
min, max	0, 79	0, 70
m	59	36
Mikkelin lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	13 + 3	2 + 2
min, max	1, 55	0, 6
m	19	3
Keski-Suomen lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	8 + 2	17 + 6
min, max	0, 55	0, 76
m	27	17
Kuopion lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	12 + 4	8 + 2
min, max	0, 72	0, 24
m	19	16
Pohjois-Karjalan lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	26 + 7	3 + 1
min, max	3, 114	0, 5
m	22	6
Oulun lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	15 + 3	5 + 4
min, max	0, 150	1, 12
m	56	3
Lapin lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	25 + 8	
min, max	0, 50	
m	23	
Vaasan lääni		
$\bar{x} + S \bar{x}$	12 + 3	7 + 3
min, max	0, 136	0, 56
m	57	25
Koko aineiston $\bar{x} + S \bar{x}$ (N)	15 + 4 n=380	8 + 3 n=228

Taulukko 15. Pohjaveden nitraattipitoisuus (mg/l NO₃) erilaisissa pohjavesimuodostumissa (Pönkkä 1981)

	Min	Med	Mean	Mas	S	N
Pitkittäisharjut	0	1,0	2,7	48,0	5,2	315
Pohjanmaan harjutyyppe	0		0,8		1,3	42
Reunamuodostumat	0	1,0	3,6	35,0	6,0	140
Salpausselät	0	1,0	3,6	35,0	5,9	92
I Salpausselkä	0	1,0	3,4	35,0	5,7	81
II Salpausselkä	0	1,9	4,9	24,5	7,1	11
Salpausselkien ydinosa	0	0,5	1,1	6,0	1,8	12
" distaalirinne	0	1,0	4,7	35,0	9,5	18
" proksimaalirinne	0	2,0	3,3	21,0	4,2	57
" uloke tai harjuliittymä	0	1,5	3,7	35,0	6,9	29
Keski-Suomen reunamuodostuma	0	1,0	3,7	31,0	7,8	15
Muut reunamuodostumat	0	2,0	4,0	25,0	5,8	33
Suojasivukasaumat	0	1,0	2,4	14,0	3,7	24
Savenpeittämät glasifluy.akviferit	0	0,6	3,0	19,0	5,4	95
Kokonaan savenpeittämät akvif.						
Savenpeittämät harjut	0	0,9	2,1	14,0	3,9	15
Muut kokonaan savenpeittämät akvif.	0	0,6	2,0	35,0	5,5	51
Valtaosaltaan savenpeittämät akvif.	0	0,5	1,0	5,0	1,3	29
Koko aineisto	0	1,0	2,7	48,0	6,9	57

Taulukko 16. Korkeiden nitraattipitoisuuksien esiintyminen erilaisissa maaperämuodostumissa ja kallioperässä (Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedosto).

	näytteiden lukumäärä	yli 30 mg/l NO ₃ olevien näytteiden osuus (%)
savenalaiset	91	8,8
kallioperä	802	15,5
hiekkä	628	12,1
moreeni	2 225	16,0
yht.	3 746	15,1

Taulukko 17. Suurin havaittu nitraattipitoisuus erilaisissa maaperämuodostumissa ja kallioperässä (Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedosto).

	Suurin havaittu nitraattipitoisuus mg/l NO ₃
savenalaiset	53
kallioperä	272
hiekkä	182
moreeni	248

4.4 Nitraattipitoisuuden ja pohjaveden muiden kemiallisten ominaisuuksien väliset korrelaatiot

Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesiaineistossa korkea nitraattipitoisuus korreloi merkitsevimmän kaliumin, sähkönjohtavuuden, kloridin ja kalsiumin sekä moreenimailla natriumin kanssa. Savenalaisissa kerroksissa ei saatu esiin merkitseviä korrelaatioita, mikä johtunee osaltaan aineiston pienestä koosta verrattuna muihin (taulukko 18).

Taulukko 18. Pohjaveden nitraattipitoisuuden ja 7 vedenlaatu-parametrin väliset korrelaatiokertoimet ja niiden tilastollinen merkitsevyys aineistossa, jonka nitraattitaso on yli 30 mg/l (Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedosto).

	<u>korrelaatiokertoimet eri maaperämuodostumissa ja kallioperässä</u>			
	<u>hiekk</u> 1) n=76 2)	<u>moreeni</u> n=357	<u>savenalaiset</u> n=8	<u>kallioperä</u> n=124
25	0,6144***	0,5028***	0,6130	0,3365***
KMnO ₄ -kulutus	0,1211	0,0896	0,7195	0,2882
Cl	0,4988***	0,4066***	0,4097	0,1546
SO ₄	0,1628	0,1423	-0,3157	0,2753
Ca	0,2310	0,5147***	0,1215	0,3880***
Na	0,3592	0,3839***	0,6774	0,1423
K	0,6416***	0,2164***	0,3597	0,5617***

1) n=näytteiden lukumäärä

2) ***= korrelaatio merkitsevä riskitasolla 0,1 %

Koko aineistoa (n. 6000 näytettä) tarkasteltaessa erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio havaittiin nitraatin ja 10 muun tekijän välillä. Nitraatin ja pH:n välillä vallitsi erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio (taulukko 19).

Taulukko 19. Pohjaveden nitraattipitoisuuden ja eräiden muiden vedenlaatuparametrien väliset korrelaatiokertoimet. (Aineiston koko n. 6 000, xxx: korrelaatio merkitsevä riskitasolla 0,1 %) (Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedosto)

korrelaatio- kerroin		korrelaatio- kerroin	
pH	-0,1492***	Ca	0,3596***
25	0,4355***	Mg	0,2973***
O ₂	-0,0532	Na	0,1679***
t ^o C	0,0015	K	0,5772
alk.	0,1419***	Fe	-0,0721
CO ₂	0,3355***	Mn	0,0922
väri	-0,0762	Zn	0,0669
haponkul.	0,0549	Cu	0,0467
KMnO ₄	0,1235***	Ni	0,0398
Cl	0,2483***	Pb	0,0012
F	-0,0691	Cd	0,0399
SO ₄	0,1824***	Z-kood.	-0,0018
SiO ₂	-0,0175		

Myös Lahermon aineistossa nitraattipitoisuus korreloi merkitsevästi ominaissähkönjohtokyvyn, natriumin ja kaliumin kanssa. Lahermo (1970) pitäääkin nitraattia herkkänä kontaminaation indikaattorina.

4.5 Nitraattipitoisuuden ajallinen vaihtelu

Vaikka pohjavesilaitosten raakaveden nitraattipitoisuudet ovat alhaisia, lievää nitraattipitoisuuden nousua on ilmeisesti kuitenkin tapahtunut 1970-luvun kuluessa. Pitoisuuden 30 mg/l NO_3 ylittävää raakavettä käyttävien pohjavesilaitosten osuus on pysytellyt alle 1 %:ssa (taulukko 20). Korkeita pitoisuuksia on mitattu vain pienissä pohjavedenotamoissa (alle $1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$).

Taulukko 20. Pohjavesilaitosten raakaveden 5 mg/l , 30 mg/l ja 50 mg/l ylittävien nitraattipitoisuuksien prosenttiosuudet kaikista analyyseistä (Vesihallitus 1973, 1974, 1975, 1979).

vuosi	nitraattipitoisuus								
	$> 5 \text{ mg/l}$			$> 30 \text{ mg/l}$			$> 50 \text{ mg/d}$		
	$<1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	$>1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	kaikki	$<1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	$>1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	kaikki	$<1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	$>1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$	kaikki
1971			15			1			0
1972	12	10	12	0,3	0	0,2	0,3	0	0,2
1973	12	8	12	0,5	0	0,5	0,3	0	0,3
1977	19	13	18	1,4	0	1	0,6	0	0,5
1980	19	12	19	0,5	0	0,5	0	0	0

*) laitoksen koko

4.6 Ihmistoimintojen vaikutus

Lahermo (1970) pitää nitraattia ammoniumia ja nitriittiä herkempänä kontaminaation indikaattorina. Saastutuslähteen lähellä ammoniumia ja nitriittiä saattaa olla runsaasti, mutta ne hapettuvat nopeasti nitraatiksi. Kauempanan saastutus ilmenee tällöin kohonneena nitraattipitoisuutena. Lahermon aineistossa asutuksen ja maatalouden vaikutus pohjavesien nitraattipitoisuuksiin näkyi selvästi: nitraattipitoisuudet keskimäärin kymmenkertaistuivat (taulukko 21).

Taulukko 21. Maatalouden ja asutuksen vaikutus Lapin pohjavesien nitraattipitoisuuteen (Lahermo 1970).

	nitraattipitoisuus mg/l NO ₃											
	luonnontilainen pohjavesi						lievästi likaantunut pohjavesi					
	min	med	mean	max	S	N	min	med	mean	max	S	N
Lähteet	0,01	0,10	0,59	7,50	0,59	352	0,09	4,80	10,2	71,4	18,0	22
Kalliokaivot	0,02	0,38	2,01	12,5	3,08	74	0,20	20,0	25,5	109	24,6	62
Maakaivot	0,11	4,09	8,80	57,1	14,9	16	1,00	63,5	95,7	545	105	46

Min =minimi, med=mediaani, mean = aritmeettinen keskiarvo, Max = maksimi, S = standardipoikkeama, N = näytämäärä

Myös Pönkän (1981) aineistossa asutuksen vaikutus näkyi pohjaveden nitraattipitoisuuden lievänä kohoamisena (taulukko 22). Asutuksen vaikutus pohjaveden ammoniumpitoisuuteen ei sen sijaan ole kovinkaan selvä.

Taulukko 22. Asutuksen vaikutus pohjaveden nitraattipitoisuuteen (Pönkkä 1981).

	NO ₃ mg/l					
	Min	Med	Mean	Max	S	N
ei asutusta pohjavesiesiintymällä	0	0,3	0,5	5,7	0,7	91
runsaasti asutusta pohjavesiesiintymällä (taaja-asutusta)	0	3,0	6,4	48,0	9,1	94

Asutuksen vaikutus kalliokaivojen veden nitraattipitoisuuteen tulee esiin Röntän tutkimuksissa (Rönkä, julkaisematon). Pientaloasutusalueen kalliokaivojen nitraattipitoisuus oli 10,18 mg/l NO₃ (S=1,7, n=14) koko kalliokaivotutkimuksen keskiarvon ollessa 6,64 mg/l NO₃ (S=2,9, n=393).

Maatalouden ja lannoitteiden käytön on havaittu vaikuttavan pohjaveden nitraattipitoisuuksiin myös Suomessa (Lahermo 1970, Soveri ja Soveri 1975, Kontkanen 1978, Seppälä 1978, Vainio, julkaisematon). Myös kaatopaikkojen, turkistarhojen ja vesistö säännöstelyn vaikutuksia pohjaveden laatuun on tutkittu (Vanhala 1977, Seppälä 1978).

4.7. Sadeveden nitraattipitoisuus

Sadevesi vaikuttaa luonnontilaisilla alueilla maa- ja kallioperää enemmän pohjaveden nitraattipitoisuuteen (Lahermo 1970). Lahermon mukaan Keski-Lapin luonnontilaisten pohjavesien nitraatista 60 - 100 % on peräisin ilmakehästä.

Vesihallitus on seurannut vuodesta 1971 sadeveden laatua nykyisessä laajuudessaan. Enimmillään havaintopaikkoja on ollut 50. Asemien sijaintipaikat on valittu siten, että ne kattavat tasaisesti koko Suomen.

Mediaaniarvojen perusteella koko maan keskimääräinen nitraattilaskeuma vuosina 1971 - 1974 oli $178 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^2\text{a}$ ($788 \text{ mg NO}_3\text{/m}^2\text{a}$). Sadeveden nitraattipitoisuus oli $1,6 \text{ mg/l NO}_3$ (taulukko 23).

Taulukko 23. Nitraattityypen ja nitraatin laskeuman kuukausiarvojen mediaanit ja vuosiarvot vuosina 1971 - 1974 kaikkien havaintoasemien keskiarvoina (Järvinen ja Haapala 1980).

vuosi	Kuukausiarvojen mediaanit $\text{mg/m}^2\text{kk}$		vuosiarvojen mediaanit $\text{mg/m}^2\text{a}$	
	$\text{NO}_3\text{-N}$	NO_3	$\text{NO}_3\text{-N}$	NO_3
1971	12,8	56,7	154	682
1972	13,7	60,6	164	726
1973	13,6	60,2	163	722
1974	19,1	84,6	229	1 010

Epäorgaanisen tyyppien osuus sadeveden kokonaistypestä on noin 75 %. Ammonium- ja nitraattityypen suhteelliset osuudet ovat ilmeisesti yhteydessä pH-arvoon. Nitraattityypen osuus on suurempi silloin, kun sadeveden pH on alhainen (Järvinen ja Haapala 1980).

Buch (1960) sai sekä ammonium- että nitraattityypen keskimääräiseksi laskeumaksi 1950-luvun lopulla n. $60 \text{ mg/m}^2 \text{ a NO}_3\text{-N}$ ($266 \text{ mg/m}^2 \text{ a NO}_3$). Tähän verrattuna laskeutuvat typpimäärät ovat nousseet (Järvinen ja Haapala 1980).

Suurimmat nitraattityppilaskeumat on mitattu Suomenlahden rannikolla sekä Turun ja Porin läänissä, jossa keskimääräiset kuukausilaskeumat vuosina 1971 - 1974 olivat yli $89 \text{ mg/m}^2 \text{ NO}_3$ ja sadeveden nitraattipitoisuus n. $2,0 \text{ mg/l NO}_3$. Pohjoiseen päin siirryttäessä sadeveden nitraattipitoisuus laskee. Linjan Kolari-Sodankylä pohjoispuolella mitatut nitraattilaskeuman kuukausiarvot ovat olleet alle $44 \text{ mg /m}^2 \text{ NO}_3$ ja sadeveden keskimääräinen pitoisuus $1,1 \text{ mg/l NO}_3$.

5. YHTEENVETO

Suomessa pohjaveden keskimääräinen nitraattitaso on huomattavasti lääkintöhallituksen asettamia enimmäispitoisuuksia alhaisempi. Korkeita pitoisuuksia on kuitenkin esiintynyt paikoitellen.

Vesilaitosten raakavedessä ja harjualueiden pohjavedessä on selvästi vähemmän nitraattia kuin varsinaisten pohjavesialueiden ulkopuolella sijaitsevissa kaivoissa. Kalliokaivojen keskimääräinen nitraattipitoisuus on hieman korkeampi kuin maakaivojen, mutta lääkintöhallituksen asettamien suositusten ylityksiä on vähemmän. Pohjavesilaitosten raakaveden nitraattipitoisuuden keskiarvo on n. 3 mg/l NO₃, kalliokaivojen n. 7 mg/l ja maakaivojen 13 mg/l NO₃ (taulukko 24).

Vesilaitosten raakaveden kohonneita nitraattipitoisuuksia on enemmän Etelä- kuin Pohjois-Suomessa, kaivovesinäytteissä suhteellisesti eniten Lapin läänissä. Kalliokaivojen korkeimmat keskimääräiset pitoisuudet esiintyivät Hämeen, Pohjois-Karjalan ja Oulun lääneissä. Maakaivojen vedessä oli eniten nitraattia hyvin läpäisevillä hiekkamailla, savenalaisten pohjavesikerrosten nitraattipitoisuus on yleensä alhainen.

Vierekkäisten kaivojen nitraattipitoisuus saattaa olla hyvin erilainen johtuen mm. kaivon kunnosta ja syvyydestä. Myös ajallinen veden laadun vaihtelu voi olla suurta liittyen ilmeisesti geohydrologisiin tekijöihin.

Nitraatin kulkeutuminen pohjavesiin on hidasta, ja maanviljelytoimenpiteiden vaikutus tulee näkyviin yleensä vasta vuosien kuluttua. Ulkomailta tehokkaan lannoituksen aiheuttamat haitat ovat ilmaantuneet mataliin akvifereihin vasta nykyvuosina. Suomessa suurimmat ongelmat ovat ilmeisesti vasta edessä päin.

Pohjavesien nitraatin lähteitä ovat hajoava orgaaninen aines ja maaperään tuleva typpikuormitus. Luonnontilaisilla alueilla sade ja orgaaninen aines vaikuttavat maa- ja kallioperää enemmän pohjaveden nitraattipitoisuuteen. Ulkomalaisen kirjallisuuden mukaan lannoitus on keskeisin syy kohonneisiin nitraattipitoisuuksiin. Ilmeisesti myös meillä lannoitus, karjatalouden typpipitoiset jätteet, turkistarhat, kaatopaikat ja jätevedet saattavat olla syynä pohjaveden nitraattitason kohoamiseen.

Taulukko 24. Suomen pohjavesien nitraattipitoisuuksia eri tutkimuksissa.

Tutkimus	Nitraattipitoisuus mg/l NO ₃			Pitoisuuden 30 mg/l NO ₃ ylittävien näytteiden osuus (%)
	mediaani	keskiarvo	maksimi	
Vesilaitokset 1930 (vesihallitus, julkaisematon)		3,1		0,5
Harjualueiden pohjavesi 1949-61 (Natukka 1963)	1,5		94	2
Käyvedet 1958-59 (Wäre 1961)	5,7	13	198	12
Kaikki pohjavedet 1978-82 (Geologinen tutkimuslaitos)		9,3		15
Lähteet 1975 (Soveri)		3,9	22	
Etelä-Suomen harjualueet (Pönkkä 1931)	1,0	2,7		
Kalliokaivot (Laakso 1966)	2,0	7,0	86	
Kalliokaivot, Keski-Suomi ja Savo (Rönkä, julkaisematon)		6,6		
Kainuun pohjavedet (Airaksinen 1978)	5,6			8
Lapin pohjavedet (Lahermo 1970)	0,1	0,59	7,5	

6. KIRJALLISUUS

Airaksinen, J. 1978. Kainuun haja-asutusalueiden vesihuollon yleissuunnitelma. Diplomityö. Kainuun vesipiirin vesitoimisto. 80s

Alföldi, L. 1982. Hydrogeological aspects of groundwater nitri-
fication. Xwirnmann, K.H. (Ed.). Nenpoint Nitrate Pollution of
Municipal Water Supply Sources: Issues of analysis and Control.
Luxemburg. p. 43-55.

Andersson, R. 1982. Växtnäringsförluster från åker och skog. Vat-
ten 38:205-225.

Buch, K. 1960. Zusammensetzung des atmosphärischen Niederschlages
in Finnland. Societas Scientiarum Fennica XXIV 10. (Ref. Järvinen
ja Haapala 1980)

Gustavsson, A.S. & Ulén, B. 1982. Nitrat, nitrit och pH i Väster-
götland, östergötland och Södermanland. Ekohydrologi 10:39-45.

Järvinen, O. & Haapala, K. 1980. Sadeveden laatu Suomessa 1971-1977.
Vesihallitus, tiedotus 198 . 102s. Helsinki.

Kontkanen, S. 1978. Pohjois-Karjalan kaivovesitilanteen arviointia.
Moniste. Pohjois-Karjalan vesipiirin vesitoimisto. 10s.

Laakso, M. 1966a. Kalliokaivojen veden laatu. Vesitalous 3/1966:
26-30.

- , 1966b. Kalliokaivojen veden laatu ja antoisuus. Maa-
taloushallituksen insinööriosasto, maa- ja vesiteknillinen tutkimus-
toimisto, tiedotus 2/1966. 86s. Helsinki.

Lahermo, P. 1969. Muutamiin pohja- ja pintaveden fysikaalio-kemi-
allisiin ominaisuuksiin vaikuttavista geologisista tekijöistä. Ve-
sitalous 3/1969:17-19.

Lahermo, P. 1970. Chemical geology of ground and surface waters in
Finnish Lapland. Bull de la Commission Géologique de Finlande 242.
106 p.

Mc Donald, D.B. & Splinter, R.C. 1982. Longterm trends in nitrate concentration in Iowa water supplies. *Jawwa* 74. 8:381-440.

Murtomäki, R. 1968. Analyysitulosten yhteenveto vesilaitosten valvonnassa v. 1967. *Vesiensuojelutoimiston tiedonantoja* 37. Helsinki.

Mälkki, E. 1979. Pohjaveden laatu. Kauranne, L.K., Gardemeister, R. Korpela, K. & Mälkki, E. (julk.) *Rakennusgeologia II*. 2 painos. s.212-219. Espoo.

Natukka, A. 1963. Harjujemme pohjaveden laadusta. *Vesitalous* 1/1963: 20-23.

Oakes, D.B. 1982. Nitrate pollution of groundwater resources mechanisms and modelling. Zwinmann, K.H. (Ed.) *Nenpoint Nitrate pollution of municipal Water Supply Sources: Issues at analysis and control*. p. 207-230. Luxemburg.

OECD, 1982. Water pollution arising from agricultural activities. Nitrate in drinking water as a result of intensive fertilizer use and animal production. *ENV/ WAT/82.2*. 1st Rev.

Rönkkä, L. 1971. Pohjaveden laatu savonalaisissa vettäjohtavissa kerrostumissa. *Vesitalous* 6/1971:22-24.

, 1981. Suomen eteläpuoliskon glasifluviaaliset muodostumat pohjavesiesiintymänä. 44 s. Lahti.

Rijtema, P.E. 1982. Effects of regional water management on N-pollution in areas with intensive agriculture. Zwinmann K.-H. (Ed.) *Nenpoint Nitrate Pollution of Municipal Water Supply Sources: Issues of analysis and Control*. p. 15-42. Luxemburg.

Roman, M. 1982. Possibilities of controlling nitrate concentrations in drinking water. Zwinmann, K.-H. (Ed.). *Nenpoint Nitrate Pollution of Municipal Water Supply Sources: Issues at analysis and Control*. p. 117-134. Luxemburg.

Rönkä, E. Uusinoka, R. & Vuorinen, A. 1980. Geochemistry of ground-water in the Precambrian crystalline bedrock of Finland in relation to the chemical composition of the reservoir rocks. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 38: 41-53. Helsinki.

Seppälä, M. 1978. Talousvetenä käytetyn pohjaveden laatu Kemijärven ympäristössä järven säännöstelyn aikana. Pro gradu-tutkielma. Turun yliopisto, maaperägeologinen osasto. 72 s.

Seppänen, H. 1977. Biologiset näkökohdat pohjaveden suojelussa. Vesitalous 6/1977: 18-21.

Sillanpää, M. 1982. Micronutrients and the nutrient Status of soils: a global study. FAO.

Soveri, J. & Soveri, M.-R. 1975 Ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta maaperään ja pohjaveteen Tampereen ja Kuusankosken ympäristössä. Vesihallitus, tiedotus 95. 57 s. Helsinki.

Spalding, R.F. Exner, M. E. Lindau, C.W. & Eaton, D.W. 1982. Investigation of sources of ground-water nitrate contamination in the Burbank-Wallula area of Washington USA. Journal of Hydrology 58 (1982): 307-324.

Taka, M. 1981. Pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Vesihallituksen ja Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesisymposiumi 15.-16.10. 91: 109-112.

Vanhala, R. 1977. Kaatopaikkojen vaikutus pohjavesien likaantumiseen. Vesitalous 6/1977: 28-30.

Vesihallitus 1972. Vesilaitostarkkailu 1970. Vesihallitus, tiedotus 30. Helsinki.

, 1973. Vesilaitosten veden laatu vuonna 1971. Vesihallitus, tiedotus 44. 360s. Helsinki.

, 1974. Vesilaitosten veden laatu vuonna 1972. Vesihallitus, tiedotus 75. 326s. Helsinki

, 1975. Vesilaitosten veden laatu vuonna 1973. Vesihallitus, tiedotus 99. 305s. Helsinki.

, 1979 a. Vesilaitosten veden laatu vuonna 1977. Vesihallitus, tiedotus 167. 277s. Helsinki.

, 1979 b. "Vanhalla" ja "uudella" menetelmällä saatujen vesikemiallisten tulosten vertailtavuus. Vesihallitus, tiedotus 184: 3-40. Helsinki.

Wäre, M. 1961a. Veden laatu maaseudun vesihuoltolaitoksissa. Maataloushallituksen insinööriosasto, maa- ja vesiteknillinen tutkimustoimisto.

, 1961 b. Analyysitulokset Suomen maalaiskunnissa syys-lokuussa 1958 käytetystä talousvedestä ja vedenottoaikat. Maataloushallituksen insinööriosasto, maa- ja vesiteknillinen tutkimustoimisto, tiedotus 3/1961. Helsinki.

, 1961 c. Talousveden laatu ja vedenottoaikat Suomen maalaiskunnissa vuonna 1958 lääneittäin. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuslaitoksia. 9.1. 32s. Helsinki.

LIITTEET

1. Pohjavesialueselvityksen sisällysluetteloesimerkki
2. Vesihallituksen pohjavesiasemat
3. Laakson kalliokaivotutkimuksen havaintopaikat kunnittain
4. Wäreen talousvesitutkimuksen havaintopaikat
5. Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedoston havaintopaikat
6. Lahermon pohjavesitutkimuksen kohdealue
7. Pönkän pohjavesitutkimuksen havaintopaikat
8. Soverin ja Soverin tutkimuskohteet Tampereen ympäristöalueella
- 9/1-2 Pohjavesilaitokset, joiden raakaveden nitraattipitoisuus ylitti 5 mg/l NO₃ vuosina 1970, 1973, 1977, 1980
10. Kunnat, joiden maakaivojen keskimääräinen nitraattipitoisuus ylittää 30 mg/l NO₃
11. Kaivovesien korkeiden nitraattipitoisuuksien jakaantuminen maan eri osiin
12. Lähteiden nitraattipitoisuus v. 1975
13. Nitraattipitoisuuden 35 mg/l ylittävät havainnot (Geologisen tutkimuslaitoksen pohjavesitiedosto)
14. Kalliopohjaveden korkeat nitraattipitoisuudet (GTL:n pohjavesitiedosto)
15. Moreenimaiden pohjavesien korkeat nitraattipitoisuudet (GTL:n pohjavesitiedosto)
16. Hiekkamaiden pohjavesien korkeat nitraattipitoisuudet (GTL:n pohjavesitiedosto)
17. Savenalaisten pohjavesien korkeat nitraattipitoisuudet (GTL:n pohjavesitiedosto)
18. Keskimääräinen nitraattityppilaskeuma kuukausinäytteisä vuosina 1971 - 1974.

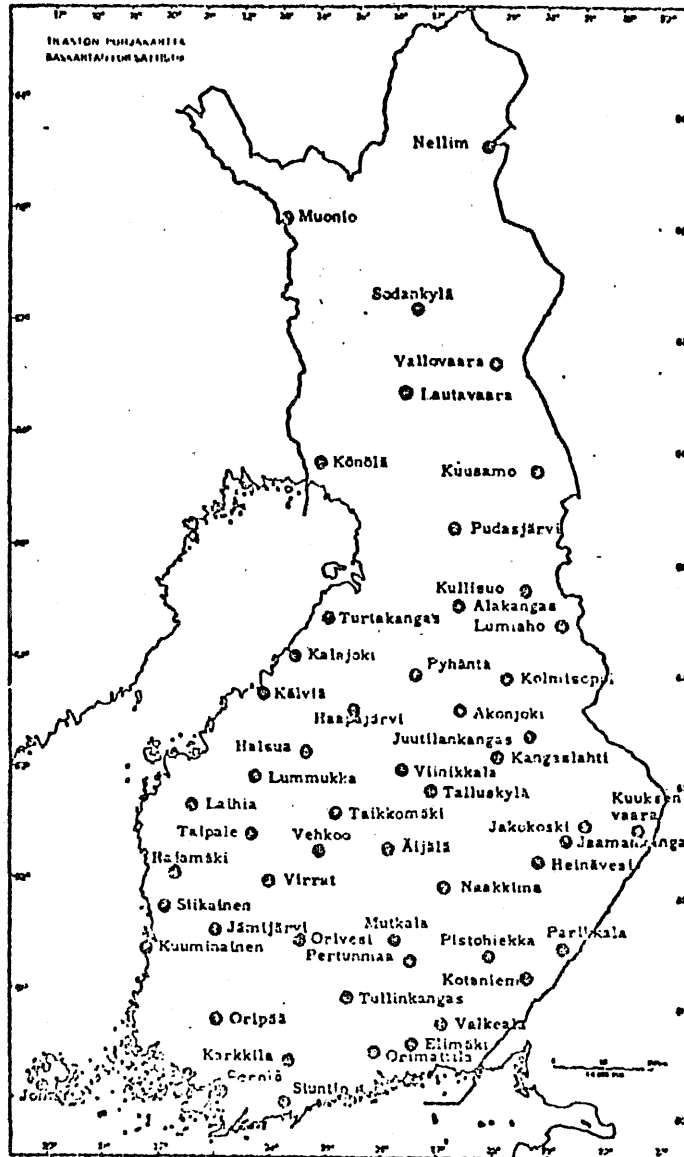
1. YLEISTÄ
 - 1.1 Tutkimuksen tarkoitus, suorittajat ja suoritus aika
 - 1.2 Vedentarvearviot
 - 1.3 Tutkimuksen perustietoja
 - 1.31 Kartta- ja ilmakehu-aineisto
 - 1.32 Aikaisempi tutkimusaineisto
 - 1.33 Alueen tutkimusolosuhteet ja tutkimusten ohjelmointi
2. MAASTOTUTKIMUKSET
 - 2.1 Alustavat maastonselvitykset
 - 2.11 Maastontarkastelu ja virtaamahavainnot
 - 2.12 Maaperäkairaukset
 - 2.13 Putkien asennus ja alustavat koepumppaukset
 - 2.14 Geofysikaaliset mittaukset
 - 2.15 Alustavien maastonselvitysten päätelmät
 - 2.2 Koepumppaukset
 - 2.3 Muut tutkimukset ja toimenpiteet
3. LABORATORIOTUTKIMUKSET
 - 3.1 Vesinäytteiden tutkimukset
 - 3.2 Maanäytteiden tutkimukset
4. TUTKIMUSTEN YHTEENVETO
 - 4.1 Maaperä- ja pohjavesisuhteet
 - 4.2 Esiintymän antoisuus, veden laatu
 - 4.3 Vedenoton järjestely
 - 4.4 Tekopohjaveden muodostamismahdollisuudet
 - 4.5 Vedenoton haittavaikutukset

4.7 Pohjaveden suojaaminen

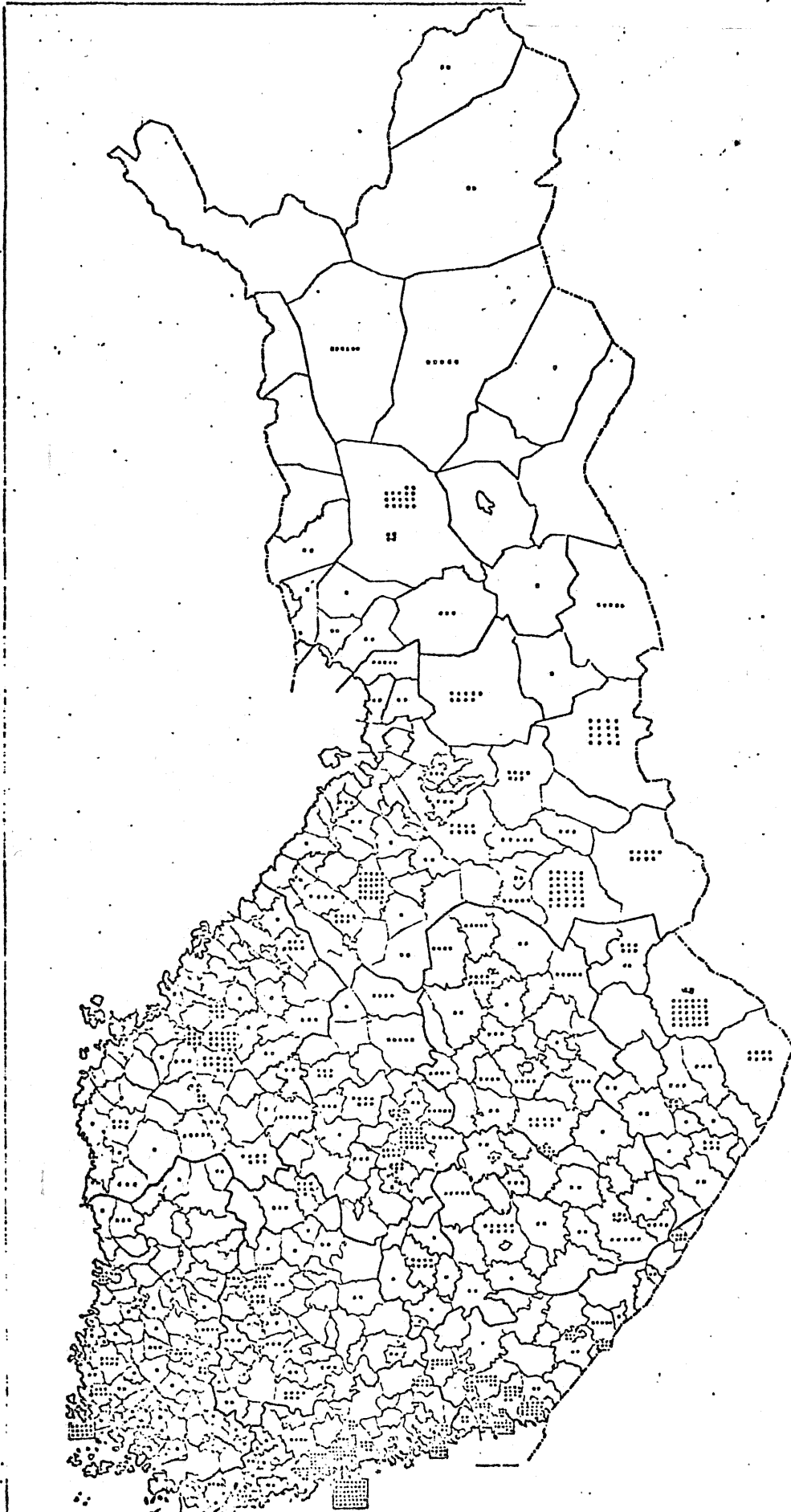
Liitteet

- 1 Yleiskartta 1:100/1:200 000
- 2 Maaperäkairauksen tulokset
- 3 Pohjavesiputkista saadut havainnot (eri liitteitä)
- 4 Vesinäytteiden tutkimustulokset
- 5 Sadehavainnot
- 6 Kaivohavainnot
- 7 Koepumppauspiirustus
- 8 Asemapiirustus
- 9 Tutkimuskartta
- 10 Hydrogeologinen kartta
- 11 Leikkaus ym. piirustukset
- ... Merkintäseloste

Vesihallituksen pohja-
vesiasemat

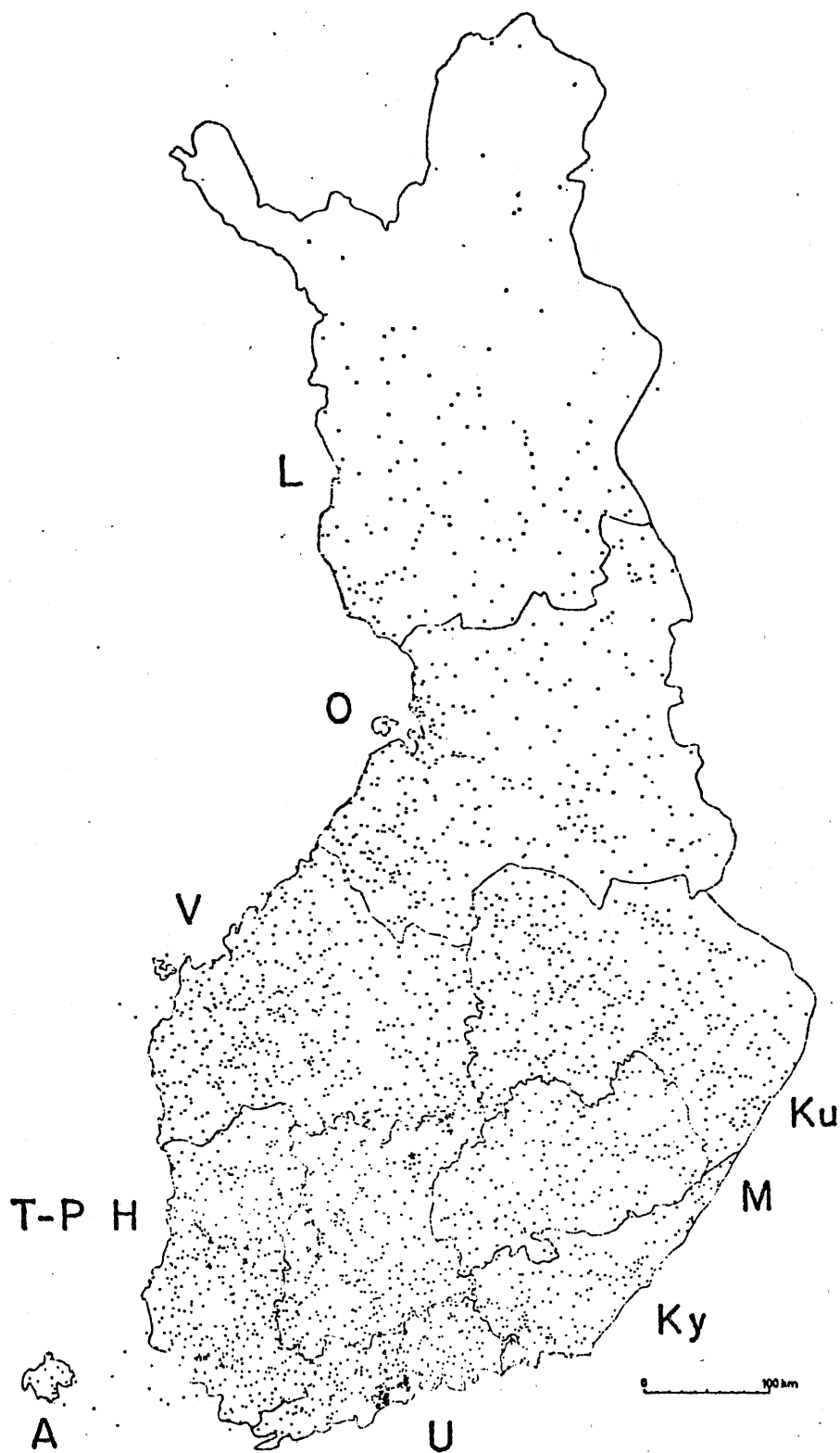


Laakson kalliokaivotutkimuk-
sen havaintopaikat kunnittain
(Laakso 1966)



Wäreen talousvesitutkimuksen
havaintopaikat (Wäre 1961 b)

9.1



Geologisen tutkimuslaitoksen
pohjavesitiedoston havainto-
paikat



Lahermon pohjavesitutkimuksen
kohdealue (Lahermo 1970)

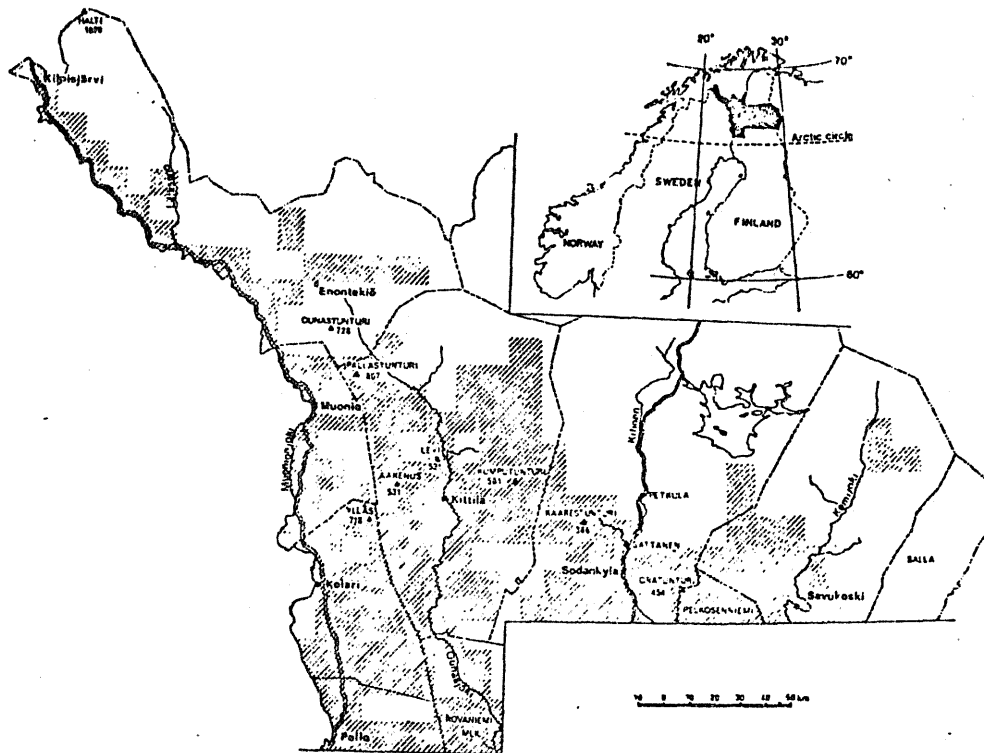
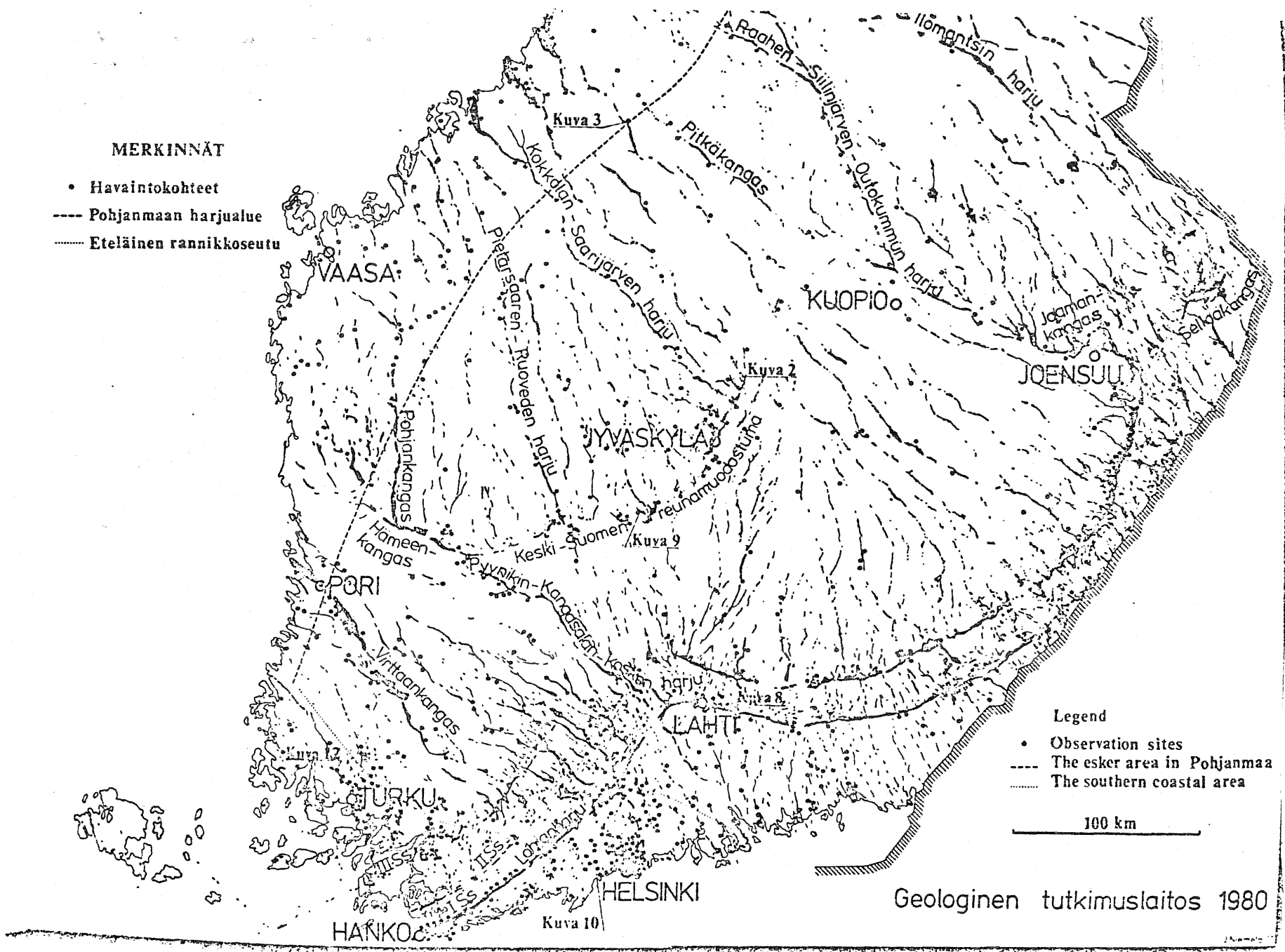


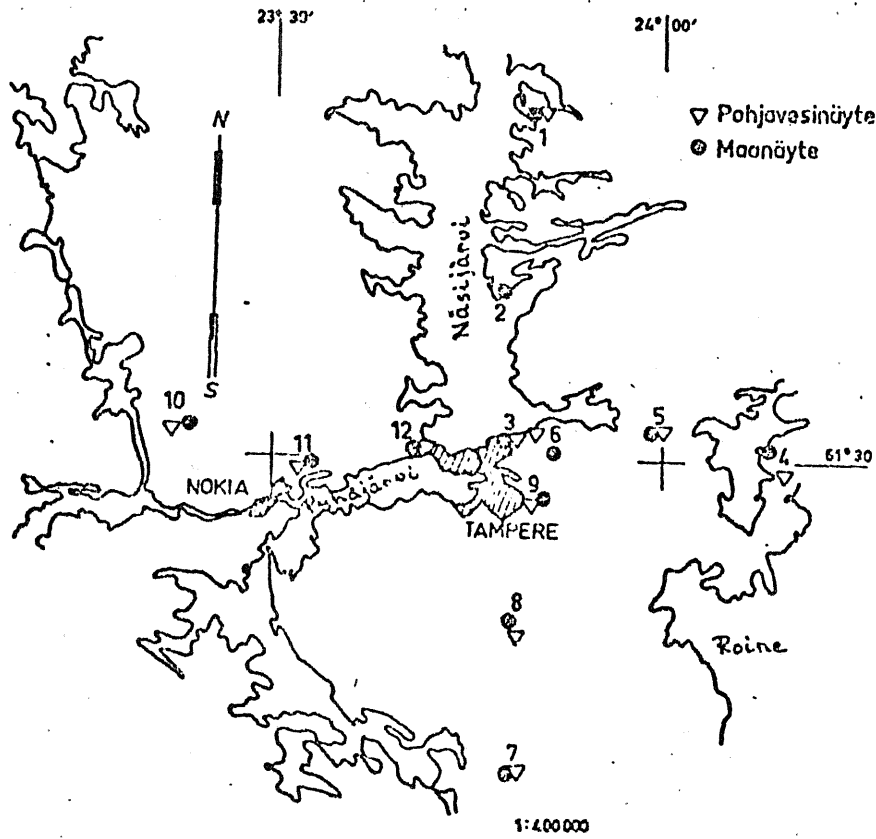
FIG. 1. Area from which the water samples were collected, indicated by the slanting lines.
Location of the study area is shown in the inserted map.

- MERKINNÄT**
- Havaintokohteet
 - Pohjanmaan harjualue
 - Eteläinen rannikkoseutu

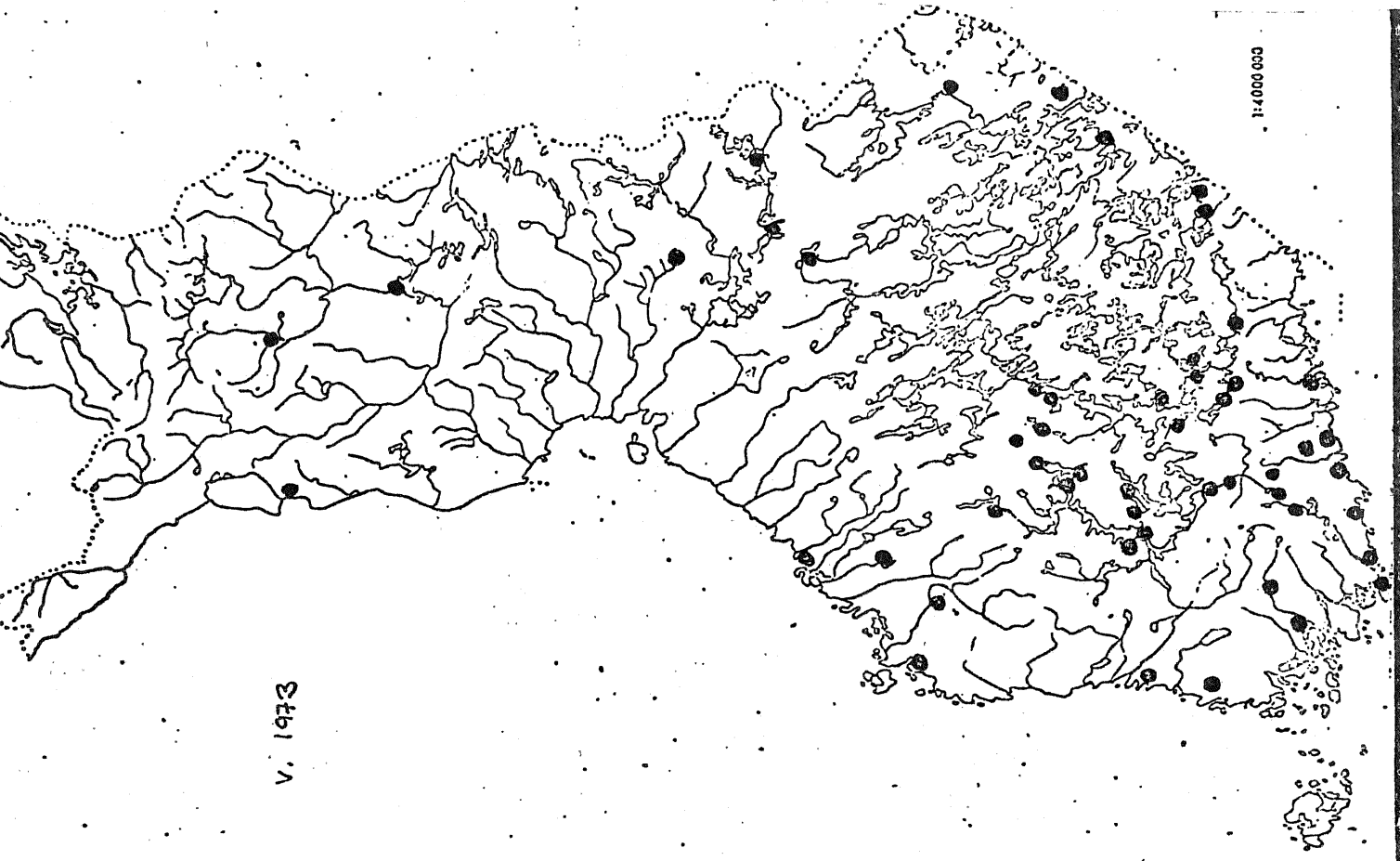


Geologinen tutkimuslaitos 1980

Soverin ja Soverin tutkimuskohteet
Tampereen ympäristöalueella
(Soveri ja Soveri 1975)

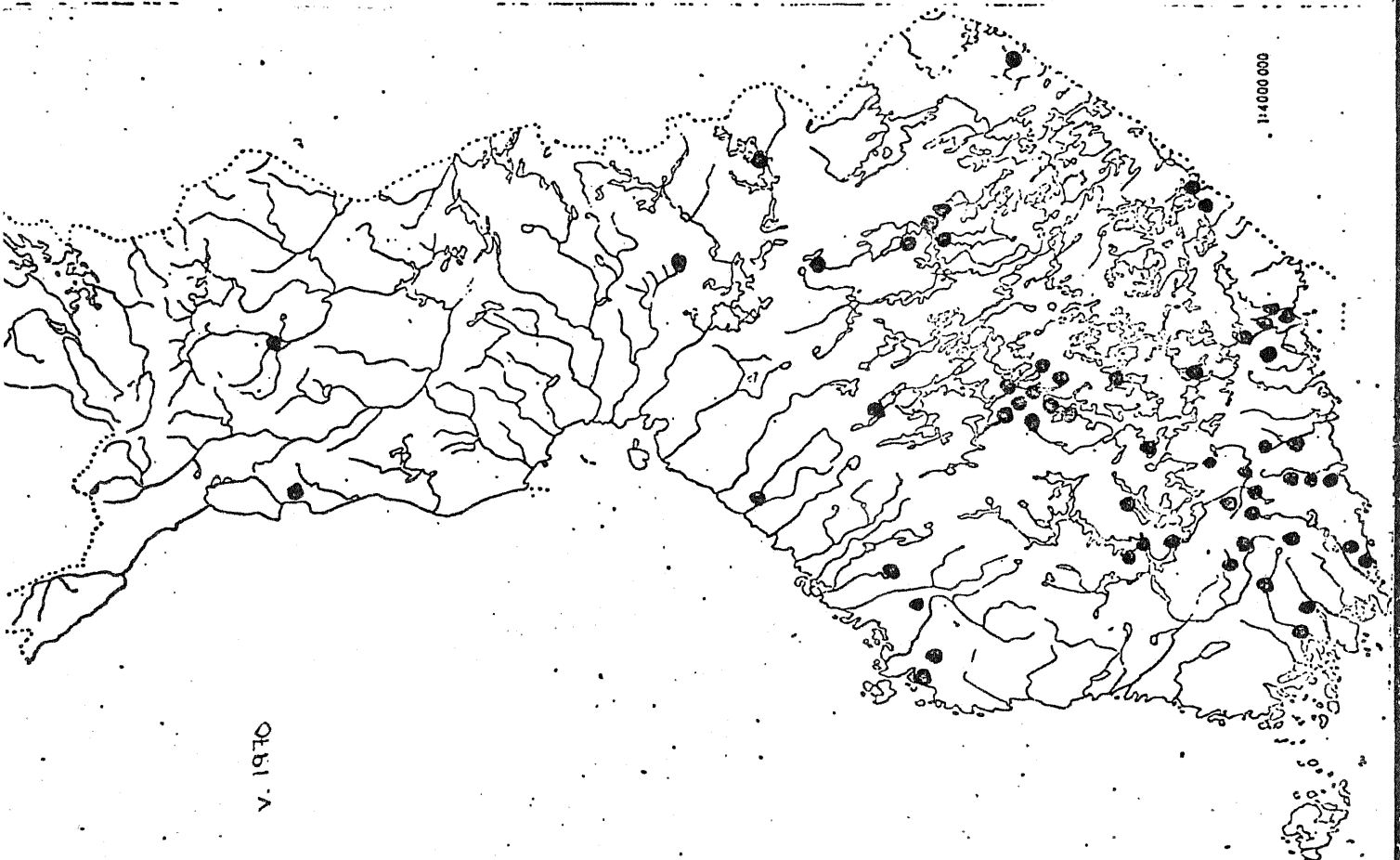


Pohjavesilaitokset, joiden raaka-
veden nitraattipitoisuus ylitti
5 mg/l NO₃ vuosina 1970 ja 1973.



v. 1973

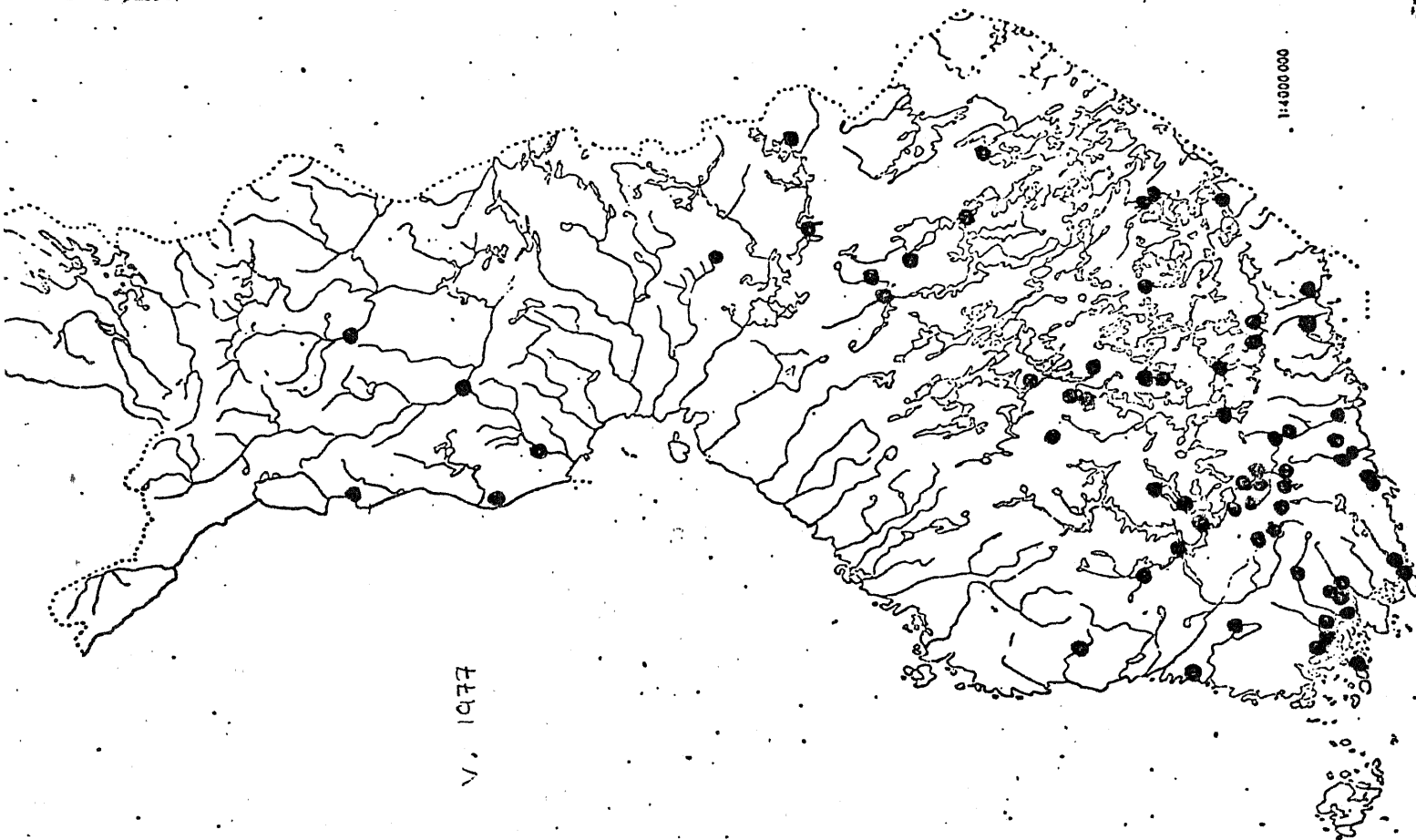
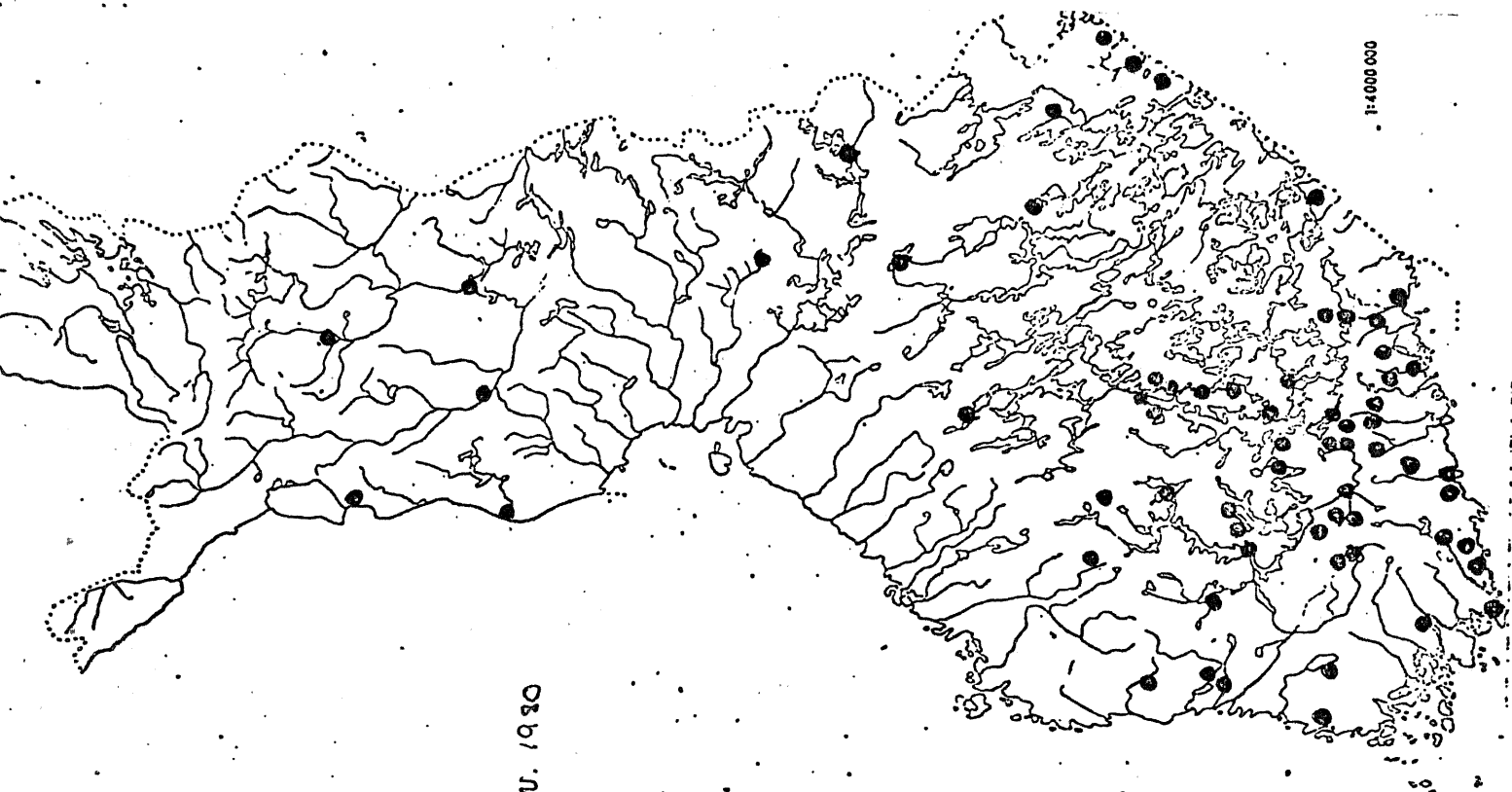
1:4000 000



v. 1970

1:4000 000

Liite 9/2
Pohjavesilaitokset, joiden raaka-
veden nitraattipitoisuus ylitti
5 mg/l NO₃ vuosina 1977 ja 1980.



Kunnat, joiden maakaivojen keskimääräinen nitraattipitoisuus ylittää 30 mg/l NO₃ (Wäre 1961 b).

Kunta	NO ₃ -pit. kes- kiarvo mg/l NO ₃	havain- tojen lu- kumäärä	pitoisuu- den 30 mg/l ylittävät hav. (kpl)	suurin mitattu pitoisuus mg/l NO ₃
Uudenmaan lääni:				
Pusula	41	4	2	77
Turun ja Porin lääni:				
Karuna	33	1	1	33
Pyhämaa	98	1	1	98
Tyrvää	34	8	2	108
Uskela	36	3	1	80
Hämeen lääni:				
Asikkala	31	9	1	39
Kylmäkoski	36	4	2	100
Pohjaslahti	30	2	1	60
Tammela	35	8	3	79
Vesilahti	35	5	1	150
Kymen lääni:				
Parikkala	39	8	3	150
Mikkelin lääni:				
Haukivuori	57	6	3	150
Kerimäki	44	8	4	150
Pertunmaa	30	5	1	111
Sulkava	30	7	2	87
Kuopion lääni:				
Juuka	31	12	5	114
Kaavi	42	7	3	125
Kesälahti	37	4	2	60
Polvijärvi	46	10	5	150
Rääkkylä	44	7	3	150
Tohmajärvi	38	10	3	129
Vaasan lääni:				
Alahärmä	37	5	2	77
Alajärvi	37	10	4	136
Alaveteli	77	2	1	136
Evijärvi	78	4	2	198
Kinnula	41	3	1	92
Kivijärvi	31	3	1	74
Munsala	52	3	1	143
Purmo	76	2	2	94
Raippaluoto	70	2	1	136
Teerijärvi	40	3	1	97
Öja	70	1	1	70
Oulun lääni:				
Kestilä	60	4	2	124
Kiiminki	49	3	2	73
Lumijoki	140	2	2	143
Oulujoki	40	7	2	150
Pulkkila	56	3	2	79
Reisjärvi	57	5	3	150

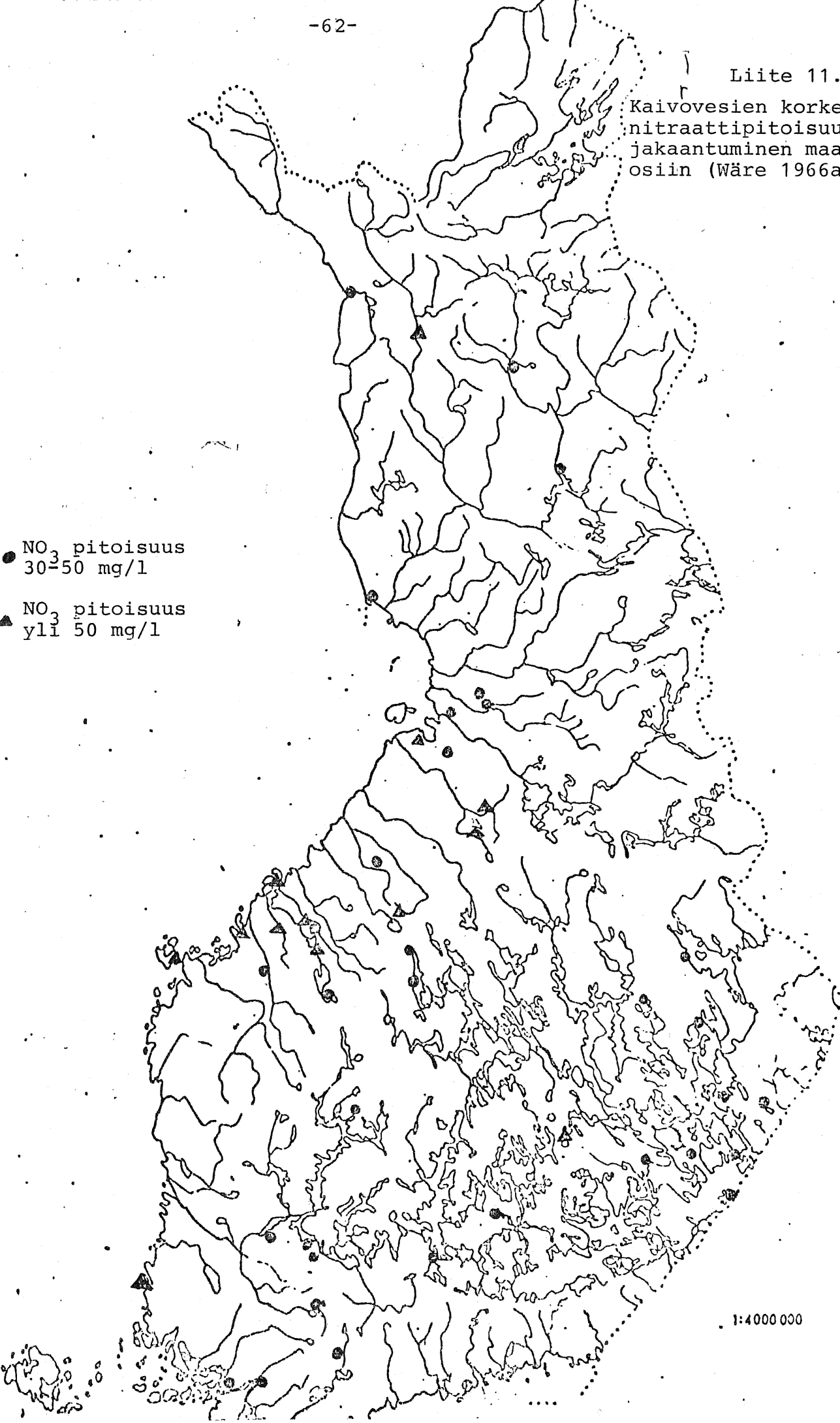
Sievi	44	6	2	106
Temmes	31	1	1	31
Ylikiiminki	37	4	2	102
Lapin lääni:				
Alatornio	34	9	3	150
Kemijärvi	40	9	5	150
Kittilä	58	8	4	150
Muonio	45	3	1	98
Sodankylä	35	10	5	91

Liite 11.

Kaivovesien korkeuden
nitraattipitoisuuksien
jakaantuminen maan eri
osiin (Wäre 1966a,b)

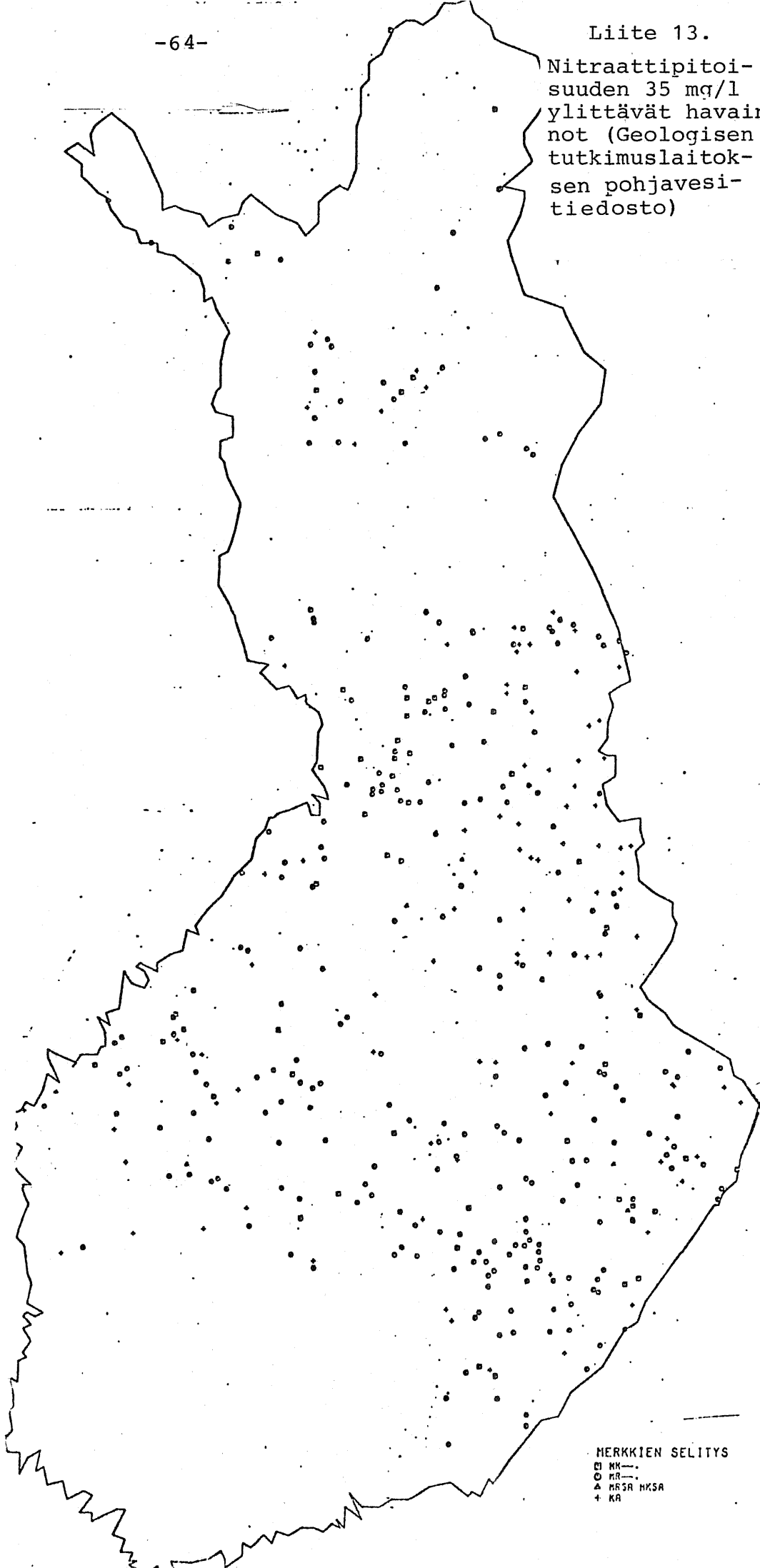
● NO₃ pitoisuus
30-50 mg/l

▲ NO₃ pitoisuus
yli 50 mg/l



1:4000000

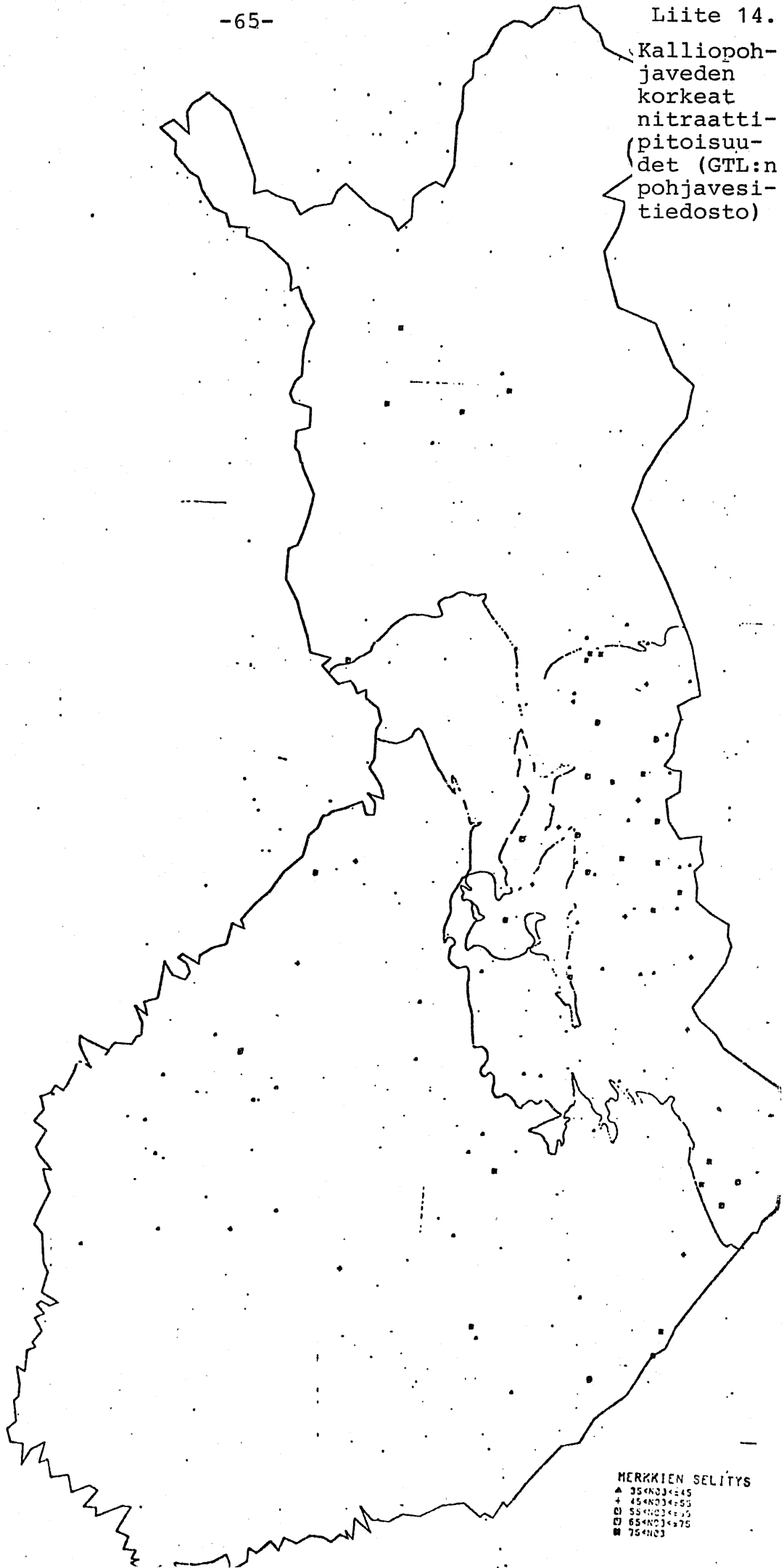
Nitraattipitoi-
suuden 35 mg/l
ylittävät havain-
not (Geologisen
tutkimuslaitok-
sen pohjavesi-
tiedosto)



MERKKIEN SELITYS

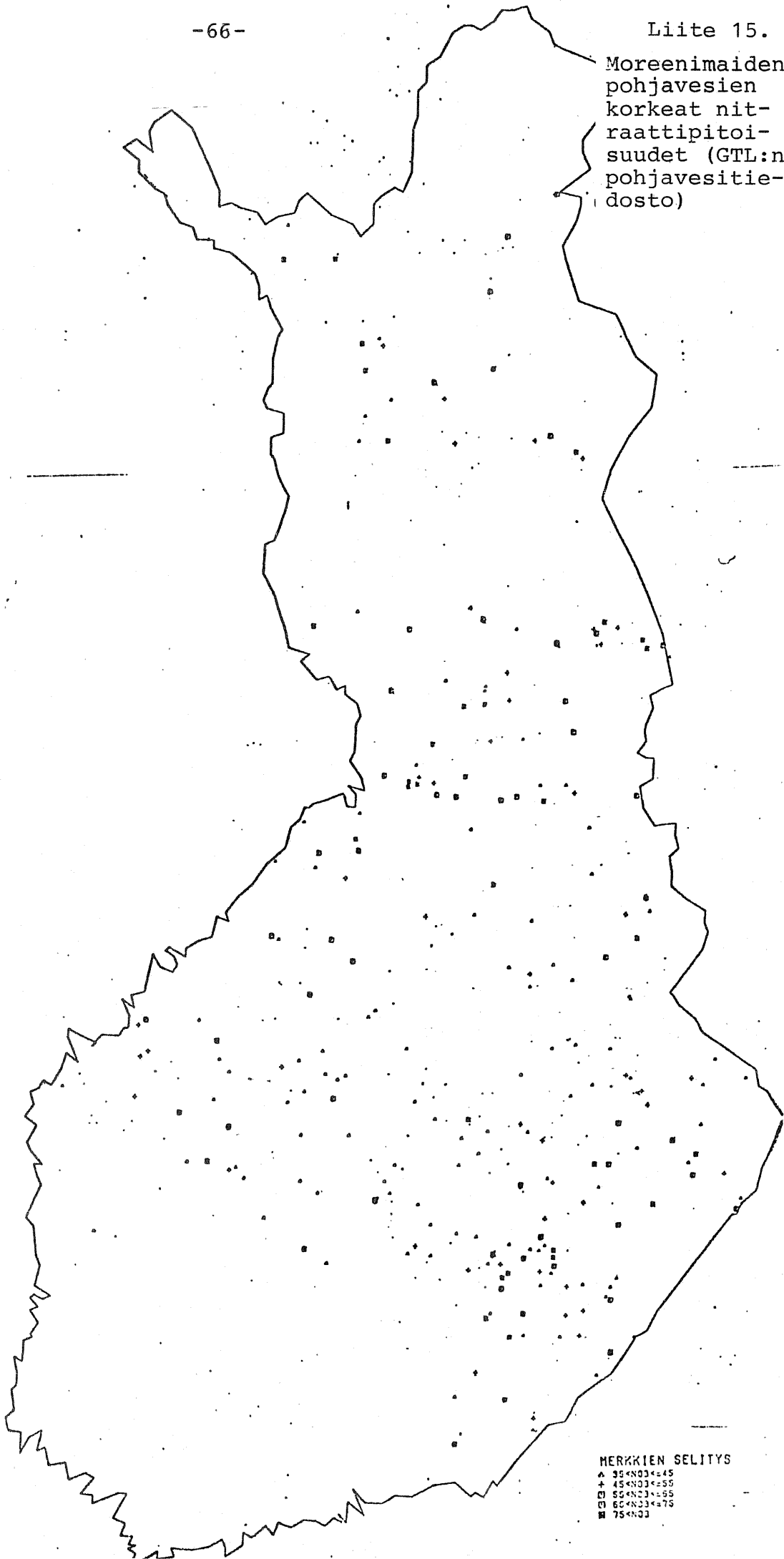
- MM—
- MR—
- △ MRSR HKSA
- + KA

Kalliopoh-
javeden
korkeat
nitraatti-
pitoisuu-
det (GTL:n
pohjavesi-
tiedosto)



MERKKIEN SELITYS

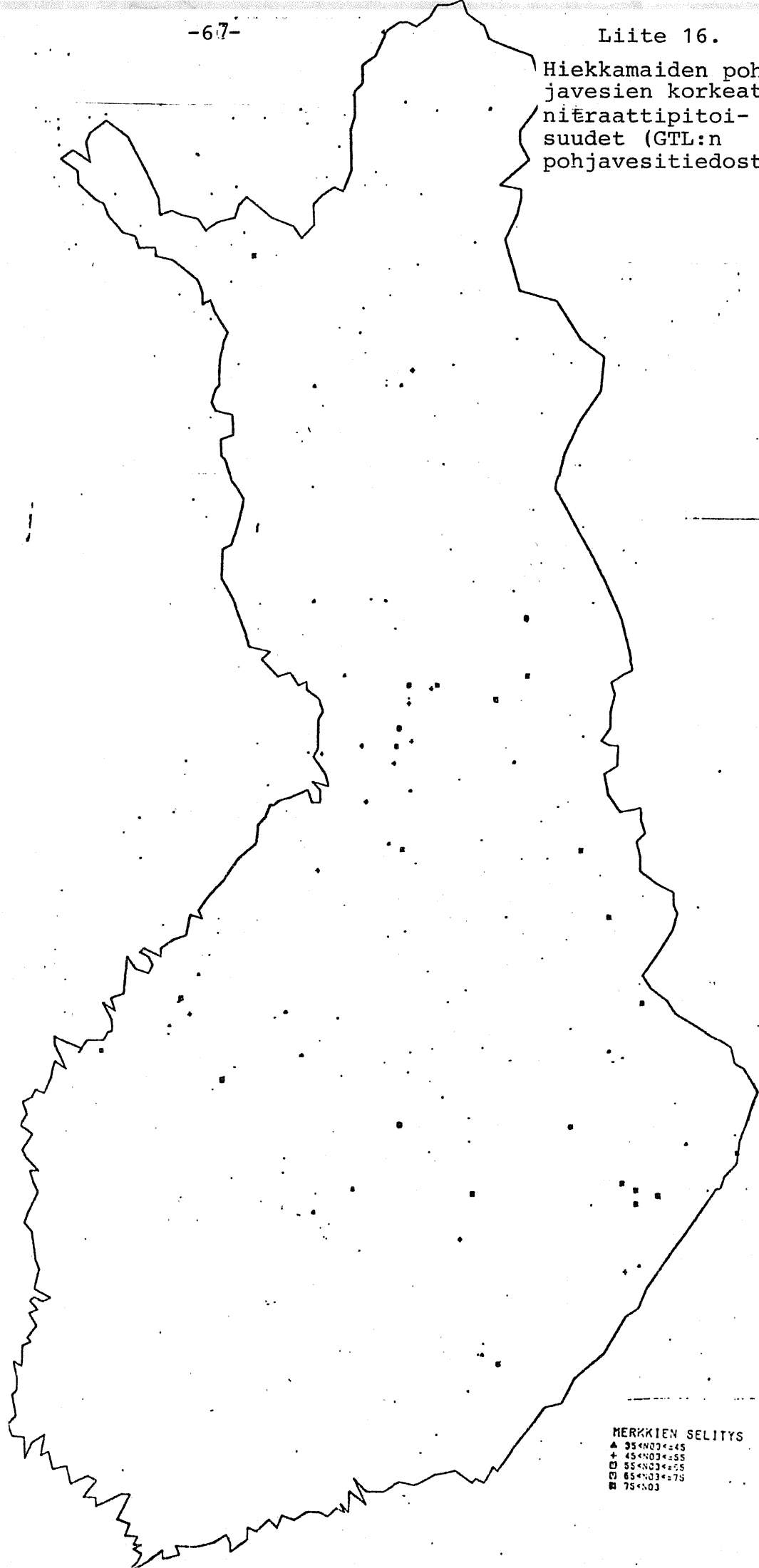
Moreenimaiden
pohjavesien
korkeat nit-
raattipitoi-
suudet (GTL:n
pohjavesitie-
dosto)



MERKKIEN SELITYS

- ▲ 35<N33<=45
- + 45<N33<=55
- 55<N33<=65
- 65<N33<=75
- 75<N33

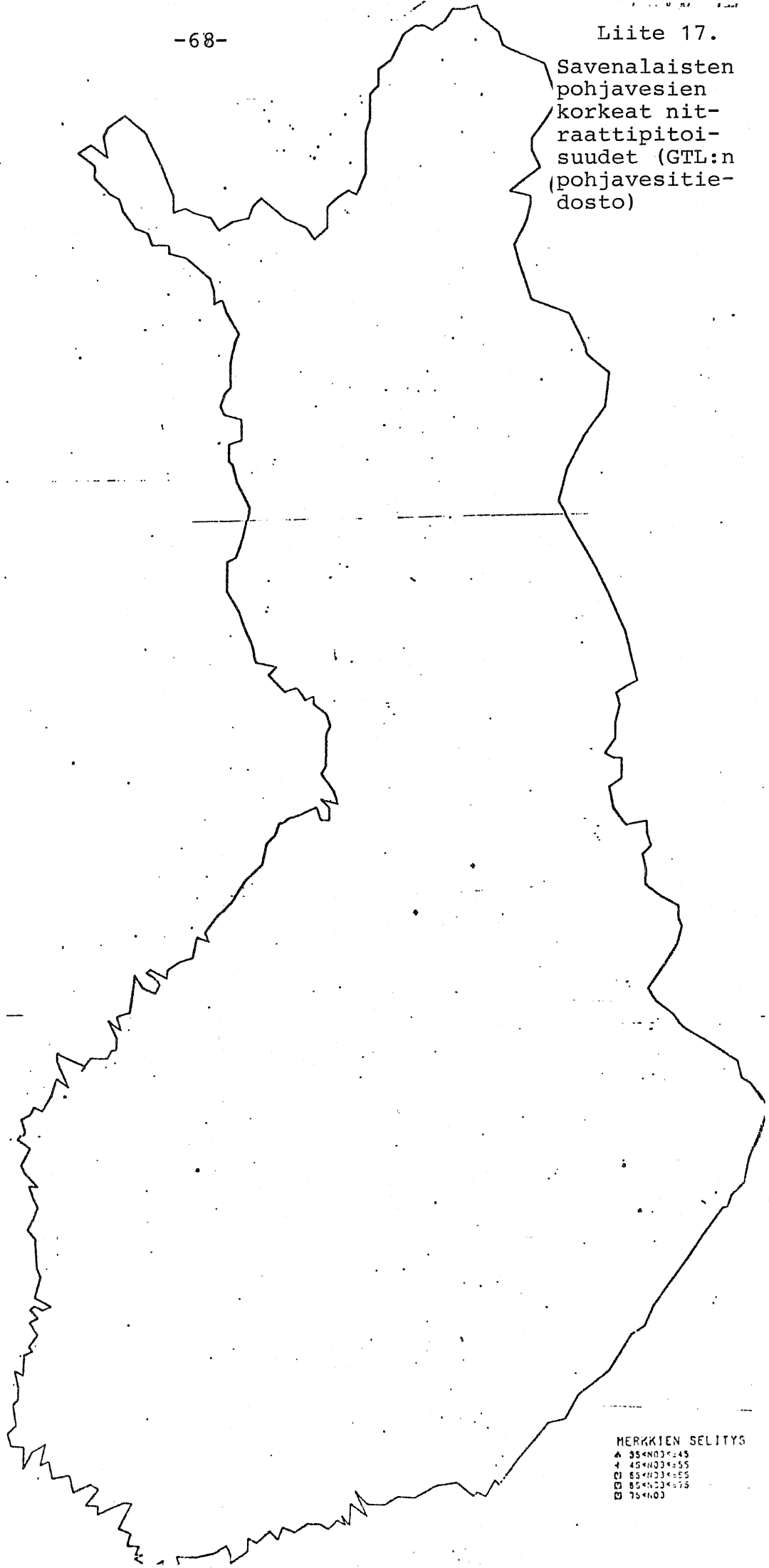
Hiekkamaiden poh-
javesien korkeat
nitraattipitoi-
suudet (GTL:n
pohjavesitiedoste



MERKKIEN SELITYS

- ▲ 35<NO3<=45
- + 45<NO3<=55
- 55<NO3<=65
- ◇ 65<NO3<=75
- 75<NO3

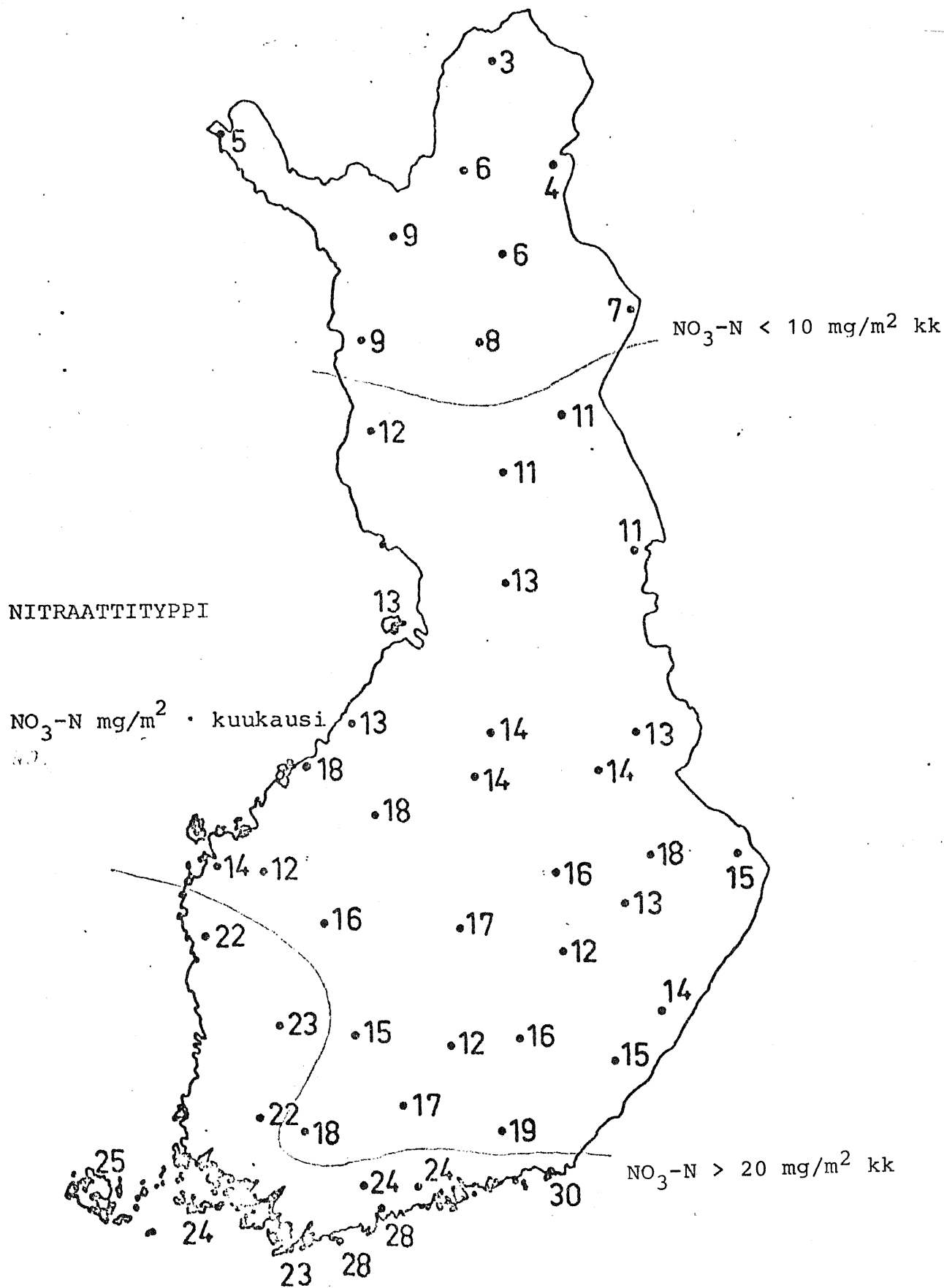
Savenalaisten
pohjavesien
korkeat nit-
raattipitoi-
suudet (GTL:n
pohjavesitie-
dosto)



MERKKIEN SELITYS

- ▲ 35KNO_3=45
- † 45KNO_3=55
- 55KNO_3=65
- 65KNO_3=75
- 75KNO_3

Keskimääräinen nitraattityyp-
laskeuma kuukausinäytteissä vuo-
sina 1971-1974 (Järvinen ja Haa-
pala 1980)



Kuva 11. Keskimääräinen nitraattityyp-
laskeuma kuukausinäyt-
teissä vuosina 1971-1974

Fig. 11. Average monthly deposition of nitrate nitrogen in
1971-1974

