Jukka Yli-Kuivila

Talvi ja tieliikenne -projekti

CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994

Tielaitos

Tielaitoksen
sisäisiä
julkaisuja
34/1994

Helsinki 1994

Liikenteen
palvelukeskus

Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja
34/1994

Jukka Yli-Kuivila

Talvi ja tieliikenne -projekti

CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994

Tielaitos
Liikenteen palvelukeskus

Helsinki 1994

TIEL 4000078
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2562

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Yli-Kuivila Jukka: CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994. Helsinki 1994, Tielaitos, Liikenteen palvelukeskus, Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 34/1994, 32 s. + liitt. 12 s.

Asiasanat CMA, pohjavesi, pohjaveden suojelu, kunnossapito

TIIVISTELMÄ

Kalsiummagnesiumasetaatin (CMA) laajamittaisen käytön mahdollisia pohjavesihaittoja tutkittiin levittämällä CMA:ta maalla täytettyjen astioiden pinnalle ja analysoimalla läpi suotautuneen veden laatua. Lysimetriastiat (syvyys 1,9 m, leveys 1,0 m ja pituus 2,0 m) rakennettiin Hyvinkään Latostenmaan sorakuopan reunalle syksyllä 1992. Lisäksi rakennettiin kaksi pienempää suodatusastiaa (pinta-ala 0,058 m^2 ja korkeus 90 cm).

Maan läpi suotautuneen veden hapenkulutus oli alkuun niin suurta, että varsinaisten kokeiden aloittaminen jouduttiin siirtämään kevättalveen 1994. Tällöin kolmen olosuhteiltaan vakiintuneen lysimetrin ja toisen suodatusastian pinnalle levitettiin CMA-rakeita yhteensä noin 1 kg/m^2, minkä arvioitiin vastaavan tienvierustalle kohdistuvaa kuormitusta, jos päätien liukkaudentorjunta hoidettaisiin natriumkloridin sijaan CMA:lla.

Olosuhteet olivat CMA:n kulkeutumiselle otollisia: maan tasaisuuden vuoksi pintavirtaus ei kuljettanut CMA:ta pois alueelta, hienoaineksen ja humuksen puuttuminen mahdollistivat veden ja CMA:n nopean imeytymisen maahan eikä asetaattia käyttäville mikrobeille ollut hyvää kasvualustaa.

Kentän läpi suotautuneen sulamisveden asetaattipitoisuus ja biologista hapenkulutusta kuvaava BHK_7 nousivat CMA-lisäyksen myötä tasolle 2000 mg/l:aan. Asetaatin kokonaismäärä lysimetrien läpi suotautuneessa vedessä vastasi noin 20 prosenttia levitetystä. Hiekkaisen soran läpi suotautui kaikkiaan enemmän asetaattia kuin karkean hiekan. Karkean hiekan läpi suotautuneen veden asetaattipitoisuudet pysyivät kuitenkin pidempään korkeina. Suodatusastiassa asetaatin hajoaminen oli tehokkaampaa kuin varsinaisella koekentällä (n. 95 % hajosi), mutta olosuhteetkin olivat asetaatin hajoamiselle otollisemmat, kuin normaalissa maaperässä. Lysimetrien läpi suotautuneen veden kalsiumpitoisuudet nousivat CMA:n levityksen myötä enimmillään tasolle 200 - 300 mg/l ja magnesiumpitoisuudet tasolle 150 - 200 mg/l.

Asetaatti on biologisesti hajoavaa, mutta veden alhainen pH, happipitoisuus tai lämpötila hidastavat hajoamista. Hapettomissa olosuhteissa asetaatin hajoaminen pysähtyy. Asetaatin hajotessa hiilidioksidin liukeneminen veteen alentaa veden pH:ta, mutta pH nousee, jos hiilidioksidi poistuu vedestä. CMA sinällään on emäksistä (1 g/l vesiliuoksen pH 9,6).

Talven aikana levitetyn CMA:n asetaatin todettiin kulkeutuvan karkeassa mineraalimaassa niin merkittävältä osin syvempiin maakerroksiin, että CMA:n laajamittaista käyttöä pohjavesialueilla tulisi välttää. CMA:n runsasta käyttöä ei suositella myöskään muilla tieosilla, koska happikato on yleinen ongelma Suomen matalissa ja runsasravinteisissa vesistöissä.

Yli-Kuivila Jukka: Infiltration Studies of CMA by Finnish National Road Administration in Winter 1993 - 1994. Helsinki 1994, Finnish National Road Administration, Traffic Services, Internal Publication 34/1994 of FinnRA, 32 p. + app. 12 p.

Keywords CMA, groundwater, maintenance

SUMMARY

Small scale infiltration studies were carried out during the winter 1993 - 1994 to determine how the massive use of calcium magnesium acetate (CMA) would affect groundwaters. Three vessels (depth 1.9 m, length 1.0 m and width 2.0 m) were inserted in the ground. Two of them were filled with sandy gravel and one with coarse sand. Two smaller vessels (0.058 m^2, depth 0.9 m) filled with sandy gravel were used for comparison. Circumstances in the test vessels were favorable for the infiltration of CMA: all the rain was either filtrated or evaporated because of the coarse and even surface, and the growing surface for microbes was poor because of the small content of fine or organic matter.

The complete CMA dosage was about 1 kg/m^2, which would correspond to the load on the main roads in Southern Finland, if deicing were carried out by CMA instead of NaCl.
BOD_7 and acetate concentration in infiltrated melting waters were up to 2,000 mg/l. Total residue of nondecomposable acetate corresponded to about 20 per cent of the input with a CMA dosage. The total acetate residue was slightly higher in sandy gravel than in coarse sand, but the contents stayed at a high level longer in coarse sand. Calcium concentrations rose up to 200 - 300 mg/l and magnesium concentrations to 150 - 200 mg/l.

The decomposition of acetate was more effective in a smaller vessel (95 %) probably because of higher temperatures (the vessel was not placed in the ground) and a more porous structure to the filling.

Infiltration of nondecomposable acetate to deeper ground layers was so significant in these tests that massive deicing with CMA should not take place in groundwater areas. Because low oxygen content is a common problem in typically shallow and eutrophic lakes in Finland, the use of CMA is not recommended elsewhere either.

ALKUSANAT

Teiden liukkaudentorjunnassa yleisesti käytetyn NaCl-suolan on paikoin todettu kulkeutuvan pohjavesiin, mikä saattaa heikentää veden soveltuvuutta talousvesikäyttöön. Korkeiden kloridipitoisuuksien aiheuttama korroosion kiihtyminen koskee suoranaisesti teiden ylläpitäjiä ja käyttäjiä. Näistä haitoista johtuen tiesuolan vähentämis- ja korvausmahdollisuuksia tutkitaan. Yhdysvalloissa saatujen kokemusten mukaan on CMA vaikuttanut parhaalta vaihtoehdolta kemialliseksi liukkaudentorjunta-aineeksi.

Tämä tutkimusraportti on jälkimmäinen osa Talvi ja tieliikenne -projektiin liittyvissä CMA-raporteista. Ensimmäisenä osana julkaistiin Tielaitoksen selvityksiä 38/1992 "CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus".

Tämän raportin on laatinut DI Jukka Yli-Kuivila Suunnittelukeskus Oy:stä. Hyvinkään tiemestaripiiri ansaitsee erityiskiitoksen avusta kokeiden käytännönjärjestelyissä.

Työtä on valvonut työryhmä, johon ovat kuuluneet Pertti Lahermo, geologinen tutkimuskeskus, Tuomo Hatva ja Esa Rönkä, vesi- ja ympäristöhallitus, Anne Leppänen, Pasi Jääskeläinen ja Olli Penttinen, tielaitos sekä Jorma Pääkkönen, Suunnittelukeskus Oy.

Helsingissä syyskuussa 1994

Liikenteen palvelukeskus

Talvi ja tieliikenne -projekti
Projektipäällikkö Anne Leppänen

Sisältö

1 TAUSTAA CMA:N POHJAVESIVAIKUTUKSISTA 7

2 TIELAITOKSEN CMA-LYSIMETRIKOKEET 8

2.1 Tavoite 8
2.2 Varsinaisen lysimetrikentän rakenne ja pystytys 9
2.3 Koejärjestelyt varsinaisella lysimetrikentällä 12
2.4 Pienten suodatusastioiden rakenne ja koejärjestelyt 14
2.5 Perustelut valitulle CMA-annostukselle 16

3 LYSIMETRIKENTÄN SEURANTATULOKSET 16

4 LABORATORIOANALYYSIEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU 19

5 JOHTOPÄÄTÖKSET 30

6 LÄHDELUETTELO 32

7 LIITTEET 32

1 TAUSTAA CMA:N POHJAVESIVAIKUTUKSISTA

Natriumkloridin laajamittainen käyttö nostaa tiealueelta suotautuvan veden kloridipitoisuutta, mikä saattaa heikentää sen käyttökelpoisuutta talousvedeksi. Korkea kloridipitoisuus lyhentää vedenjakelulaitteiden käyttöikää ja niistä liuenneet aineet saattavat heikentää veden laatua. Kalsiummagnesiumasetaatti eli CMA vaikuttaa vaihtoehtoisista kemiallisista liukkaudentorjunta-aineista sopivimmalta /Tielaitoksen selvityksiä 38/1992 /. Sen käyttöä on tutkittu lähinnä Yhdysvalloissa parisenkymmentä vuotta ja sitä on kokeiltu teillä 1980-luvun puolivälistä alkaen.

Monet mikrobit voivat käyttää asetaatin sisältämän hiilen ravinnokseen, eli CMA on biologisesti hajoavaa. Asetaatin biologisen hajotuksen myötä veden bakteerimäärät kasvavat. Biologinen hajoaminen vaatii aina sekä sopivan bakteerikannan että ravinteita (mm. typpeä, fosforia ja kaliumia). Bakteerien määrä riippuu niille käyttökelpoisen orgaanisen aineen määrästä. Tästä syystä esimerkiksi puhdas hiekka ei ole hyvä biologisen toiminnan käynnistymisen kannalta.

Teoriassa asetaatin hajotessa täydellisesti happea kuluu 0,44 g CMA-grammaa kohden (0,54 g O_2/ g asetaatti). Handbook of Environmental Control (1973) antaa suhteen BHK_5/ kalsiumasetaattipitoisuus arvoksi 0,43, mikä vastaa suhdetta BHK_5/asetaatti 0,58. BHK_7 on jonkin verran suurempi kuin BHK_5 (7 ja 5 vuorokauden biologiset hapenkulutukset). Alhainen lämpötila hidastaa asetaatin hajoamista olennaisesti.

CMA:n hajotessa muodostuu kalsium- ja magnesiumbikarbonaatteja, jotka nostavat veden alkaliteettia ja kovuutta, mikä tyypillisissä suomalaisissa vesissä ja maaperässä estää happamoitumista ja pienentää korroosioriskiä. Maaperään pidättyminen tapahtuu lähinnä karbonaattisakkana. Talousveden kalsiumpitoisuus saa sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen 74/94 teknis-esteettisten laatuvaatimusten mukaan olla enintään 100 mg/l. Magnesiumille vastaava arvo on 50 mg/l. Korkeat kalsium- ja magnesiumpitoisuudet johtavat saostumiin etenkin lämminvesilaitteissa.

Hapen kuluminen aiheuttaa ongelmia niin pohja- kuin pintavesissäkin. Jos pohjavesi muuttuu hapettomaksi, kohoaa tavallisesti ainakin rauta- ja/tai mangaanipitoisuus. Veteen tulee myös helposti hajua. Hapettomassa vedessä ei myöskään enää tapahdu CMA:n hajoamista (jos vedessä ei ole nitraattia, jota osa mikrobeista voi käyttää happilähteenä).

Osa CMA:sta hajoaa vajovesivyöhykkeessä, jo ennen kuin se joutuu pohjaveteen. Vajoveden happipitoisuus ei pääse laskemaan yhtä helposti

kuin pohjaveden, koska veteen liukenee happea huokosilmasta. Vajovesivyöhykkeessä osa muodostuneesta hiilidioksidista erottuu vedestä, veden pH nousee ja kalsium- ja magnesiumsuoloja saostuu maaperään.

Liikenteen vaikutuksesta tieympäristön raskasmetallipitoisuudet nousevat. Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimusten mukaan raskasmetallit saattavat mobilisoitua korkeiden CMA-pitoisuuksien vaikutuksesta (Amrhein et. al. 1994).

2 TIELAITOKSEN CMA-LYSIMETRIKOKEET

2.1 Tavoite

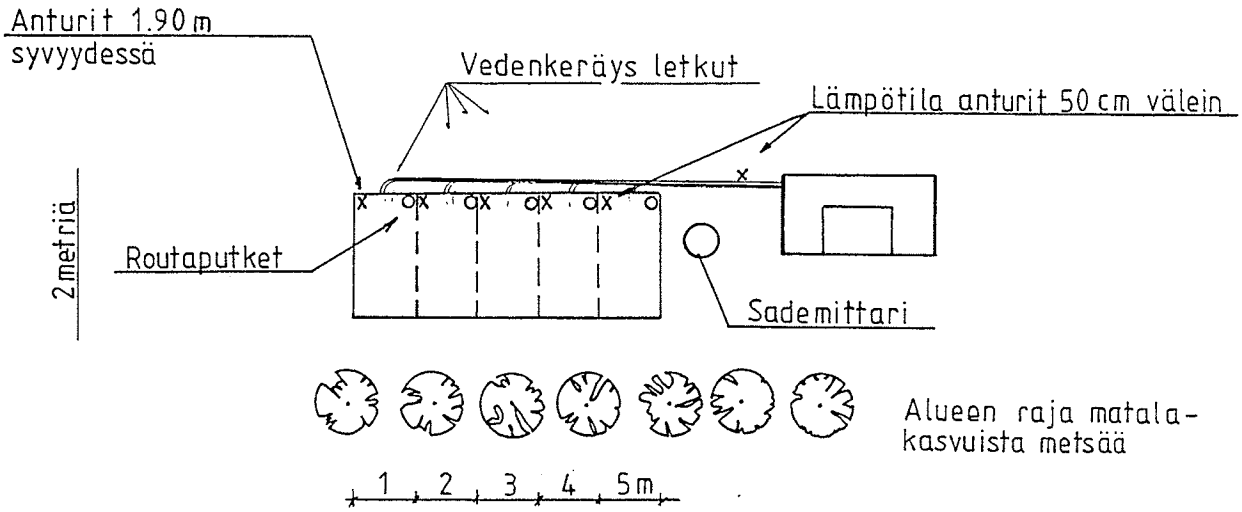
Pienimuotoisten lysimetrikokeiden tavoitteena oli selvittää, missä määrin CMA pidättyy karkerakeiseen maa-ainekseen. Maalajivalinnalla simuloitiin tärkeiden pohjavesialueiden maaperää tilanteessa, jossa pinnalla ei ole maannoskerrosta. Lähinnä oltiin kiinnostuneita asetaatin kulkeutumisesta ja sen jäännöksen aiheuttamasta biologisesta hapenkulutuksesta, joihin ei ole ulkomaisissa tutkimuksissa juurikaan kiinnitetty huomiota.

Lysimetrin tulisi monien asiantuntijoiden mielestä asettua viitisen vuotta, ennen kuin sen voidaan katsoa edustavan luonnon tilaa /Bärlund I. 1992/. Koska tuloksia haluttiin nopeasti, ei kentän asettumista voitu odottaa vuosia, vaan tyydyttiin suuntaa antaviin selvityksiin. Karkearakeisilla maalajeilla, joiden päällä on vain vähäinen maannos ja kasvusto, tapahtuu suotautuminen nopeasti. Vaikka karkeankin maan pintakerroksen bakterologia ja kemia vaativat aikaa vakiintuakseen, oletettiin lysimetrin kuvaavan tälläistä maaperää melko hyvin jo vuoden kuluttua rakentamisesta.

CMA:n suotautumista tutkittiin myös suurehkoja maahan upotettuja lysimetrejä olennaisesti pienemmässä suodatusastiassa. Pienempi maa-ainesmäärä saatiin vesihuuhteluin nopeasti käyttökelpoiseen kuntoon ja muut mahdolliset kuormituslähteet oli helppo eliminoida. Näiden kokeiden avulla haluttiin saada vertailuaineistoa varsinaisille lysimetrikokeille ja varmistaa ainakin suuntaa-antavien tulosten saanti.

2.2 Varsinaisen lysimetrikentän rakenne ja pystytys

Lysimetrikenttä rakennettiin vuoden 1992 syys-lokakuun vaihteessa valtion omistaman Latostenmaan asfalttiaseman ja soranottoalueen yhteyteen Hyvinkäälle. Alue on Hyvinkää-Mäntsälä tien (53) ja Ridasjärvi-Jokela tien (1403) liittymän tuntumasssa. Kenttä, jonka rakenne ilmenee kuvasta 1 sijoitettiin soranottoalueen rajalle kuopan suojavyöhykkeelle.



Kuva 1: Hyvinkään Latostenmaan lysimetrikentän rakenne

Lysimetrikenttään kuuluvat seuraavat osat:

* viiteen yhtä suureen osaan jaettu lysimetriastiasto, jonka sisämitat:
  pituus 5 * 1,0 m
  leveys 2,0 m
  syvyys 1,8 - 1,9 m
* kunkin lysimetrin pohjalta veden poistoputki:
  halkaisija 2,5 cm (pituus n. 15 cm)
  90 ° kulma
* poistoputkiin kiinnitetyt letkut
* maahan kaivettu lämpöeristetty suotoveden keräyskoppi, sisämitat:
  pituus 2,5 m
  leveys 1,5 m
  syvyys 2,5 m
* suotoveden keräilyastia kullekin lysimetrille
  80 litran kannellisia muovisaaveja

* routaputki kuhunkin lysimetriin ja käsittelemättömään maahan
  vesi- ja ympäristöhallinnon käyttämä malli, pituus 2,5 m
* lämpötila-anturit viiteen eri syvyyteen yhteen lysimetriin ja käsittelemättömään maahan sekä kunkin lysimetrin pohjalle
  halpoja ulkolämpömittareita yhteensä 14 kpl
* sademittari (ilmatieteenlaitoksen käyttämä malli)

Lysimetrit asennettiin maahan 28.9.1992 ja työ viimeisteltiin 5.10.1992.

Lysimetriastiasto rakennettiin 5 cm * 10 cm lankuista ja 12 mm:n vesivanerista yhtenä kokonaisuutena. Vanerisia pohjalevyjä taivutettiin siten, että ne viettävät kunkin lysimetrin vedenpoistoaukkoa kohti. Haponkestävästä teräksestä tehty poistoyhde kinnitettiin Würthin tiivistemassaliimaseoksella astiaston sivuseinään. Kaikki saumat tiivistettiin samalla aineella.

Suotoveden poistoletku oli ristikudosvahvistettua kirkasta PVC-muovia. Suotoveden keräyskoppi rakennettiin vesivanerista. Kopin sisäpuoli vahvistettiin 30 cm:n jaolla olevilla painekyllästetyillä 5 cm * 10 cm lankuilla ja lämpöeristetty 10 cm styrox-levyillä. Alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen rakennettiin koppiin myös pohja. Kopin seinät olivat pystysuorat ja 1,5 metriä korkeat. Katto oli vino 1 m * 1 m kulkuluukkua lukuunottamatta. Koppi kaivettiin 2,5 syvyyteen, jolloin kulkuluukku jäi maanpinnan tasoon. Kulkuaukon puoleisella seinällä oli kiinteät tikapuut.

Maa oli helposti kaivettavaa ja seinämät tehtävissä pystysuoriksi. Lysimetriastiastoa varten kaivetun kuopan pohja tasattiin noin 20 cm hiekkakerroksella. Lysimetri asennettiin kuopan pohjalle ja poistoletkut kiinnitettiin poistoyhteisiin. Letkut työnnettiin suojaputken sisään ja peitettiin maalla. Routaputket asennettiin lysimetreihin. Neljään lysimetriin asennettiin lämpötila-anturi pohjalle (190m cm) ja yhteen viisi anturia maanpinnalta 50 cm:n välein. Vedenpoistoaukkojen edustalle laitettiin suodatinsoraa. Lysimetrejä täytettiin samaa tahtia kuin kuoppaa sen ympärilläkin. Lysimetrit täytettiin 20 - 40 cm kerroksin, jotka tiivistettiin polkemalla. Koska maa oli melko kivistä, poimittiin osa suurista kivistä pois.

Lysimetriastiaston täytön jälkeen tehtiin kaivanto letkujen suojakourua ja suotoveden keräyskoppia varten. Koppi asennettiin kuoppaan ja letkut vedettiin sen seinään tehdystä aukosta sisään. Letkujen suojakouru peitettiin asennushiekalla. Kopin läheisyyteen maahan asennettiin lämpötila-anturit 50 cm välein maanpinnasta ja routaputki. Kaivanto ja keräyskopin kuoppa täytettiin.

Kolmen lysimetrin täytteenä oli hiekkaista soraa, jonka rakeisuuskäyrä vastasi likimäärin tien kantavan kerroksen ohjekäyrää. Yhden lysimetrin täytteenä oli karkeaa routimatonta hiekkaa. Hiekan kantavuutta kuvaava E-moduli oli noin 100, joten sitä voitaisiin käyttää tienrakennuksessa. Viidennen lysimetrin täytteenä oli routivaa soraista hiekkamoreenia, jollaista ei sellaisenaan käytettäisi tienrakennuksessa. Liitteissä 3 - 5 on maalajien rakeisuuskäyrät. Taulukossa 1 on maalajien rakeisuuden tunnuslukuja:

Taulukko 1: Lysimetrien täytemaiden tunnuslukuja

Maalaji	d_{50} [1 mm	C_u [2	Hienoaines-% (<0,06 mm)	Sora-% (>2 mm)
Hiekkainen sora, 3 kpl	3	17	< 2	55
Karkea hiekka, 1 kpl	0,7	4,5	< 2	8
Hiekkamoreeni, 1 kpl	0,25	47	25	32

[1 d_{50} = rakeiden keskiläpimitta

[2 C_u = raekokosuhde (d_{60} / d_{10})

Yhden soratäytteisen lysimetrin pinnalle levitettiin 1,5 cm kerros VAPO:n Kestomultaa ja noin 4 cm:n paksuinen savi-ruohomatto. Savi-ruohomatto siirrettiin luontaiselta kasvualustalta lysimetrin pinnalle parin lapiollisen kokoisina paloina. Ruohomatto vaikutti rehevältä ja hyväkuntoiselta: matoja oli melko paljon ja siinä kasvoi ruohon lisäksi mm. apilaa. Pinnalle kylvettiin tielaitoksen ruohonsiemen sekoitusta.

Hiekkainen sora ja karkea hiekka oli otettu kahdesta kohtaa sorakuopan rintausta ja ne edustivat lähinnä maannoskerroksen alapuolista rikastumiskerrosta. Hiekkamoreenin alkuperä oli epämääräinen, koska se haettiin läheiseltä ylijäämämaiden kaatopaikalta.

Lysimetrialueen maanpinta tasoitettiin rakennusvaiheessa. Lysimetreissä maanpinta muotoiltiin hieman laidoilta keskustaa kohti viettäväksi ja laidoilta hieman ympäristöä ylemmäksi. Näin haluttiin välttää lysimetrin ja ympäristön vesien sekoittuminen. Veden imeytyvyyden testaamiseksi ja lysimetrin kostumisen nopeuttamiseksi kasteltiin kutakin lysimetriä täyttämisen jälkeen 20 litralla vesijohtovettä, mikä vastaa 10 mm:n sademäärää.

2.3 Koejärjestelyt varsinaisella lysimetrikentällä

Hyvinkään tiemestaripiirin henkilöstö hoiti sademittarin lukemisen ja CMA:n levityksen asfalttiaseman ollessa miehitettynä. Suunnittelukeskus Oy:n henkilöstö haki vesinäytteet sekä kirjasi käyntien yhteydessä lämpötilat ja routakerrokset. Vesinäytteet analysoitiin Suunnittelukeskus Oy:n ympäristölaboratoriossa lukuunottamatta asetaattimäärityksiä, jotka tehtiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen Ympäristölaboratoriossa.

Kokeissa käytettyjen CMA-pellettien tilavuuspaino oli 0,74 kg/dm^3. Kahteen hiekkaista soraa ja yhteen karkeaa hiekkaa sisältävään lysimetriin annosteltiin yhteensä 3,0 litraa CMA:ta kuhunkin. Kerralla syötettiin 250 ml ja syöttöpäivät olivat seuraavat:

tammikuu 1994 20.
maaliskuu 1994 18., 21., 22., 23., 24., 25., 28., 29. ja 31
huhtikuu 1994 5. ja 7.

CMA:ta oli alunperin tarkoitus levittää kentälle jo talvella 1992-93. Alkutilanteen epämääräisyyden vuoksi ei CMA:ta kuitenkaan vielä ensimmäisenä talvena syötetty, vaan kenttien annettiin asettua ja puhdistua. Tilanne saatiin lopullisesti korjaantumaan, kun letkut loppusyksyllä 1993 puhdistettiin ja kentät huuhdeltiin runsaalla vedellä.

CMA:n syöttö aloitettiin, kun oli saatu varmistettua, että lysimetrin läpi suotautuneen veden biologinen hapenkulutus ja asetaattipitoisuus lähtötilanteessa olivat alhaiset. Asfalttiasema oli alkuvuodesta miehittämätön, mikä johti väärinkäsityksiin eikä CMA:ta levitetty tasaisesti viikoilla 3 - 12 vaan tiiviin aikataulun mukaan lopputalvesta.

Taulukossa 2 on esitetty kokeiden keskeisiä tapahtumia ja kentän läpi suotautuneen veden määriä.

Taulukko 2: Latostenmaan CMA-lysimetrikentän keskeisiä tapahtumia

Pvm	Tapahtuma
28.9.92	Kentän rakentaminen
5.10.92	Kentän viimeistely
15.10.92	Kentän seurantakoulutus
2.11.92	Näyte, vakiintumattomat olosuhteet
17.11.92	Näyte, ilmalukko 5. letkussa, vakiintumaton
7.12.92	Näyte, vakiintumaton
26.1.93	Näyte, 1. samea kalvo pinnalla, 4. ilmalukko, vakiintumaton
7.4.93	Näyte
28.9.93	Näyte, 3. ilmalukko, letku irtosi lysimetrin päästä
15.11.93	3. letkun kiinnitys sekä letkujen puhdistus ja lyhennys
8.12.93	Kentän huuhtelu vesijohtovedellä, 20 l kentälle 1 ja 92 l kentille 2 - 5
13.12.93	Näyte
20.1.94	Näyte, 4. ilmalukko, nollanäytteet, CMA:n kertalevitys kentille 2,4 ja 5
17.3.94	Nollanäytteet, CMA:n säännöllinen levitys aloitettiin (11 *180 g/kenttä)
7.4.94	CMA:n levitys lopetettiin (kokonaisannos 2,2 kg/ kenttä), lumipeite kentän vierellä sulamassa loppuun
12.4.94	Näyte, 4. ilmalukko, jonka purkauduttua voimakasta virtausta, 3. kentän pintakerros poistettu
19.4., 26.4., 3.5., 16.5., 27.5. ja 29.6.94	Näyte

Hiekkamoreenilla täytetty lysimetrikenttä näyttäisi nyt kahden vuoden asettumisen jälkeen olevan kokeisiin soveltuvassa kunnossa. Tähän mennessä siihen ei ole levitetty CMA:ta.

Pitoisuudet lysimetrissä, jossa hiekkaisen soran päälle oli levitetty savinen kasvukerros, käyttäytyivät epämääräisesti eikä vesi näyttänyt tulevan kunnolla kentän läpi. Pitkän tauon jälkeen vettä kuitenkin virtasi runsaasti huhtikuun alkupuolella ja 12.4.94 otetussa näytteessä asetaattipitoisuus oli korkea, mikä johtunee kasvukerroksesta irronneista aineksista. Kentän pinnalta poistettiin kasvukerros 12.4.94, minkä jälkeen asetaattipitoisuudet ja BHK_7 laskivat melko nopeasti. Kesäkuun lopulla otetussa näytteessä asetaattipitoisuus oli analyysitarkkuuden rajoilla.

Kuvaajat kahden CMA-lisäyksettä jääneen lysimetrin asetaatti-, kalsium- ja magnesiumpitoisuuksista, BHK_7:stä sekä pH:sta ovat liitteessä 6.

2.4 Pienten suodatusastioiden rakenne ja koejärjestelyt

Koesuodattimet rakennettiin muovisesta viemäriputkestä, jonka sisähalkaisija oli 27,2 cm (sisäpinta-ala 0,0581 m^2). Pystyyn asennetun astian korkeus oli noin metrin. Putken alapäähän liimattiin tiiviisti kansi, johon kiinnitettiin hana. Maan läpi suotautunut vesi saatiin poistettua astiasta hanaa avaamalla. Astioiden päällä pidettiin kantta, mistä syystä täytemaa ei kuivunut normaalilla tavalla ja kaikki läpi suotautunut vesi oli lisättyä vettä.

Astiat täytettiin hiekkkaisella soralla, joka oli samaa kuin suuremmissa lysimetreissä. Täytettä oli kummassakin suodattimessa 90 cm:n paksuudelta.

Alustavien tulosten saamisen varmistamiseksi tehtiin talvella 1993-1994 koesarja myös kahdessa hiekkaisella soralla täytetyssä suurehkossa suodatusastiassa. Toiseen niistä lisättiin kerralla 2 g tai 4 g CMA:ta ja 0,5 l vettä. Vertailusuodattimeen lisättiin aina sama määrä vettä kuin koesuodattimeenkin. Koesuodattimet olivat ulkona varjoisessa paikassa. Ne olivat yli kahden kuukauden ajan täysin jäässä, mistä syystä niihin ei tänä aikana lisätty vettä. Kokeen käyttöpäiväkirjatiedot ovat taulukossa 3.

*Taulukko 3: Suodatusastialla (0,058 m^2 * 0,90 m) tehdyn kokeen käyttöpäiväkirjatiedot*

Päivämäärä	CMA-lisäys (2 g)	CMA-lisäys yhteensä g	Vesi-lisäys (500 ml)	Vesilisäys yhteensä l	Huomautuksia
15.12.93					Suodattimet huuhdeltiin 15 l:lla vettä
20.12.93	*	2	*	0,5	Nollanäytteet
25.12.93	*	4			
31.12.93	*	8	*	1,0	
8.1.94	**	12	*	1,5	
13.1.94	*	16			Vettä ei lisätty pitkään aikaan, koska
15.1.94	*	18			pakkanen jäädyttänyt suodattimen
18.1.94	*	20			
22.1.94	**	24	*	2,0	
12.3.94	*	26			
29.3.94	*	28	*	2,5	Pakkaset lopulta ohi
4.4.94	*	30			
9.4.94	*	32	*	3,0	
14.4.94	*	34			
18.4.94	*	36	*	3,5	
20.4.94	*	38			
24.4.94	*	40	*	4,0	
28.4.94	*	42	*	4,5	
4.5.94	*	44	*	5,0	
11.5.94	*	46	*	5,5	
15.5.94	*	48	*	6,0	
27.5.94	*	50	*	6,5	

2.5 Perustelut valitulle CMA-annostukselle

CMA:n käyttökokemusten perusteella sitä tarvittaisiin liukkaudentorjunnassa painossa laskien noin 1,3-kertainen määrä suolaan nähden eli Etelä-Suomen pääteillä talven aikana noin 13 tn/tie-km /Tielaitoksen selvityksiä 38/1992/. Pitoisuuksien kannalta keskeistä on, kuinka suuri osa CMA:sta kulkeutuu pintavalunnan mukana ja miten leveältä vyöhykkeeltä veteen liuennut CMA suotautuu maaperään. CMA:n pitoisuudella on suuri vaikutus siihen, miten hyvin maan pintakerros pystyy sen pidättämään ja mikä osa suotautuu pohjaveteen. Kaksikaistaisen tien päällystetty ajorata on tyypillisesti noin 10,5 metriä leveä. Päällystämättömän lähivaikutusalueen (piennar, luiska ja ojan pohja) leveyden voidaan arvioida olevan noin 7 m, eli 14 metriä, kun huomioidaan tien molemmat puolet. Jos oletetaan pintavalunta tien lähivaikutusalueelta olemattomaksi, jolloin kaikki vesi suotautuu maaperään kyseisen alueen läpi, päädytään keskimääriseen talviseen levitysmäärään 1 kg CMA:ta pengerneliömetriä kohti.

Todellisen tienvarsitilanteen simuloiminen on hyvin hankalaa. Penkereeseen tuleva vesimäärä on noin kaksinkertainen sadantaan nähden, koska vesi valuu päällystetyltä alueelta penkereelle. Valunta ei tapahdu tasaisena kerroksena, vaan keskittyy tiettyihin kohtiin. Suolan tai CMA:n pitoisuus ei myöskään jakaudu tasaisesti koko päällystämättömälle penkereelle, vaan tienvieren pitoisuudet lienevät korkeampia kuin luiskan alapään. Talvella vesi ei roudan johdosta pääse imeytymään maaperään, mutta CMA:n vaikutusta routaan ja lumivalleihin on vaikea arvioida. Lumen sulaessa maa on vielä roudassa, mikä saattaa estää veden imeytymisen maaperään. Vaikka maaperä muuten olisikin karkearakeista, ovat ojanpohjat usein liettyneet, mikä lisää veden pintavirtausta. Tällä saattaisi olla merkitystä myös CMA:n hajoamisen kannalta. Kun routa on sulanut, saattaa karkearakeisessa maaperässä suuri osa tieltä tulevasta vedestä imeytyä maahan ennen reunaojia.

3 LYSIMETRIKENTÄN SEURANTATULOKSET

Lysimetrien läpi suotautunut vesi haisi alkuun ummehtuneelta ja veden biologinen hapenkulutus oli korkea. Letkuihin ja keräilysaavien pohjalle kertyi rautapitoista sakkaa. Vesi oli ajoittain sameaa ja likaisen näköistä. Todennäköisesti tämä johtui lähinnä käytetystä maa-aineksesta, mutta lysimetrin rakenteiden tuoreudellakin saattoi olla merkitystä.

Letkuihin muodostui ilmalukkoja, jotka estivät veden virtauksen lysimetristä keräyssaaveihin. Tilanne korjaantui suurelta osin, kun letkuja lyhennettiin syksyllä 1993. Kentän huuhtelun (8.12.1993) jälkeen vaikutti siltä, ettei vesi päässyt suotautumaan 3. lysimetriin. Tilanteen korjaamiseksi päätettiin sen savinen kasvukerros poistaa. Tuulen kuljettama pöly, jota liikkui paljon sorakuopalla, oli entisestäänkin tiivistänyt etenkin kyseistä lysimetrin pintaa. Kentiltä saaveihin kertyneet vesimäärät käyvät ilmi taulukosta 4, jossa on myös summittaiset routatiedot.

Taulukko 4: Latostenmaan CMA-lysimetrien läpi suotautuneita vesimääriä

Päivämäärä	Kentältä kertynyt vesimäärä, l					Huomautuksia
	1	2	3	4	5	
2.11.92	10	12	51	45	50	Routaa syvyydellä: n. 5-35 (48) cm
17.11.92	34	61	34	42	-	Routaa 70/100 cm, ilmalukko 5. letkussa
7.12.92	51	>80	37	>80	51	
26.1.93	28	>80	65	-	>80	Routaa n. 90 cm, samea kalvo 1. pinnalla, 4. ilmalukko
7.4.93	1	4	3	>80	-	Routaa syvyydellä 25-90 cm pinnasta
28.9.93	>80	>80	31	>80	>80	3. ilmalukko, letku irtosi lysimetrin päästä
13.12.93	-	46	-	>80	18	Routaa n. 10 cm
20.1.94	-	>80	-	-	40	Routaa n. 90 / 110 cm, 4. ilmalukko, CMA:n I kertalevitys kentille 2,4 ja 5
17.3.94	-	55	-	40	3	CMA:n säännöllinen levitys aloitettiin
12.4.94	5	5	>80	70	>80	Routaa syvyydellä 20 - 110 cm pinnasta, 4. ilmalukko, jonka purkauduttua voimakasta virtausta, 3. kentän pintakerros poistettu
19.4.94	-	>80	42	>80	74	
26.4.94	-	69	28	55	45	Routaa syvyydellä 55-125 cm
3.5.94	-	>80	15	46	51	Routaa syvyydellä 90-120 cm
16.5.94	58	50	10	10	23	Routaa syvyydellä 110 - 120 cm
27.5.94	4	51	12	9	5	Sula
29.6.94	>>80	>80	47	58	59	

Ensimmäisellä CMA:n levityskerralla maa oli roudassa noin metrin syvyyteen saakka ja maassa oli noin 10 cm jäinen lumikerros. Toisella levityskerralla routaa oli noin 130 cm ja lunta noin 17 cm. Maaliskuun lopulla lumikerros kentän vieressä kasvoi vielä 8,5 cm, mutta suli pois huhtikuun 8. päivään mennessä. Lumen pinnalle heitetyn CMA:n sulatusvaikutus näytti vähäiseltä.

Routaputket ja lämpömittarit osoittautuivat heikoiksi: Yksikään alkuperäinen routaputki ei ollut enää kokeiden loppuvaiheessa ehjänä ja lämpömittareista 4 oli kokonaan lakannut toimimasta ja 3 näytti vain ajoittain oikean tuntuisia lukemia. Kentällä käyntien yhteydessä kirjatut routahavainnot ovat liitteessä 6 ja lämpötilahavainnoista piirretyt kuvaajat liitteessä 7.

Lysimetrikentälle kohdistuvan sateen määrää seurattiin Suomen standardisademittarin H&H 1992 avulla niinä aikoina, kun Latostenmaan asfalttiasemalla oli Hyvinkään tiemestaripiirin laborantteja työssä. Taulukossa 5 on seurantatulokset alkuvuoden 1994 osalta. Ilmatieteenlaitoksen lähin virallinen seurantapiste on Hyvinkään maatalousopistolla, joka on lysimetrikentästä noin 9 km länteen. Siellä mitatut kuukausittaiset sademäärät lokakuusta 1993 kesäkuuhun 1994 ovat taulukossa 6.

Taulukko 5: Latostenmaan lysimetrikentän päivittäiset sademäärät 17.3.-7.7.1994

Päivämäärä	Sademäärä, mm	Päivämäärä	Sademäärä, mm
24.3.94	11,0	23.5.94	25,0
25.3.94	2,5	27.5.94	5,9
30.3.94	4,8	2.6.94	1,2
1.-5.4.94	34,4	6.6.94	4,2
7.4.94	4,7	9.6.94	0,2
8.4.94	5,1	10.6.94	3,3
14.4.94	0,8	13.6.94	0,7
15.4.94	4,6	17.6.94	2,2
16.-18.4.94	6,9	20.6.94	9,2
19.4.94	0,2	22.6.94	3,1
30.4.-2.5.94	3,8	23.6.94	4,2
		27.6.-7.7.94	23,0

Taulukko 6: Hyvinkään maatalousoppilaitoksen kuukausittaiset sademäärät

Kuukausi	Sademäärä, mm
lokakuu 1993	50,0
marraskuu 1993	3,0
joulukuu 1993	65,0
tammikuu 1994	58,9
helmikuu 1994	0,6
maaliskuu 1994	57,4
huhtikuu 1994	58,1
toukokuu 1994	51,7
kesäkuu 1994	66,4

Hyvinkään maatalousoppilaitoksella mitatut sademäärät kuvaavat hyvin myös lysimetrikentälle tullutta sadetta talviajan osalta (huhtikuun sademäärät 58 ja 57 mm). Kesäajan kuurosateet saattavat sen sijaan olla hyvinkin paikallisia ja sademäärät sen vuoksi poiketa lysimetrikentälle kohdistuneista. Ne täydentävät kuitenkin lysimetrikentän sademäärätietoja, sillä kentän mittaria ei luettu päivittäin.

4 LABORATORIOANALYYSIEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Maan läpi suotautuneen veden tutkimustuloksia on verrattu liuokseen, joka tehtiin liuottamalla 1000 mg CMA:ta 1000 ml tislattua vettä (taulukko 7).

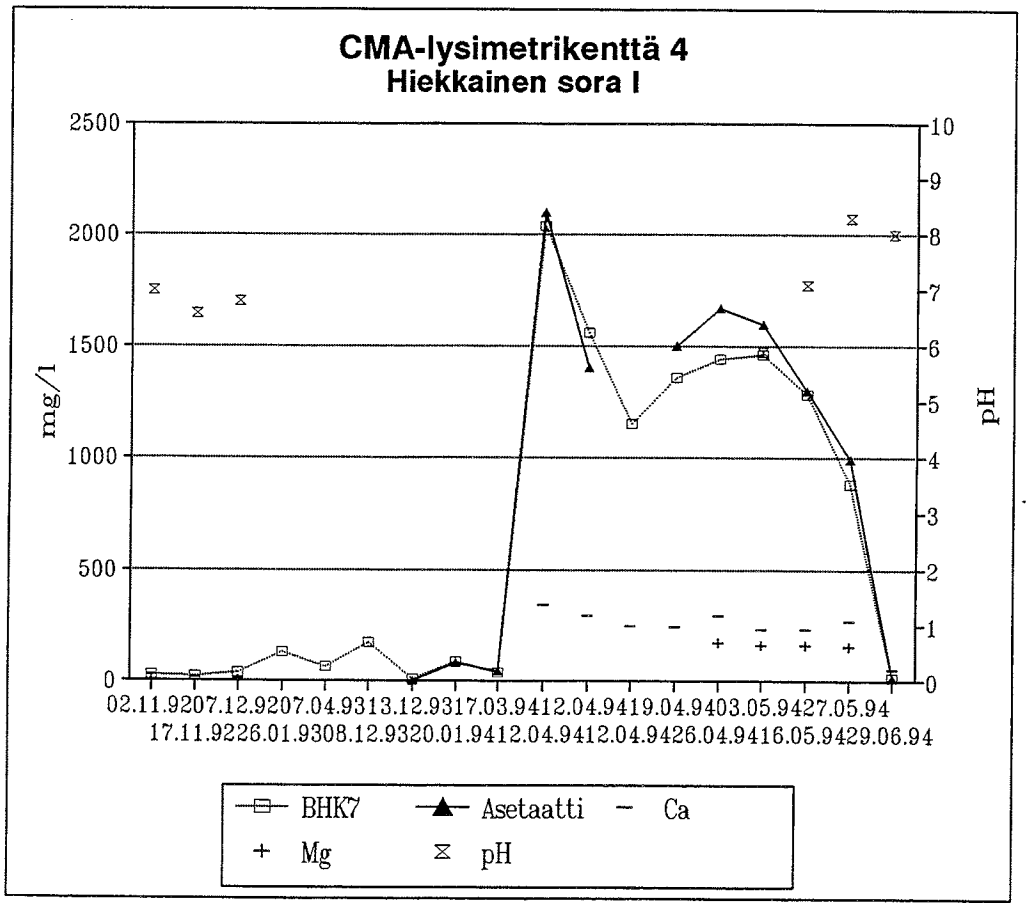
Taulukko 8: CMA-liuoksen 1000 mg/l analyysituloksia

pH		9,6
BHK_7	mg/l	612
Kalsium	mg/l	76
Magnesium	mg/l	110
Alkaliteetti	mval/l	7,9
Asetaatti	mg/l	730

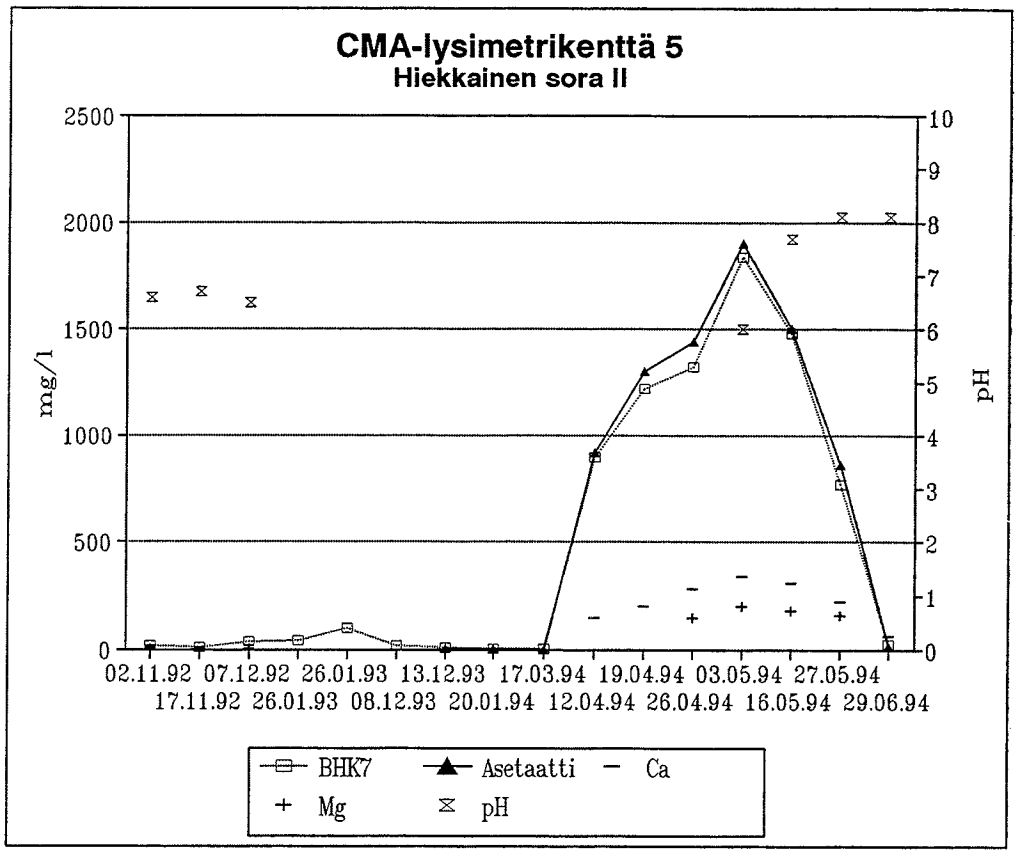
Kemiallisen hapentarpeen (KHT) laboratoriomäärityksistä vain dikromaatin avulla tehtävä määritys on sovelias (COD_{Cr}). Asetaattipitoisuudet eivät vaikuta kaliumpermanganaatin kulutuksen ($KMnO_4$) perusteella saatuun määritystulokseen. Kaliumpermanganaatti on ilmeisesti liian heikko hapetin. Koska asetaatti hajoaa helposti biologisesti, todellinen biologinen ja kemiallinen hapenkulutus ovat lähellä toisiaan.

Hyvinkään Latostenmaan lysimetrikentän vesinäytteiden laboratorioanalyysien tulokset ovat kokonaisuudessaan liitteessä 1. Pienen suodatusastian näytteiden tulokset ovat puolestaan liitteessä 2.

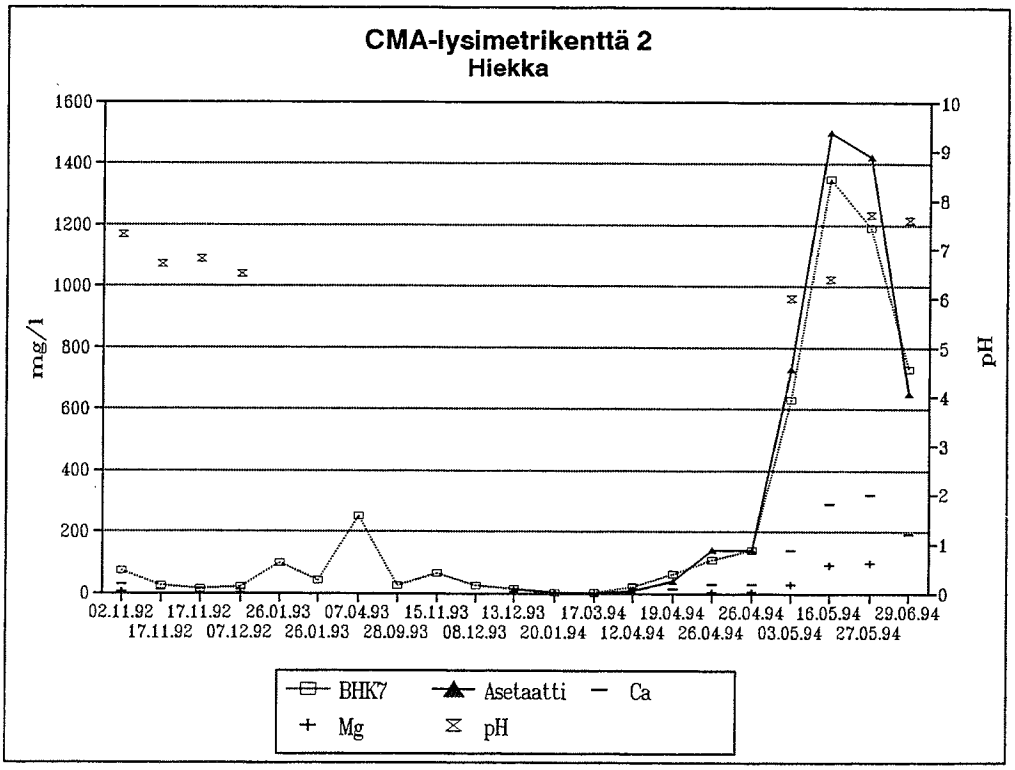
CMA:ta lisättiin kahden hiekkaisen soran lysimetrin ja hiekkaa sisältävän lysimetrin pinnalle. Hiekkaisen soran lysimetrien asetaatti-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet, BHK_7 sekä pH on esitetty kuvissa 2 ja 3. Vastaavat tiedot karkeaa hiekkaa sisältäneen lysimetrin osalta on esitetty kuvassa 4 ja suotautumisastian osalta kuvassa 5.



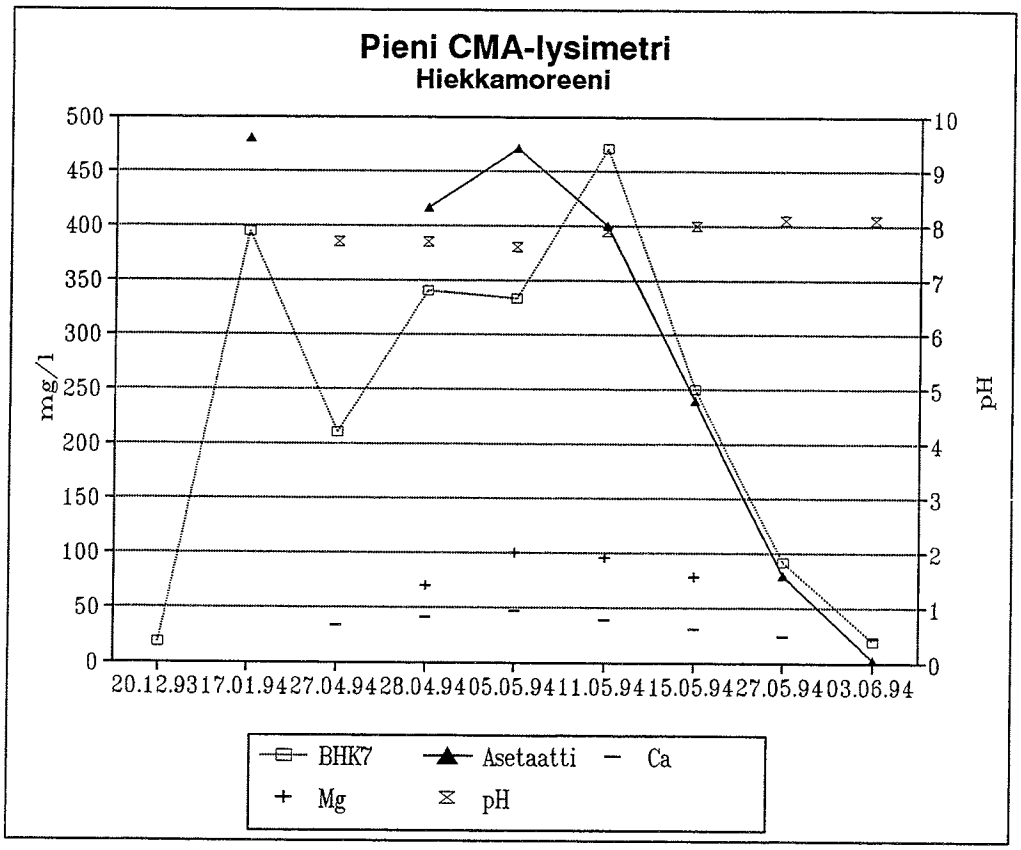
Kuva 2: I hiekkaista soraa sisältäneen lysimetrin laboratorioanalyysituloksia



Kuva 3: Il hiekkaista soraa sisältäneen lysimetrin laboratorioanalyysituloksia



Kuva 4: Karkeaa hiekkaa sisältäneen lysimetrin laboratorioanalyysituloksia



Kuva 5: Suotautumisastian laboratorioanalyysituloksia (90 cm soraista hiekkkaa, A = 0,058 m²)

Vaikka routakerros maan sisällä oli vielä paksu, alkoi vettä huhtikuussa mennä lysimetrikenttien läpi ja CMA:n hajoamistuotteiden pitoisuudet nousivat. Niiden pitoisuudet olivat korkeimmillaan, kun routakerros oli lähes sulanut (lämpötila hieman alle 0 °C). Sulamisvesijakson pitoisuushuippu oli erittäin selvä ja havaitut asetaattipitoisuudet ja BHK_7-arvot erittäin korkeita ajatellen CMA:n laajamittaista käyttöä tärkeillä pohjavesialueilla. Pitoisuushuiput olivat korkeampia ja ajoittuivat hiekkaisessa sorassa aikaisempaan kuin karkeassa hiekassa.

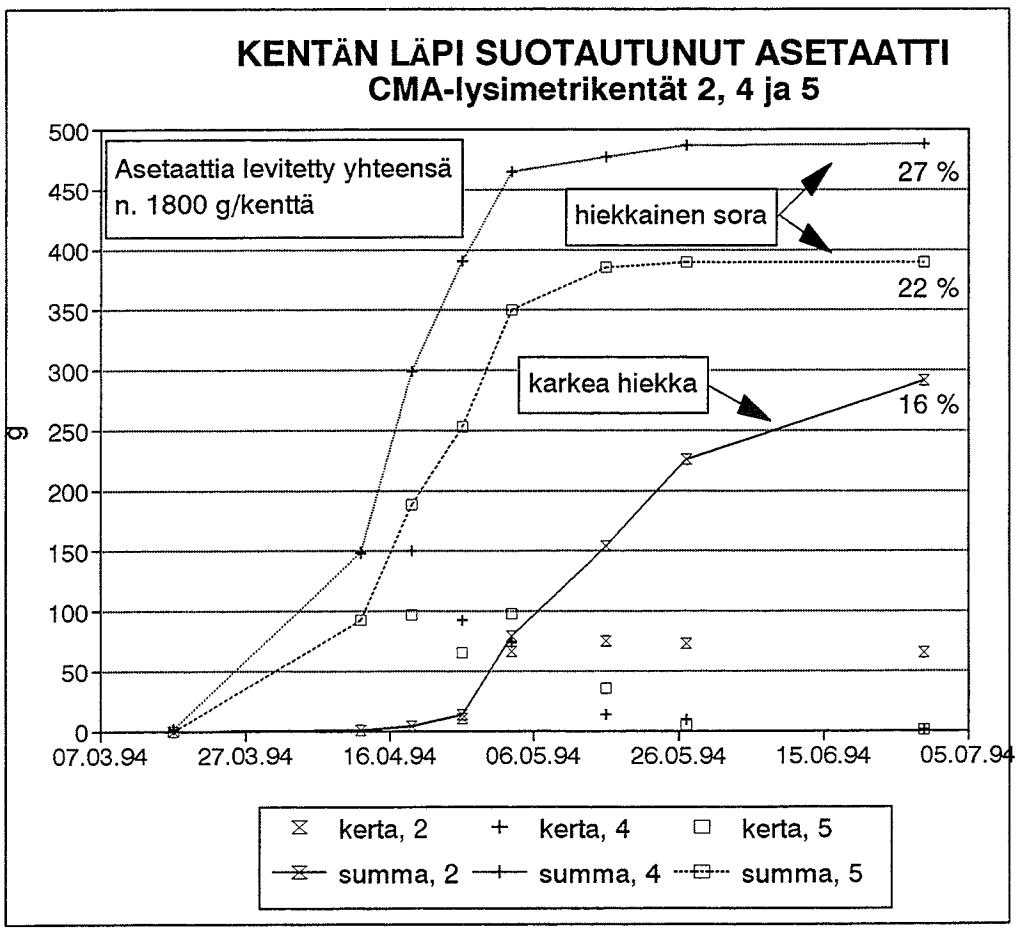
Kun vesi CMA:n lisäyksen jälkeen oli suotautunut lysimetrin läpi, laski pH alkuvaiheessa noin arvoon 6, mutta asetaattipitoisuuden huipun jälkeen nousi noin arvoon 8. Pienessä suodatusastiassa pH:n vaihtelu oli saman suuntaista, mutta huomattavasti vähäisempää (pH kaikilla määrityskerroilla yli 7.5). Maan huokoisuus pienessä suodatusastiassa oli lysimetrejä suurempi ja kokonaiskorkeus pienempi. Siksi hiilidioksidi pääsi tehokkaammin poistumaan vedestä.

Asetaatin liuetessa veteen pH nousee. Sen hajotessa syntyy hiilidioksidia, jonka veteen liuennut määrä (hiilihappo) säätelee veden pH:ta. Jos hiilidioksidi ei pääse poistumaan vedestä, laskee veden pH. Asetaatin hajoamisen-

kin voidaan tällöin olettaa hidastuvan, koska siihen tarvittavan hapen liukeneminen hidastuu ja saattaa lakatakin. Asetaatin hajoamiseen liittyvä pH:n lasku jäänee kaikissa oloissa niin alhaiseksi, ettei pH-taso sinänsä rajoita biologista toimintaa.

Kokeissa pieneen suodatusastiaan lisättiin CMA:ta yhteensä 50 g ja vettä 6,5 litraa. Teoreettinen keskimääräinen pitoisuus on täten 7,7 g/l. Tämä vastaa keskimääräistä asetaattipitoisuutta 6200 mg/l. Kokeissa suodatetun veden keskimääräinen asetaattipitoisuus oli 300 mg/l ja BHK 260 mg/l. Täten merkittävä osa asetaatista hajosi pienessä lysimetrissä.

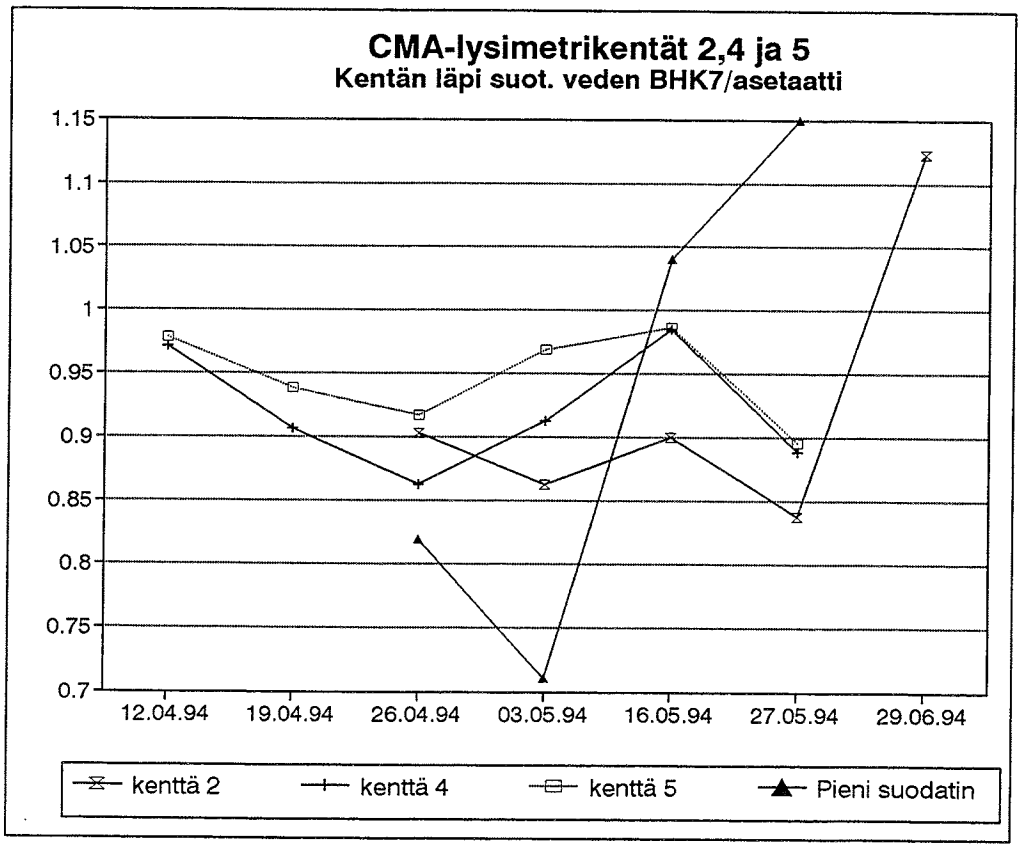
Analysoitujen asetaattipitoisuuksien ja kentän läpi suotautuneen veden mitattujen tai arvioitujen määrien perusteella lasketut asetaatin kokonaismäärät on esitetty kuvassa 6. Koska asetaatin hajoaminen lakkaa, kun vedestä loppuu happi, voidaan suotautuneen asetaatin arviointia esitetyllä tavalla pitää tarkoituksenmukaisena. Nitraattipitoisuus vedessä oli merkityksettömän pieni, koska kenttään ei kohdistunut ylimääräistä typpikuormitusta.



Kuva 6: Arvio lysimetrikenttien läpi suotautuneesta asetaatin määrästä

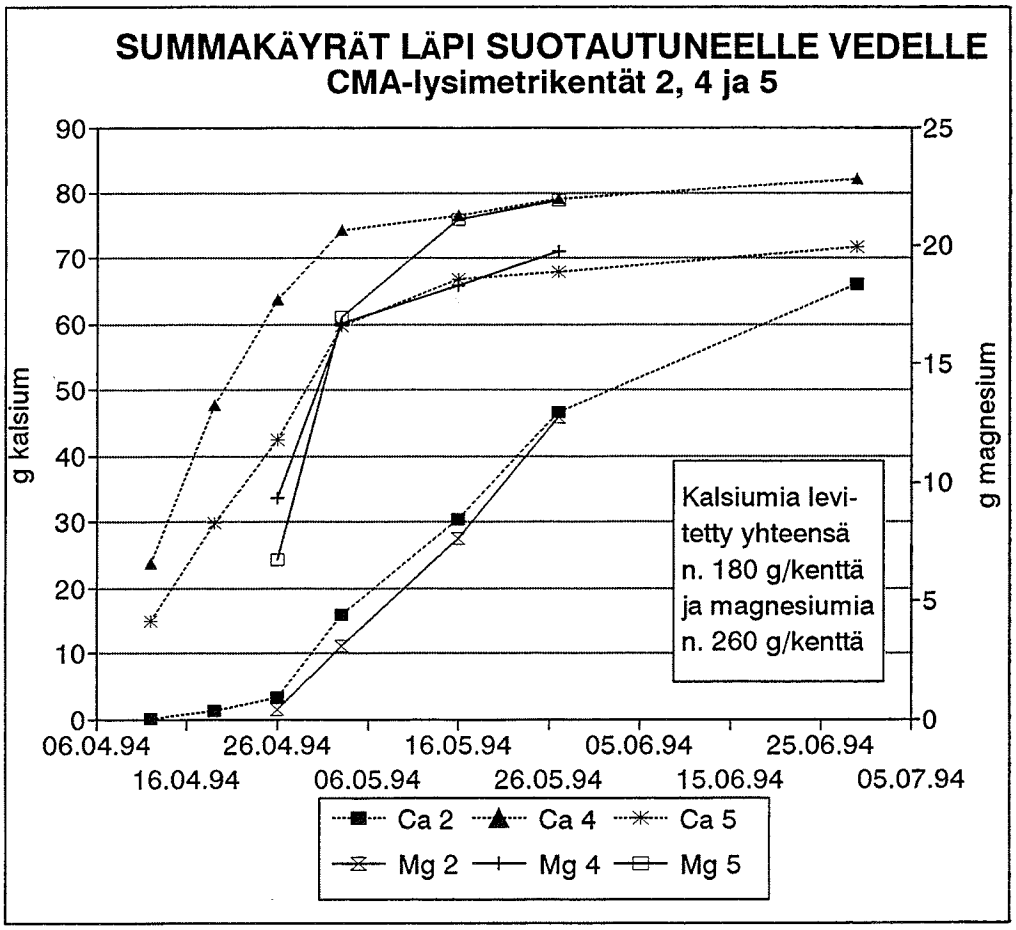
Asetaatin kertymäkäyrät hiekkaisen soran lysimetreissä olivat jyrkempiä, mutta tasaantuivat nopeammin kuin karkean hiekan lysimetrissä. Toisessa soralysimetrissä noin 22 % levitetystä asetaatista läpäisi kentän ja toisessa 27 %. Kesäkuun loppuun mennessä noin 16 % levitetystä asetaatista oli läpäissyt hiekkalysimetrin, mutta viimeisen näytteen asetaattipitoisuudesta ja heinäkuun aikana kertyneestä vesimäärästä päätellen kokonaismäärä olisi noin 18 prosenttia. Karkearakeisemmassa maaperässä meni siis suurempi osa asetaatista hajoamattomana kentän läpi.

Biologisen hapenkulutuksen (BHK_7) suhde asetaattipitoisuuteen muuttui asetaattipitoisen veden suotautuessa maan läpi. Tislatussa vedessä, johon oli liuotettu 1000 mg asetaattia, BHK_7/asetaatti - suhde oli 0,84. Kun asetaattipitoisuudet lysimetrin läpi suotauneessa vedessä olivat korkeat, vaihteli kyseinen suhde hiekkaisen soran lysimetreissä välillä 0,86 - 0,98, karkean hiekan lysimetrissä välillä 0,84 - 1,12 ja pienessä lysimetriastiassa peräti välillä 0,71 - 1,15 (kuva 7). Korkea BHK/asetaatti-suhde saattaa osittain johtua BHK:n määritysmenetelmästä, sillä näytteeseen on lisätty jätevesiymppiä eli nopeasti kasvavaa mikrobikantaa. Muita kyseiseen suhteeseen vaikuttavia tekijöitä ei aineiston niukkuuden vuoksi ole mahdollista eritellä.

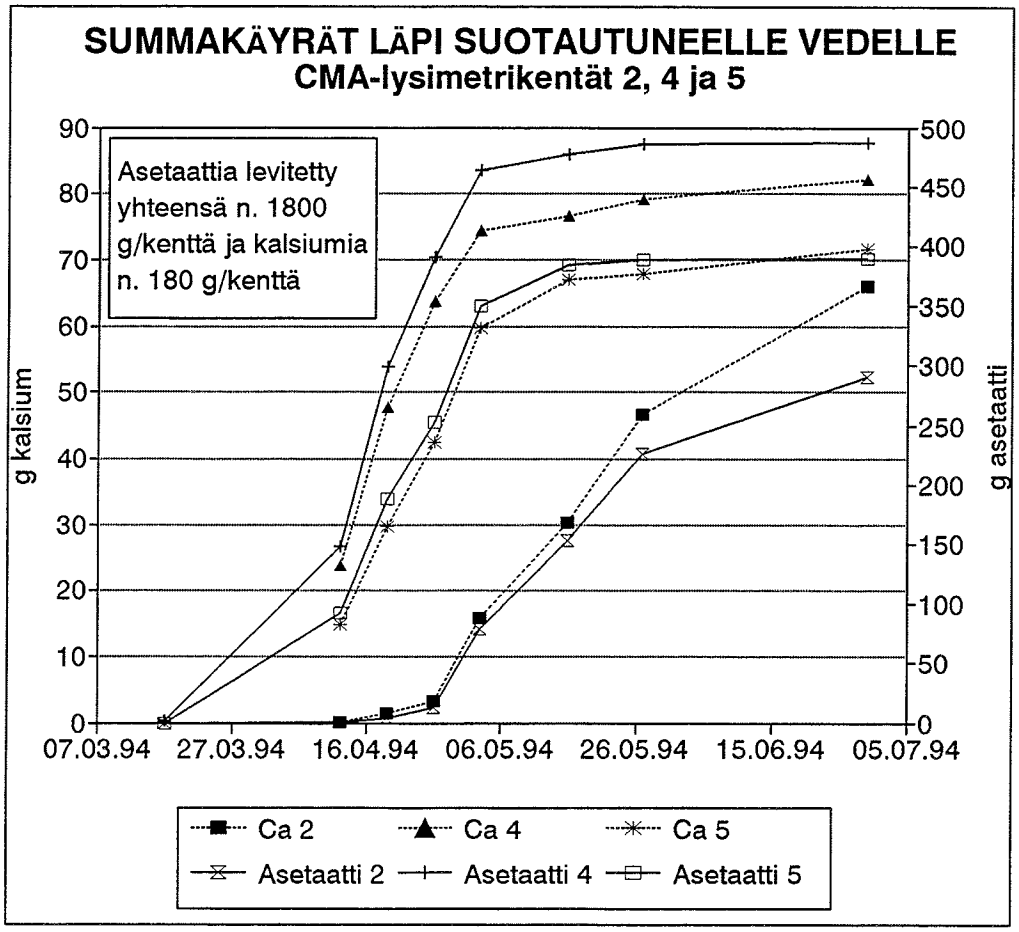


Kuva 7: BHK_7 /asetaatti-suhde suodosvesissä (kentät 4 ja 5 + pieni suodatin hiekkaista soraa, kenttä 2 karkeaa hiekkaa)

Analysoitujen pitoisuuksien ja kentän läpi suotautuneen veden mitattujen tai arvioitujen määrien perusteella lasketut kalsiumin ja magnesiumin kokonaismäärät on esitetty kuvassa 8. Karkeaa hiekkaa sisältävässä lysimetrissä magnesiumin ja kalsiumin jäännösmäärät kehittyivät toisiaan muistuttavasti, mutta hiekkaisen soran lysimetreissä merkittävästi toisistaan poiketen. Magnesiumpitoisuudet suotautuneessa vedessä olivat selvästi pienemmät suhteessa kalsiumiin. Kalsiumin kokonaismäärä suotautuneessa vedessä vastasi noin 37-46 % CMA:n mukana kenttään tullutta määrää. Magnesium määrityksiä tehtiin vain harvoista näytteistä, mutta osin kalsiumpitoisuuksien avulla arvioiden oli magnesiumin kokonaismäärä noin 7-20 % CMA:n mukana tulleesta määrästä. Mineraalien liukeneminen vaikeuttaa maaperään pidättyneen osuuden arviointia. Asetaatin ja kalsiumin kertymäkäyrät ovat muodoltaan varsin paljon toistensa kaltaiset kuten käy ilmi kuvasta 9.



Kuva 8: Arvio lysimetrikenttien läpi suotautuneista kalsium- ja magnesiummääristä



Kuva 9: Arvio lysimetrikenttien läpi suotautuneista asetaatti- ja kalsiummääristä

CMA:n hajotessa hiekan joukkoon saostuu kalsium- ja magnesiumkarbonaattia. Saostumisen intensiteetin selvittämiseksi tutkittiin yhden talven CMA-levityksen jälkeen hiekkaista soraa sisältäneestä suodatusastian täytemaasta otettujen näytteiden kalsiumpitoisuutta (taulukko 9).

Taulukko 9: Kalsiumpitoisuudet pienestä lysimetristä yhden talven CMA-levityksen jälkeen otetuissa maanäytteissä

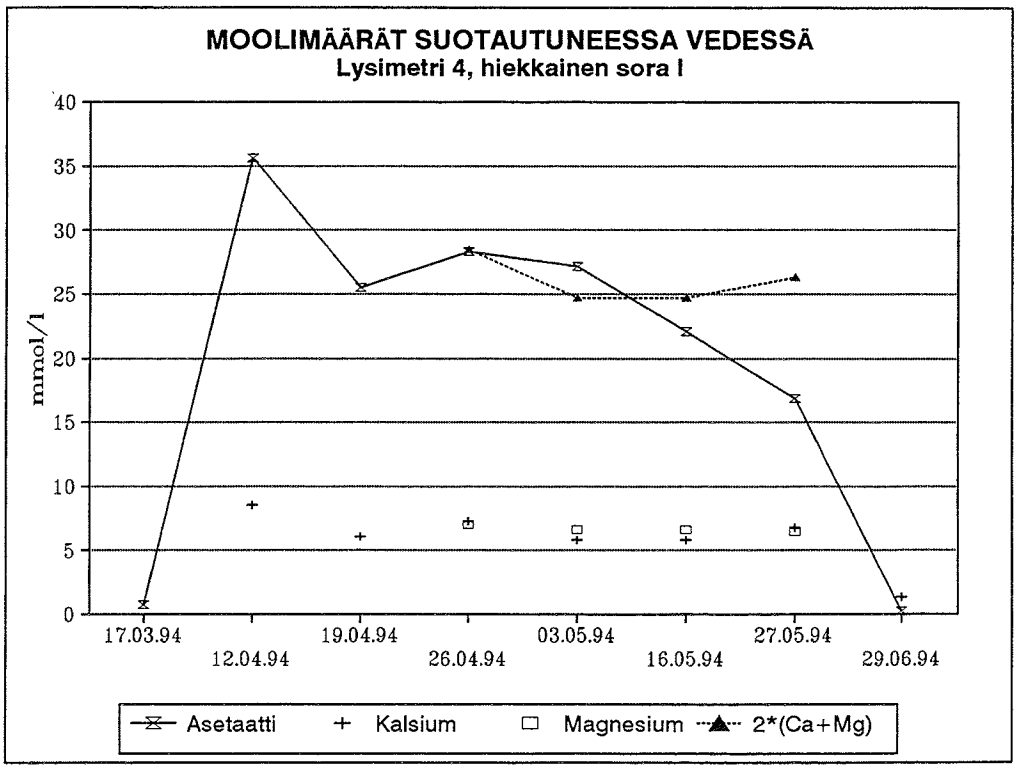
	Syvyys, cm	Kalsium, mg/kg
Koesuodatin	20	6,2
	40	5,9
	60	4,9
Vertailusuodatin		4,9

Tulokset osoittavat, että kalsium jää etupäässä maan pintaosaan. Kalsiumpitoisuuserot koesuodattimen ja vertailusuodattimen välillä olivat suhteellisen pieniä.

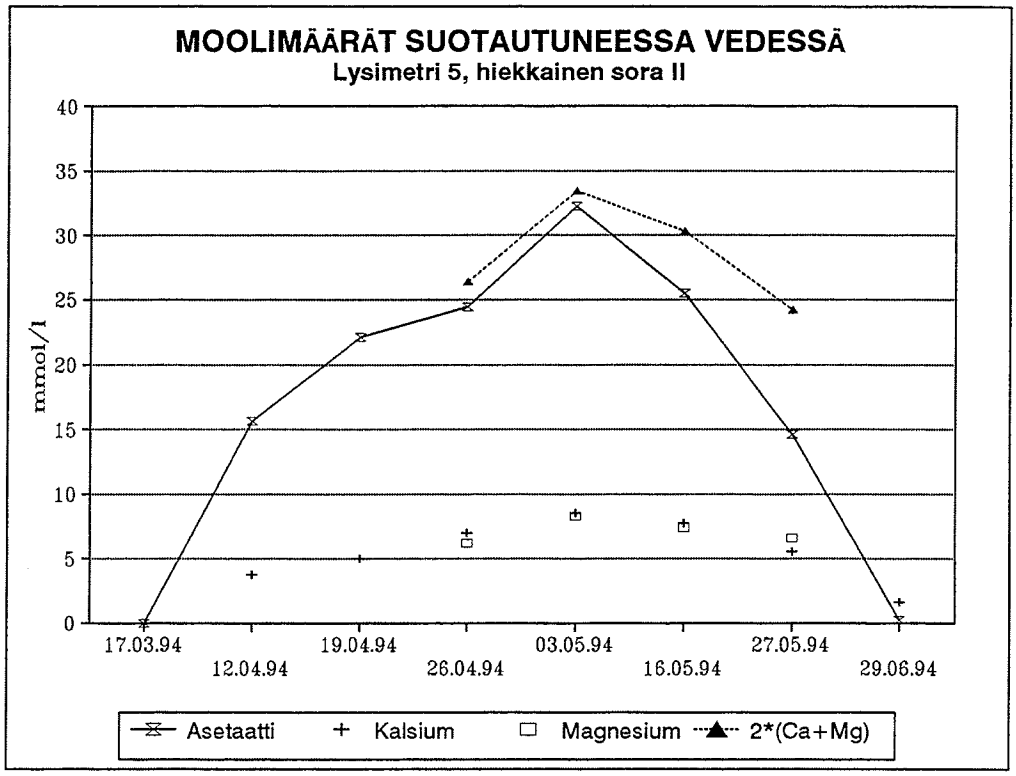
Asetaatin moolisuhde kalsiumiin ja magnesiumiin on CMA:ssa teoriassa 2,00. Kun 1000 mg CMA:ta liuotettiin 1000 ml tislattua vettä, saatiin moolisuhteeksi 1,92. Rakeet haisevat lievästi etikalle, mikä osoittaa asetaatin hajoavan vähitellen säilytettäessä. Mikäli moolisuhde oli alunperin 2,00 - kuten on oletettavaa - on asetaatista hajonnut säilytyksessä 4 %.

Syötetyssä CMA:ssa kalsiumin ja magnesiumin moolisuhde oli: 0,3 osaa Ca ja 0,7 osaa Mg. Kuten suotautuneen veden moolipitoisuuksista (kuvat 10, 11 ja 12) ja kuvan 13 käyristä nähdään, oli karkean hiekan läpi suotautuneessa vedessä levitettyyn CMA:han verrattuna suhteessa enemmän hajoamatonta asetaattia kuin kalsiumia ja magnesiumia. Hiekkaisen soran lysimetreissä ja etenkin pienessä suodatusastiassa (kuva 14) tilanne oli päinvastainen.

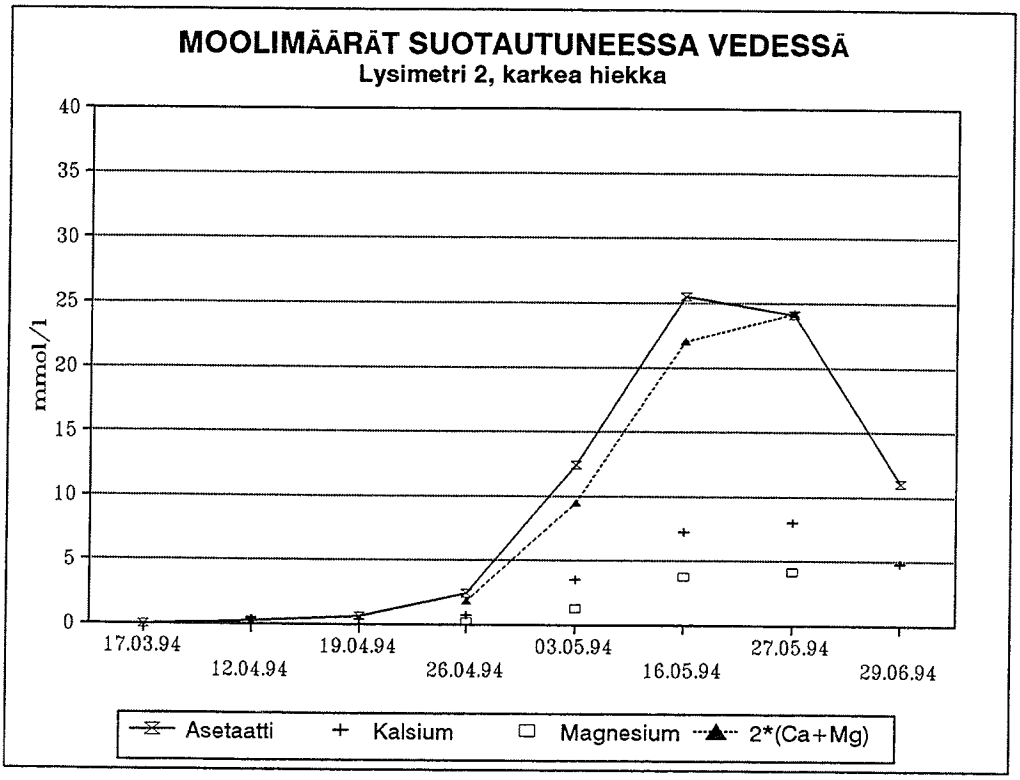
Koska magnesiumin tavallisimmat karbonaatit ovat liukoisempia kuin kalsiumkarbonaatti olisi ollut oletettavaa, että kalsiumin osuus suhteessa magnesiumiin olisi pienentynyt. Ainakin happi- ja pH-olosuhteet ovat saattaneet vaikuttaa pitoisuuksien oletuksesta poikkeavaan käyttäytymiseen varsinaisissa lysimetreissä. Pienessä suodatinastiassa pH oli jatkuvasti saostumiselle suituisalla tasolla (emäksinen) ja siinä oli vapaata huokostilaa suhteessa enemmän kuin lysimetrikentillä (koska maata ei voitu tiivistää yhtä tehokkaasti).



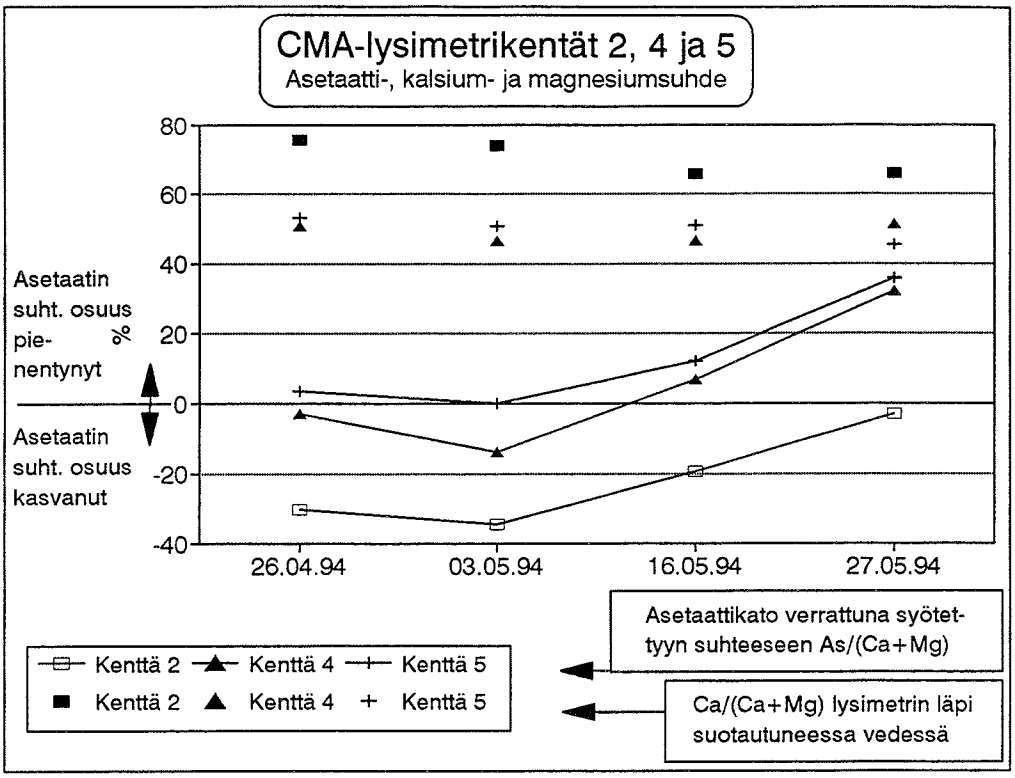
Kuva 10: CMA:n ainesosasten moolipitoisuudet maan läpi suotautuneessa vedessä, lysimetri 4



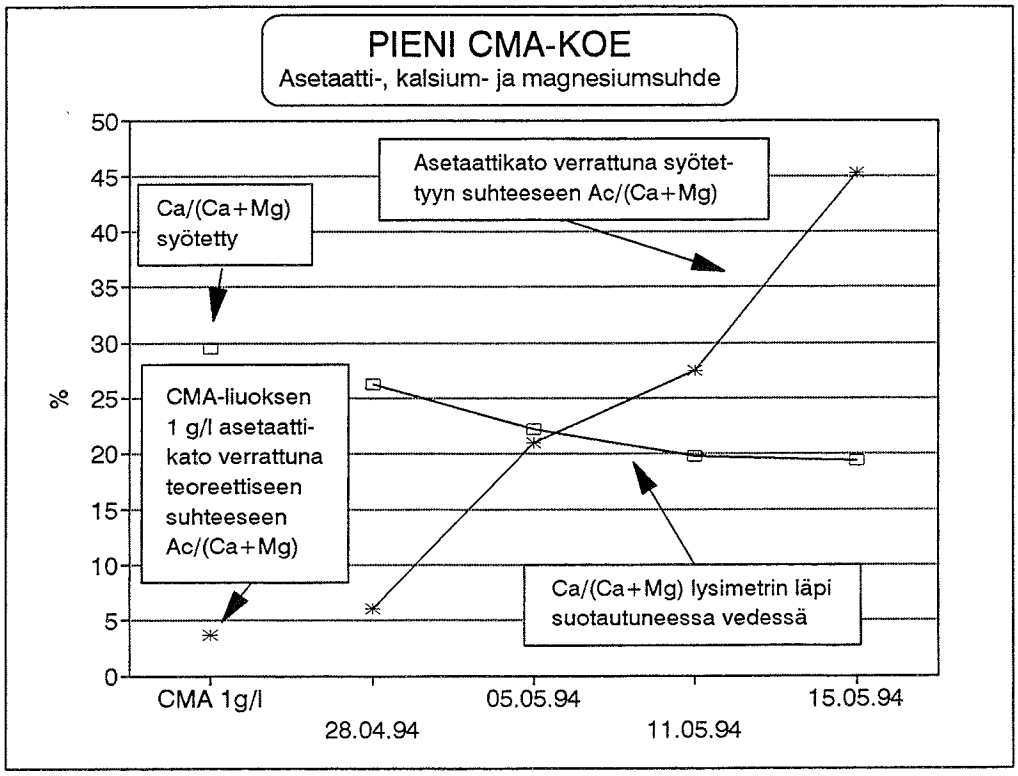
Kuva 11: CMA:n ainesosasten moolipitoisuudet maan läpi suotautuneessa vedessä, lysimetri 5



Kuva 12: CMA:n ainesosasten moolipitoisuudet maan läpi suotautuneessa vedessä, lysimetri 2



Kuva 13: CMA:n ainesosasten keskinäisiä moolisuhteita maan läpi suotautuneessa vedessä, lysimetrit 2,4 ja 5



Kuva 14: CMA:n ainesosasten keskinäisiä moolisuhteita 1 g/l CMA-liuoksessa ja pienen lysimetrin läpi suotautuneessa vedessä

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pohjavesien ja vesistöjen happikato on todennäköisin haitta asetaattien käytöstä teiden liukkaudentorjunnassa. Jos pohjavesi muuttuu hapettomaksi, sen laatu huononee. Yleensä ainakin veden rautapitoisuus nousee. Maaperään sitoutuneiden raskasmetallien mobilisoituminenkin on mahdollista.

Asetaatti on ravintoa maan mikrobeille. Mikrobikanta siis kasvaa asetaattiannostuksen myötä, mutta samalla kuluu myös happea. Jos happi kuluu loppuun eikä sitä liukene ilmasta lisää, päättyy asetaatin hajoaminen ja se suotautuu pohjaveteen. Mikrobit voivat käyttää myös joidenkin yhdisteiden (esim. nitraatti) happea, mutta puhtaassa ympäristössä näitä yhdisteitä on vedessä vähän.

Asetaatin liuetessa veteen pH nousee. Sen hajotessa syntyy hiilidioksidia, jonka veteen liuennut määrä (hiilihappo) säätelee veden pH:ta. Jos hiilidioksidi ei pääse poistumaan vedestä, laskee veden pH. Asetaatin hajoamisenkin voidaan olettaa tällöin hidastuvan, koska tarvittavan hapen liukeneminen hidastuu ja saattaa lakatakin. Asetaatin hajoamiseen liittyvä pH:n lasku jäänee kaikissa oloissa niin alhaiseksi, ettei pH-taso rajoita biologista toimintaa. Jos hiilidioksidi ei pääse poistumaan vedestä, magnesium sekä kalsium pysyvät liukoisessa muodossa ja asetaatin kemiallinen hajoaminen hidastuu.

Huomattava osa talvella levitetystä CMA:sta liikkuu sulamisvesien mukana. Karkearakeisessa maassa se imeytyy vajoveden mukana maahan. Lumien sulaessa lämpötila on epäedullinen asetaattia ravinnokseen käyttämään kykeneville mikrobeille, mikä hidastaa sen biologista hajoamista. Sulamisvesikaudella maan huokosissa on paljon vettä, mikä hidastaa kaasujen vaihtoa veden ja ilman välillä.

Kalsiumin ja magnesiumin pidättyminen maaperään ja niiden pitoisuuksien kasvu vedessä parantavat sen laatua tyypillisissä suomalaisissa olosuhteissa, sillä veden kalsium- ja magnesiumbikarbonaatit estävät happamoitumista. Pidättyminen tapahtuu lähinnä karbonaattisakkana. Kokeissa vajoveden kalsium- ja magnesiumpitoisuudet ylittivät talousveden raja-arvot, kun asetaattipitoisuudetkin olivat korkeita. Korkeat kalsium- ja magnesiumpitoisuudet vedessä ovat pääasiassa tekninen haitta: niiden saostuminen aiheuttaa lämpöhäviöitä ja tukkeutumia etenkin lämpimän veden järjestelmissä.

Kun olosuhteet ovat sopivat, vedestä poistuu suhteessa enemmän asetaat-

tia kuin kalsiumia ja magnesiumia. Kylmässä veden kyllästämässä maassa asetaatin hajoaminen on tehotonta ja tilanne voi olla päinvastainen.

Kokeissa lysimetrien läpi suotautuneen sulamisveden asetaattipitoisuus ja seitsemän vuorokauden biologinen hapenkulutus (BHK_7) nousivat CMA-lisäyksen myötä noin 2000 mg/l:aan. Asetaatin kokonaismäärä parin metrin maakerroksen läpi suotautuneessa vedessä vastasi noin 20 prosenttia, kalsiumin noin 40 % ja magnesiumin 10 - 20 % levitetystä kokonaismäärästä. Luvut ovat vain suuntaa antavia, koska kentän läpi suotautuneet vesimäärät on osin jouduttu arvioimaan ja osa kalsiumista ja magnesiumista on saattanut liueta maaperästä. Erittäin karkearakeisessa maaperässä (hiekkainen sora) suurempi määrä asetaattia läpäisi kentän ja se tuli lyhyemmän ajanjakson aikana kuin hieman hienorakeisemmassa maassa (karkea hiekka). Maan sulaminen kesti pidempään ja vajoveden asetaattipitoisuudet pysyivät pidempään korkeina karkeassa hiekassa.

Pienemmällä suodatusastialla tehdyissä kokeissa suotautuneen veden asetaattipitoisuus ja BHK_7 olivat korkeimmillaankin alle 500 mg/l ja asetaatista poistui noin 95 %. CMA levitettiin pidemmällä ajanjaksolla ja pinta-alaan suhteutettu kokonaisannostus jäi hieman pienemmäksi kuin varsinaisella lysimetrikentällä. Maan pinnalla ollut astia lämpeni nopeammin kuin luonnontilainen maakerros ja pysyi kannen vuoksi kosteana. Maa-aineksen huokoisuus oli suurempi kuin lysimetrikentällä, mistä johtuen kaasujen vaihto oli tehokkaampaa ja happipitoisuus korkeampi astian alaosassa kuin vastaavalla syvyydellä lysimetrikentällä.

Koetulosten perusteella BHK_7 kuvastaa hyvin asetaattipitoisuutta. Asetaattipitoisuuden ollessa korkea saattiin BHK_7:n ja asetaatin suhteeksi parin metrin maakerroksen läpi suotautuneessa vedessä keskimäärin 0,94. Tislatussa vedessä, johon oli liuotettu 1 g/l CMA:ta, vastaava suhde oli 0,84. Asetaatin ansiosta kasvanut biomassa saattoi aiheuttaa kyseisen suhteen kasvun imeytyneessä vedessä.

Muutaman määrityksen perusteella kemiallinen hapentarve määritettynä dikromaattimenetelmällä (COD_{Cr}) näyttäisi vastaavan hyvin asetaattipitoisuutta. Sen sijaan kaliumpermanganaattimenetelmällä määritetty kemiallinen hapentarve (COD_{KMnO4}) ei kuvasta asetaatin aiheuttamaa hapenkulutusta.

Talven aikana levitetyn CMA:n asetaatin todettiin kulkeutuvan karkeassa mineraalimaassa niin merkittävältä osin syvempiin maakerroksiin, että CMA:n laajamittaista käyttöä pohjavesialueilla tulisi välttää. CMA:n runsasta käyttöä ei suositella myöskään muilla tieosilla, koska happikato on yleinen ongelma Suomen matalissa ja runsasravinteisissa vesistöissä.

6 LÄHDELUETTELO

Amrhein C., Mosher P. A., Strong J. E. & Pacheco P. G. 1994, Heavy Metals in the Environment, Trace Metal Solubility in Soils and Waters Receiving Deicing Salts, Journal of Environmental Quality, vol 23, n:o 2 1992, ss 219-227

Bärlund I. 1992, Teknillisen korkeakoulun Vesitalouden laboratorion tutkijan suullinen tiedonanto 15.8.1992

Handbook of Environmental Control 1973, vol III, CRC Press

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös 74/94 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista, 1994

Tielaitos, tiehallitus 1992. CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus. Helsinki 1992. 38 s. (Tielaitoksen selvityksiä 38/1992). ISBN 951-47-6076-X, ISSN 0788-3722, TIEL 3200092

7 LIITTEET

1. Laboratorioanalyysitulokset vesinäytteistä, jotka on otettu Hyvinkään Latostenmaan lysimetrien läpi suotautuneista vesistä.
2. Laboratorioanalyysitulokset vesinäytteistä, jotka on otettu pienten maasuodattimien läpi suotautuneista vesistä.
3. Lysimetrikokeissa käytetyn hiekkaisen soran rakeisuuskäyrä.
4. Lysimetrikokeissa käytetyn karkean hiekan rakeisuuskäyrä.
5. Lysimetrikokeissa käytetyn hiekkamoreenin rakeisuuskäyrä.
6. Routahavainnot lysimetrikentän näytteenoton yhteydessä.
7. Maan lämpötilahavainnot lysimetrikentän näytteenoton yhteydessä.
8. Kahden lysimetrin, joihin ei lisätty CMA:ta, läpi suotautuneen veden analyysituloksia kuvaajan muodossa.

Hyvinkään Latostenmaan CMA-lysimetrikokeiden laboratorioanalyysien tulokset

lysimetri n:o	näyte-tyyppi	päivä-määrä	pH	$KMnO_4$-kulutus mg O_2/l	BHK_7 mg/l	Rauta mg/l	Asetaatti mg/l	Kalsium mg/l	Pesäke-luku 20°C kpl/ml	Koliform. bakteerit kpl/100 ml	Mag-nesium mg/l	COD_{Cr} mg/l	Alkali-teetti mval/l	Sähkön-joht. mS/m	Alu-miini mg/l	Nat-rium mg/l
1	kokooma	2.11.92	6,9	4,8	56	0,64		22			3,4		1,9	33	0,97	37
2	kokooma	2.11.92	7,3	6,2	72	0,82		29			4,4		2,3	39	0,75	43
3	kokooma	2.11.92	6,8	4,6	70	0,56		24			3,8		1,9	32	0,45	35
4	kokooma	2.11.92	7	3	26	0,4		22			3,3		1,6	27	0,65	24
5	kokooma	2.11.92	6,6	2,9	21	0,86		15			2,1		0,84	19		16
1	kokooma	17.11.92	6,3		27			13								
1	kerta	17.11.92	6,3		24			16		23						
2	kokooma	17.11.92	6,7		24			12								
2	kerta	17.11.92	6,8		16			15		105						
3	kokooma	17.11.92	6,8		18			17								
3	kerta	17.11.92			7											
4	kokooma	17.11.92	6,6		21			12								
5	kerta	17.11.92	6,7		6			9,7		18						
1	kokooma	12/07/92	6,3	3,5	57	0,79		14			2,2		1,2	23	0,34	29
2	kokooma	7.12.92	6,5	2,5	23	0,47		13			1,5		0,78	16	0,1	16
3	kokooma	7.12.92	7	4	32	0,14		18			3		1,6	29	0,01	35
4	kokooma	7.12.92	6,8	3,8	35	0,19		13			1,8		0,82	20	0,04	23
5	kokooma	7.12.92	6,5	2,9	36	0,54		17			2,5		1,3	24	0,16	26
1	kerta	26.1.93			103											

lysimetri n:o	näyte-tyyppi	päivä-määrä	pH	$KMnO_4$-kulutus mg O_2/l	BHK_7 mg/l	Rauta mg/l	Asetaatti mg/l	Kalsium mg/l	Pesäke-luku 20°C kpl/ml	Koliform. bakteerit kpl/100 ml	Mag-nesium mg/l	COD_{Cr} mg/l	Alkali-teetti mval/l	Sähkön-joht. mS/m	Alu-miini mg/l	Nat-rium mg/l
2	kokooma	26.1.93			100											
2	kerta	26.1.93			42											
3	kokooma	26.1.93			29											
4	kerta	26.1.93			126											
5	kokooma	26.1.93			42											
5	kerta	26.1.93			97											
2	kerta	7.4.93			250	26										
3	kokooma	7.4.93			68	0,07										
3	kerta	7.4.93			113	24										
4	kokooma	7.4.93			60	0,26										
2	kerta	28.9.93			24											
2	kokooma	15.11.93			66											
2	kokooma	8.12.93			24											
4	kerta	8.12.93			170											
5	kerta	8.12.93			17											
1	kokooma	13.12.93			103											
2	kokooma	13.12.93			15		11									
4	kokooma	13.12.93			8		<1.0									
5	kokooma	13.12.93			10		5									
2	kokooma	20.1.94			2,4		1,6									
4	kerta	20.1.94			84		79									

	näyte-tyyppi	päivä-määrä	pH	$KMnO_4$-kulutus mg O_2/l	BHK_7 mg/l	Rauta mg/l	Asetaatti mg/l	Kalsium mg/l	Pesäke-luku 20°C kpl/ml	Koliform. bakteerit kpl/100 ml	Mag-nesium mg/l	COD_{Cr} mg/l	Alkali-teetti mval/l	Sähkön-joht. mS/m	Alu-miini mg/l	Nat-rium mg/l
5	kokooma	20.1.94			4,1		1,1									
2	kokooma	17.3.94			2,1		<1.0									
4	kokooma	17.3.94			37		40									
5	kokooma	17.3.94			2,7		<1.0									
1	kokooma	12.4.94		5,1	9,9		0,9	1,5								
2	kokooma	12.4.94		7,4	23		10	14								
3	kokooma	12.4.94		7,2	460		560	110								
4	kokooma	12.4.94		7,8	2040		2100	340								
4	kerta	12.4.94		5,9	1560		1400	290	4900							
4	kerta	12.4.94		4,5	1150			250								
5	kokooma	12.4.94		5,4	900		920	150								
2	kokooma	19.4.94		4,8	63		37	14								
3	kokooma	19.4.94		5,9	308		310	140								
4	kokooma	19.4.94		4,1	1360		1500	240								
5	kokooma	19.4.94		4,3	1220		1300	200								
2	sekoitettu	26.4.94			110		139	30			5,8					
2	kokooma	26.4.94			140		138	28			5,5					
3	kokooma	26.4.94			200		162	49			15					
4	kokooma	26.4.94			1440		1670	290			170					
5	kokooma	26.4.94			1320		1440	280			150					
2	kokooma	3.5.94	6		630		730	140			30	843	8			

	näyte-tyyppi	päivä-määrä	pH	$KMnO_4$-kulutus mg O_2/l	BHK_7 mg/l	Rauta mg/l	Asetaatti mg/l	Kalsium mg/l	Pesäke-luku 20°C kpl/ml	Koliform. bakteerit kpl/100 ml	Mag-nesium mg/l	COD_{Cr} mg/l	Alkali-teetti mval/l	Sähkön-joht. mS/m	Alu-miini mg/l	Nat-rium mg/l
3	kokooma	3.5.94	7,3		120		110	47			12	167	4,6			
4	kokooma	3.5.94	5,9		1460		1600	230			160	1830	16			
5	kokooma	3.5.94	6		1840		1900	340			200	2170	20			
1	kokooma	16.5.94	6,9		14,8		3,2	19			3					
2	kokooma	16.5.94	6,4		1350		1500	290			91					
3	kokooma	16.5.94	8,1		44,2		30	40			11					
4	kokooma	16.5.94	7,1		1280		1300	230			160					
5	kokooma	16.5.94	7,7		1480		1500	310			180					
1	kokooma	27.5.94	6,7		3		<1.0	15			2,7		1,5			
2	kokooma	27.5.94	7,7		1190		1420	320			100		16			
3	kokooma	27.5.94	8,2		10		5,9	36			9,3		5,4			
4	kokooma	27.5.94	8,3		880		990	270			155		17			
5	kokooma	27.5.94	8,1		770		860	220			160		18			
1	kokooma	29.6.94	6,4		2		<2.0	17					1,5			
1	kerta	29.6.94	6,3		4		<2.0	17					1,6			
2	kokooma	29.6.94	7,6		730		650	193					11			
3	kokooma	29.6.94	7,9		13		2	25				39	3,8			
4	kokooma	29.6.94	8		12		13	53				113	5,2			
5	kokooma	29.6.94	8,1		26		14	64				95	5,6			

Laboratorioanalyysitulokset vesinäytteistä, jotka on otettu pienten maasuodattimien läpi suotautuneista vesistä

Näyte: Koesuodatin

	pH	KMnO4-kulutus mgO/l	BHK 7 mg/l	Asetaatti mg/l	Alkaliteetti mmol/l	Ca mg/l	Mg mg/l
20.12.93			18				
17.01.94		4.1	394	480			
27.04.94	7.7	7.1	210		3	34	
28.04.94	7.7	5.2	340	416	4.6	41	70
5.05.94	7.6		333	470	5.9	47	100
11.05.94	7.9		470	400	5.7	39	96
15.05.94	8		250	240	4.8	31	78
27.05.94	8.1		92	80	3.5	24	
3.06.94	8.1		19.7	2.4	3.1	22	

Näyte Vertailusuodatin

	pH	KMnO4-kulutus mgO/l	BHK 7 mg/l	Asetaatti mg/l	Alkaliteetti mmol/l	Ca mg/l	Mg mg/l
20.12.93			3.5				
17.01.94			3.6	<1.0			
27.04.94	7	2.5	2.5	0.32		11	
28.04.94	7.1	2.6	3.6	2	0.24	8.7	0.2
5.05.94	6.3		4.4	<1.0	0.33	7.7	2.5
11.05.94	6.8		4.8	3	0.24	8.1	2.1

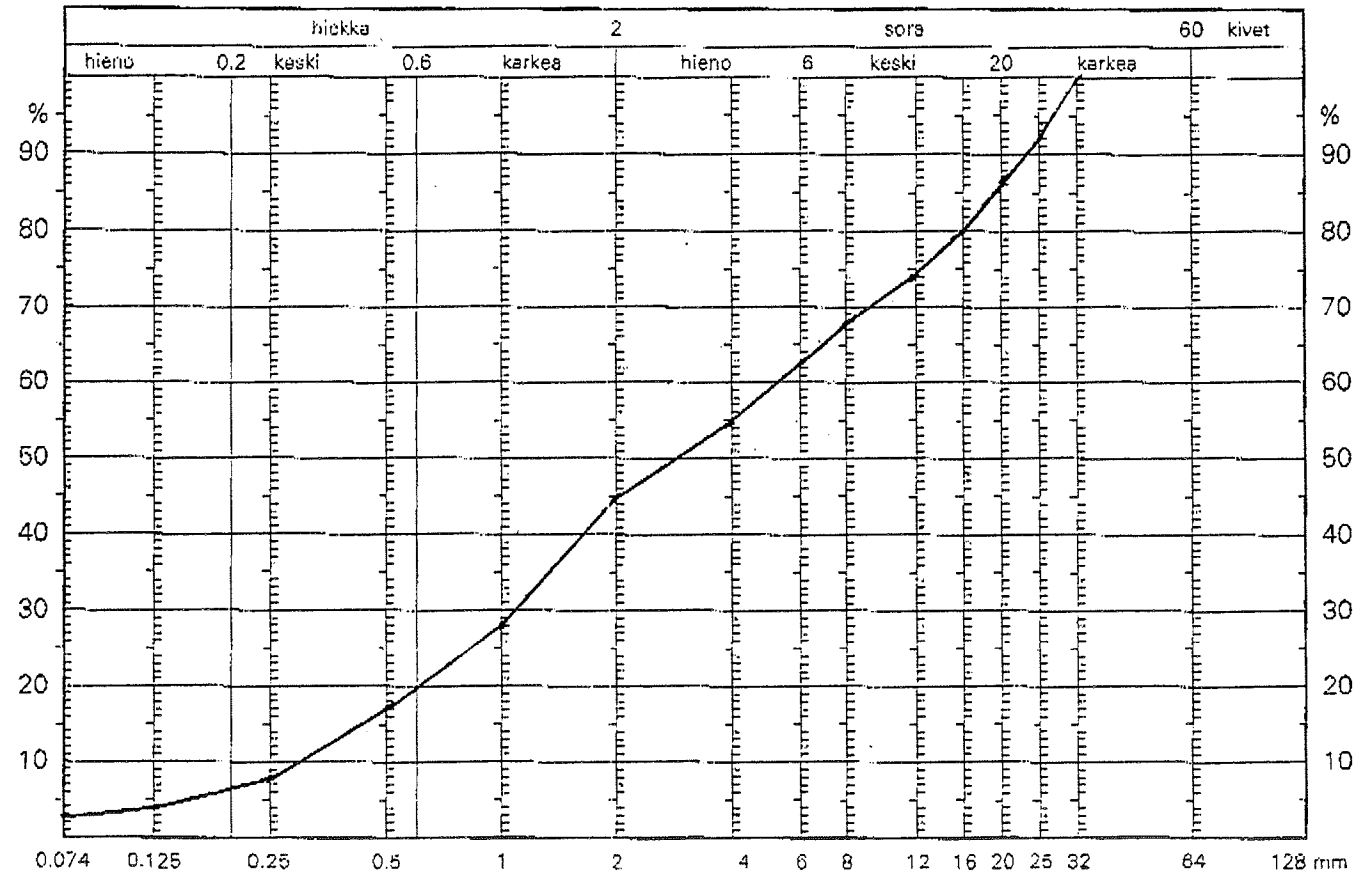
Tielaitos

MURSKAUSLOMAKE

~~Tiinaa/Tyomaa~~ SORA		Työn nro	Tiepiiri UUSIMAA
Murskaamo	Näytt.ottoaika	Murskaustyön suorittaja	

KÄYTETTY MURSKAUSKONEISTO				ASETUS	Päivämäärä 27.8.92
Esimursk. merkki				mm	
Välimursk. merkki				mm	Allekirjoitus J. Oikarinen
Jälkimursk. merkki				mm	
Seulat	mm	mm	mm	mm	

NÄYTETUTKIMUKSET								TARKKAILU
Määritys	Nro	Nro	Nro	Seula	Nro	Nro	Nro	Murskaustarve
Kiintotiheys				mm	Läpäisy-%	Läpäisy-%	Läpäisy-%	mm m³itd
Haurausarvo								mm m³itd
Los Angelesluku				64				mm m³itd
Muotoarvo				55				Murskattu
Murtop.luku				32	100			mm m³itd
Vesipitoisuus	3,49			25	92			mm m³itd
Humus				20	87			mm m³itd
Rakeisuusohjealue			Poikkeama ±% yks.	16	80			Käyttötarkoitus
Seula mm	ala	ylä		12	74			
				8	68			
				6	63			
				4	54,4			
				2	44,7			
				1	27,8			
				0,5	17,1			käyrän keskiarvo
				0,25	7,6			» »
				0,125	4,3			» »
				0,074	2,6			



TEL 7032548 M 2 000-50 2.91 0167558-11/1943

Tielaitos

MURSKAUSLOMAKE

LIITE 4

~~Tieosa/Työmaa~~ HIEKKA		Työn nro	Tiepiiri UUSIMAA
Murskaamo	Näytt.ottoaika	Murskaustyön suorittaja	

NÄYTETTY MURSKAUSKONEISTO	ASETUS	Päivämäärä 27.8.-92
Esimursk. merkki	mm	Allekirjoitus J. Oikarinen
Välimursk. merkki	mm	
Jälkimursk. merkki	mm	
Seulat mm / mm / mm	mm	

NÄYTETUTKIMUKSET

Määritys	Nro	Nro	Nro
Kiintotiheys			
Haurausarvo			
Los Angelesluku			
Muotoarvo			
Murtop.luku			
Vesipitoisuus	2,83		
Humus			

Rakeisuusohjealue			Poikkeama ±% yks.
Seula mm	ala	ylä	

Seula mm	Nro Läpäisy-%	Nro Läpäisy-%	Nro Läpäisy-%
64			
55			
30			
25			
20			
16			
12			
8	100		
6	99		
4	98,7		
2	92,1		
1	69,4		
0,5	35,5		
0,25	15,1		
0,125	5,0		
0,074	2,6		

TARKKAILU

Murskaustarve

mm	m³itd
mm	m³itd
mm	m³itd

Murskattu

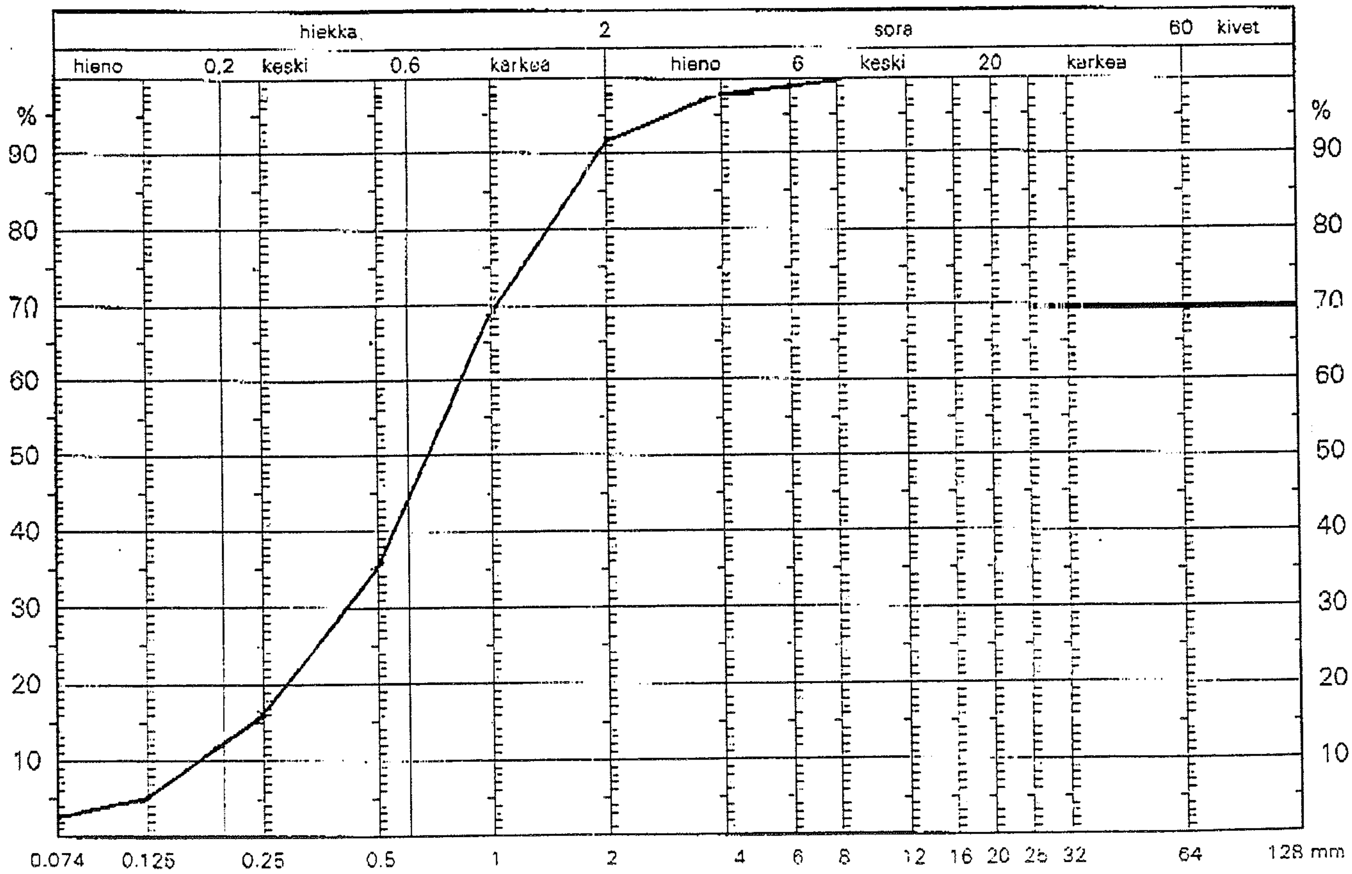
mm	m³itd
mm	m³itd
mm	m³itd

Käyttötarkoitus

käyrän keskiarvo

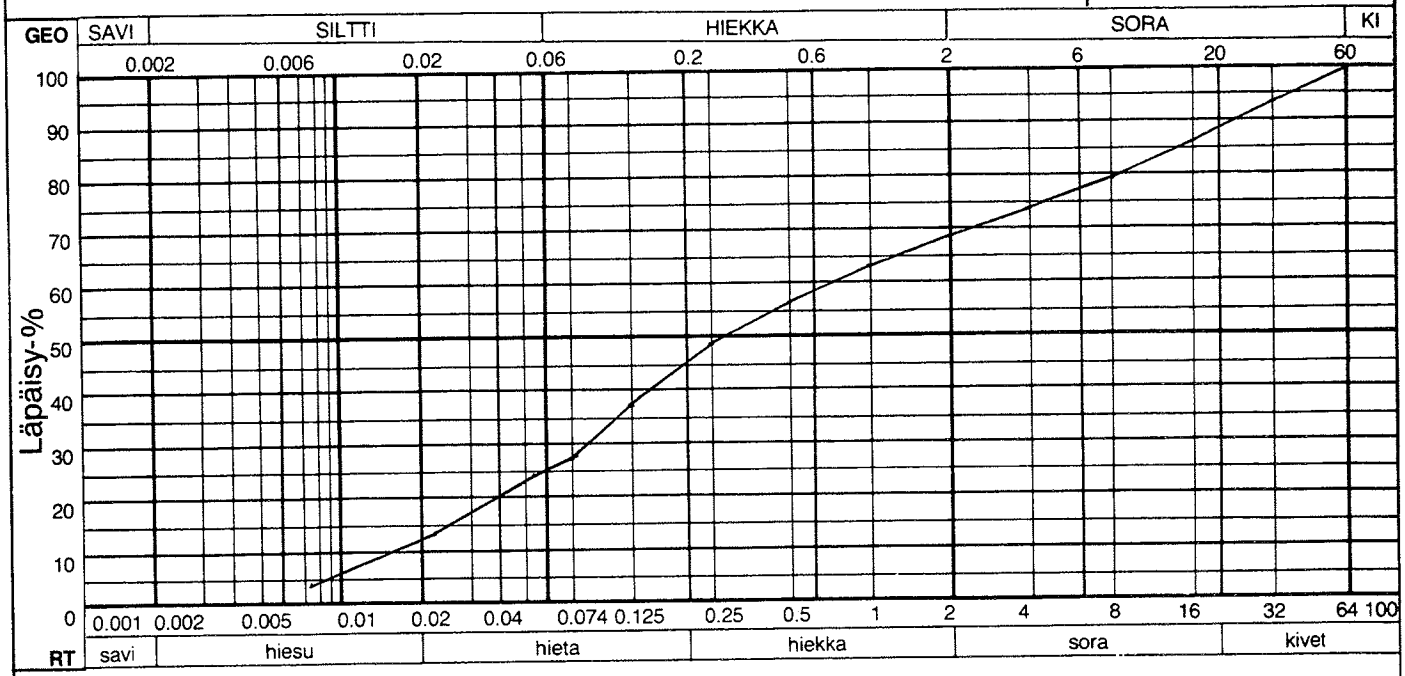
» »

» »



MAANÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET

LIITE 5



Näytteen No		251/92				
Rakeisuuskäyrä		———	- - - -	—·—·—	—··—··—	·····
Näytteen-otto	paikka	Latostenmaan lysimetri				
	syvyys					
	tapa					
	pvm.					
Maanpinnan korkeus						
Maalaji GEO ☒ RT ☐		srHkMr				
Vesipitoisuus w %						
Tilavuus-paino k N/m³	kosteana					
	kuivana					
Leikkaus-lujuus k N/m²	Kartiokoe: häiriintymätön S_k					
	Kartiokoe: häiriintynyt S_k					
	Kartiokoe: sensitiivisyys St					
	Kartiokoe: hienousluku F					
	Puristuskoe S_p					
Humus % NaOH		II				
Vedenläpäisev. k m/s						
Routivuus						
Kantavuusluokka						
Hehkutushäviö %		0.82				

TILAAJA	Tiehallitus	NÄYTT. OTTAJA	HYVÄKS.
TYÖ	CMA-selvitys 1000-B2988	TUTK. MeL	PÄIVÄYS 19.10.92
		TARK.	

SUUNNITTELUKESKUS OY
OPASTINSILTA 6 • 00520 HELSINKI 52 • PUHELIN 90-15 641

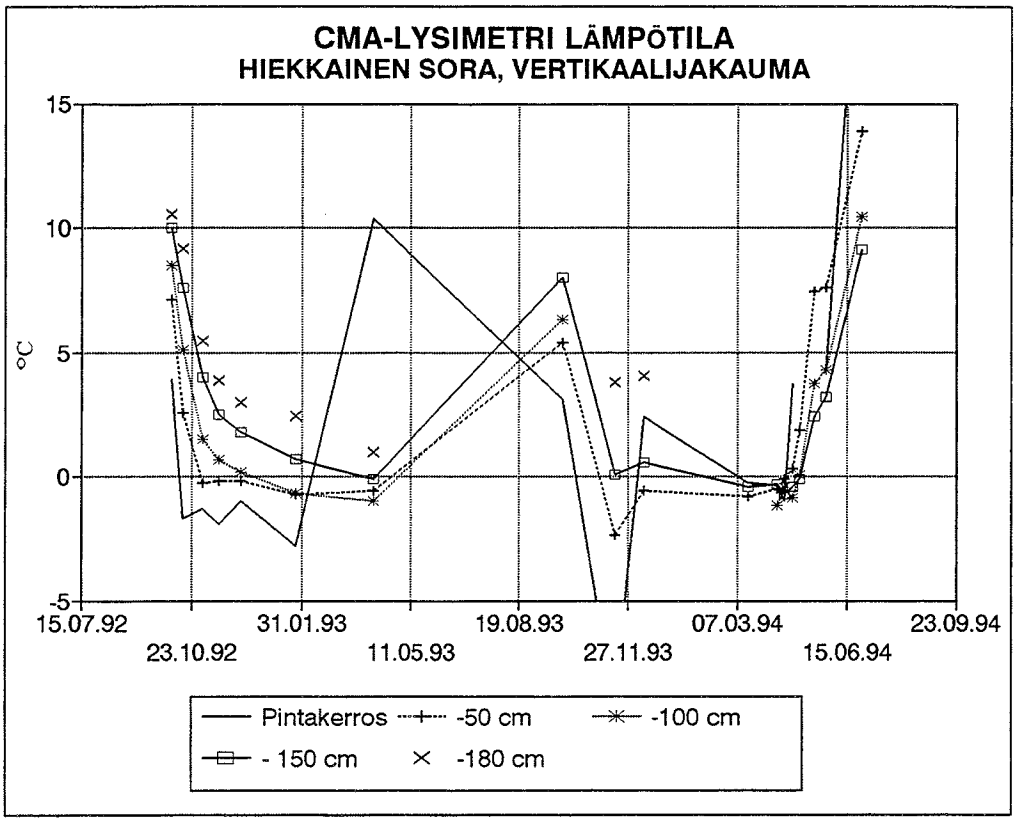
PIIR NO

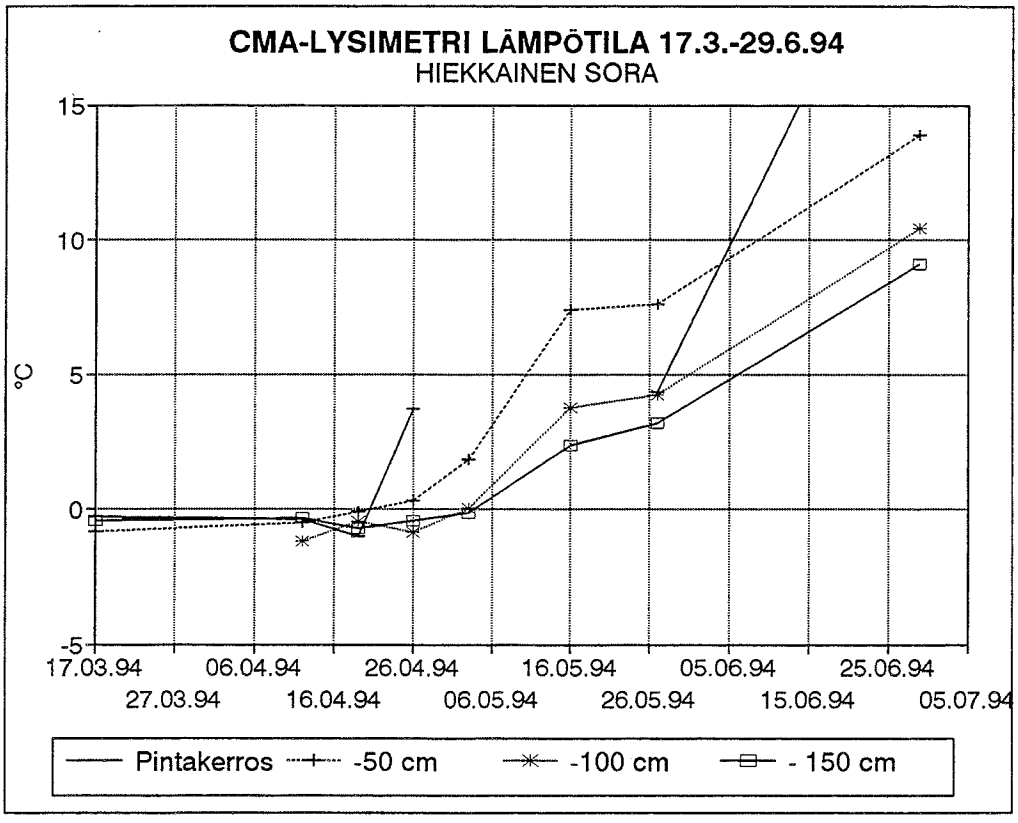
Suomen Liikelomake 16286

Routahavainnot lysimetrikentältä

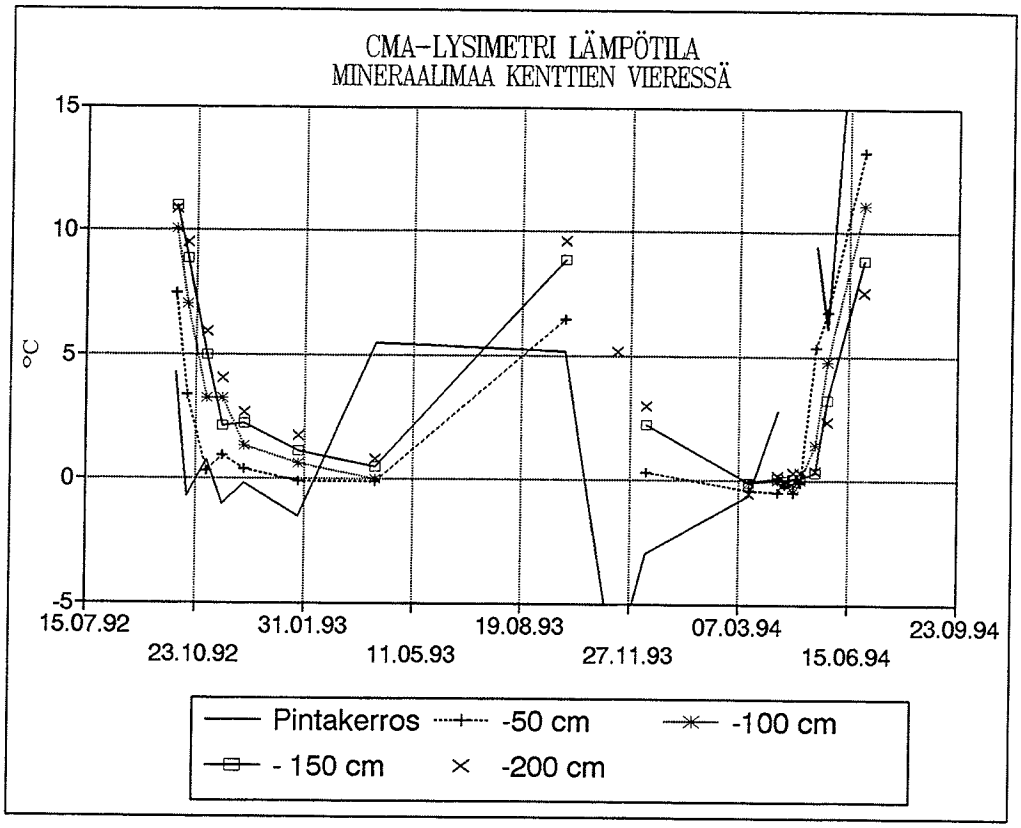
päivämäärä	1. hiekkamoreeni cm		2. karkea hiekka cm		3. hiekkainen sora + kasvukerros cm		4. hiekkainen sora I cm		5. hiekkainen sora II cm		tausta kentän viereissä cm	
	Ylä	Ala	Ylä	Ala	Ylä	Ala	Ylä	Ala	Ylä	Ala	Ylä	Ala
15.10.92	0	4	0	5	0	3	0	6	0	0	0	4
2.11.92	6	34	8	35	4	36	4	48	4	39	5	29
17.11.92			0	70	0	70	0	100	0	100	0	58
7.12.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26.1.93	0	90	0	75	0	90			0	115	0	60
7.4.93	26	78	16	76	24	84			26	96	17	55
15.11.93	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
13.12.93	0	75	0	85	0	50			0	85		
20.1.94	0	60	0	55							0	45
12.4.94	20	105									15	115
26.4.94											55	125
3.5.94							90	120	90	120	90	120
16.5.94											110	117

Maan lämpötilahavainnot lysimetrikentän näytteenoton yhteydessä

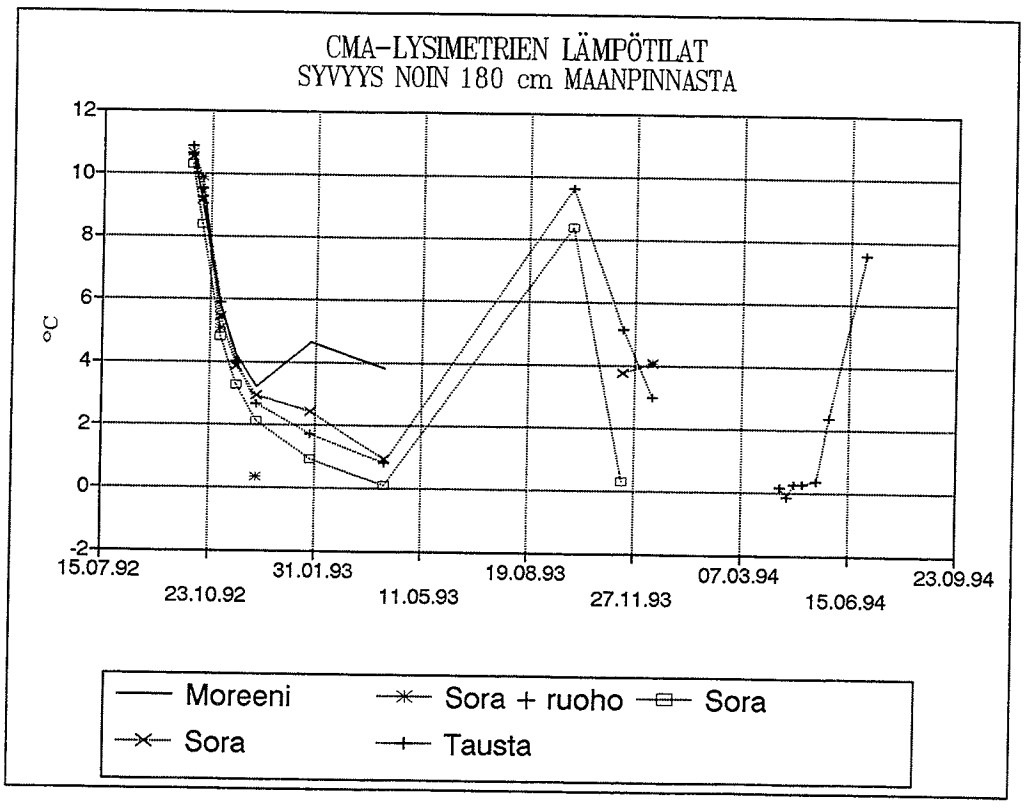




Kuva 1: Lämpötilahavainnot lysimetrissä 5 (hiekkainen sora)

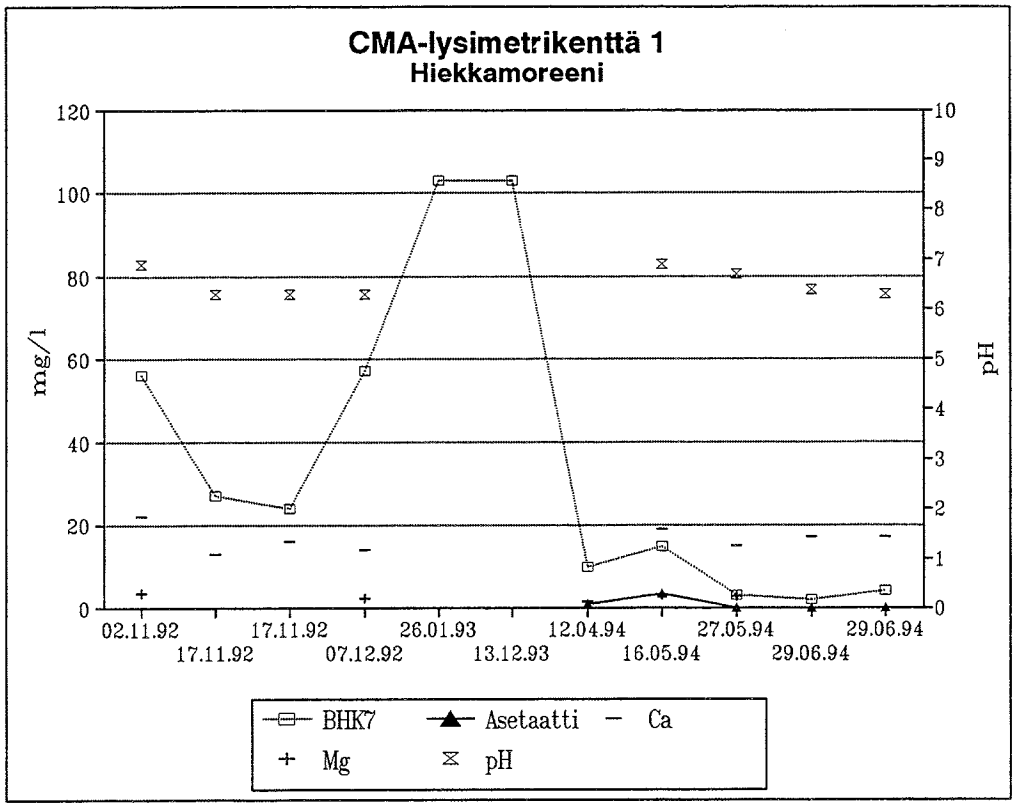


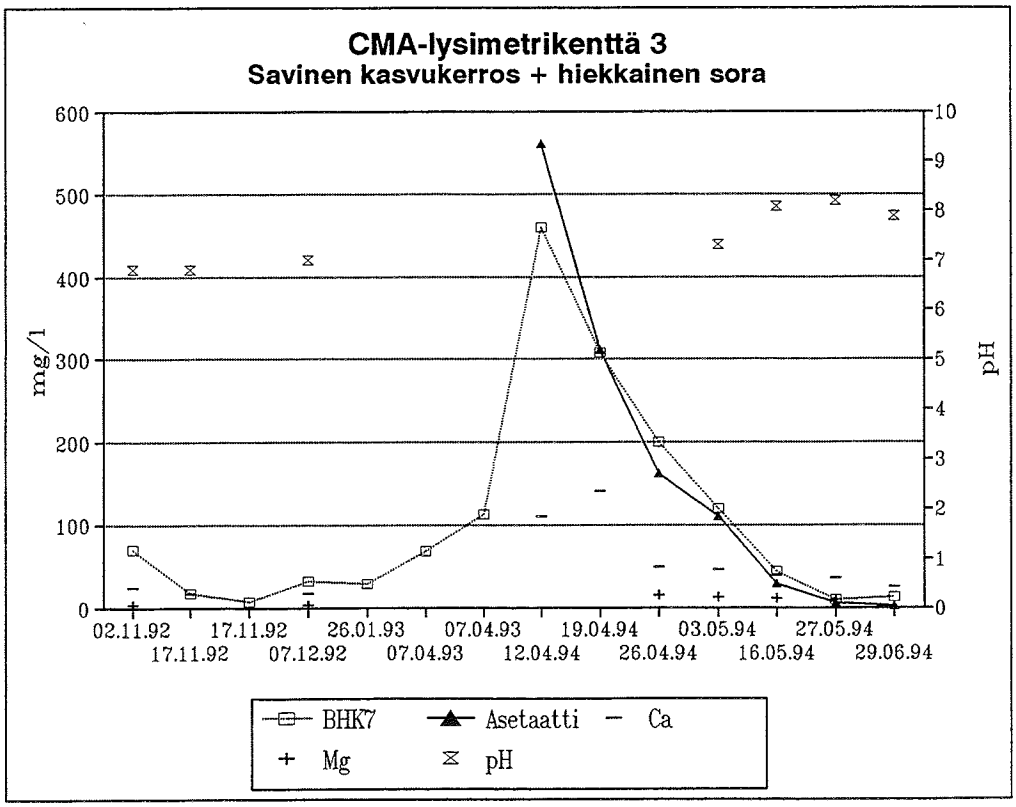
Kuva 2: Lämpötilahavainnot lysimetrikentän vieressä



Kuva 3: Lämpötilahavainnot lysimetrien pohjalta

Kahden lysimetrin, joihin ei lisätty CMA:ta, läpi suotautuneen veden analyysituloksia





TALVI JA TIELIIKENNE -PROJEKTIN JULKAISUJA
(Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja)

Raskaan liikenteen kuljettajien kyselytutkimus (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 44/1993. TIEL 4000050

Nastarenkaiden vaikutus matkoihin ja kuljettajien riskinottoon; Kuljettajavertailu, väliraportti (Tapani Mäkinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 1/1994. TIEL 4000054

Liikennemäärät eri kelioloissa tiesääasemien kelitiedon ja liikenteen automaattisilta mittauspisteiltä saadun liikennetiedon perusteella (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 14/1994. TIEL 4000064

Rajoitetun suolauksen kokeilu Uudenmaan tiepiirissä 1993-94; Ammattikuljettajien mielipiteet (Heikki Lappalainen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 20/1994. TIEL 4000068

Nastarenkaiden vaikutus polanteen kulumisnopeuteen ja tienpinnan kitkaominaisuuksiin (Matti Anila - Veli-Pekka Kallberg). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 26/1994. TIEL 4000072

Talvikelin vaikutus henkilöauton polttonesteen kulutukseen (Matti Anila, Veli Pekka Kallberg). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 27/1994. TIEL 4000073

CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994 (Jukka Yli-Kuivila). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 34/1994. TIEL 4000078.

Natriumkloridille tutkitut vaihtoehdot Yhdysvalloissa tehtyjen kirjallisuusselvitysten ja haastattelujen perusteella; Kirjallisuusselvitys. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/1994. TIEL 4000079.

Lumipolanteen kiillottuminen (Matti Anila, Kari Alppivuori) Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 39/1994. TIEL 4000082

TALVI JA TIELIIKENNE -PROJEKTIN JULKAISUJA
(Tielaitoksen selvityksiä)

CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 38/1992. TIEL 3200092

Nastojen, hiekoituksen ja suolauksen aiheuttama pöly ja sen leviäminen ympäristöön, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 79/1992. TIEL 3200120

Asfalttipäällysteiden suunnitteluperusteiden vertailu nastallisen ja nastattoman liikenteen välillä, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 17/1993. TIEL 3200144

Nastallisen ja nastattoman liikenteen pääilysteet, yhteenveto. Tielaitoksen selvityksiä 28/1993. TIEL 3200154

Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla (Amelia de Conter, Kirsti Granlund, Jouko Soveri). Tielaitoksen selvityksiä 33/1993. Keskushallinnon erillisprojekti. TIEL 3200158

Talvikunnossapidon laadun logistiset vaikutukset (Hanna Kalenoja, Jorma Mäntynen) Tielaitoksen selvityksiä 37/1993. TIEL 3200162

Talvirengastutkimus; Talvirenkaiden käyttö ja kunto sekä kuljettajien arviot talvirenkaistaan talvikaudella 1992-1993 (Kimmo Saastamoinen, Heikki Heinijoki). Tielaitoksen selvityksiä 45/1993. TIEL 3200170

Tiesuolaus ja pohjavedet; Nykytilan selvitys (Jukka Yli-Kuivila, Anna-Liisa Kivimäki, Timo Kinnunen). Tielaitoksen selvityksiä 49/1993. TIEL 3200174

Tiesuolan pohjavesivaikutukset - Kulkeutumismekanismien moni-ilmiömallinnus (Terhi Kling, Veijo Pirhonen). Tielaitoksen selvityksiä 65/1993. Keskushallinnon erillisprojekti. TIEL 3200190

Kokemuksia Japanin nastattomasta talvilliikenteestä. Tielaitoksen selvityksiä 66/1993. TIEL 3200191

Suolan käytön vähentäminen, väliraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikaudella 1992-1993 (Pauli Niemelä, Juhani Laurinkari, Sakari Kainulainen, RistoTuunanen). Tielaitoksen selvityksiä 67/1993. TIEL 3200192

Kelin vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikennevirran ominaisuuksiin (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen selvityksiä 80/1993. TIEL 3200204

Teiden suolauksen vähentäminen Kuopion tiepiirissä; Vaikutukset talvella 1992-1993 (Veli-Pekka Kallberg). Tielaitoksen selvityksiä 86/1993. TIEL 3200210

Kuljettajakäyttäytyminen kaarre- ja jonoajossa (M. Roine). Tielaitoksen selvityksiä 87/1993. TIEL 3200212

Kelin kokemisen, rengaskunnon ja rengastyypin vaikutus nopeuskäyttäytymiseen (Heikki Heinijoki). Tielaitoksen selvityksiä 19/1994. TIEL 3200229

Talvirangastutkimus; Talvikauden kulumis- ja kitkaominaisuuksien vertailu sekä käyttö ja kunto talvikaudella 1993-1994 (Jukka Antila, Timo Mäkelä, Heikki Heinijoki, Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen selvityksiä 34/1994. TIEL 3200243

Tiestön kunnossapito vähemmällä suolauksella. Loppuraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikausina 1992-1994 (Pauli Niemelä, Sakari Kainulainen). Tielaitoksen selvityksiä 38/1994. TIEL 3200247