

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN M O N I S T E S A R J A

Nro 500

**HIEKKA- JA MASUUNIKUONASUODATUS
TURVETUOTANTOALUEIDEN
VALUMAVESIEN PUHDISTUKSESSA**

**Tero Väisänen
Raimo Ihme
Esko Lakso**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 500

HIEKKA- JA MASUUNIKUONASUODATUS TURVETUOTANTOALUEIDEN VALUMAVESIEN PUHDISTUKSESSA

**Tero Väisänen
Raimo Ihme
Esko Lakso**

Vesi- ja ympäristöhallitus
Oulun vesi- ja ympäristöpiiri
Helsinki 1993

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Oulun vesi- ympäristöpiiristä.

ISBN 951-47-7366-7

ISSN 0783-3288

Helsinki 1993

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
2.8.1993

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Tero Väisänen, Esko Lakso ja Raimo Ihme

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)
Hiekka- ja masuunikuonasuodatus turvetuotantoalueen valumavesien puhdistuksessa
(Rening av lakvatten från torvproduktionsfält genom filtrering i sand och masugnsslagg)

Julkaisun laji
Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Turvetuotanto aiheuttaa vesistöihin kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Tällä voi olla merkittäviäkin paikallisia vaikutuksia. Kuormituksen vähentämiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä. Suodatusta on eri muodoissa tutkittu 1980-luvun puolivälistä saakka. Tämä tutkimus on osa projektia "Pintavalutus ja suodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistamisessa". Tutkimusprojektin ovat rahoittaneet kauppa- ja teollisuusministeriö, vesi- ja ympäristöhallitus ja turvetuottajat.

Hiekka- ja masuunikuonasuodattimien suunnittelun tärkein osa on materiaalin valinta. Materiaalivalinnassa on huomioitava erityisesti raekoko- ja raemuoto-ominaisuudet sekä materiaalin saatavuus kohtuukustannuksin.

Hiekkasuodattimilla saadaan poistettua kiintoainetta keskimäärin 35 %, kun tulevan veden pitoisuudet ovat pieniä (<20 mg l⁻¹). Suodattimen orgaanisen aineen ja ravinteiden puhdistusteho on noin 10 %.

Suodattimen tehokkaan käytön esteenä on sen nopea tukkeutuminen ja siten huono kuormituksen kestävyys. Suodattimet on tukkeutumisen jälkeen puhdistettava kuorimalla pintakerros pois. Tästä usein toistuvasta kuorinnasta aiheutuvat kustannukset heikentävät korkeiden rakentamiskustannusten kanssa suodattimen kannattavuutta, kun vertaillaan turvetuotantoalueen valumavesien eri puhdistusmenetelmiä.

Asiasanat (avainsanat)

Turvetuotanto, hajakuormitus, vesiensuojelutekniikka, suodatus

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero
Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja
nro 500

ISBN
951-47-7366-7

ISSN
0783-3288

Kokonaissivumäärä
69

Kieli
Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus
Julkinen

Jakaja
Oulun vesi- ja ympäristöpiiri
PL 124 90101 Oulu, puh (981) 315 8300

Kustantaja
Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250 00101 Helsinki

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen

Utgivningsdatum
2.8.1993

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Tero Väisänen, Esko Lakso och Raimo Ihme

Publikation (även den finska titeln)
Rening av lakvatten från torvproduktionsfält genom filtrering i sand och masugnsslagg
(Hiekka- ja masuunikuonasuotus turvetuotantoalueen valumavesien puhdistuksessa)

Typ av publikation
Forskningsrapport

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet
*

Publikationens delar

Referat

Torvproduktionen belastar vattendragen med suspenderat material och näringsämnen. Detta kan lokalt ha betydande effekter. För att minska belastningen har man utvecklat olika metoder. Filtrering i olika former har studerats sedan medlet av 1980-talet. Denna undersökning ingår i projektet "Rening av lakvatten från torvproduktionsfält genom översilning och torvfiltrering". Forskningsprojektet finansieras av handels- och industriministeriet, vatten- och miljöstyrelsen och torvproducenter.

När filter bestående av sand och masugnsslagg planeras är valet av material mycket viktigt. Härvid bör man särskilt beakta egenskaper som gäller kornstorlek och kornform samt att material finnas att tillgå till skälig kostnad.

Med sandfilter kan i snitt 35 % av det uppslammade materialet avskiljas, om halterna i det ingående vattnet är små (<20 mg l⁻¹). Av det organiska materialet och näringsämnena avskiljer filtret ca 10 %.

Filtret har dock nackdelen att det snabbt täpps till och dess belastningstålighet är därför svag. När ett filter är igentäppt måste det rensas genom att ytsiktet skalas bort. I förening med de höga investeringskostnaderna försämrar denna ofta upprepade åtgärd filtrets lönsamhet vid en jämförelse med olika metoder för rening av lakvatten från torvproduktionsfält.

Sakord (nyckelord)

Torvproduktion, diffus belastning, vattenskyddsteknik, filtrering

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer

Vatten- och miljöstyrelsen duplikatserie nr. 500

ISBN

951-47-7366-7

ISSN

0783-3288

Sidantal

69

Språk

Finska

Pris

Sekretessgrad

Öffentlig

Distribution

Uleåborgs Vatten- och Miljödistrkten
PB 124 90101 Uleåborg

Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101 Helsingfors

Published by
National Board of Waters and the Environment, Finland

Data of publication
2.8.1993

Author(s)
Tero Väisänen, Esko Lakso, Raimo Ihme

Title of publication
Sand and furnace slag filtration for the purification of runoff water issuing from peat mining areas

Type of publication
Research report

Commissioned by

Parts of publication

Abstract

Peat mining causes suspended solids and nutrients to leach into lakes and rivers, which may have serious local effects. A variety of methods have thus been developed for reducing such loading, various forms of filtration having been examined since the mid-1980's. The present investigation is part of the project "Overland flow and peat filtration for the purification of water issuing from peat mining areas", financed by the Ministry of Trade and Industry, the water and environmental authorities and the peat producers.

The most important stage in the design of sand and furnace slag filters is the selection of the proper material, which requires that account should be taken of features such as grain-size distribution, grain shape properties and the availability of the material at reasonable cost.

It is possible to remove an average of 35 % of suspended solids using sand filters if its concentrations in the water are low (<20 mg l⁻¹). The filter is also able to remove approx. 10 % of the organic matter and nutrients.

Efficient use of the filter is hampered by rapid clogging and poor resistance to loading. As the filters must be purified after each clogging by removing the surface layer, the considerable costs involved in this and their construction detract from their profitability relative to other purification methods.

Keywords

Peat production, pollution control technology, filtration

Other information

Series (key title and no.)
Mimeograph series of the National board of Waters and the Environment no. 500

ISBN
951-47-7366-7

ISSN
0783-3288

Pages
69

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Water- and Environment district of Oulu
P.O.Box. 124 SF-90101 Oulu

Publisher
The National Board of Waters and the Environment
P.O.Box 250 SF-00101 Helsinki

ALKUSANAT

Turvetuotannon laajenemisen vuoksi käynnistettiin 1980-luvulla tutkimusprojekti turvetuotannon vesien suojeluteknologian tehostamiseksi. Projekti toteutettiin kauppa- ja teollisuusministeriön, vesiviranomaisten, turvetuottajien, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen rakennuslaboratorion ja Oulun yliopiston yhteistyönä. Tavoitteena oli kehittää ja tehostaa jo käytössä olevia menetelmiä niin, että suolta tulevaa kuormitusta voidaan tehokkaasti vähentää tuotannon ja kuntoonpanon eri vaiheissa. Tämän projektin jatkona aloitettiin 1991 tutkimusprojekti "Pintavalutus ja suodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistamisessa". Hiekka- ja masuunikuonasuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa on tämän tutkimuksen yksi osaprojekti.

Tutkimuksen päärahoittajina toimivat kauppa- ja teollisuusministeriö, vesi- ja ympäristöhallitus sekä turvetuottajat.

Tutkimuksia valvoi ja ohjasi työryhmä, johon kuuluivat apulaisprofessori Esko Lakso (puh. joht.) Oulun yliopistosta, DI Antti Lehtinen vesi- ja ympäristöhallituksesta, Tkl Raimo Ihme VTT:n rakennuslaboratoriosta sekä FL Kaisa Heikkinen Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä. Työryhmän kokouksiin osallistuivat myös toimialapäällikkö Juha Kauto Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä, DI Marjut Hertell vesi- ja ympäristöhallituksesta ja tekn.yo Tero Väisänen Oulun vesi- ja ympäristöpiiristä. Tutkimustoimintaan osallistui myös lukuisia muita henkilöitä, jotka ovat tarmokkuudellaan ratkaisevasti edistäneet työn toteutumista.

Kiitämme lämpimästi kaikkia edellä mainittuja ja kaikkia muita tutkimukseen osallistuneita hyvästä yhteistyöstä.

Oulu, huhtikuussa 1993

Tero Väisänen Esko Lakso Raimo Ihme

SISÄLLYS

Sivu

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	9
2	SUODATUKSEN TEOREETTISET PERUSTEET	9
2.1	Suodatusprosessiin vaikuttavat tekijät	9
2.2	Suodatinmateriaalin valinta	10
3	MAASUODATTIMIEN PIENOISMALLIKOKEET	12
3.1	Aineisto ja menetelmät	12
3.1.1	Pienoismallin rakenne ja koejärjestelyt	12
3.1.2	Suodatinmateriaali, kerrospaksuudet ja tutkitut pintakuormat	12
3.1.3	Vesianalyysit	14
3.2	Tulokset	14
3.2.1	Veden laatu	14
3.2.2	Vesi- ja kiintoainemäärät sekä suodattimen tukkeutuminen	15
3.2.3	Puhdistustulokset	16
3.3	Tulosten tarkastelu	19
3.3.1	Veden laatu	19
3.3.2	Vesi- ja kiintoainemäärät sekä suodattimen tukkeutuminen	19
3.3.3	Puhdistusteho	20
3.3.4	Suodattimen mitoitus	20
4	PIIPSANNEVAN MAASUODATTIMET	20
4.1	Aineisto ja menetelmät	20
4.1.1	Tutkimusalue	20
4.1.2	Maasuodattimien rakenne	21
4.1.3	Suodatuskokeiden valmistelu ja koejärjestelyt	21
4.1.4	Suodatinmateriaalien ominaisuudet, kerrospaksuudet ja tutkitut pintakuormat	24
4.1.5	Vesianalyysit	24
4.1.6	Suodattimien kunnossapitoon liittyvät tutkimukset	26
4.2	Tulokset	26
4.2.1	Kuormitus	26
4.2.1.1	Vesi- ja kiintoainemäärät ja suodattimien tukkeutuminen	26
4.2.2	Puhdistustulokset	29
4.2.2.1	Suodatin 1	29
4.2.2.2	Suodatin 2	35
4.2.2.3	Suodatin 3	40
4.2.3	Kunnossapidolliset tutkimukset	46
4.3	Tulosten tarkastelu	47
4.3.1	Suodattavan veden laatu	47
4.3.2	Suodattimen tukkeutuminen	47
4.3.3	Puhdistustulokset	48
4.3.3.1	Kiintoaine	48
4.3.3.2	Orgaaniset aineet	48
4.3.3.3	Typpi	48
4.3.3.4	Fosfori	48
4.3.3.5	Rauta	49
4.3.4	Kunnossapidolliset tutkimukset	49

5	SUUNNITTELU, RAKENTAMINEN, KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO	49
5.1	Suodattimen suunnittelu	49
5.1.1	Rakennuspaikan valinta	49
5.1.2	Suodattimen mitoitus	50
5.1.3	Suodattimen rakenteellinen suunnittelu	50
5.1.3.1	Kantavat rakenteet	50
5.1.3.2	Vedenjakorakenteet	50
5.1.3.3	Vedenpoistorakenteet	51
5.2	Suodattimen rakentamiskustannukset	51
5.3	Suodattimen käyttö ja kunnossapito	51
5.3.1	Suodattimen puhdistaminen	51
5.3.2	Vuosittaiset kunnossapitotoimenpiteet	51
5.3.3	Käyttö- ja kunnossapitokustannukset	51
5.4	Suodattimien soveltuvuus käytäntöön	52
6	JATKOTUTKIMUSTARVE	52
7	YHTEENVETO	52
	SUMMARY	53
	KIRJALLISUUS	55

LIITTEET

1	Pienoismallikokeiden analyysitulokset ja poistumat vuonna 1991
2	AAS-analyysien tulokset pienoismallikokeiden näytteistä vuonna 1991
3	Suodattimen 1 analyysitulokset ja poistumat vuonna 1991
4	Suodattimen 2 analyysitulokset ja poistumat vuonna 1991
5	Suodattimen 3 analyysitulokset ja poistumat vuonna 1991
6	Idealisuodattimen rakennekuvat (tasokuva 1:800, pituus- ja poikkileikkauskuvat)
7	Idealisuodattimen kokonaiskustannusarvio (rakentamis- ja kunnossapito-kustannusarvio)

1 JOHDANTO

Turpeen käyttö energiantuotannossa on kasvanut Suomessa nopeasti. Vuonna 1990 oli tuotantokuntoisia soita noin 58 000 ha. Näistä tuotannossa oli noin 40 000 ha. Tuotantoalueilta nostettiin turvetta yli 20 miljoonaa kuutiota. Huomattava osa maamme turvesoista sijaitsee Oulun läänissä, missä oli vuonna 1990 noin 15 000 ha tuotantokuntoista suota. Tiedossa olevien turpeen käytön laajennushankkeiden vuoksi turvetuotantoalan on arvioitu edelleen lisääntyvän lähivuosina.

Turvetuotannon seurauksena muuttuvat sekä valumavesien määrä että laatu. Kiintoainetta huuhtoutuu vesistöön turvetuotantoalueilta etenkin runsaan valunnan aikana. Myös liukoisien humuksen ja ravinteiden huuhtoumat voivat lisääntyä. Etenkin ammoniumtyyppiä huuhtoutuu runsaasti luonnonhuuhtoumaan verrattuna. Turvetuotanto voi olla myös fosforikuormittajana paikallisesti merkittävä.

Turvetuotantoalueelta valuvia vesiä on puhdistettu nykyisin lähinnä pintavalutuksen ja laskeutusaltaiden avulla. Aikaisemmin on tutkittu raakaturpeen käyttöä suodatinmateriaalina. Sen käytössä ilmenneiden ongelmien pohjalta on pyritty löytämään soveltuvampia suodatusmateriaaleja.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hiekka- ja masuunikuonasuodatusten soveltuvuus turvetuotannon valumavesien puhdistukseen. Tarkoituksena oli saada tietoa suodattimen puhdistuskyvystä, suunnittelu- ja mitoitusarvoista sekä kunnossapidosta. Tutkimuksessa selvitettiin ensisijaisesti, miten suodattimella saadaan poistettua valumavedestä kiintoainetta ja liuenneita ravinteita.

Kesällä 1991 tehtiin tutkimuksia Haapaveden kunnassa sijaitsevan Piipsannevan turvetuotantoalueella. Piipsannevan kenttätutkimuksissa tutkittiin kolmen erityyppisen materiaalin suodatusominaisuuksia.

2 SUODATUKSEN TEOREETTISET PERUSTEET

2.1 Suodatusprosessiin vaikuttavat tekijät

Suodatuksella pyritään kiintoaineen, kiintoaineeseen sitoutuneiden ravinteiden ja jossain määrin myös veteen liuenneiden aineiden poistoon puhdistettavasta vedestä. Vesi johdetaan rakeisen suodatinmateriaalin läpi, jossa kiintoainepartikkelit tarttuvat rakeiden pinnalle tai pidättyvät materiaalin huokosiin. Ravinteita voi pidättyä myös fysikaalis-kemiallisten ja biologisten prosessien kautta suodatinmateriaaliin.

Kun suodatin ei enää pidätä tulevaa kiintoainetta, vaan päästää sen lävitseen tai suodattimen painehäviö kasvaa sallitun suuruiseksi on suodatus lopetettava ja suodatin puhdistettava. Teoreettisesti, suodatusjakson pituus määräytyy painehäviön ja suodoksen laadun mukaan (kuva 1).

Suodatuksen suunnittelussa on otettava huomioon eri tekijät siten, että saadaan korkealaatuista suodosta ja suodatusjakso on riittävän pitkä. Suodatin tulisi olla puhdistettavissa suhteellisen helposti. Suodatintyyppi ja -materiaali on valittava siten, että likapartikkelien haluttu pidättyminen suodattimessa saavutetaan. Likapartikkelien pidättymistapaa voidaan tutkia painehäviön kehityksen avulla. Painehäviön kasvaessa ajan suhteen tasaisesti tunkeutuvat likapartikkelit koko suodatinkerrokseen. Painehäviön kasvaessa eksponentiaalisesti pidättyminen tapahtuu suodatinmateriaalin pinnassa. Suodatettavan veden laatu vaikuttaa suodatintyyppin valintaan. Suodatintyyppin valinnan jälkeen suunnittelu kohdistuu lähinnä raekokoon, suodatinpatjan paksuuteen ja suodatusnopeuteen ja ne ovat vuorovaikutussuhteessa toisiinsa (taulukko 1).

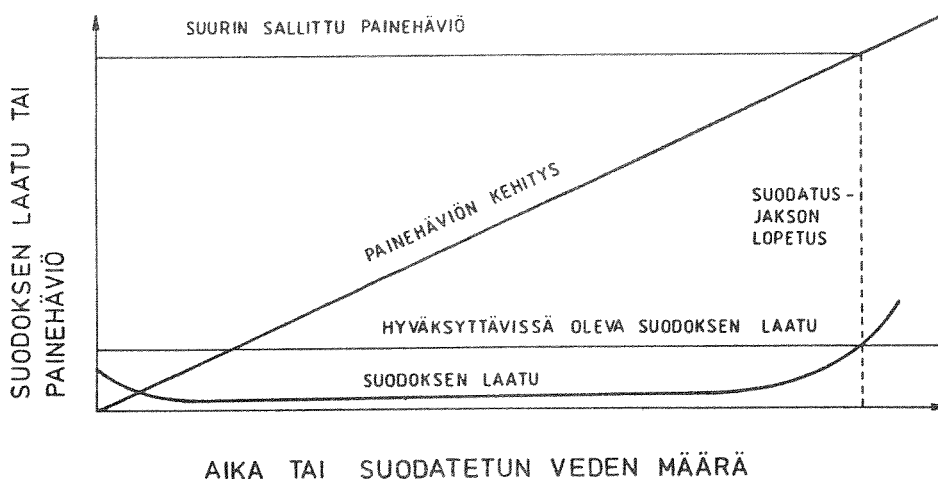
Suodatinpatjan paksuuden on oltava sellainen, että likapartikkelit ehtivät pidäytyä siihen veden kulkiessa patjan läpi. Raekoko ja patjan syvyys määräävät partikkeleiden ja rakeiden kontaktipinnan sekä varastokapasiteetin. Partikkeleiden pidäytyessä suodattimen pintaan ei suodatinkerroksen paksuudella ole merkitystä puhdistustehoon. Mitä syvemmälle partikkelit suodattimessa tunkeutuvat, sitä suurempi pitää suodatinpatjan paksuuden olla. Tunkeutumissyvyyteen vaikuttavat partikkelin pidäytymisominaisuudet, flokin koko ja sitkeys sekä suodatusnopeus.

Suodatusnopeus on valittava sellaiseksi, että likapartikkeleiden muodostamat flokit eivät rikkoonnu haitallisesti virtauspaineen vuoksi. Valintaan vaikuttavat tulevan flokin sitkeys, suodatinmateriaalin raekoko ja vaadittu puhdistusteho. Suodatinpinta-ala määrää suodatusnopeuden pystyvirtaussuodattimissa.

2.2 Suodatinmateriaalin valinta

Raekoko on tärkein suodatinmateriaalin ominaisuuksista. Se vaikuttaa suodatusjakson alkupainehäviöön ja painehäviön kehitykseen. Jos materiaaliksi valitaan liian pienirakeinen materiaali, kuluu suurin osa suodattimen ylä- ja alapuolen välisestä paine-erosta suodatinvastuksen voittamiseen. Toisaalta, jos valitaan liian suuri raekoko, pienet partikkelit läpäisevät suodattimen. Suodatinmateriaalimäärityksissä käytetään suurimman ja pienimmän raekoon lisäksi rakeisuutta kuvaavina tekijöinä tehokasta raekokoa ja tasaisuuslukua. Tehokas raekoko tarkoittaa raekokoa d_{10} , josta pienempiä rakeita on 10 painoprosenttia koko materiaalmäärästä. Tasaisuusluku saadaan jakamalla raekoko d_{60} , josta pienempiä rakeita on 60 painoprosenttia koko materiaalmäärästä, tehokkaalla raekoolla. Tehokas raekoko vaikuttaa materiaalin vedenläpäisevyyteen. Tehokkaan raekoon ja vedenläpäisevyyden vuorovaikutus on likimääräisesti arvioitavissa kuvan 2 avulla. Tasaisuusluvulla 1,5 - 2,0 saadaan riittävän tasarakainen suodatinmateriaali, jotta materiaali ei lajittuisi suodatusten aikana.

Suodatinmateriaalin raemuoto vaikuttaa myös suodatuskykyyn. Se vaikuttaa materiaalin huokoisuuteen ja painehäviökehitykseen, mutta sillä on vähäinen merkitys suodoksen laatuun. Siitä, miten raemuoto vaikuttaa suodoksen laatuun on ristiriitaisia tuloksia. Kokeissa on todettu kulmikkaan raemuodon lisäävän suodatusjakson pituutta n. 30-40 % (Baylis ym. 1971; Cleasby & Fan 1981).

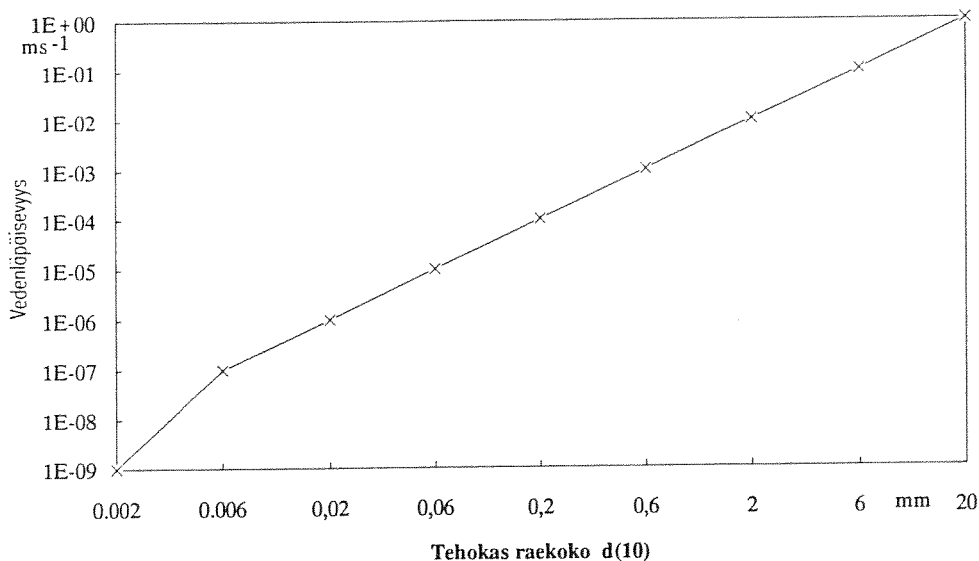


Kuva 1. Suodatusjakson pituuden määräytyminen sallitun painehäviön ja suodoksen laadun mukaan (Tebbut 1971).

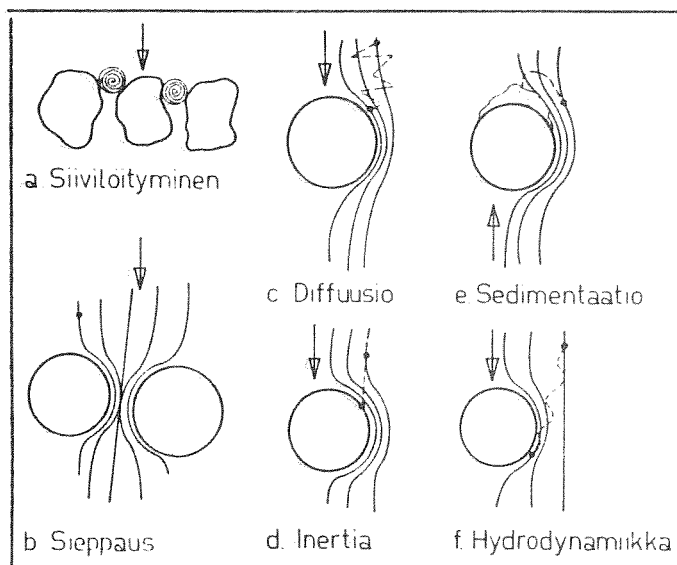
Taulukko 1. Suodatuksen suunnittelun päämuuttujat (Wastewater Engineering 1979).

MUUTTUJA	MERKITYS
1. Materiaaliominaisuudet a) raekoko b) rakeisuus c) raemuoto, tiheys ja koostumus d) rakeiden varaus	vaikuttavat puhdistustehoon ja painehäviön kehitykseen
2. Huokoisuus	vaikuttaa varastointikapasiteettiin
3. Suodatinpatjan paksuus	vaikuttaa painehäviöön ja suodatusjakson pituuteen
4. Suodatusnopeus	vaikuttaa alkupainehäviöön kohdissa 1, 2, 3 ja 6 esitettyjen muuttujien kanssa
5. Sallittu painehäviö	suunniteltava parametri
6. Tulevan veden ominaisuudet a) kiintoainepitoisuus b) flokin koko ja jakauma c) flokin sitkeys d) flokin varaus e) virtausominaisuudet	vaikuttavat pidättymisominaisuuksiin

Kiintoainehiukkasen pidättymiseen suodatinmateriaalin pinnalle vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kuuteen eri ryhmään (kuva 3). Näiden ominaisuuksien yhteisvaikutuksesta suodatinaineeseen pidättyy hiukkasia, joiden koko on selvästi pienempi kuin suodatinmateriaalin huokoskoko. Siivilöityminen on ilmeisesti tärkein pidättymistapa turvetuotannon valumavesien käsittelyssä. Suodatuksen aikana suodatinmateriaalin tehokas raekoko muuttuu ja vaikuttaa painehäviön muodostumiseen. Painehäviön muutosten matemaattinen seuraaminen on käytännössä mahdotonta niin, että siitä olisi hyötyä suodattimen suunnittelussa ja hoidossa.



Kuva 2. Suodatinmateriaalin tehokkaan raekoon ja vedenläpäisevyyden vuorosuhde. Vedenläpäisevyyden yksikkö kuvan y-akselilla tarkoittaa seuraavaa: $1 \text{ E-02} = 1 \cdot 10^{-2}$ (RIL 126 1987).



Kuva 3. Suodatinhiukkasen pinnalle vedestä erottuvan hiukkasen pidättymistavat. (RIL 93 1973).

3 MAASUODATTIMEN PIENOISMALLIKOKEET

3.1 Aineisto ja menetelmät

3.1.1 Pienoismallin rakenne ja koejärjestelyt

Maasuodattimen pienoismallikokeet tehtiin Piipsannevan suodatuskoealueella kesä - heinäkuussa 1991 (kuva 13, s. 23). Tutkimuksissa käytettiin pienoismallia, joka rakennettiin turvesuodatuskokeita varten vuonna 1988. Pienoismalli oli 6,0 mm pleksilasista rakennettu allas, joka tuettiin teräksisestä huonekaluputkesta rakennetulla kehikolla (kuva 4). Suodatinltaan pohja oli neliö, jonka sivun pituus oli 1,0 m ja altaan korkeus oli 1,2 m. Suodattimen yläosassa oli vedenjakokouru, jonka avulla vesi saatiin leviämään tasaisesti suodattimen pinnalle. Suodatinmateriaaleina kokeiltiin granulointua masuunikuonaa sekä granuloidun masuunikuonan ja jyrshinturpeen sekoitusta. Suodatinkerroksen paksuus oli kokeiden alussa 0,4 m. Suodatinkerroksen alla oli 0,4 m sorakerros, jonka raekoko oli 5-12 mm ja josta hienoaines oli pääosin pesty pois. Salaoja, jonka halkaisija oli 100 mm, oli murskekerroksen alaosassa. Vedenpoistoputkena oli PVC-viemäriputki, jonka poistokorkeus määritettiin niin, että suodattimen pinnalle jäi vähintään 0,2 m vesikerros.

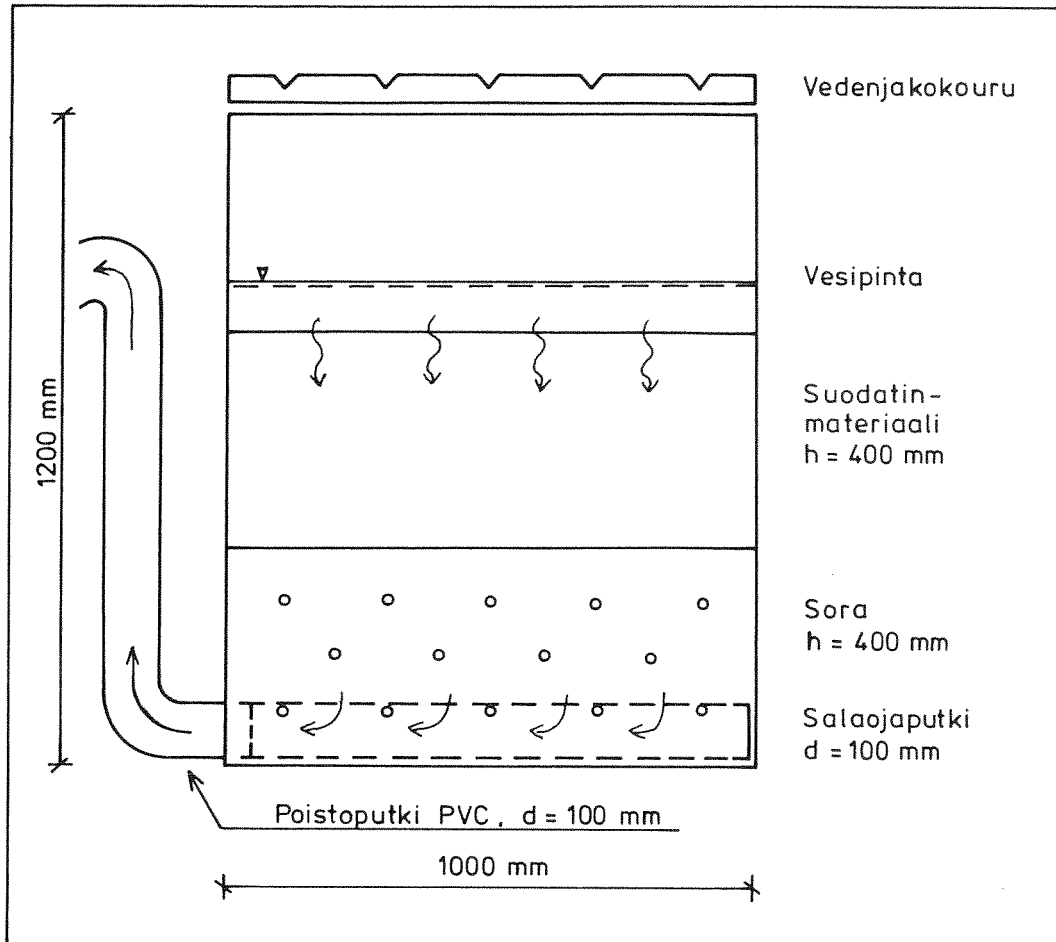
Vedensyöttöaltaana käytettiin suodattimen 1 vedenjakokaivoa, johon vesi pumpattiin Kottaajasta (kuva 13). Vesi pumpattiin vedenjakokaivosta pienoismalliin 0,6 kW uppopumpulla muoviletkua ($d = 20$ mm) pitkin. Pumpun ja letkun välissä oli venttiili virtaaman säätöä varten. Pumppausteho määritettiin juoksumalla vettä 12 l sankoon ja mittaamalla täyttymiseen kuluva aika. Haluttu suodattimen pintakuorma saatiin säätämällä juoksumus ennakkoon laskettua täyttymisaikaa vastaavaksi.

3.1.2 Suodatinmateriaali, kerrospaksuudet ja tutkitut pintakuormat

Pienoismallilla tutkittiin granuloidun masuunikuonan, josta jatkossa käytetään lyhennettä MAKU, soveltuvuutta suodatinmateriaaliksi. Käytetyn masuunikuonan (kuvissa 5, 6, 8 ja 10 merkintä M1) tehokas raekoko (d_{10}) oli 0,3 mm ja tasaisuusluku (d_{60}/d_{10}) oli 3,5. Lisäksi käytettiin käsinseulottua masuunikuonaa (kuvissa 5, 6, 8 ja 10 merkintä M2),

jonka hydrauliset suodatinmateriaaliominaisuudet olivat lähes samat kuin seulomattoman masuunikuonan ominaisuudet (kuva 5). Viimeisessä suodatuskokeessa kokeiltiin rahkajyrsinturpeesta, jonka maatuneisuusaste oli H 1 - H 3, ja käsinseulotusta masuunikuonasta yhdistetyn suodatinmateriaalin (kuvissa 6, 8 ja 10 merkintä M3) toimivuutta. Materiaalien sekoitussuhde oli tilavuuden mukaan määritettynä 1:1. MAKUn toimitti raahelainen Suomen Kuonajaloste Oy.

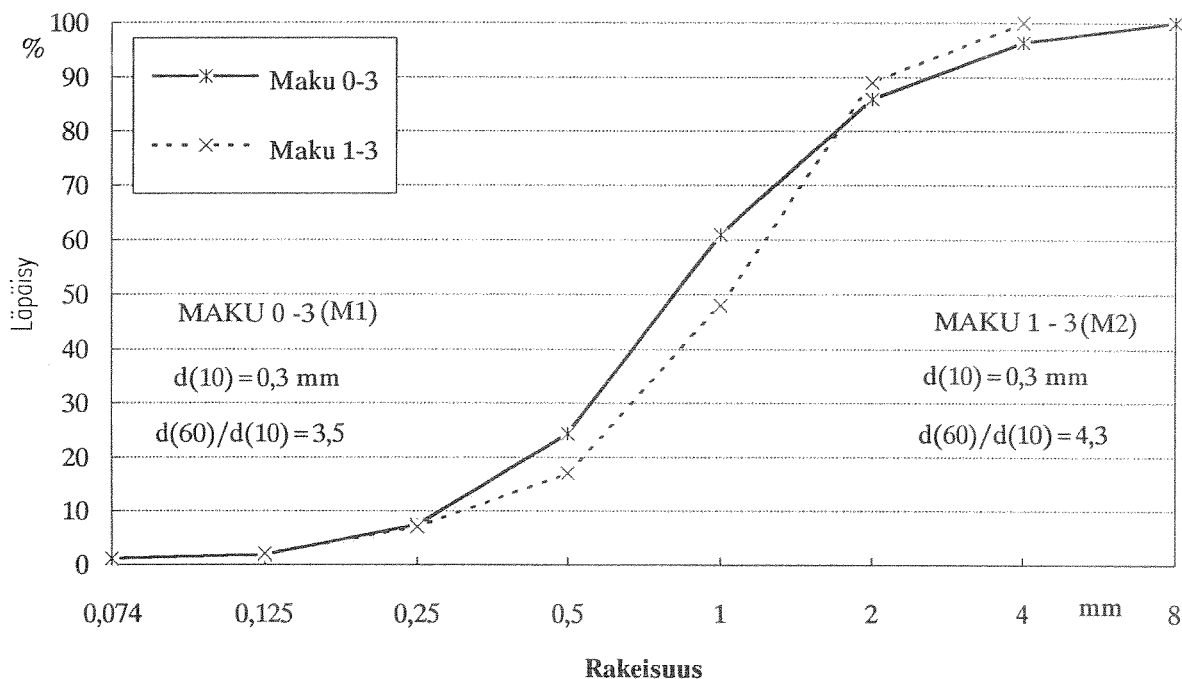
Suodatukset tehtiin pintakuormilla $0,5 - 1,5 \text{ m h}^{-1}$. Suodatinmateriaalin paksuus oli suodatuksen alussa $0,4 \text{ m}$ ja väheni kokeiden edetessä suodattimen puhdistamisen vuoksi. Pienoismallilla tehtiin yhteensä 5 suodatusta. Suodatusajat olivat keskimäärin 30 h . Kaikissa suodatuksissa pyrittiin mahdollisimman pitkään yhtäjaksoiseen suodatusjaksoon, kunnes suodatin tukkeutui (taulukko 2).



Kuva 4. Maasuodattimen pienoismallin rakenne.

Taulukko 2. Pienoismallilla tehdyt suodatuskokeet Piipsannevalla vuonna 1991.

Suodatuskoe	Suodatusaika	Kesto h	Vesimäärä m^3	Pintakuorma m h^{-1}	Kerrospaksuus m	Materiaali
D	9.-10.7.	27	29	1,08	0,40	MAKU 0-3 mm
J	24.-26.7.	49	26,5	0,54	0,37	MAKU 0-3 mm
K	29.-30.7.	23	34,9	1,50	0,40	MAKU 1-3 mm
M	31.7.-1.8.	27	27,2	1,00	0,35	MAKU 1-3 mm
O	15.-17.8.	48	48,4	1,00	0,40	MAKU + TV



Kuva 5. MAKUn rakeisuuskäyrät pienoismallikokeissa 1991.

3.1.3 Vesianalyysit

Suodattimen 1 (kuva 12, s. 10) vedenjakokaivoon pumpatusta vedestä ja suodatetusta vedestä otettiin vesinäytteet kolme kertaa vuorokaudessa kahdeksan tunnin välein kello 7.00, 15.00 ja 23.00. Vuorokautiset kertonäytteet yhdistettiin kokoomanäytteeksi. Näytteistä määritettiin kiintoainepitoisuus, kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}), pH, väri sekä kokonaistyppe-, kokonaisfosfori- ja kokonaisrautapitoisuus. Näytteet analysoitiin Oulun yliopiston vesitekniikan laboratoriossa vesi- ja ympäristöhallinnon käyttämällä analyysimenetelmillä (Vesihallitus 1981).

Masuunikuonassa olevien raskasmetallien liukeneminen veteen tarkastettiin määrittämällä pienoismallille tulevasta vedestä ja suodatetusta vedestä alumiini-, kadmium-, kromi-, lyijy-, mangaani- ja sinkkipitoisuudet atomiadsorptiospectrofotometrillä. Analyysimenetelmästä käytetään jatkossa nimitystä AAS-menetelmä. Vesinäytteet AAS-analyysia varten otettiin kunkin suodatusjakson alussa kertonäytteinä kerran tunnissa kuuden tunnin ajan. Kertonäytteiden lisäksi otettiin AAS-määrittämisä varten vuorokautinen kokoomanäyte muiden vesinäytteiden tapaan. Taulukoissa 4 ja 6 oleva määrittysten tarkkuusraja on sellainen ko metallin pitoisuuden raja-arvo, joka voidaan kohtuudella määrittää AAS-analyysillä.

3.2 Tulokset

3.2.1 Veden laatu

Pienoismallissa tehdyistä kuonasuodatuksista analysoidut tulevan ja lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet sekä pitoisuuksien vaihteluvälit on esitetty taulukossa 3. Liitteessä 1 on esitetty analyysitulokset kokeittain.

Taulukko 3. Suodattimeen tulevan ja siitä lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet ja pitoisuuksien vaihteluväli

Aine	Tuleva vesi			Lähtevä vesi		
	Min.	Ka	Max.	Min.	Ka	Max.
Kiintoaine mg l ⁻¹	6,9	10,0	14,0	3,0	6,4	11,5
pH	5,8	6,2	6,3	6,4	8,7	10,3
Väri mg Pt l ⁻¹	300	360	450	180	280	375
COD _{Mn} mg l ⁻¹	47,8	49,8	55,2	34,2	45,2	51,4
Kok. N µg l ⁻¹	2690	3990	5270	2540	4010	4880
Kok. P µg l ⁻¹	40	77	118	31	65	87
Kok. Fe µg l ⁻¹	2500	3600	4600	300	1700	3600

Taulukko 4. Keskimääräiset tulevan ja lähtevän veden metallipitoisuudet pienoismallissa AAS-menetelmällä määritettynä.

Metalli	Määrittäjäraja mg l ⁻¹	Tuleva vesi mg l ⁻¹	Lähtevä vesi mg l ⁻¹
Al	1,0	<1,0	<1,0
Cd	0,05	<0,02	<0,02
Cr	0,05	<0,01	<0,01
Mn	0,5	<0,18	<0,04
Pb	0,05	<0,15	<0,15
Zn	1,0	<1,0	<1,0

Merkittävin muutos veden laadussa suodatusten tuloksena on pH:n ja kokonaistypipiarvojen kohoaminen. Keskimääräiset tulevan ja lähtevän veden metallipitoisuudet on esitetty taulukossa 4 sekä koekohtaiset tulokset liitteessä 2.

3.2.2 Vesi- ja kiintoainemäärät sekä suodattimen tukkeutuminen

Kunkin pienoismallikokeen aikana johdettiin suodattimeen 27 - 48 m³ vettä. Kiintoainekuormitus oli 0,028 - 0,47 kg suodatinneliometriä kohti eli 0,07 - 1,35 kg suodatinmateriaalikuutiota kohti (taulukko 5).

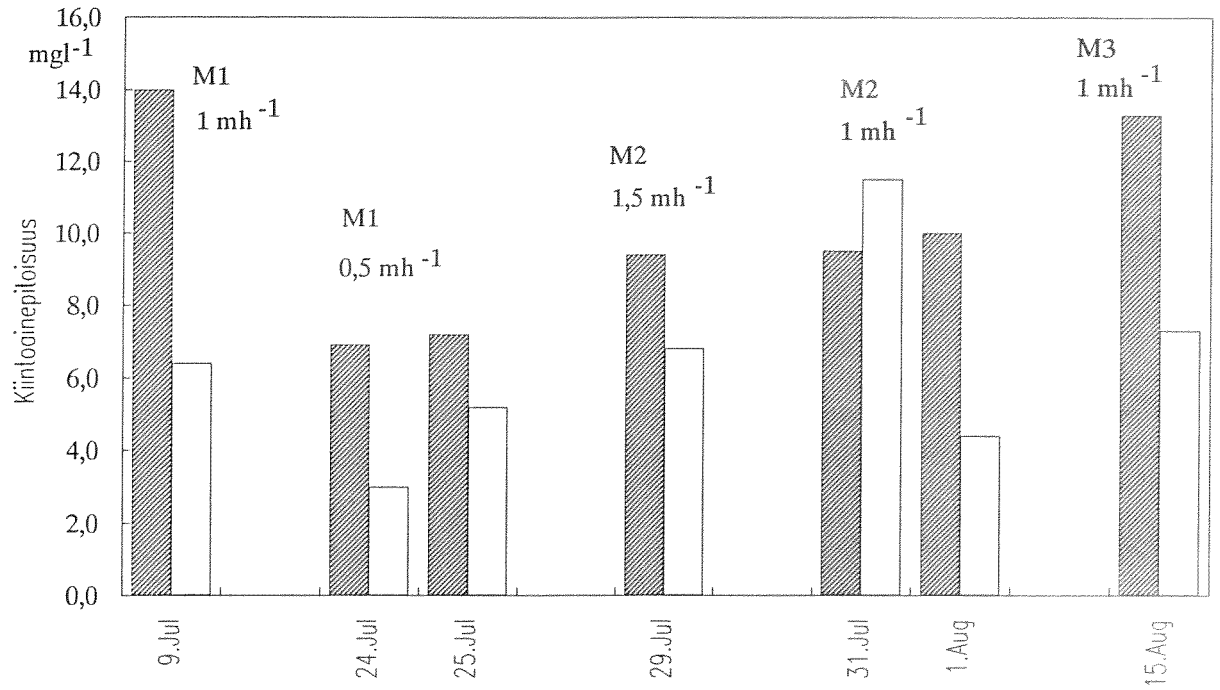
Suodattimen tukkeutumista seurattiin pumppaamalla suodattimeen vettä niin kauan, että sallittu painehäviö saavutettiin. Pienoismallikokeiden aikana sallittu painehäviö oli 0,3 m ja se määräytyi suodatusaltan mittojen mukaan. Mittaukset keskeytettiin välittömästi suodattimen tukkeuduttua. Pienoismallikokeiden keskimääräinen yhtäjaksoinen pumppausaika oli 31 h pintakuorman vaihdella 0,5 - 1,5 m h⁻¹ (taulukko 2). MAKUa käytettäessä suodattimen pintaan pidättyi keskimäärin 0,1 kg kiintoainetta neliometrille, eli 0,25 kg suodatinmateriaalikuutiota kohden. MAKUn ja jysinturpeen yhdistelmää (suodatus O) käytettäessä, suodattimen pintaan pidättyi keskimäärin 0,14 kg kiintoainetta neliometrille, eli 0,35 kg suodatinmateriaalikuutiota kohden.

3.2.3 Puhdistustulokset

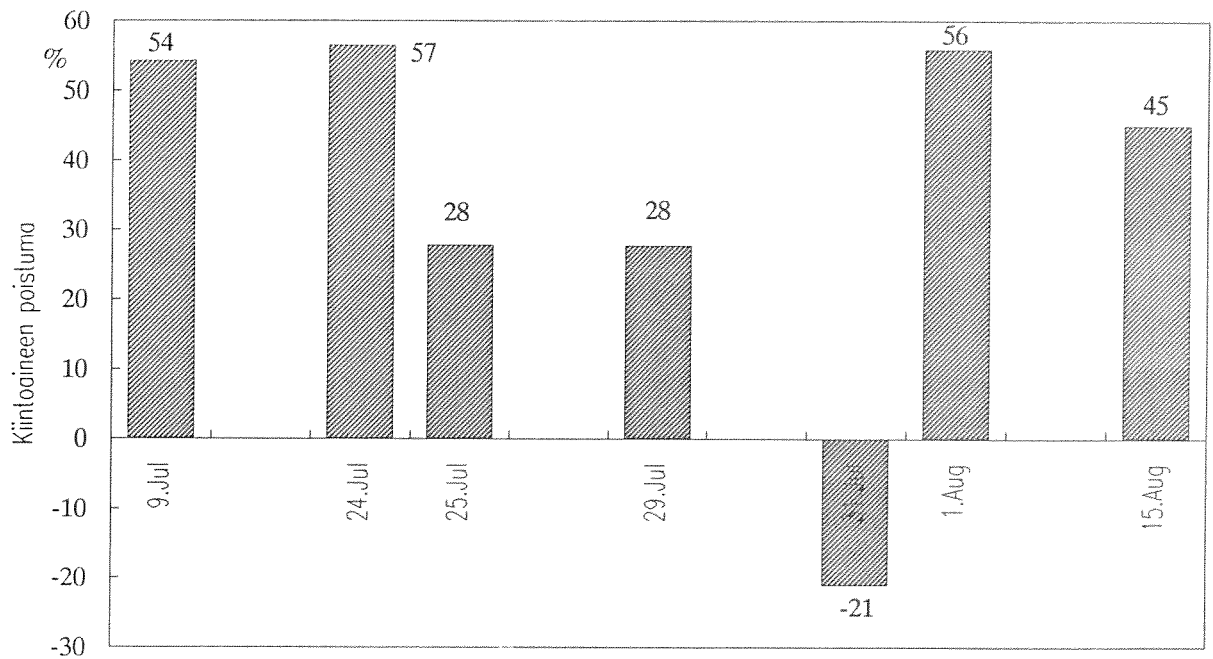
Suodatinmateriaali MAKU pidätti kiintoainetta keskimäärin 36 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 10 mg l^{-1} ja maksimissaankin vain 14 mg l^{-1} . Suodatuksessa O (taulukko 2) kiintoaineen poistuma oli 45 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin $13,3 \text{ mg l}^{-1}$ (kuvat 6 ja 7). Kemiallisen hapenkulutuksen poistuma oli suodatusten (D, J, K ja M) yhteydessä keskimäärin 12 % lähtöpitoisuuden ollessa alle $55 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$. Suodatuksessa O kemiallinen hapenkulutus kasvoi 7 % eli arvoon $51,4 \text{ mg l}^{-1}$. Kokonaistyyppipitoisuus kasvoi keskimäärin suodatusten D, J, K ja M aikana noin 3 %, eli arvoon $4250 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$. Suodatuksen O yhteydessä kokonaistyyppipitoisuus väheni 6 %, eli arvoon 2540 mg l^{-1} (kuvat 8 ja 9). Kokonaisfosforipitoisuus väheni keskimäärin 16 %, eli arvoon $61 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ suodatusten D, J, K ja M aikana. Suodatuksessa O kokonaisfosforipitoisuus väheni 2 %, eli arvoon $87 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ (kuvat 10 ja 11). Rautapitoisuus väheni pienoismallisuoatusten aikana keskimäärin 54 %, eli arvoon 1700 mg l^{-1} . Liitteessä 1 on esitetty pienoismallikokeiden koekohtaiset poistumaprosentit parametreittain.

Taulukko 5. Eri suodatusjaksojen aikana pienoismalliin johdetut vesi- ja kiintoainemäärät sekä pidättynyt kiintoainemäärä suodatinneliometriä sekä suodatinmateriaalikuutioita kohden. Suodatusjaksot ovat samat kuin taulukossa 2.

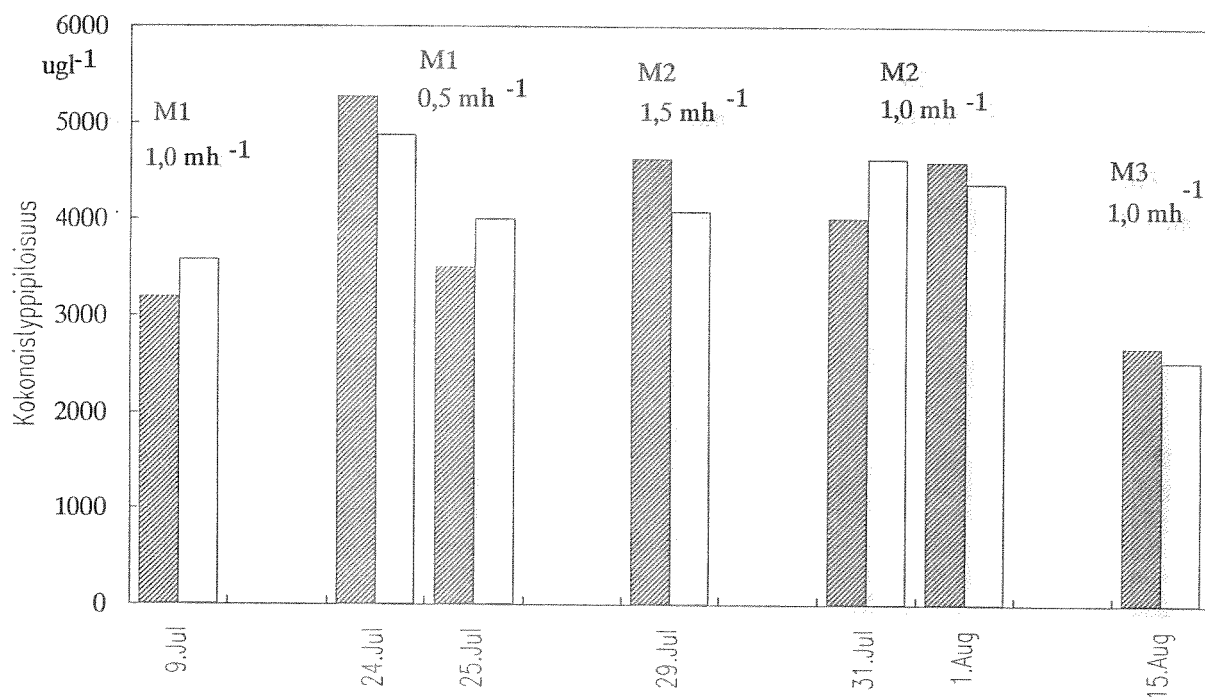
Suodatus	Kerros-paksuus m	Johdettu vesi- määrä m^3	Johdettu kiinto- ainemäärä		Pidättynyt kiinto- ainemäärä	
			kg m^{-2}	kg m^{-3}	kg m^{-2}	kg m^{-3}
D	0,4	29	0,03	0,07	0,02	0,04
J	0,37	27	0,18	0,49	0,08	0,21
K	0,4	35	0,34	0,89	0,09	0,23
M	0,35	27	0,47	1,35	0,19	0,54
O	0,4	48	0,32	0,8	0,14	0,35



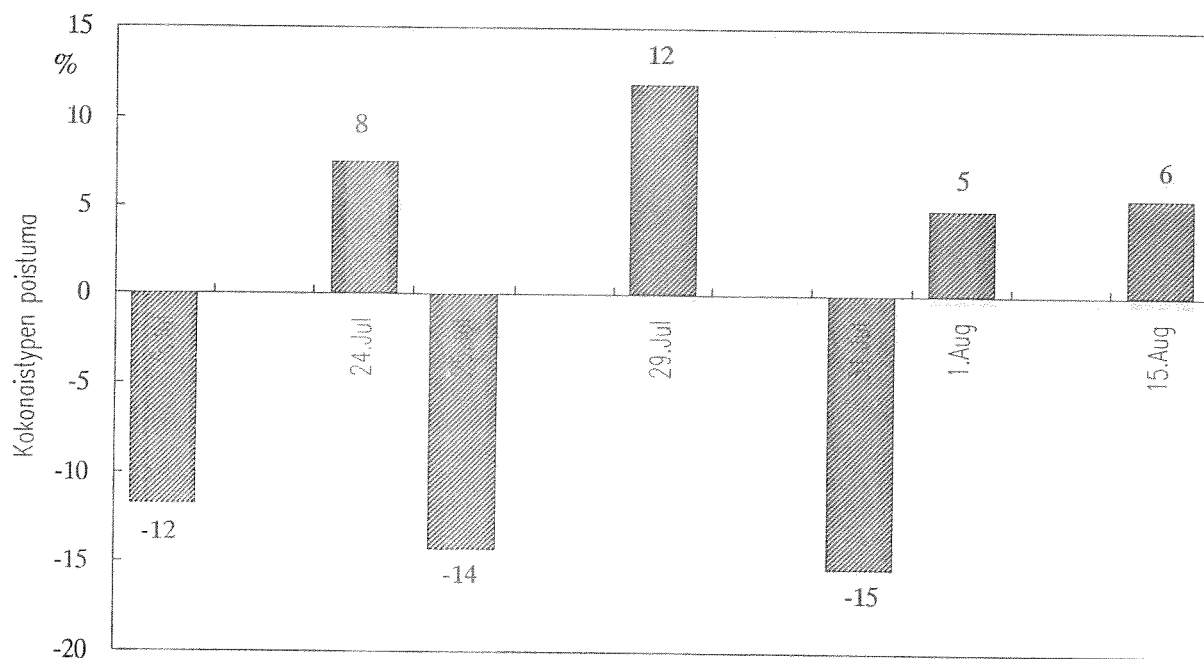
Kuva 6. Tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuudet pienoismallikokeissa 1991. Tulevan veden arvot on kuvassa esitetty viivoitettuna. M1 tarkoittaa MAKU 1-3, M2 tarkoittaa MAKU 0-3 ja M3 turpeen ja masuunikuonan seosta.



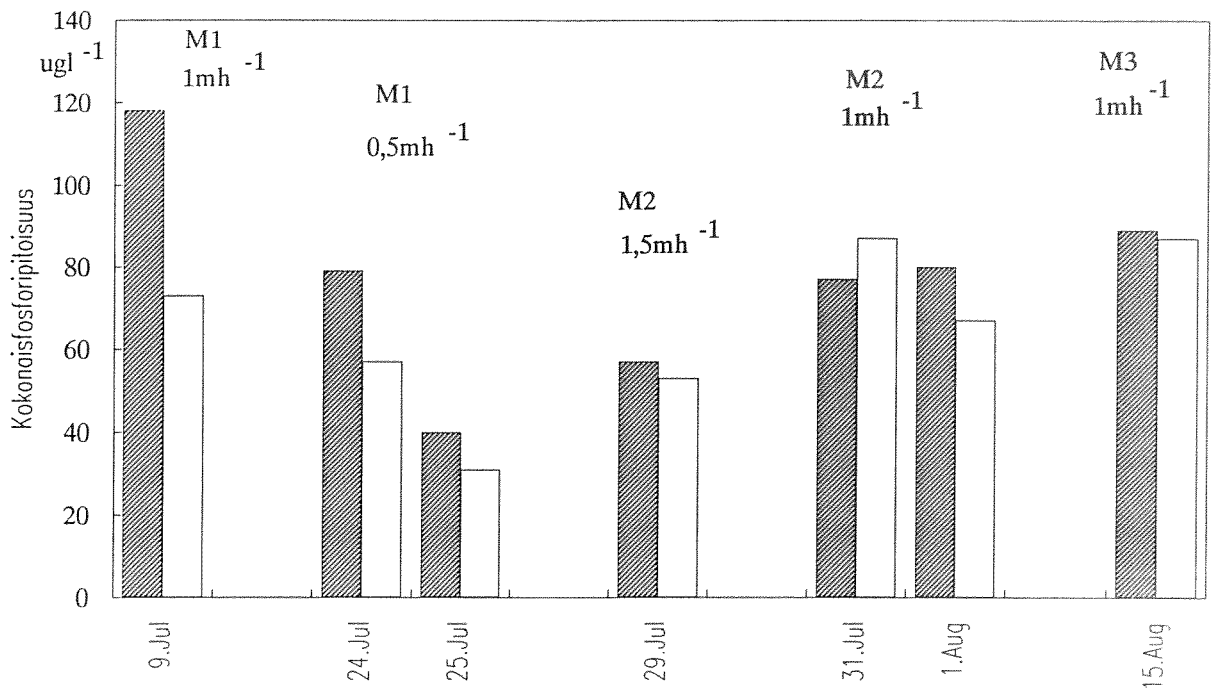
Kuva 7. Kiintoaineen poistumat pienoismallisuodatuksissa 1991.



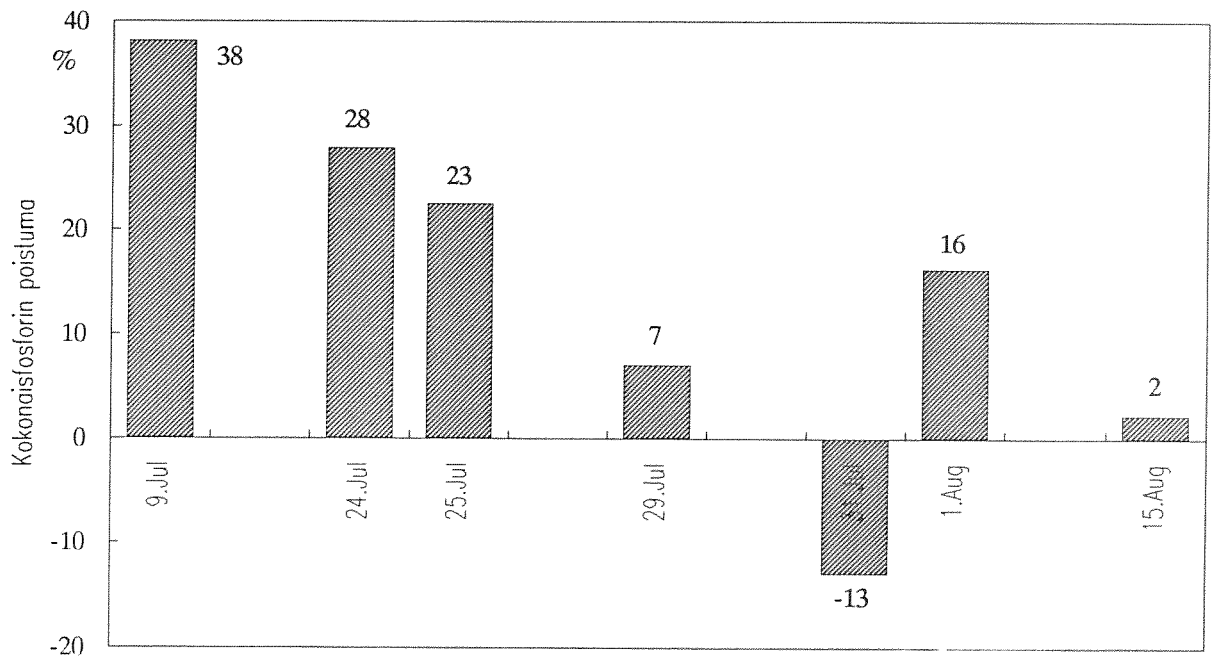
Kuva 8. Tulevan ja lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuudet pienoismallikokeissa 1991. Tulevan veden arvot on kuvassa esitetty viivoitettuna.



Kuva 9. Kokonaistyyppipitoisuuden poistumat pienoismallikokeissa 1991.



Kuva 10. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet pienoismallikokeissa 1991. Tulevan veden arvot on kuvassa esitetty viivoitettuna.



Kuva 11. Kokonaisfosforipitoisuuden poistumat pienoismallikokeissa 1991.

3.3 Tulosten tarkastelu

3.3.1 Veden laatu

Pienoismallikokeiden aikana tulevan veden keskimääräinen kiintoainepitoisuus (10 mg l^{-1}) oli alhaisempi kuin Piipsannevan tuotantoalueelta kesällä valuvan veden keskimääräinen kiintoainepitoisuus (40 mg l^{-1}). Kiintoainepitoisuuden lisäksi kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}), kokonaistyyppi-, kokonaisfosfori ja kokonaisrauta pitoisuudet olivat turvetuotantoalueiden valumavesien pitkäaikaisia keskiarvoja alhaisemmat. Tämä johtuu pienoismallikokeiden aikana vallinneista pienistä valumista.

Pienoismallikokeiden yhteydessä tehdyissä AAS-määrittelyissä ei havaittu metallien liukenemista kuonasta suodatettuun veteen. Taulukossa 6 on metallipitoisuuksien määrittäjärajot verrattu eri lähteiden perusteella määrättyihin raja-arvoihin. Lyijy määrittelyissä ei päästy analyysiongelmiin vuoksi tavoiteltuun $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ tarkkuuteen, vaan jouduttiin tyytymään $0,15 \text{ mg l}^{-1}$ tarkkuuteen.

3.3.2 Vesi- ja kiintoainemäärät sekä suodattimen tukkeutuminen

Suurin pienoismalliin johdettu vesimäärä oli 48 m^3 . Tämä pumpattiin suodattimelle 48 tunnin aikana. Tämän suodatuksen (suodatus O) aikana suodattimessa oli MAKUn ja jyr-sinturpeen sekoitusta. Suodattimen tukkeuduttua sen pinnalle oli kertynyt kiintoainetta $0,32 \text{ kg m}^{-2}$. Jos turvetuotantoalueelta valuvan veden kiintoainepitoisuus on 40 mg l^{-1} , valuma $10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, suodatin tukkeutuu 18 h:n aikana. Suodatuskokeiden D, J, K ja M aikana suodattimeen johdettiin keskimäärin 30 m^3 vettä 32 tunnin aikana. Suodattimen tukkeuduttua sen pinnalle oli kertynyt kiintoainetta keskimäärin $0,26 \text{ kg m}^{-2}$. Edellä esitetyin perustein kuormitus vastaa noin 14 tunnin suodatusaikaa.

3.3.3 Puhdistusteho

Pienoismallikokeiden keskimääräinen kiintoainepoistuma oli 37 %, kun vastaavissa turvesuodatuskokeissa se oli 89 % (Isotalo 1990). Isotalon pienoismallitutkimuksissa sekoitettiin turvelietettä vesijohtoveteen laboratoriossa, jolloin saatiin haluttu kiintoainekuormitus. Tutkimuksissa käytetyt kiintoainepitoisuudet olivat noin 2 - 3 kertaa suuremmat kuin Piipsannevan pienoismallikokeiden tulevan veden kiintoainepitoisuudet. Lisäksi Isotalon tutkimuksessa kiintoaine oli todennäköisesti karkearakeisempaa kuin Piipsannevalla tehdyissä suodatuksissa. Suodatinkerroksen paksuudella ja pintakuormalla ei ollut merkittävää vaikutusta puhdistustuloksiin. Suodatuksen M alussa suodatinmateriaalista huuhtoutui hienoainesta, mikä lisäsi suodoksen kiintoainepitoisuutta noin 20 %. Raudan poistuma oli keskimäärin 55 %, mikä on parempi kuin turvesuodatusten vastaava arvo (Isotalo 1990).

Taulukko 6. Masuunikuonan metallipitoisuudet sekä eri lähteistä kerättyjä raja-arvoja metallipitoisuuksille ja AAS-analyysirajat pienoismallikokeiden yhteydessä.

Aine	Pitoisuus kuonassa ¹⁾	Luonnontilaiset suovedet ²⁾ mg l ⁻¹	Myrkyllisyys raja kaloille ³⁾ mg l ⁻¹	Talousvesi ⁴⁾ mg l ⁻¹	Määrittäysraja mg l ⁻¹
Al	4,2 %	< 1,5	> 5	0,2	1,0
Cd	<0,05 ppm		0,001	0,005	0,05
Cr	0,003 %		0,3	0,05	0,05
Mn	6,3 %	< 0,2		0,1	0,5
Pb	< 0,5 ppm	< 0,05	> 0,1	0,05	0,05
Zn	22 ppm	< 0,3	< 1,0	5,0	1,0

1) Suomen Kuonajaloste Oy:n PSV Oy:llä teettämät määrittäykset

2) Clausen ym. (1980)

3) Nikunen (1986)

4) Lääkintöhallitus (1985)

3.3.4 Suodattimen mitoitus

Pienoismallikokeiden perusteella voitiin todeta MAKUn rakeisuusominaisuuksien vastaavan hydrauliselta vedenläpäisevyydeltä kuvan 2 arvoja. Kuvan 2 vedenläpäisevyysarvot on määritetty luonnonkiviainesten perusteella. MAKUlle on suodatinmateriaalina asetettava samat rakeisuusvaatimukset kuin luonnonkiviaineksille. Pienoismallikokeiden tulosten ja koejärjestelyiden käytännön toteutettavuuden perusteella päätettiin kokeilla MAKUa Piipsannevalla suodattimessa 3 (kuva 13). Kokeiltavan MAKUn tehokkaan raekoon (d_{10}) tulee olla 1,3 mm ja tasaisuusluvun (d_{60}/d_{10}) tulee olla korkeintaan 2.

4 PIIPSANNEVAN MAASUODATTIMET

4.1 Aineisto ja menetelmät

4.1.1 Tutkimusalue

Tutkimukset tehtiin Haapaveden kunnassa sijaitsevalla Piipsannevan turvetuotantoalueella (kuva 13). Alue oli jo ennen turvetuotantoa metsäojitettu. Ojitukset turvetuotantoa varten on aloitettu jo vuonna 1973. Piipsannevan suunniteltu tuotantoala on 2 577 ha, josta vuonna 1991 tuotannossa oli 1770 ha. Vuonna 1990 tuotantoala oli suuruudeltaan 2018 ha. Tuotantotapana on ollut hake- ja karheensiirtomenetelmään sekä imuvaunukeräykseen perustuva jyrshinturvetuotanto. Vuonna 1991 Piipsannevalla tuotettiin 650 000 m³ ja vuonna 1990 1 250 000 m³ jyrshinturvetta.

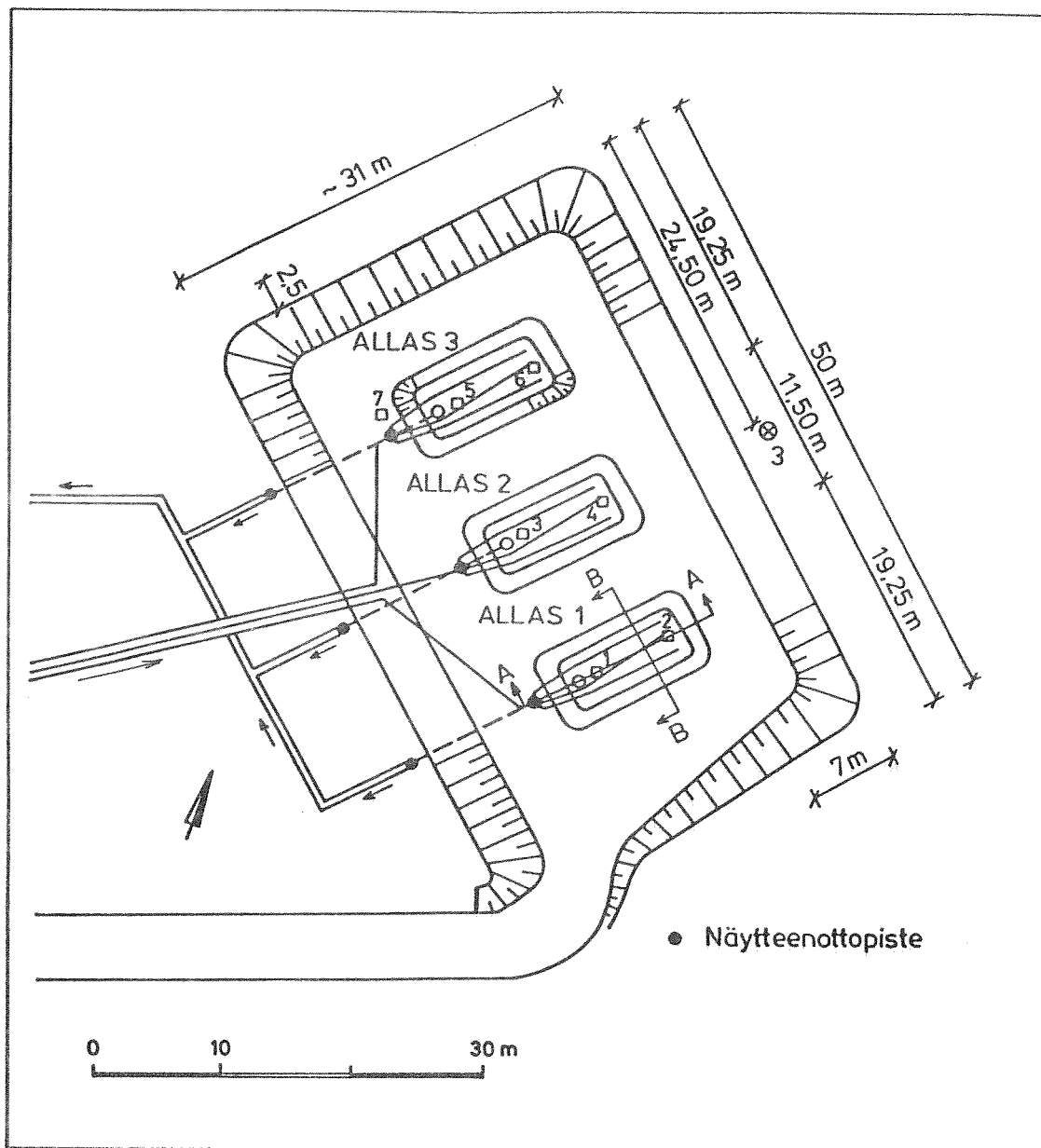
Pääosa Piipsannevan turvetuotantoalueen vesistä eli 2 261 ha:n alueelta, johdetaan alueen halki virtaavaa Kotaojaa pitkin Likajärven järviuivioon, josta edelleen Piipsanojan kautta Pyhäjoen Haapajärveen. Piipsannevan suodattimet on rakennettu vuonna 1988 tuotantoalueen lohkolle numero 14 Kotaojan viereen (kuva 13) (Ihme ym. 1991).

4.1.2 Maasuodattimen rakenne

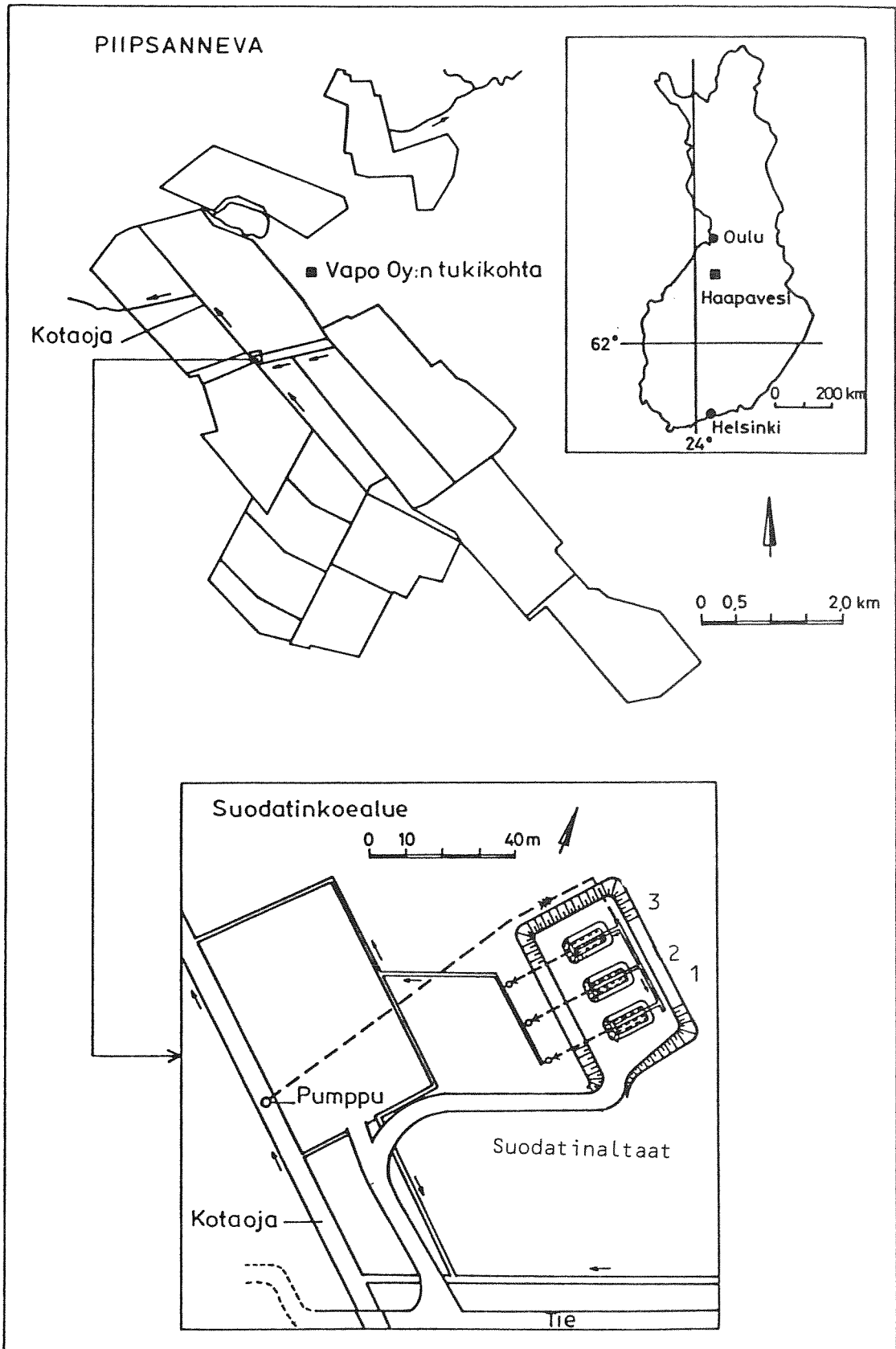
Suodatuskokeissa käytettiin vuonna 1988 rakennettuja turvesuodatusaltaita (kuva 12). Altaiden rakentaminen ja niihin liittyvät rakenteet on kerrottu yksityiskohtaisesti raportissa "Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa" (Ihme ym 1991). Suodattimien rakenne on esitetty kuvassa 14.

4.1.3 Suodatuskokeiden valmistelu ja koejärjestelyt

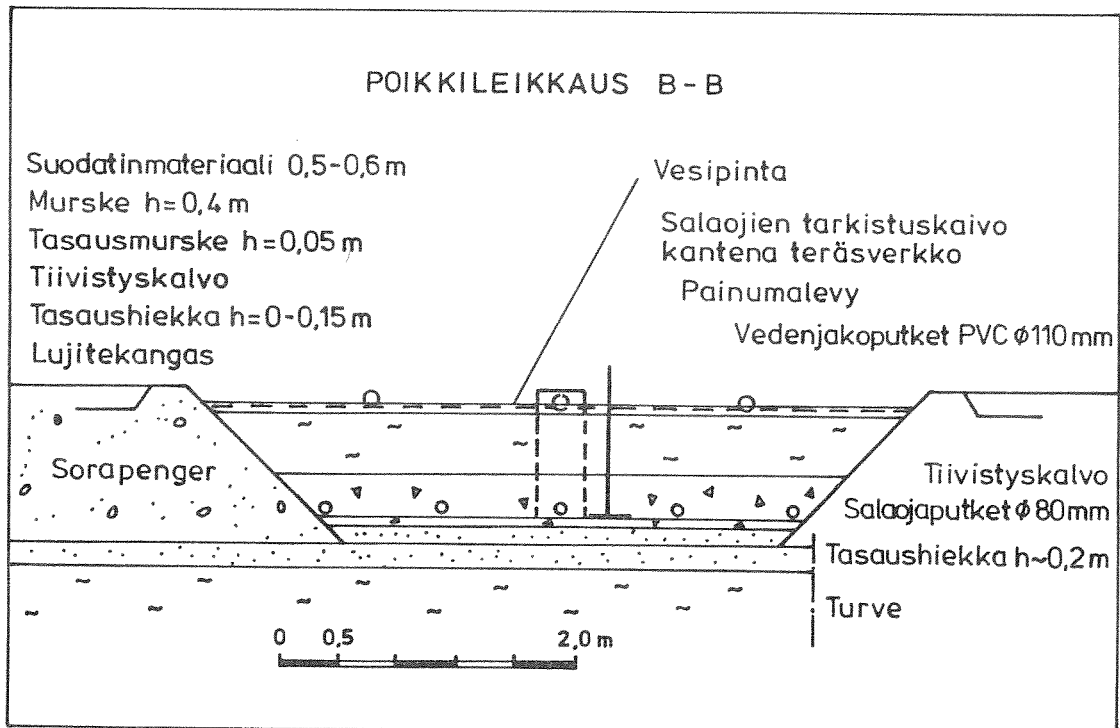
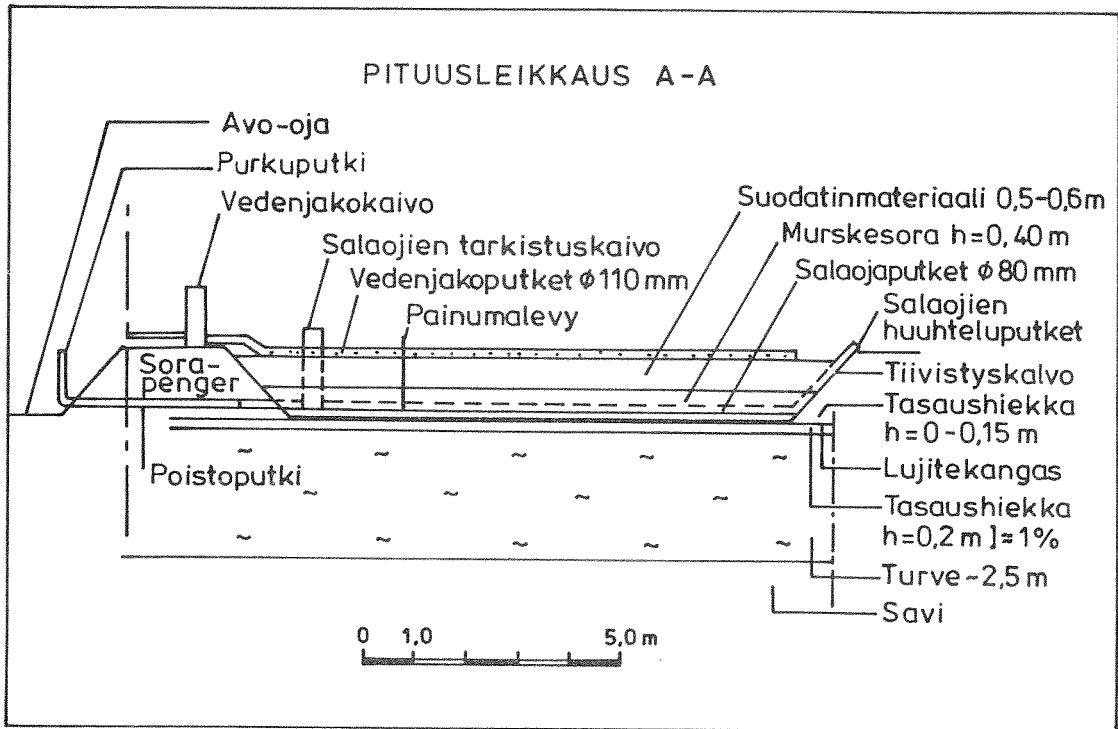
Suodatuskoealue kunnostettiin alkukesästä 1991. Suodattimista poistettiin aikaisemmin käytetty turvesuodatusmateriaali, korjattiin putkilinjat ja tarkastettiin vedenpoistojärjestelmän toiminta.



Kuva 12. Piipsannevan suodatuskoealueen tasokuva ja tutkimuspisteet vuonna 1991. Leikkaukset A-A ja B-B ovat kuvassa 14.



Kuva 13. Piipsannevan maasuodattimien tutkimusalue.



Kuva 14. Piipsannevan suodattimien pituus- ja poikkileikkaukset.

Kotaojaan rakennettuun pumppusiltaan asennettiin kolme pumppua, joiden tehot olivat 2,5, 3 ja 5 kW. Pumppujen vedentuotto-kyky määritettiin mittaamalla 0,5 m³ kaivon täyttymiseen kuluva aika kullakin pumpulla. Eri pumppuja yhdistelemällä saatiin kuhunkin suodattimeen haluttu pintakuorma, koska jokaisella pumpulla oli oma painejoh-to. Vesi pumpattiin 110 tai 160 mm putkilinjaa pitkin suodattimen päässä olevaan vedenjakokaivoon, josta vesi johdettiin suodattimen pinnalle vedenjakoputkien avulla (kuvat 12-14). Vedenjakoputket olivat halkaisijaltaan 110 mm ja niihin oli porattu 0,5 m välein 20 mm reikiä.

4.1.4 Suodatinmateriaalin ominaisuudet, kerrospaksuudet ja tutkitut pintakuormat

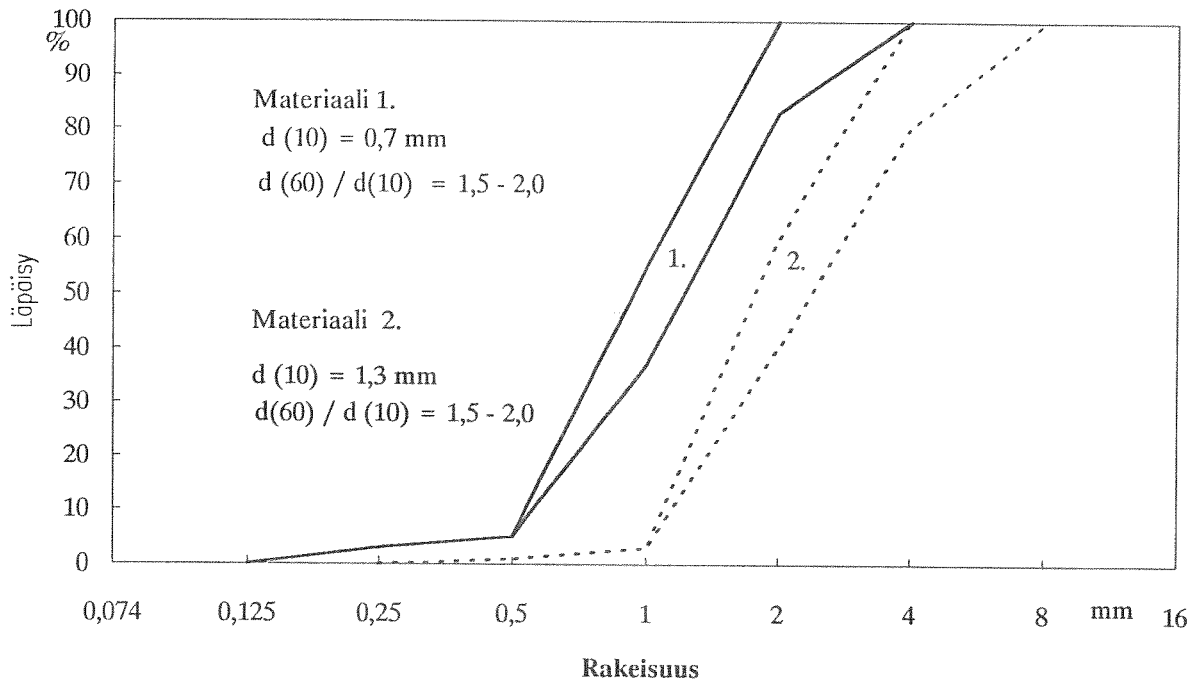
Suodatinmateriaaleja valitessa pyrittiin löytämään kaksi raekoko ja raemuoto-ominaisuuksiltaan erilaista luonnonkiviainesmateriaalia (kuva 15). Lisäksi päätettiin kokeilla pienoismallissa käytettyä MAKUa tarkemmin seulottuna. MAKUn seulonnassa pyrittiin pääsemään kuvan 15 materiaalin 2 rakeisuusvaatimuksiin. Täysin rakeisuusvaatimukset täyttäviä materiaaleja oli kohtuullisin kustannuksin lähes mahdotonta löytää. Suodattimeen 1 saatiin luonnonkivistä murskattua "hiekoitusSORAA", jonka d_{10} oli 1,0 mm ja tasaisuusluku 3. Suodattimeen 2 valittiin luonnonsoraa, jonka d_{10} oli 0,4 mm ja tasaisuusluku 3,25. Suodattimeen 3 valittiin MAKUa, jonka d_{10} oli 0,4 mm ja tasaisuusluku 3,5. Suodattimiin valittujen materiaalien rakeisuuskäyrät on esitetty kuvassa 16. Suodatinmateriaalit toimitti Siilin Sora Oy ja Suomen Kuonajaloste Oy.

Suodatinmateriaalikerroksen paksuus oli suodatusten alussa suodattimessa 1 noin 0,6 m ja suodattimissa 2 ja 3 vastaavasti 0,5 m. Suodattimien tukkeuduttua niiden pinnasta kuorittiin pääasiassa lapiolla 2 - 10 cm kerros materiaalia pois (taulukko 7).

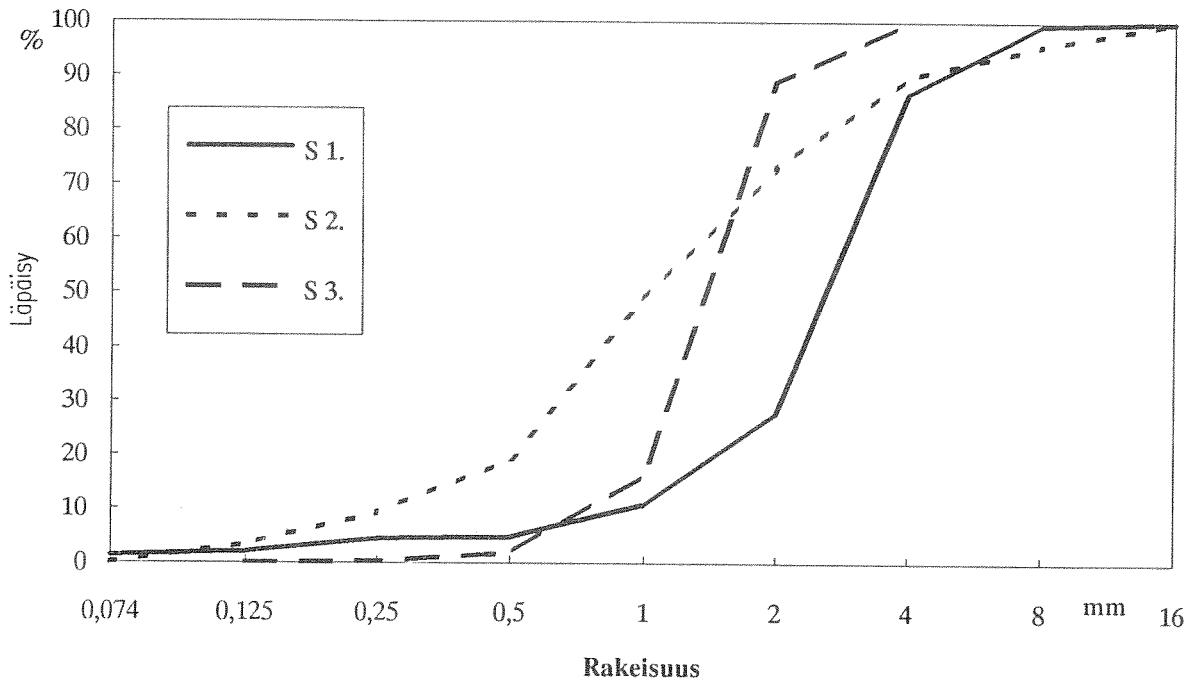
Suodatukset tehtiin pintakuormilla 0,1 - 0,9 m h⁻¹. Suodattimella 1 tehtiin 6 suodatuskoetta, joiden keskimääräinen pumppausaika oli 193 h. Suodattimella 2 tehtiin 5 suodatuskoetta ja niiden keskimääräinen suodatusaika oli 62 h. Suodattimella 3 tehtiin 6 suodatuskoetta, joiden keskimääräinen suodatusaika oli 62 h. Kaikissa suodatuskokeissa pyrittiin mahdollisimman yhtäjaksoiseen suodatusjaksoon, kunnes suodatin tukkeutui (taulukko 7).

4.1.5 Vesianalyysit

Suodattimille tulevan veden näytteet otettiin suodatusaltaiden päissä olevista vedenjakokaivoista (kuva 12). Suodatetut vesinäytteet otettiin vedenpoistoputkien päistä. Näytteet otettiin kolme kertaa vuorokaudessa kahdeksan tunnin välein kello 7.00, 15.00 ja 23.00. Vuorokautiset kerta-näytteet yhdistettiin kokoomanäytteiksi. Näytteistä määritettiin kiintoainepitoisuus, kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}), pH, väri sekä kokonaistyyppi-, kokonaisfosfori- ja kokonaisrautapitoisuudet. Näytteet analysoitiin Oulun yliopiston vesitekniikan laboratoriossa vesi- ja ympäristöhallinnon käyttämillä analyysimenetelmillä (Vesihallitus 1981).



Kuva 15. Suodatimateriaaleille asetetut rakeisuusvaatimukset Piipsannevan suodatuskokeissa vuonna 1991.



Kuva 16. Piipsannevan suodatuskoealtaissa kesällä 1991 käytettyjen materiaalien rakeisuuskäyrät. S 1 on suodattimessa 1 olevan materiaalin rakeisuuskäyrä. S 2 ja S 3 ovat suodattimissa 2 ja 3 olevien materiaalien rakeisuuskäyrät. S 3 on MAKUa.

4.1.6 Suodattimen kunnossapitoon liittyvät tutkimukset

Suodattimen tukkeutumiseen kuluva aika seurattiin tehtäessä kokeita eri pintakuormilla. Suodattimessa 3 tehtiin samalla pintakuormalla kaksi koetta (kokeet T ja V, taulukko 7). Näissä kokeissa tarkkailtiin suodattimen pinnan haravoinnin vaikutusta suodatusaikaan sekä suodoksen laatuun. Lisäksi testattiin erilaisia suodattimen puhdistusmenetelmiä, joita olivat mm. traktorin kauhalla ja perälevyllä sekä kaivukoneen "lastauskauhalla" tehdyt puhdistuskokeet.

Suodatinmateriaalikohtaista kiintoaineen tunkeumaa seurattiin jokaisen suodatuskokeen jälkeen silmämääräisesti. Suodatuskokeiden jälkeen suodattimista otettiin materiaalinäytteet, joista määritettiin materiaalin rakeisuus sekä orgaanisen aineen määrä.

4.2 Tulokset

4.2.1 Kuormitus

Suodattimiin kohdistuva keskimääräinen kiintoainekuormitus oli $0,8 - 7,4 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (taulukko 8). Kuormitus oli suurin suodatuskokeessa F. Suodattimiin johdettu keskimääräinen kemiallisen hapenkulutuksen kuormitus oli $3,5 - 44,6 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, vastaavasti kokonaistyyppikuormitus oli $0,3 - 3,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, kokonaisfosforikuormitus $0,005 - 0,05 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ja kokonaisraudan kuormitus $0,3 - 2,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Ravinnekuormat olivat suuria samanaikaisesti, kun kiintoaineen kuormitus oli suuri.

4.2.1.1 Vesi- ja kiintoainemäärät ja suodattimen tukkeutuminen

Suodatin 1

Kunkin suodatuskokeen aikana suodattimeen johdettiin $1500 - 10000 \text{ m}^3$ vettä (taulukko 7). Suodattimeen kohdistunut kiintoainekuormitus oli $0,2 - 1,1 \text{ kg m}^{-2}$ eli $0,5 - 1,9 \text{ kg}$ suodatinmateriaalikuutiota kohden (taulukko 9). Suodattimen tukkeutumista seurattiin pumppaamalla suodattimeen vettä niin kauan, että sallittu painehäviö saavutettiin. Sallittu painehäviö oli suodatuskokeen A aikana $0,4 \text{ m}$ ja kasvoi suodatuskokeiden edetessä poistetun suodatinmateriaalikerroksen verran. Suodattimen 1 eri suodatuskokeiden keskimääräinen yhtäjaksoinen pumppausaika oli 188 h pintakuorman vaihdella $0,1 - 0,7 \text{ m h}^{-1}$ (taulukko 7). Suodatin tukkeutui, kun siihen oli pidähtynyt kiintoainetta keskimäärin $0,04 - 0,34 \text{ kg m}^{-2}$ eli $0,09 - 0,57 \text{ kg}$ suodatinmateriaalikuutiota kohden (taulukko 9).

Suodatin 2

Suodatuskokeiden aikana suodattimeen johdettu vesimäärä vaihteli välillä $30 - 2000 \text{ m}^3$ (taulukko 7). Suodattimeen kohdistunut keskimääräinen kiintoainekuormitus oli $0,06 - 0,40 \text{ kg m}^{-2}$ eli $0,18 - 0,86 \text{ kg}$ suodatinmateriaalikuutiota kohden (taulukko 9). Suodattimen tukkeutumista seurattiin vastaavasti kuten suodattimessa 1. Suodattimen 2 sallittu painehäviö oli suodatuksen B alussa $0,4 \text{ m}$. Suodattimen 2 keskimääräinen yhtäjaksoinen pumppausaika oli suodatuskokeissa B, E, I ja U 76 h pintakuorman vaihdella $0,1 - 0,4 \text{ m h}^{-1}$ (taulukko 7). Suodatin tukkeutui, kun siihen oli pidähtynyt kiintoainetta keskimäärin $0,03 - 0,29 \text{ kg m}^{-2}$ eli $0,06 - 0,61 \text{ kg}$ suodatinmateriaalikuutioita kohti (taulukko 9).

Taulukko 7. Piipsannevan suodattimilla 1, 2 ja 3 tehdyt suodatuskokeet vuonna 1991.

Suodatus- koe	Aika	Suodatuksen kesto h	Vesimäärä m ³	Pintakuorma m h ⁻¹	Kerros- paksuus m
Suodatin 1.					
A	2. - 9.7.	168	10007	0,70	0,60
C	9. - 14.7.	136	5190	0,43	0,57
F	17. - 20.7.	69	1490	0,25	0,54
H	24. - 28.7.	96	7430	0,88	0,44
L	30.7. - 3.8.	96	2071	0,25	0,40
N	15.8. - 8.9.	592	3836	0,10	0,35
Suodatin 2.					
B	9. - 12.7.	94	2030	0,25	0,50
E	16. - 19.7.	67	1085	0,20	0,47
G/1	22.7.	1	38	0,40	0,45
G/2	23.7	1	26	0,30	0,42
I	26. - 30.7.	96	622	0,10	0,40
U	10. - 12.9.	48	345	0,10	0,35
Suodatin 3.					
Q	29.8.	0,5		0,90	0,50
R	29. - 31.8.	45,5	1740	0,50	0,50
S	4. - 5.9.	24,0	611	0,32	0,47
T	9. - 12.9.	72,0	915	0,16	0,44
V	13. - 16.9.	72,0	915	0,16	0,40
X	23. - 26.9.	98,0	709	0,10	0,35

Suodatin 3

Kunkin suodatuskokeen aikana suodattimeen johdettiin 600 - 1700 m³ vettä (taulukko 7). Suodattimeen kohdistunut kiintoainekuormitus oli 0,10 - 0,22 kg m⁻² eli 0,24 - 0,44 kg suodatinmateriaalikuutiota kohti. Suodattimen tukkeutumista seurattiin vastaavasti kuten suodattimessa 1 ja sallittu painehäviö suodatuskokeen R alussa oli 0,35 m. Suodattimen eri suodatuskokeiden keskimääräinen yhtäjaksoinen pumppausaika oli 62 h pintakuorman vaihdella 0,1 - 0,9 m h⁻¹ (taulukko 7). Suodatin tukkeutui, kun siihen oli pidättynyt kiintoainetta keskimäärin 0,01-0,08 kg m⁻² eli 0,03 - 0,19 kg suodatinmateriaalikuutiota kohti (taulukko 9).

Taulukko 8. Suodattimille kohdistuva keskimääräinen kuormitus ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) eri suodatuk-
sissa Piipsannevalla vuonna 1991. Suodatusparametrit ovat samat kuin taulukossa 7.

Suodatus	Pintakuorma m h^{-1}	Kuormitus $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$				
		Kiintoaine	COD_{Mn}	Kok.N	Kok. P	Kok.Fe
Suodatin 1.						
A	0,70	6,69	34,28	2,00	0,05	1,71
C	0,43	4,71	25,33	1,69	0,05	1,89
F	0,25	7,38	16,42	1,12	0,03	1,09
H	0,88	7,17	44,55	3,47	0,05	2,27
L	0,25	2,58	12,27	0,98	0,02	1,09
N	0,10	0,91	3,45	0,26	0,01	0,34
Suodatin 2.						
B	0,25	2,98	15,42	1,07	0,03	1,17
E	0,20	6,01	13,39	0,90	0,02	0,98
I	0,10	0,77	4,37	0,32	0,01	0,30
U	0,10	1,32	3,61	0,26	0,01	0,40
Suodatin 3.						
R	0,50	4,80	22,79	1,47	0,05	2,48
S	0,32	5,22	13,49	1,37	0,04	1,69
T	0,16	2,53	6,65	0,47	0,02	0,73
V	0,16	1,32	5,85	0,67	0,01	0,51
X	0,10	1,10	3,70	0,31	0,01	0,30

Taulukko 9. Piipsannevan suodattimiin johdetut vesi- ja kiintoainemäärät eri suodatusko-
keissa. Suodatuskokeet vastaavat kuin taulukossa 7.

Suodatus- koe	Suodattimen kerrospaksuus m	Vesi- määrä m ³	Kes- to h	Tuleva kiintoaine mg l ⁻¹	Tuleva kiintoai- ne kuormitus		Suodattimeen pidättynyt kiinto- ainemäärä	
					kg m ⁻²	kg m ⁻³	kg m ⁻²	kg m ⁻³
Suodatin 1.								
A	0,60	10007	168	9,89	1,124	1,874	0,344	0,574
C	0,57	5190	136	10,86	0,565	0,991	0,216	0,380
F	0,54	1490	69	30,07	0,531	0,984	0,320	0,592
H	0,45	7430	96	8,15	0,688	1,529	0,189	0,416
L	0,40	2071	96	10,50	0,186	0,464	0,037	0,093
N	0,35	3836	592	12,35	0,481	1,373	0,228	0,653
Suodatin 2.								
B	0,50	2030	94	11,03	0,280	0,560	0,066	0,132
E	0,47	1085	67	29,70	0,403	0,857	0,287	0,611
I	0,40	655	96	9,48	0,081	0,194	0,025	0,063
U	0,35	345	48	14,70	0,063	0,181	0,030	0,084
Suodatin 3.								
R	0,50	1740	46	10,15	0,221	0,442	0,045	0,087
S	0,47	611	24	16,40	0,125	0,267	0,013	0,028
T	0,44	915	72	15,90	0,182	0,413	0,084	0,191
V	0,40	915	72	8,59	0,097	0,243	0,041	0,102
X	0,35	709	98	12,20	0,108	0,309	0,047	0,133

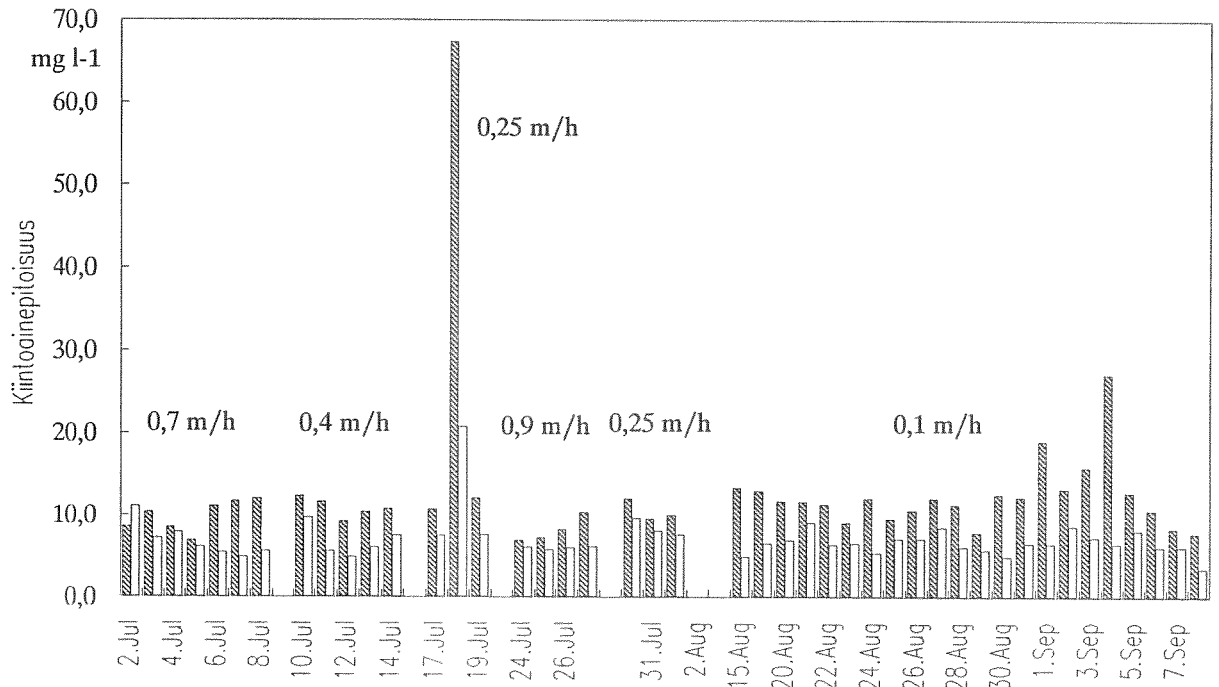
4.2.2 Puhdistustulokset

4.2.2.1 Suodatin 1

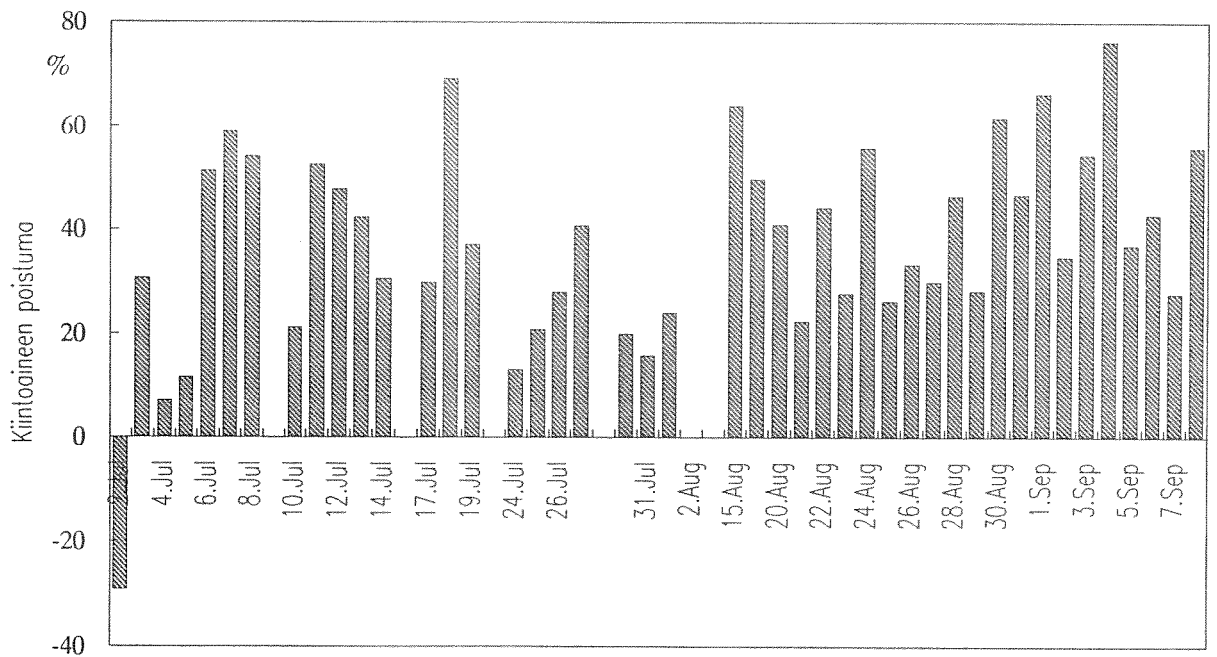
Keskimääräinen kiintoainepoistuma oli eri suodatuskokeiden aikana 26 - 40 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 6,9 - 67,4 mg l⁻¹ (taulukko 10 ja 13 sekä kuvat 17 ja 18). Veden pH ja väri eivät muuttuneet merkittävästi suodatusten aikana. Kemiollisena hapenkulutuksena määritetty orgaanisten aineiden poistuma oli keskimäärin 3 %, kun tulevan veden COD_{Mn} pitoisuus oli 51 mg l⁻¹ (kuvat 19 ja 20). Suodatusten keskimääräinen kokonaistyyppipoistuma oli 7 %, kun tulevan veden kokonaistyyppipitoisuus oli 3650 µg l⁻¹ (kuvat 21 ja 22). Keskimääräinen kokonaisfosfori poistuma oli 13 %, kun tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli 95 µg l⁻¹ (kuvat 23 ja 24). Suodatusten keskimääräinen rautapoistuma oli 10 %, kun tulevan veden kokonaisrautapitoisuus oli 4100 µg l⁻¹ (kuvat 25 ja 26). Liitteessä 3 on esitetty suodattimen analyysitulokset sekä vastaavat poistumat suodatuskokeittain.

Taulukko 10. Suodattimeen 1 tulevan ja lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet ja niiden vaihteluväli.

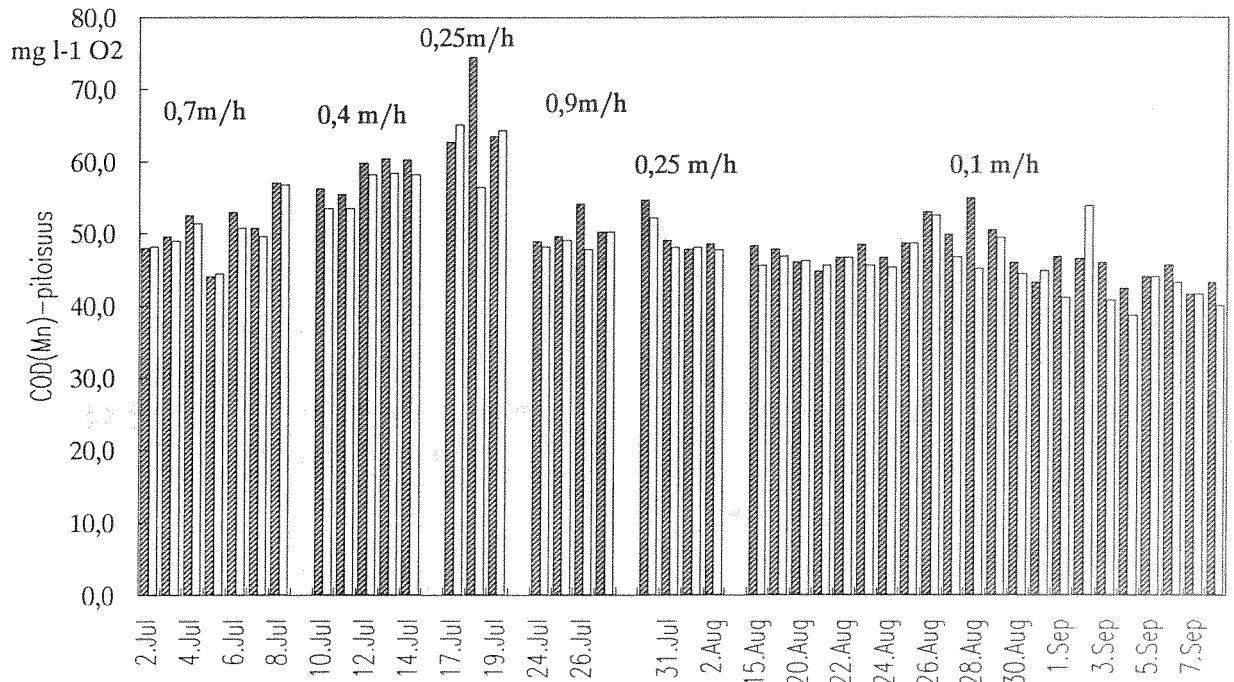
Vedenlaatu- muuttuja	Tuleva vesi			Lähtevä vesi		
	Min.	Ka.	Maks.	Min.	Ka.	Maks.
Kiintoaine mg l ⁻¹	6,9	12,5	67,4	3,4	7,0	20,8
pH	5,8	6,2	7,4	5,4	6,0	7,3
Väri mg Pt ⁻¹	300	350	450	100	300	450
COD _{Mn} mg l ⁻¹	41,6	50,7	74,5	38,8	49,0	65,1
Kok. N µg l ⁻¹	2480	3650	5270	2040	3410	6150
Kok. P µg l ⁻¹	40	95	168	36	81	183
Kok. Fe µg l ⁻¹	2000	4100	6100	2000	3600	6700



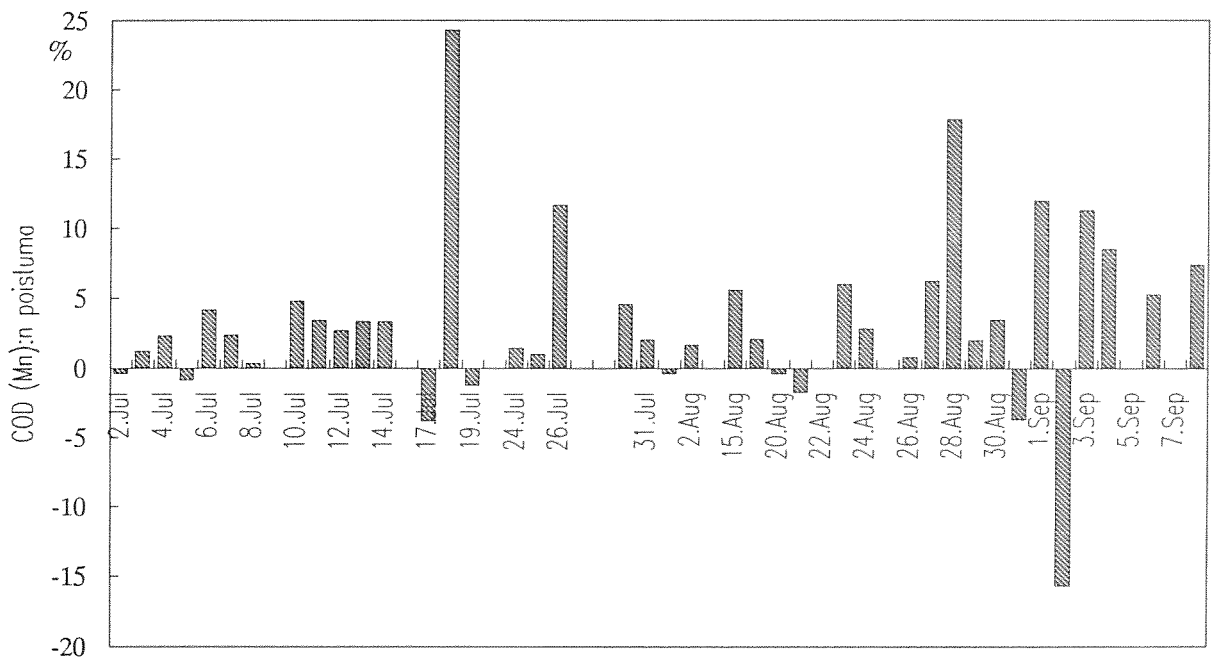
Kuva 17. Tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuudet suodattimessa 1. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



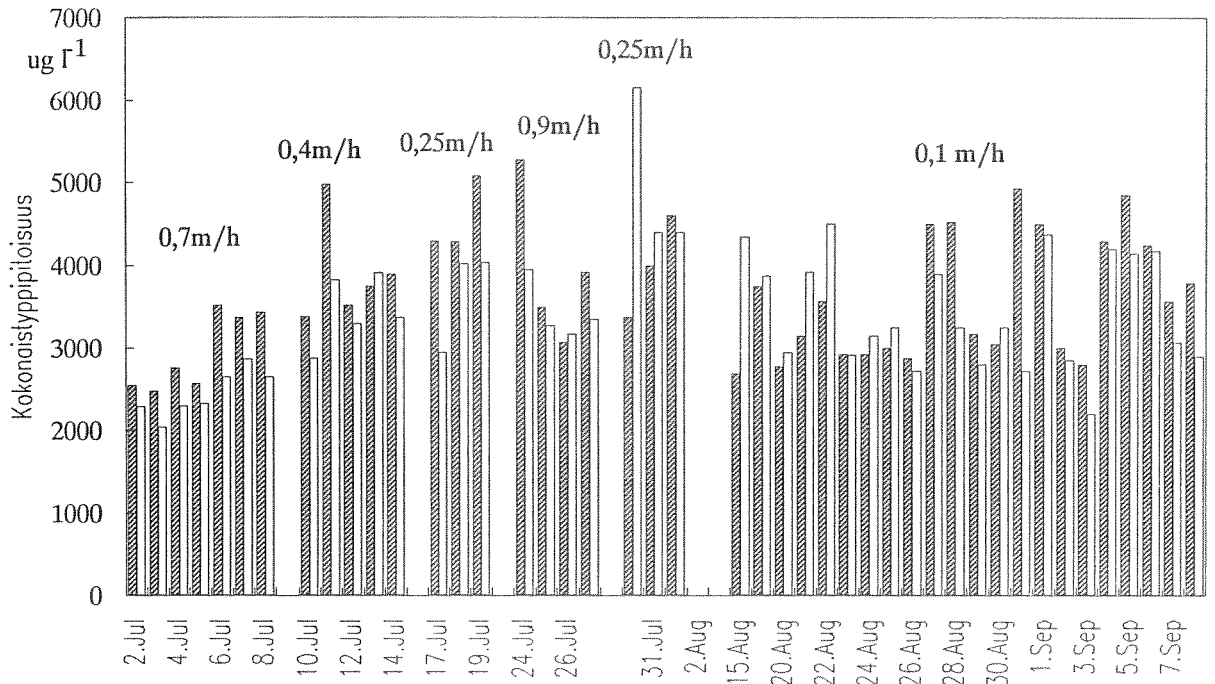
Kuva 18. Suodattimen 1 kiintoainepoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



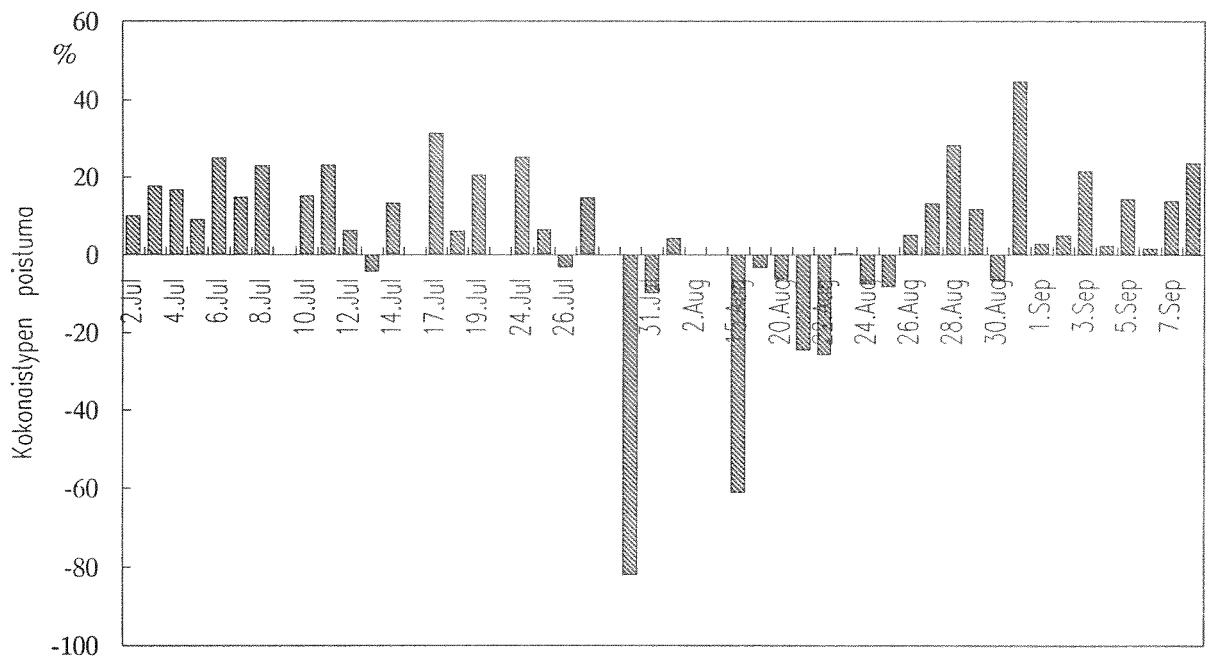
Kuva 19. Tulevan ja lähtevän veden kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuudet suodattimessa 1. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



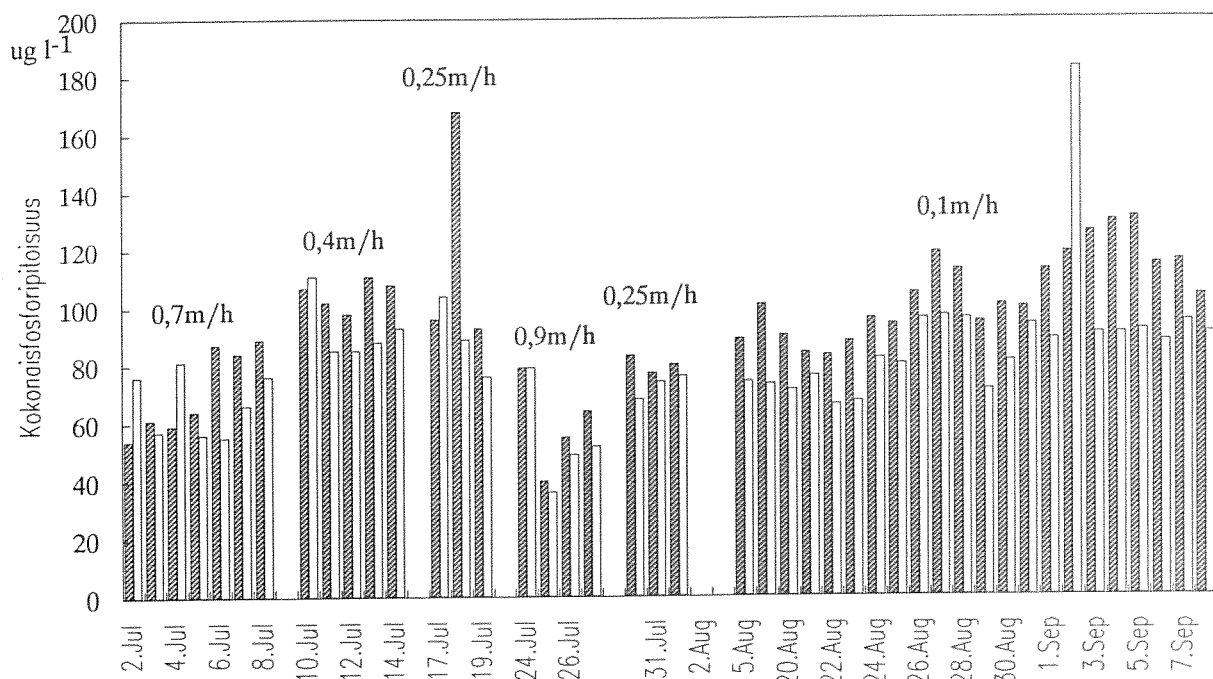
Kuva 20. Suodattimen 1 COD_{Mn} poistumat eri suodatuskokeissa 1991.



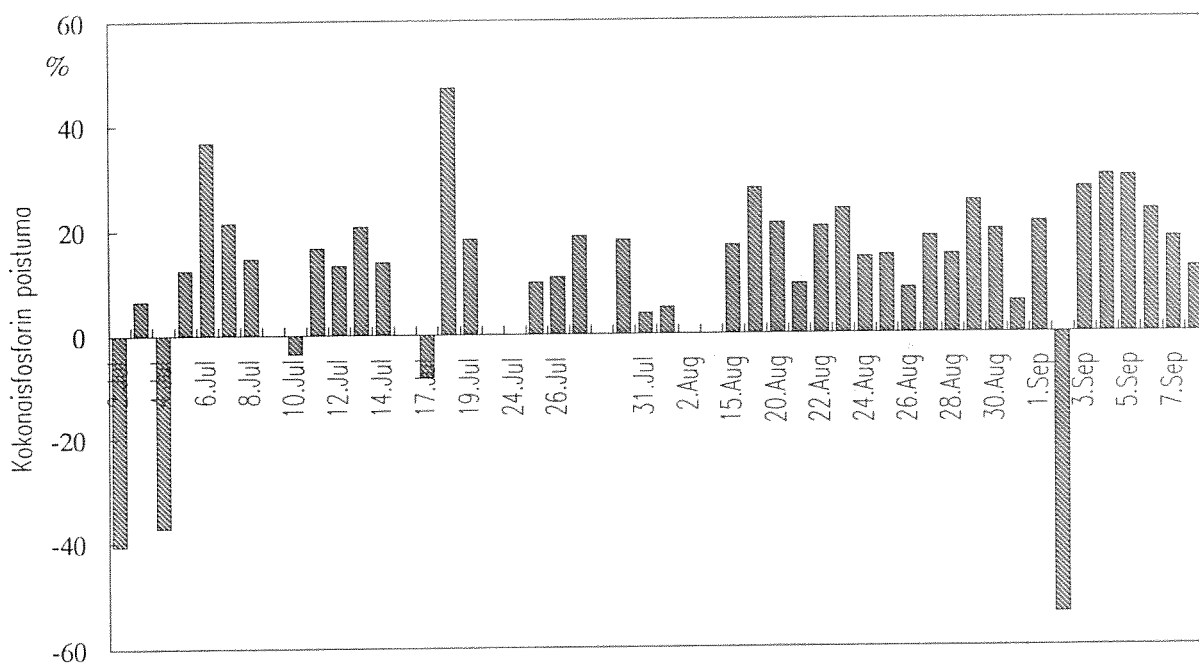
Kuva 21. Tulevan ja lähtevän veden kokonaistyyppiipitoisuudet suodattimessa 1. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



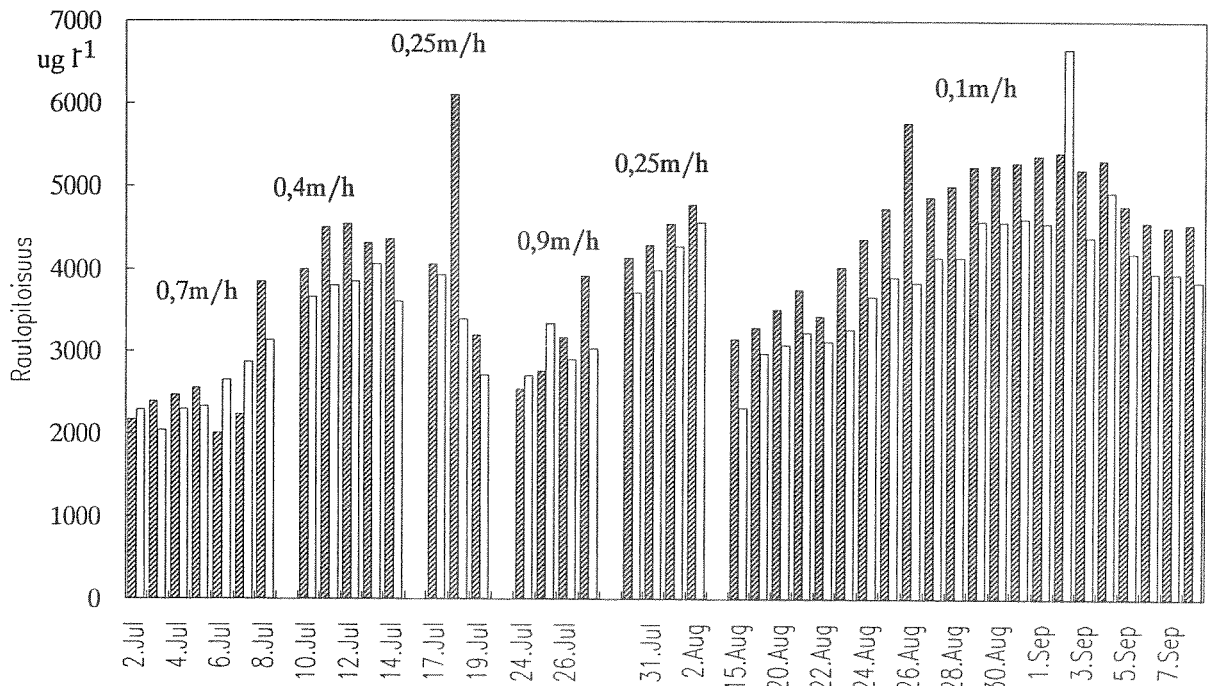
Kuva 22. Suodattimen 1 kokonaistyyppiipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



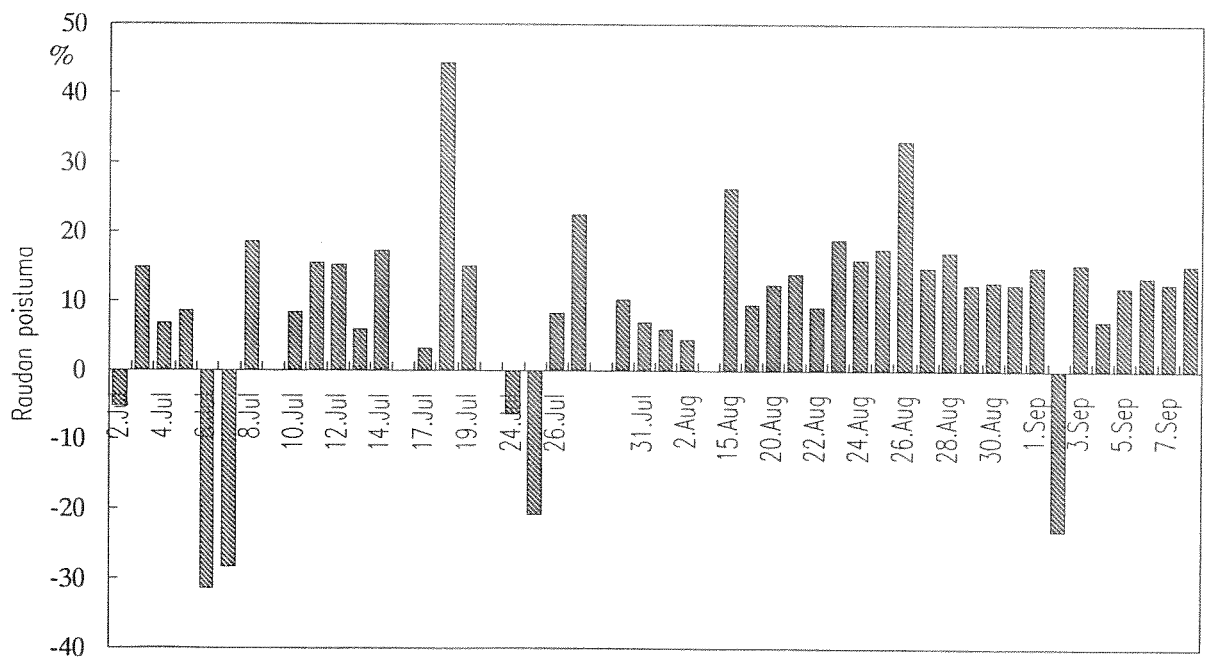
Kuva 23. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet suodattimessa 1. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



Kuva 24. Suodattimen 1 kokonaisfosforipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



Kuva 25. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisrautapitoisuudet suodattimessa 1. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



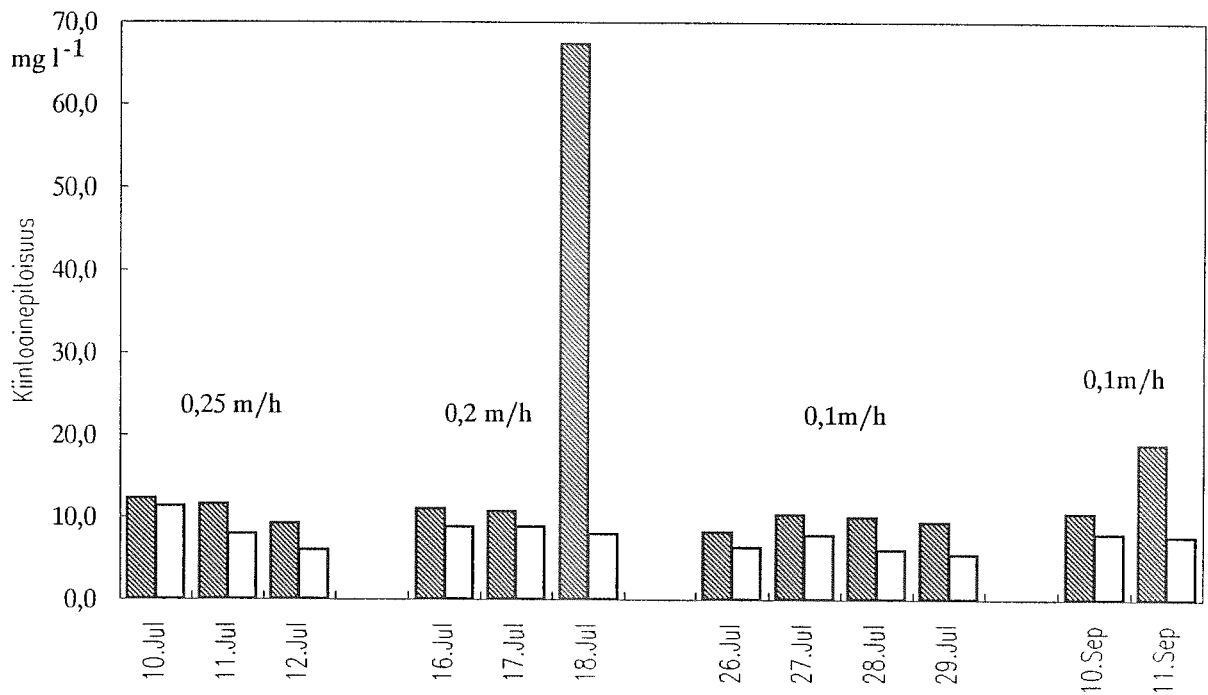
Kuva 26. Suodattimen 1 kokonaisrautapoislumien eri suodatuskokeissa 1991.

4.2.2.2 Suodatin 2

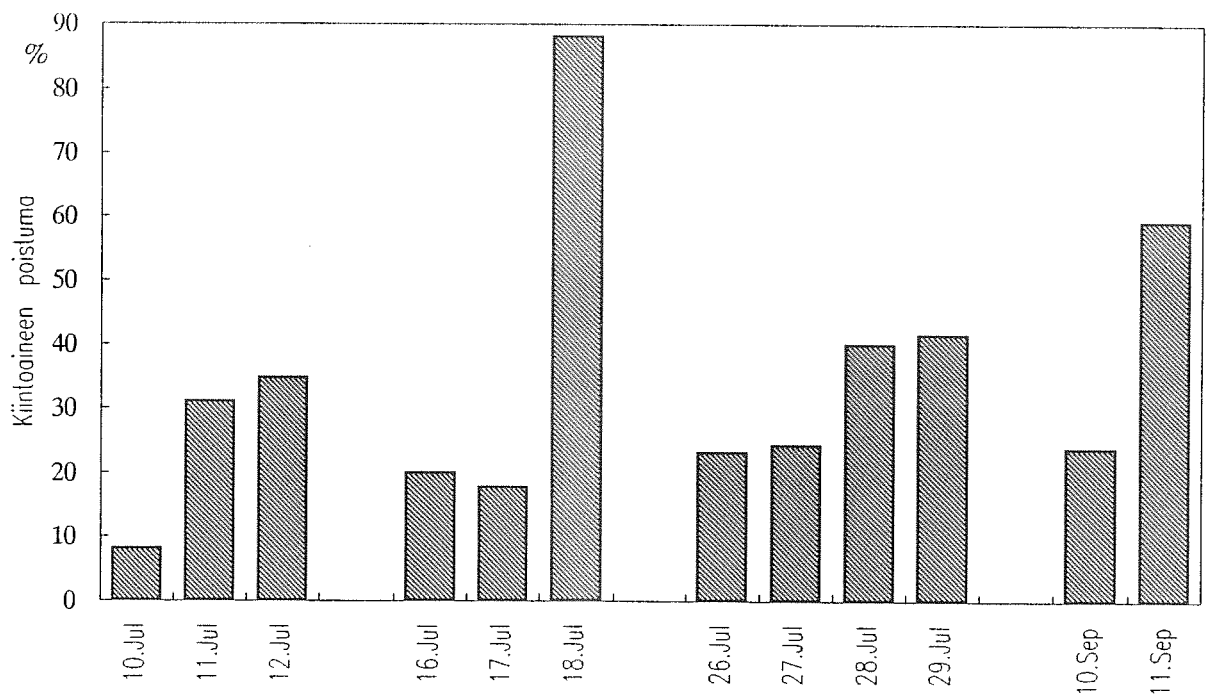
Keskimääräinen kiintoainepoistuma oli eri suodatuskokeiden aikana 34 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 8,2 - 67,4 mg l⁻¹ (taulukko 11 ja 13 sekä kuvat 27 ja 28). Veden pH ja väri eivät muuttuneet merkittävästi suodatusten aikana. Kemiallisena hapenkulutuksena määritetty orgaanisten aineiden poistuma oli keskimäärin 5 %, kun tulevan veden COD_{Mn} pitoisuus oli 52,6 mg l⁻¹ (kuvat 29 ja 30). Suodatusten keskimääräinen kokonaistyyppipoistuma oli 3 %, kun tulevan veden kokonaistyyppipitoisuus oli 3890 µg l⁻¹ (kuvat 31 ja 32). Keskimääräinen kokonaisfosfori poistuma oli 5 %, kun tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli 93 µg l⁻¹ (kuvat 33 ja 34). Suodatusten keskimääräinen kokonaisrautapoistuma oli 15 %, kun tulevan veden kokonaisrautapitoisuus oli 4300 µg l⁻¹ (kuvat 35 ja 36). Liitteessä 4 on esitetty suodattimen analyysitulokset sekä vastaavat poistumat suodatuskokeittain.

Taulukko 11. Suodattimeen 2 tulevan ja lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet ja niiden vaihteluvälit.

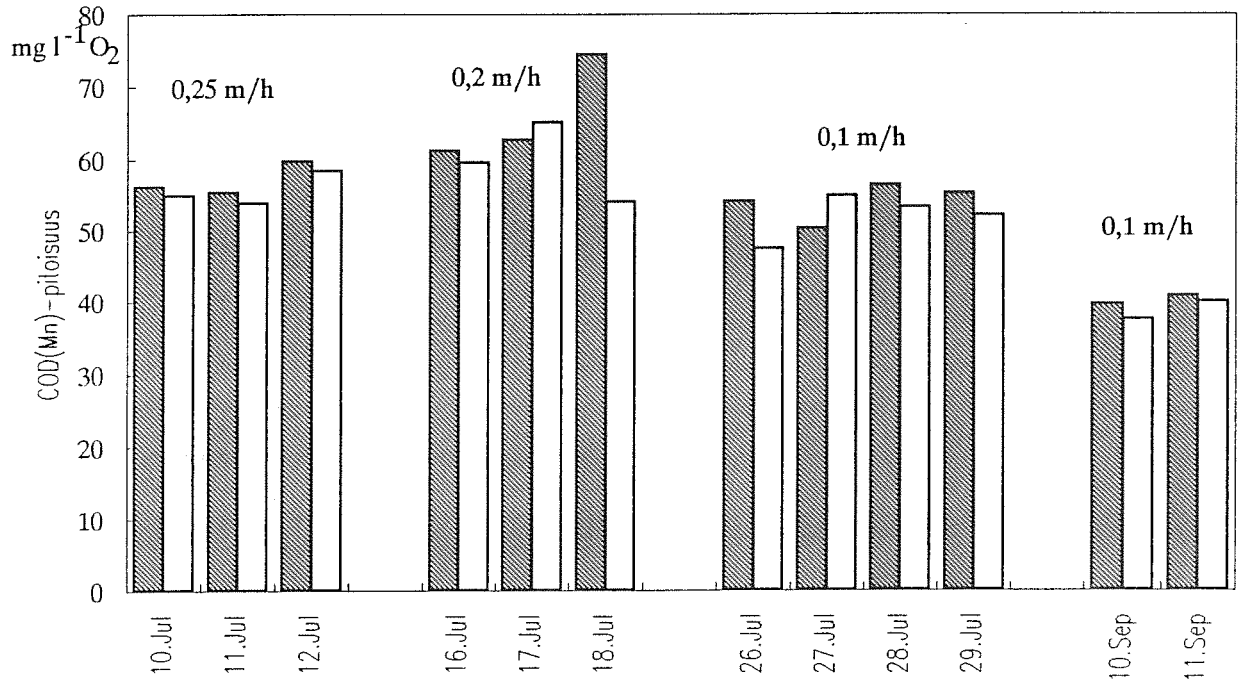
Vedenlaatu- muuttuja	Tuleva vesi			Lähtevä vesi		
	Min.	Ka.	Maks.	Min.	Ka.	Maks.
Kiintoaine mg l ⁻¹	8,2	15,8	67,4	5,5	7,7	11,3
pH	5,8	6,2	7,2	5,4	6,5	6,1
Väri mg Pt l ⁻¹	300	350	450	250	350	450
COD _{Mn} mg l ⁻¹	39,6	55,6	74,5	37,6	52,6	65,1
Kok. N µg l ⁻¹	2770	3890	4970	2360	3700	4950
Kok. P µg l ⁻¹	46	83	168	48	83	120
Kok. Fe µg l ⁻¹	3200	4300	6100	2500	3600	4100



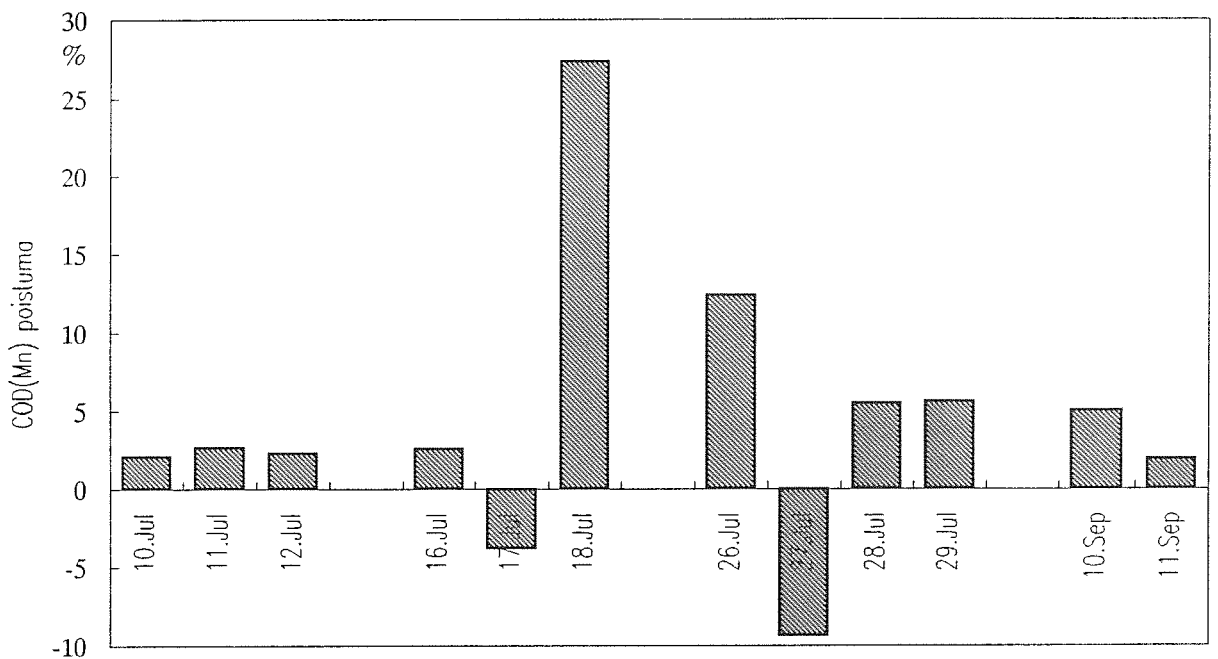
Kuva 27. Tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuudet suodattimessa 2. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



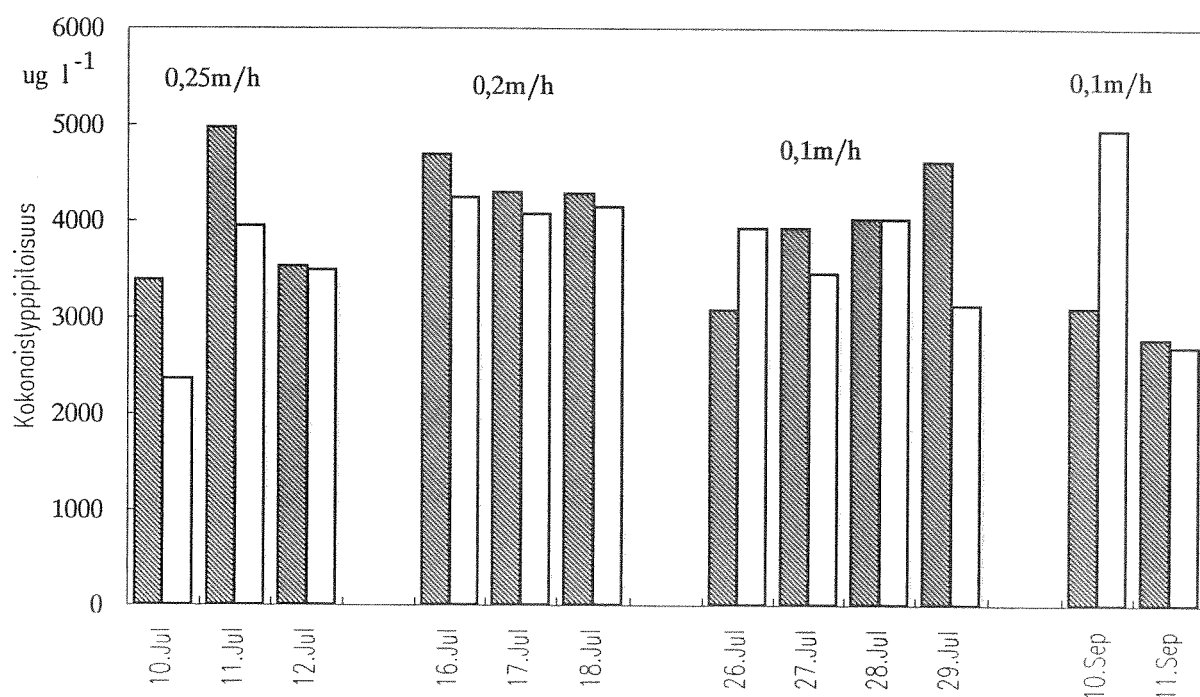
Kuva 28. Suodattimen 2 kiintoainepoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



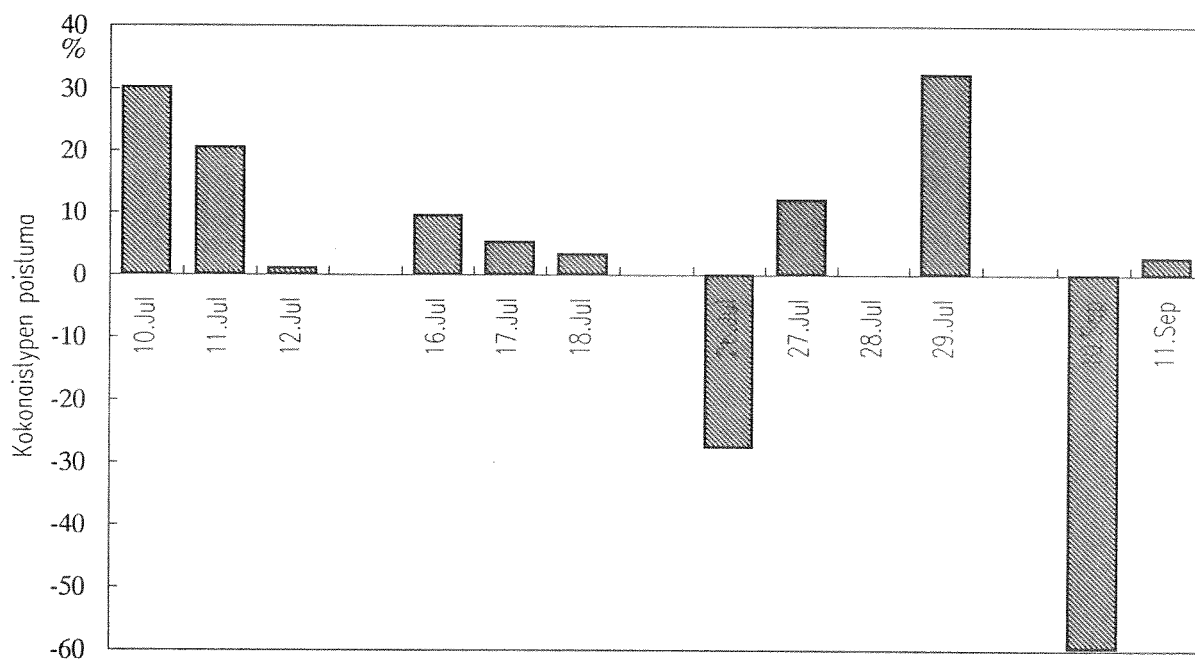
Kuva 29. Tulevan ja lähtevän veden kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuudet suodattimessa 2. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



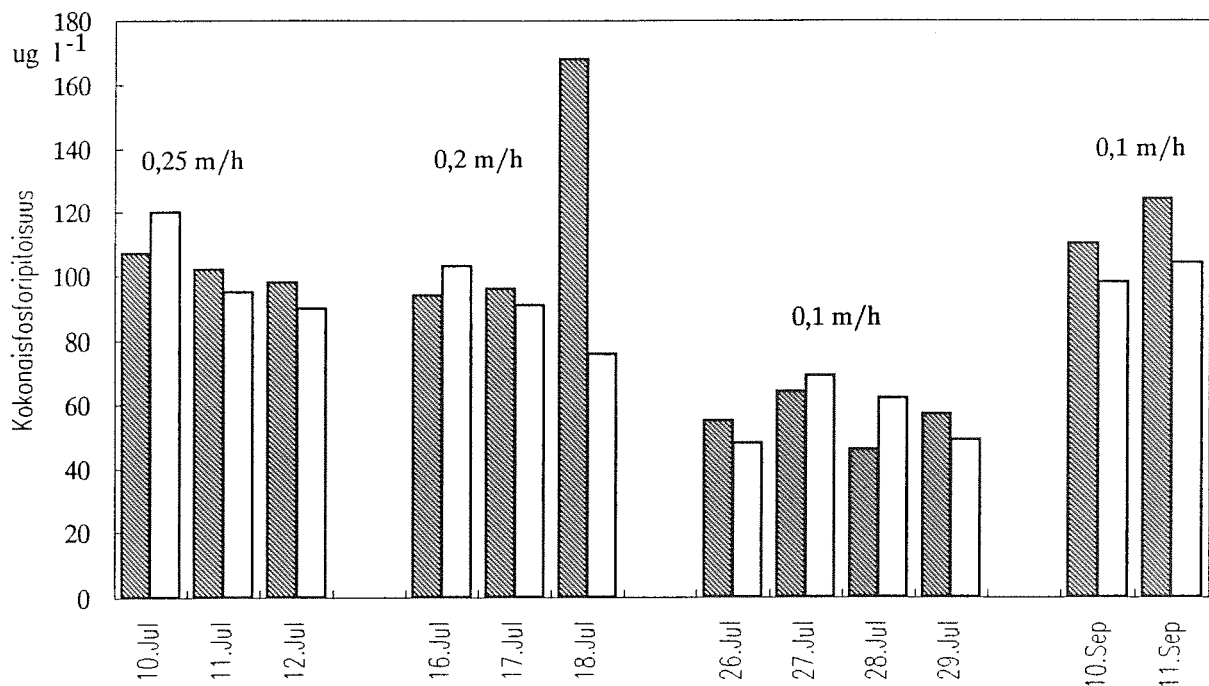
Kuva 30. Suodattimen 2 COD_{Mn} poistumat eri suodatuskokeissa 1991.



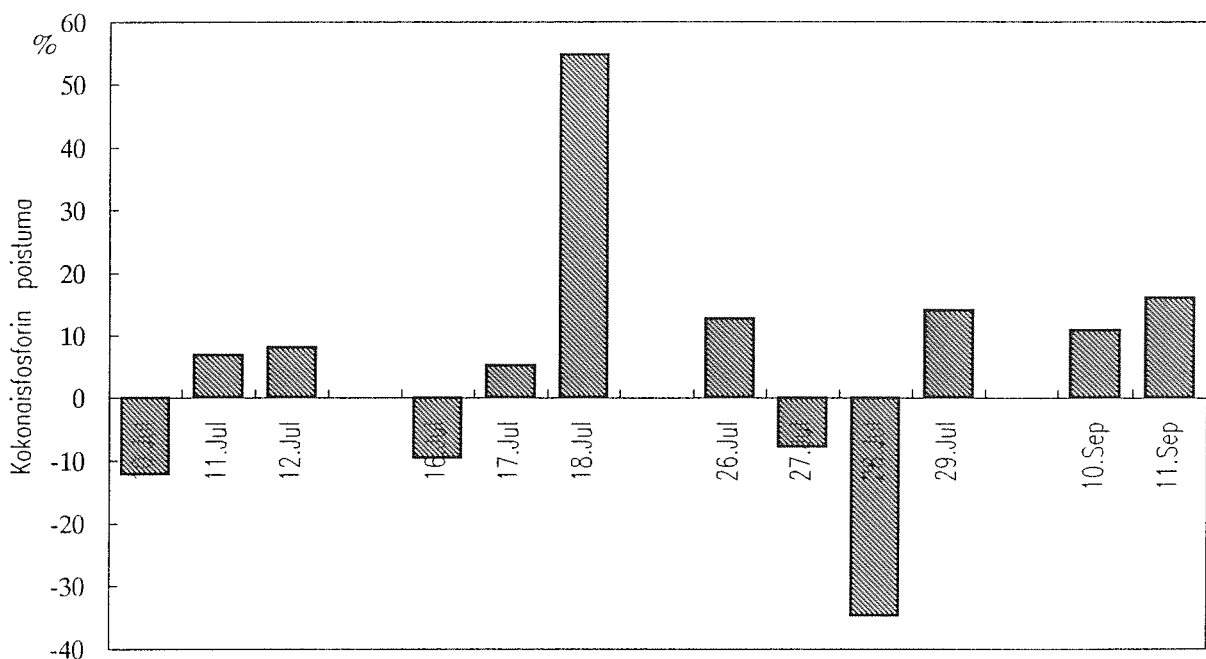
Kuva 31. Tulevan ja lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuudet suodattimessa 2. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



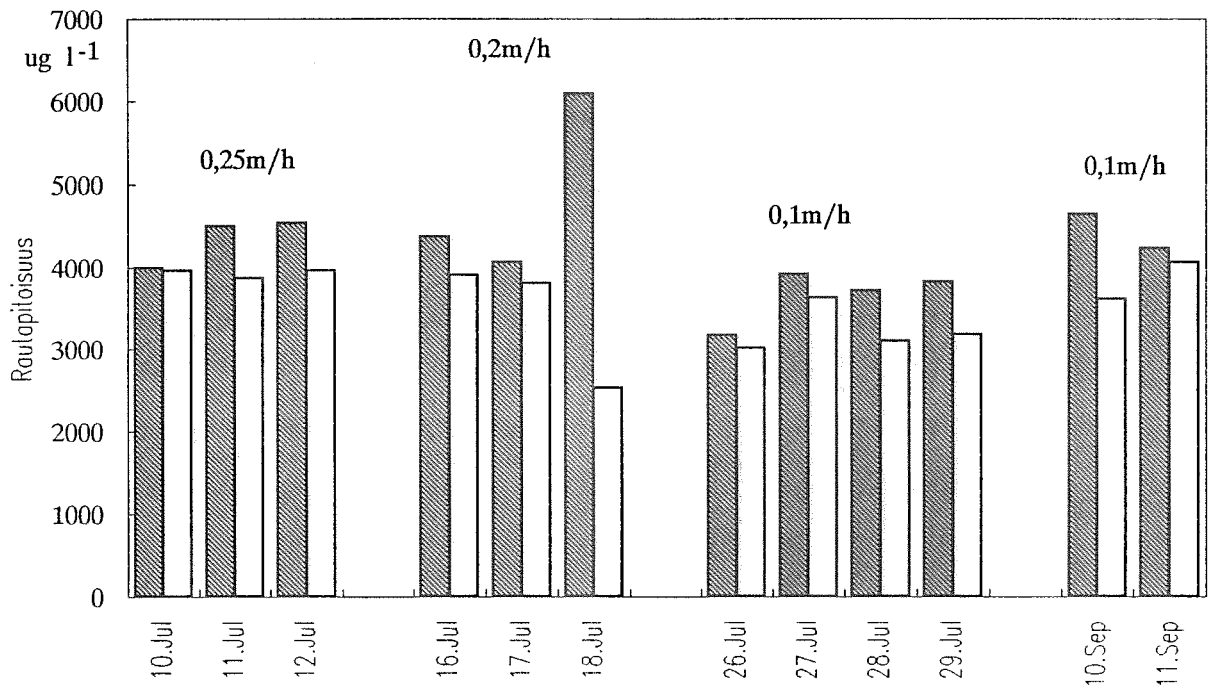
Kuva 32. Suodattimen 2 kokonaistyyppipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



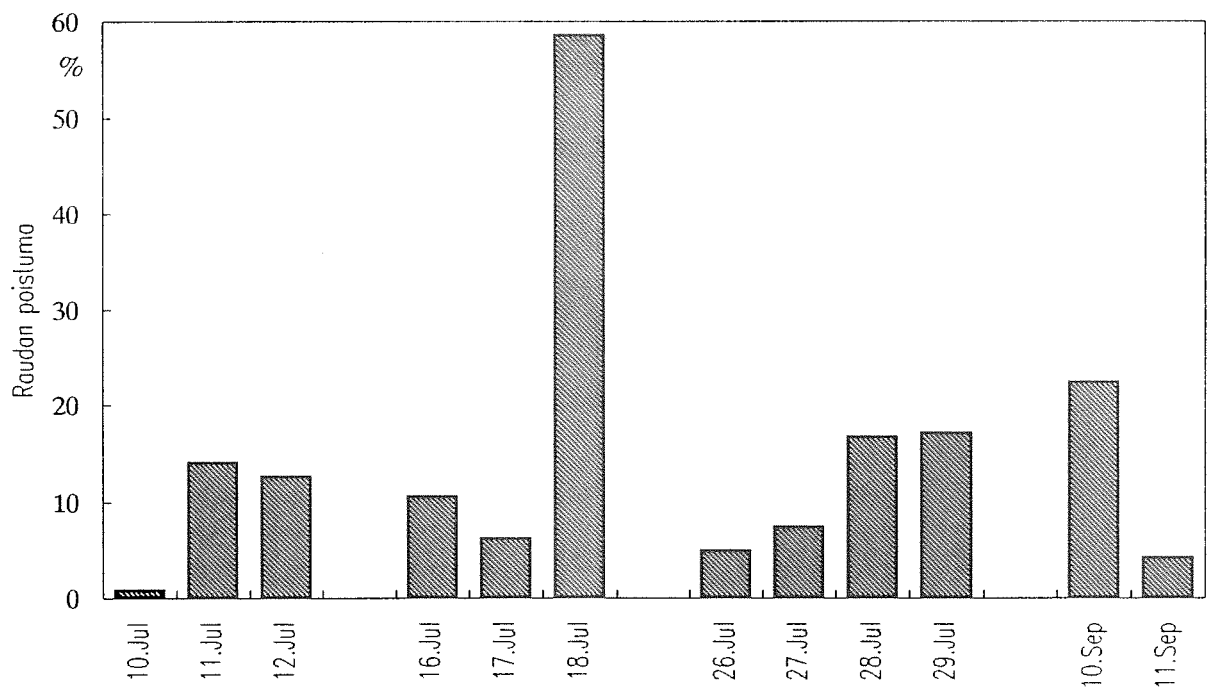
Kuva 33. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet suodattimessa 2. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



Kuva 34. Suodattimen 2 kokonaisfosforipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



Kuva 35. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisrautapitoisuudet suodattimessa 2. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



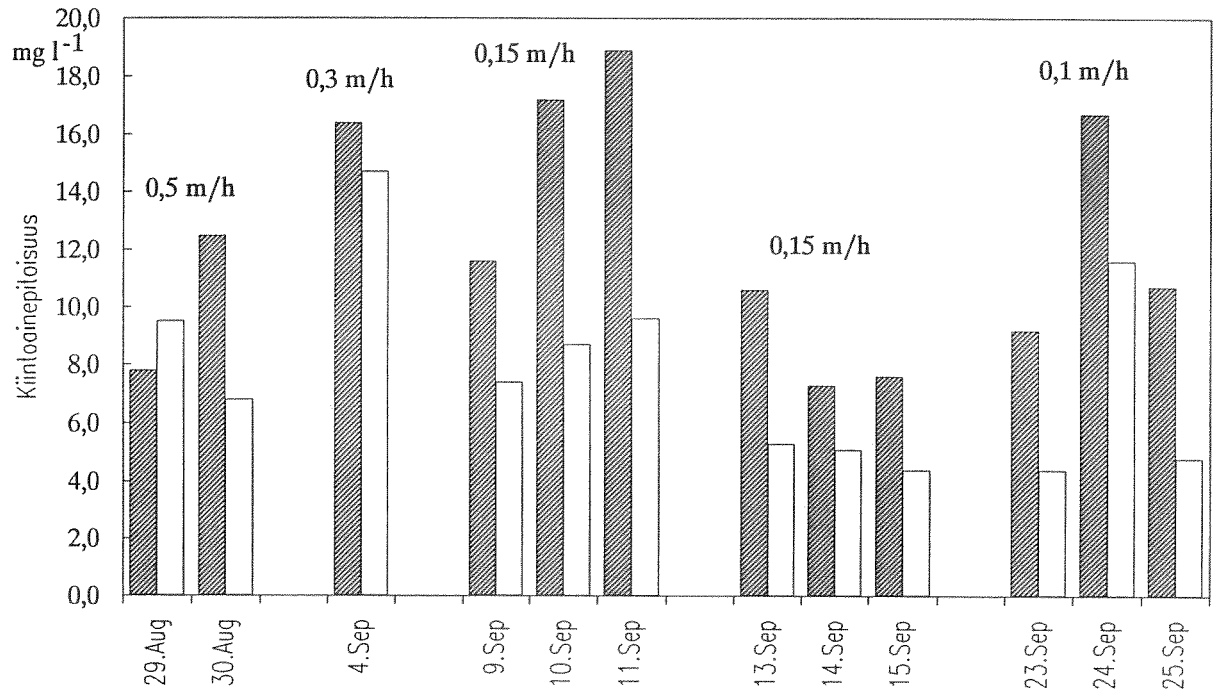
Kuva 36. Suodattimen 2 kokonaisrautapoistumat eri suodatuskokeissa 1991.

4.2.2.3 Suodatin 3

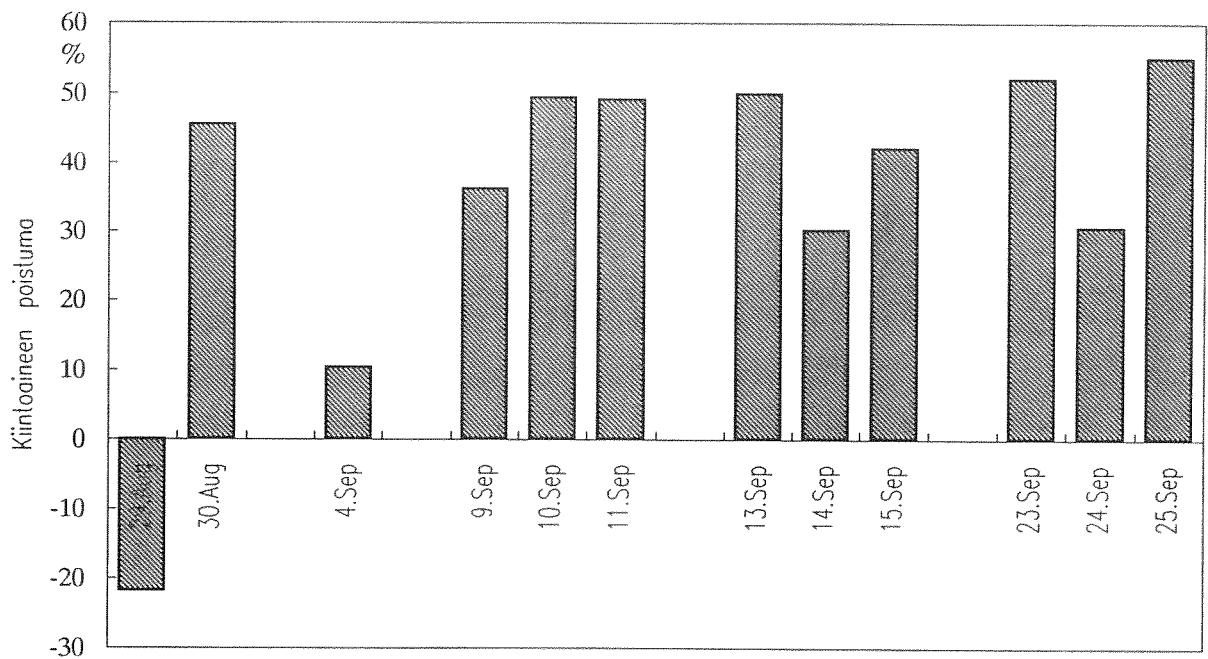
Keskimääräinen kiintoainepoistuma oli eri suodatuskokeiden aikana 36 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 7,3 - 18,9 mg l⁻¹ (taulukko 12 ja 13 sekä kuvat 37 ja 38). Veden väri ei muuttunut merkittävästi suodatusten aikana. pH muuttui keskimäärin 0,9 yksikköä emäksiseen suuntaan. Kemiallisenä hapenkulutuksena määritetty orgaanisten aineiden poistuma oli keskimäärin 3 %, kun tulevan veden COD_{Mn} pitoisuus oli 41,5 mg l⁻¹ (kuvat 39 ja 40). Suodatusten keskimääräinen kokonaistyyppipoistuma oli -3 %, kun tulevan veden kokonaistyyppipitoisuus oli 3530 µg l⁻¹ (kuvat 41 ja 42). Keskimääräinen kokonaisfosforipoistuma oli 16 %, kun tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli 97 µg l⁻¹ (kuvat 43 ja 44). Suodatusten keskimääräinen kokonaisrautapoistuma oli 21 %, kun tulevan veden kokonaisrautapitoisuus oli 4100 µg l⁻¹ (kuvat 45 ja 46). Liitteessä 4 on esitetty suodattimen analyysitulokset sekä vastaavat poistumat suodatuskokeittain.

Taulukko 12. Suodattimeen 3 tulevan ja lähtevän veden keskimääräiset pitoisuudet ja niiden vaihteluväli.

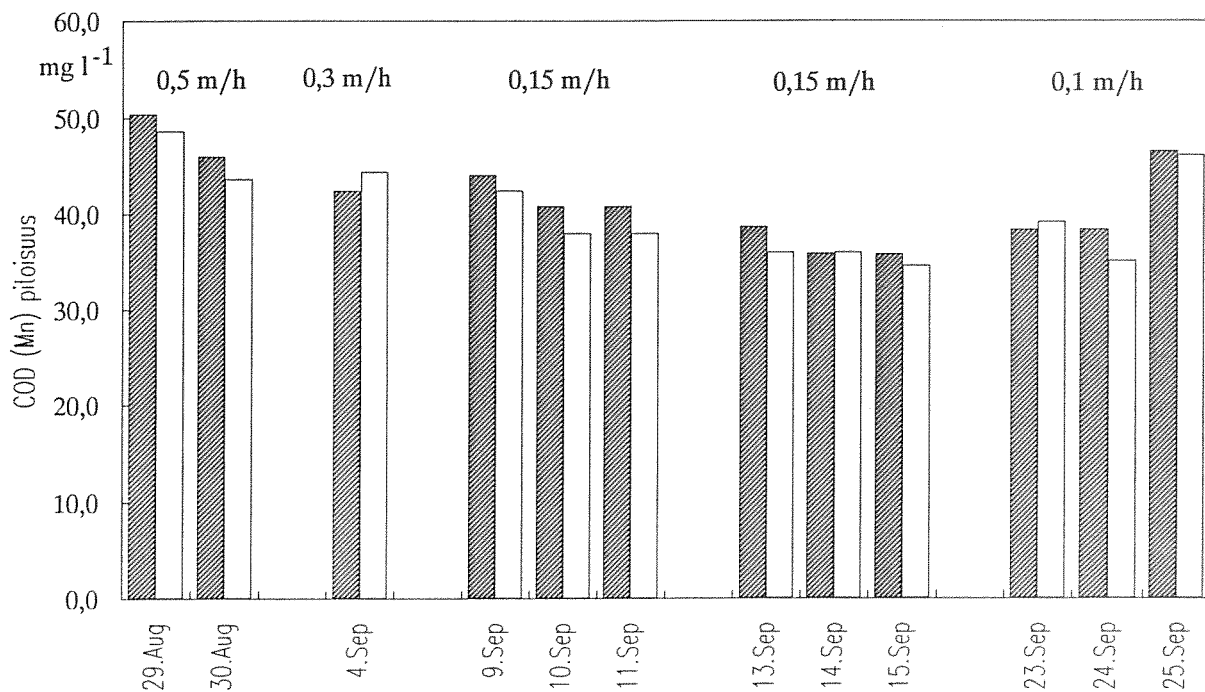
Vedenlaatu- muuttuja	Tuleva vesi			Lähtevä vesi		
	Min.	Ka.	Maks.	Min.	Ka.	Maks.
Kiintoaine mg l ⁻¹	7,3	12,2	18,9	4,4	7,7	14,7
pH	6,2	6,5	7,2	6,6	7,5	9,1
Väri mg Pt ⁻¹	275	300	375	200	300	450
COD _{Mn} mg l ⁻¹	35,8	40,4	50,4	34,6	40,2	48,6
Kok. N µg l ⁻¹	2780	3530	4430	2680	3570	4450
Kok. P µg l ⁻¹	63,00	97,33	130,00	52	82	117
Kok. Fe µg l ⁻¹	3000	4100	5300	2200	3100	4400



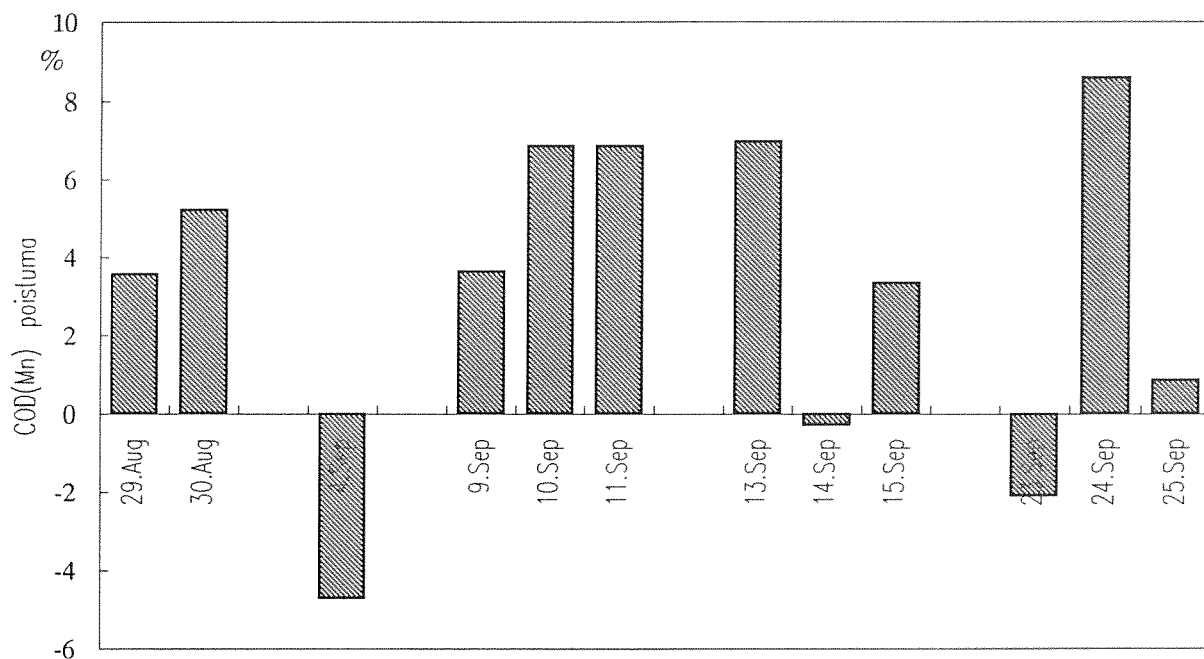
Kuva 37. Tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuudet suodattimessa 3. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



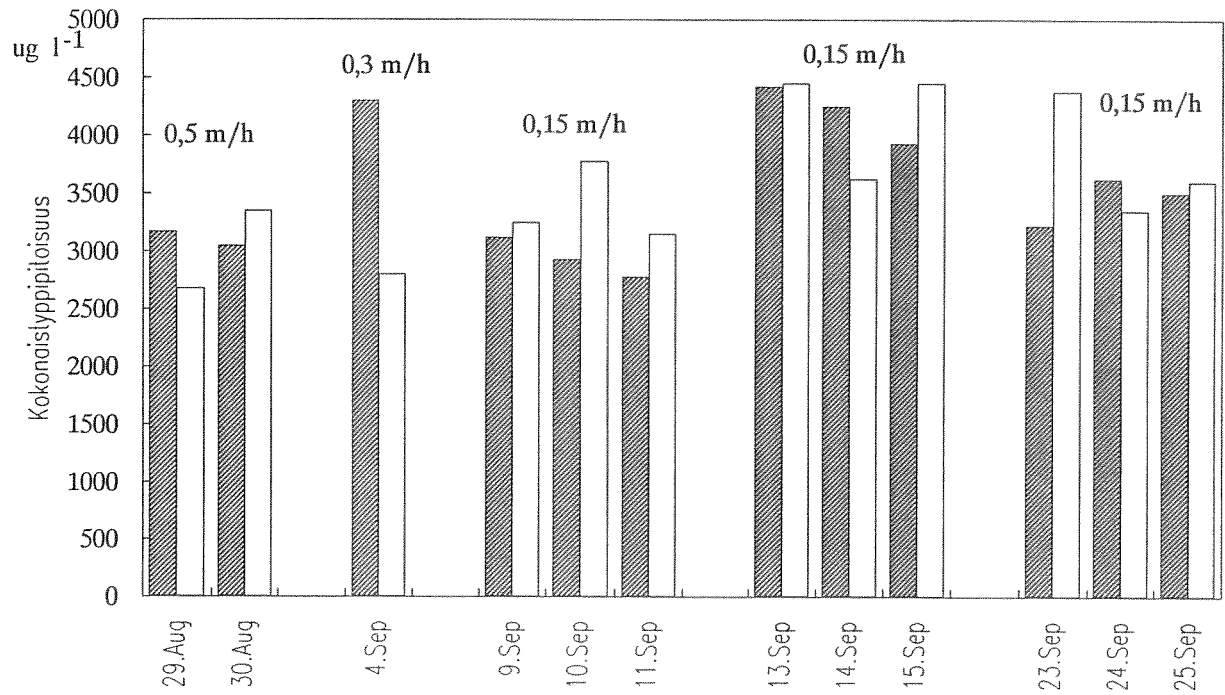
Kuva 38. Suodattimen 3 kiintoainepoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



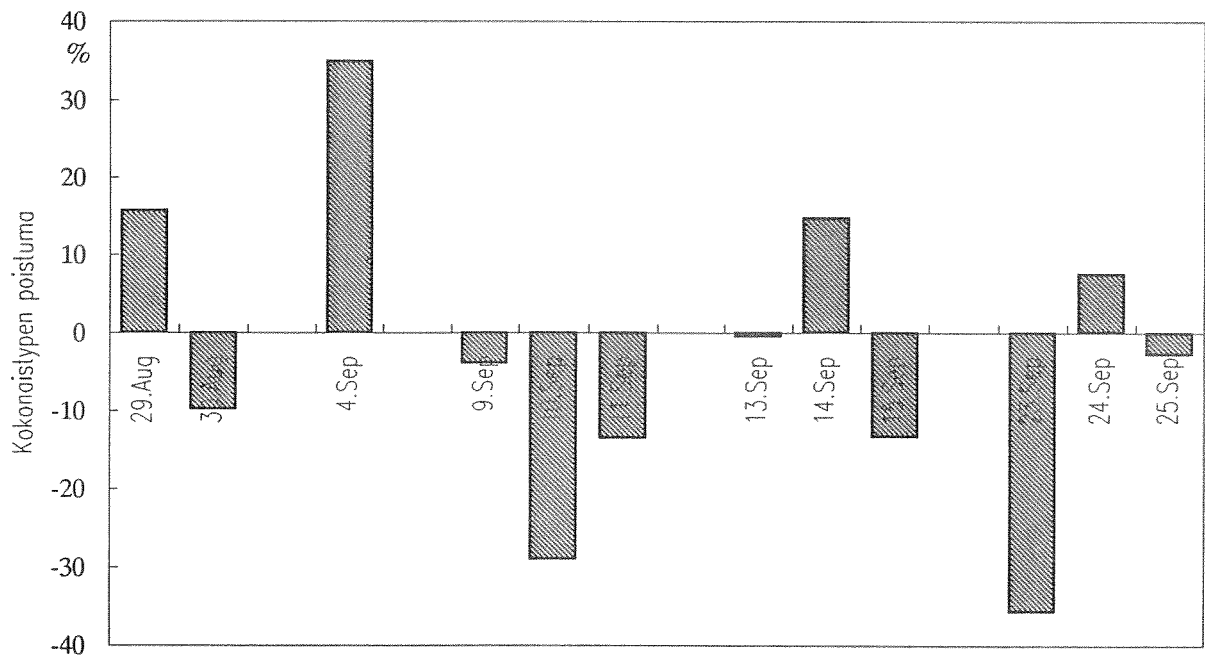
Kuva 39. Tulevan ja lähtevän veden kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuudet suodattimessa 3. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



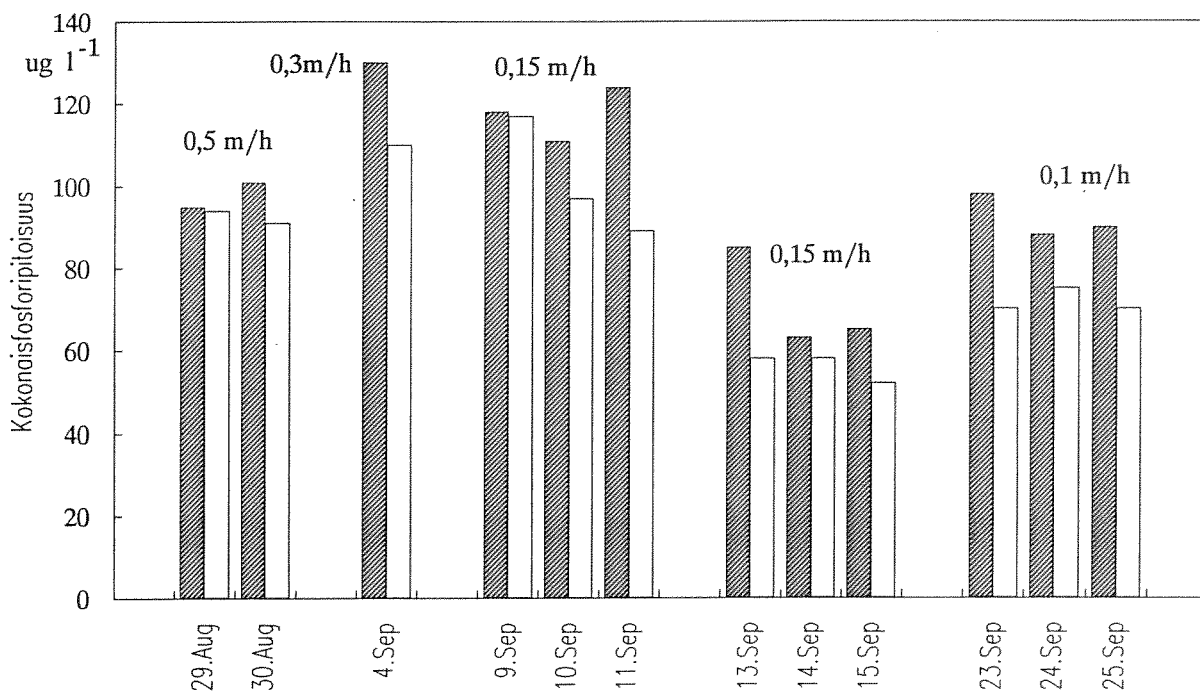
Kuva 40. Suodattimen 3 COD_{Mn} poistumat eri suodatuskokeissa 1991.



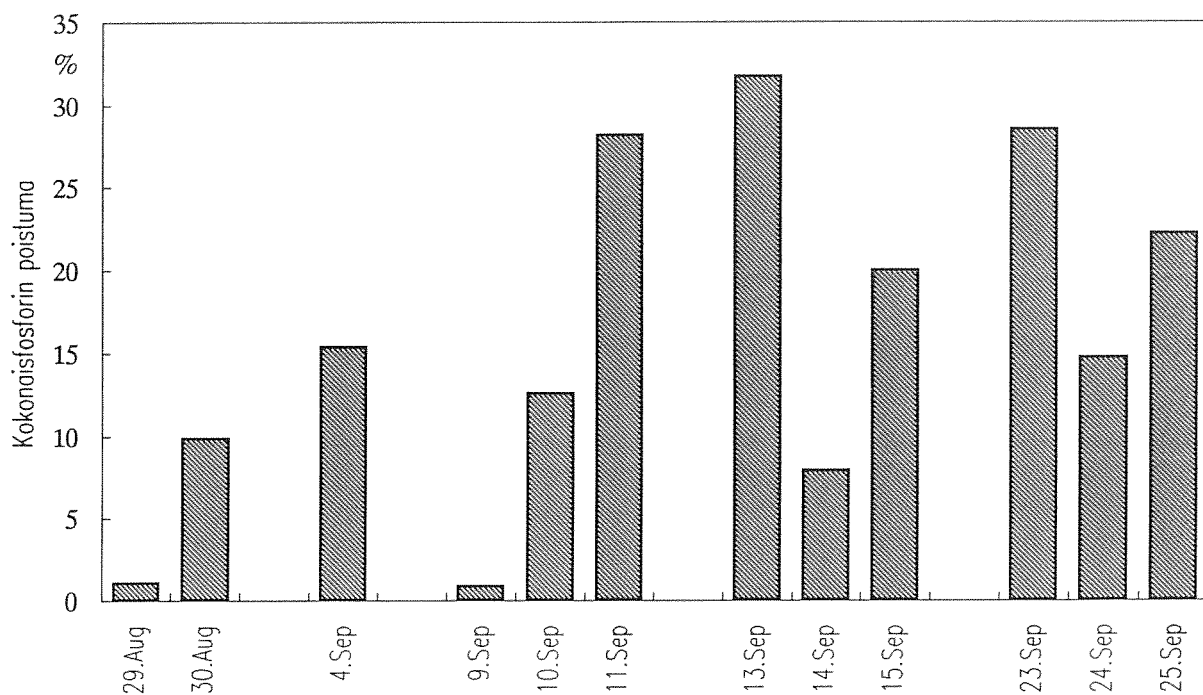
Kuva 41. Tulevan ja lähtevän veden kokonaistyyppipitoisuudet suodattimessa 3. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



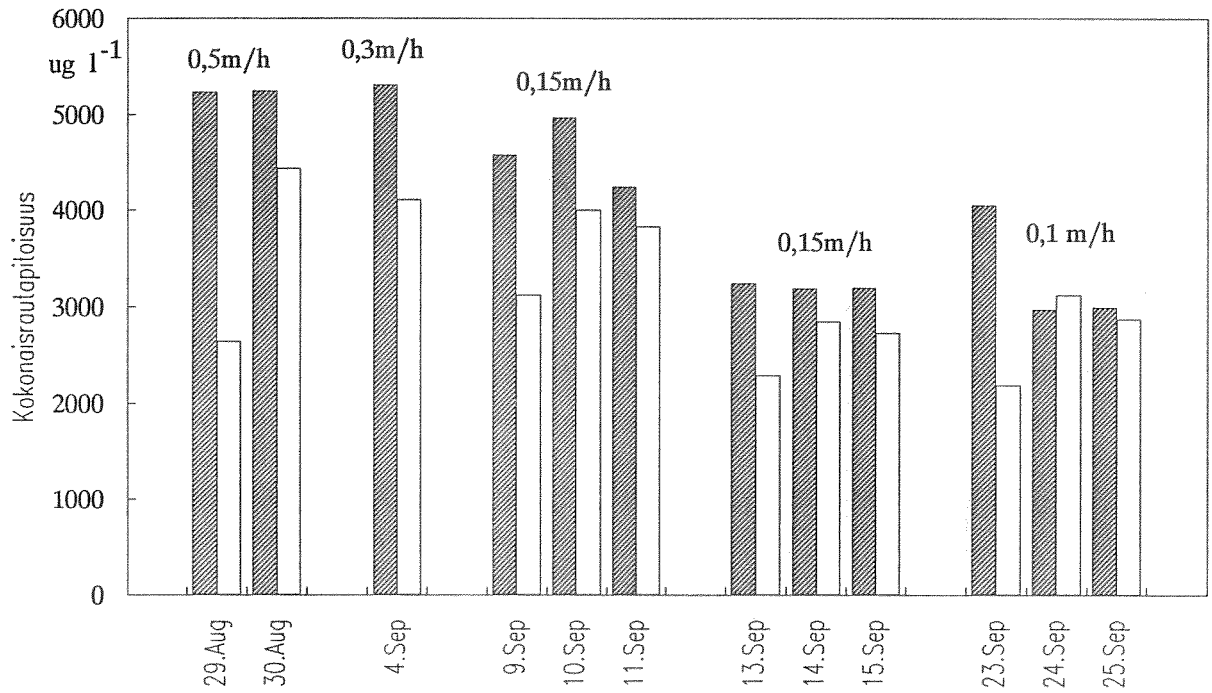
Kuva 42. Suodattimen 3 kokonaistyyppipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



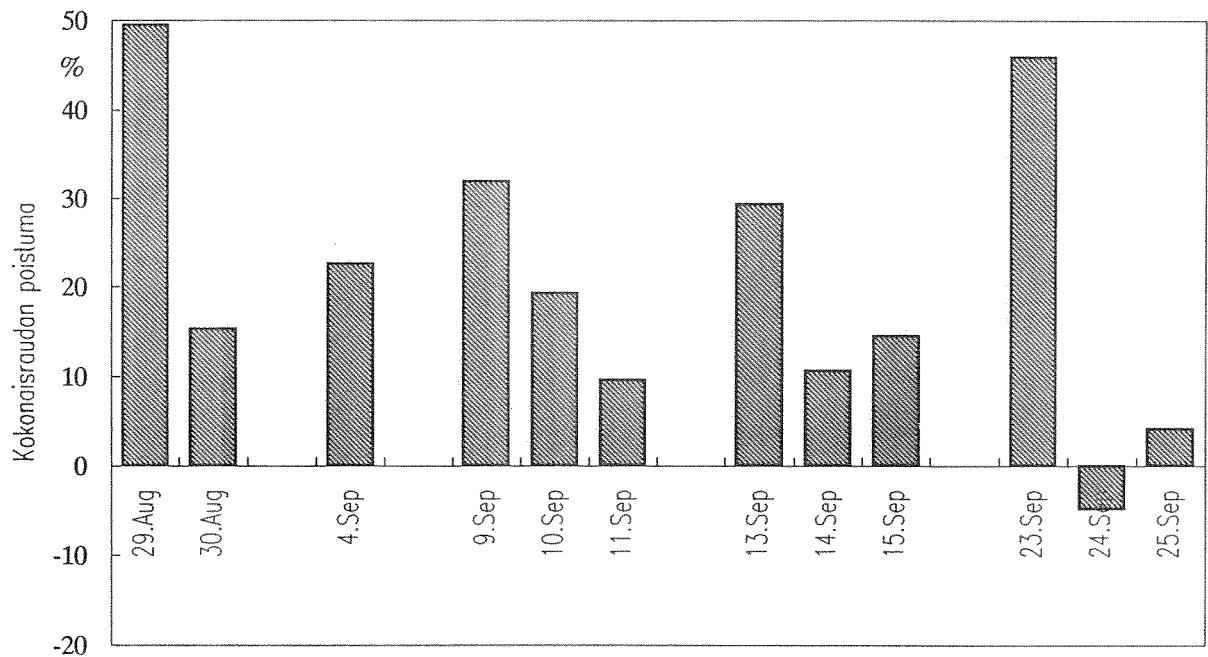
Kuva 43. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet suodattimessa 3. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



Kuva 44. Suodattimen 3 kokonaisfosforipoistumat eri suodatuskokeissa 1991.



Kuva 45. Tulevan ja lähtevän veden kokonaisrautapitoisuudet suodattimessa 3. Tulevan veden pitoisuudet on kuvassa esitetty viivoitettuna. Kuvassa on esitetty myös kokeissa käytetyt pintakuormat.



Kuva 46. Suodattimen 3 kokonaisrautapoistumat eri suodatuskokeissa 1991.

Taulukko 13. Piipsannevan suodatuskokeiden keskimääräiset poistumat vuonna 1991. Suodatusparametrit ovat vastaavat kuin taulukossa 7.

Suodatus	Pintakuorma m h ⁻¹	Poistuma %				
		kiintoaine	COD _{Mn}	Kok.N	Kok. P	Kok.Fe
Suodatin 1.						
A	0,70	26	1	17	2	- 2
C	0,43	39	4	11	12	13
F	0,25	45	6	19	18	21
H	0,88	26	4	11	10	1
L	0,25	30	2	-22	10	7
N	0,10	40	3	1	17	17
Suodatin 2.						
B	0,25	25	2	17	1	9
E	0,20	42	9	6	17	15
I	0,10	32	4	4	- 4	11
U	0,10	42	4	-29	14	13
Suodatin 3.						
R	0,50	12	4	3	6	33
S	0,32	12	-5	35	15	23
T	0,16	45	6	-16	9	20
V	0,16	40	3	0	22	18
X	0,10	45	3	-10	22	23

4.2.3 Kunnossapidolliset tutkimukset

Suodattimien yhtäjaksoiset pumppausajat on esitetty taulukossa 7. Pumppausaikaa pyrittiin pidentämään suodattimessa 3 tehdyllä haravointikokeella. Haravoinnilla ei todettu olevan merkittävää vaikutusta suodatusaikaan. Haravoinnin jälkeen suodoksen kiintoainepitoisuus lisääntyi keskimäärin 10,5 mg l⁻¹. Suodoksen "kiintoainepiikki" tasaantui haravoinnin jälkeen 2 h kuluttua haravoinnin lopettamisesta.

Suodattimien tukkeuduttua ne puhdistettiin kuorimalla pinnalta 2 - 10 cm:n kerros pois. Kuorinta tehtiin pääsääntöisesti lapiotyönä. Kuormauskauhallinen kaivukone oli käyttökelpoisin koneellinen kuorintamenetelmä Piipsannevan olosuhteissa. Tämä menetelmä vaatii kaivukoneen kuljettajalta ammattitaitoa ja harjaantumista, jotta mahdollisimman tasaisen ja määrätynpaksuisen kerroksen kuoriminen onnistuisi. Traktorin perälevyillä tapahtuva kuoriminen ei Piipsannevan suodattimilla onnistunut suodatinten rakenteellisten ominaisuuksien vuoksi.

Suodattimessa 1 kiintoaine tunkeutui keskimäärin 5 - 7 cm syvyydelle pinnasta. Suodattimissa 2 ja 3 kiintoainetunkeuma oli keskimäärin 1 - 3 cm. Suodatinmateriaalien rakeisuus tai orgaanisen aineen määrä ei ollut merkittävästi muuttunut suodatuskokeiden aikana aivan suodattimen 1 pintakerrosta lukuunottamatta.

4.3 Tulosten tarkastelu

4.3.1 Suodatettavan veden laatu

Keskimääräiset tulevan veden pitoisuudet olivat turvetuotantoalueen valumavesien pitkäaikaisia keskiarvoja alhaisemmat suodatuskokeiden aikana kesällä 1991. Kuitenkin Piipsannevan turvetuotantoalueen valumavedet ovat keskimääräisiltä laatuominaisuuksiltaan samansuuruisia kuin Oulun vesi- ja ympäristöpiirin alueen tehotarkkailussa olevien turvetuotantosoiden valumavedet (Ihme ym. 1991). Täten Piipsannevalla tehdyt suodatukset ovat veden laadun suhteen edustavia selvitettäessä suodatuksen käyttökelpoisuutta turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistamisessa. Piipsannevan turvetuotantoalueelta valuvan veden laatua on arvioitu tarkemmin julkaisussa "Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistamisessa" (Ihme ym. 1991).

4.3.2 Suodattimen tukkeutuminen

Suodatin 1

Suurin suodattimelle 1 pumpattu vesimäärä oli 10000 m³, jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe A). Yhtäjaksoinen suodatus kesti tällöin 168 h eli 7 vuorokautta pintakuormalla 0,7 m h⁻¹. Esimerkiksi turvetuotantoalueelta, jonka valuma-alue on 50 ha ja keskimääräinen valuma 10 l s⁻¹ km², virtaa noin 3130 m³ vettä 7 vuorokauden aikana.

Suurin keskimääräinen kiintoainekuormitus oli 1,12 kg m⁻², jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe A). Jos esimerkkinä olevan turvetuotantoalueen valumaveden keskimääräinen kiintoainepitoisuus on 40 mg l⁻¹, on sen kiintoainekuorma 17,3 kg d⁻¹. Jos suodattimen pinta-ala on 80 m² kuten Piipsannevalla, on kiintoainekuorma 0,22 kg m⁻² d⁻¹. Täten suodattimen 1 tukkeutumista vastaava kiintoainekuorma saavutetaan noin 5 vuorokauden kuluessa. Turvesuodatusten yhteydessä suurin jyrksinturpeen kiintoainekuormitus oli 1,57 kg m⁻² (Ihme ym. 1991).

Suodatin 2

Suodatuskokeen G pintakuormilla (0,3 ja 0,4 m h⁻¹) ylitettiin suodatinmateriaalin vedenläpäisykyky, jolloin sallittu painehäviö saavutettiin ennen suodattimen tukkeutumista.

Suurin suodattimelle 2 pumpattu vesimäärä oli 2000 m³, jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe B). Yhtäjaksoinen suodatus kesti tällöin 94 h eli noin 4 vuorokautta pintakuormalla 0,25 m h⁻¹. Suodattimen 1 yhteydessä esitetyltä turvetuotantoalueelta virtaa vettä 4 vuorokauden aikana noin 1790 m³.

Suurin keskimääräinen kiintoainekuormitus oli 0,4 kg m⁻², jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe E). Jos esimerkkinä olevan turvetuotantoalueen valumaveden keskimääräinen kiintoainepitoisuus on 40 mg l⁻¹, on sen vuorokauden kiintoainekuorma 17,3 kg. Jos suodattimen pinta-ala on 80 m² kuten Piipsannevalla, on kiintoainekuorma 0,22 kg m⁻² d⁻¹. Täten suodattimen 2 tukkeutumista vastaava kiintoainekuorma saavutetaan noin 2 vuorokauden kuluessa.

Suodatin 3

Suurin suodattimelle 3 pumpattu vesimäärä oli 1740 m³, jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe R). Yhtäjaksoinen suodatus kesti tällöin 45 h eli noin 2 vuorokautta pintakuormalla 0,5 m h⁻¹.

Suurin keskimääräinen kiintoainekuormitus oli 0,22 kg m⁻², jonka jälkeen suodatin tukkeutui (Suodatuskoe R). Jos esimerkkinä olevan turvetuotantoalueen valumaveden keski-

määräinen kiintoainepitoisuus on 40 mg l^{-1} , on sen vuorokauden kiintoainekuorma $17,3 \text{ kg}$.

Suodatuskokeiden aikana keskimääräiset kiintoainepitoisuudet olivat alhaisemmat kuin pitkäaikaiset keskiarvot. Turvetuotantoalueen valumavesimäärät ja kiintoainepitoisuudet olivat suuria rankkasateiden aikana. Tällöin suodattimet tukkeutuivat nopeasti. Suodattimet on puhdistettava vähintään kahden viikon välein, kun käytetään riittävän pientä pintakuormaa. Muutoin suodatin on puhdistettava tiheämmin ja usein aina rankkasateiden jälkeen. Suodattimien tukkeutumista on seurattava jatkuvasti. Suodattimen 1 materiaalille soveltuvin pintakuorma on $0,5 \text{ m h}^{-1}$ sekä suodattimen 2 ja 3 materiaaleille $0,1 - 0,2 \text{ m h}^{-1}$.

4.3.3 Puhdistustulokset

4.3.3.1 Kiintoaine

Keskimääräinen kiintoainepoistuma oli eri suodatusjaksojen aikana suodattimessa 1 $26 - 40 \%$, suodattimessa 2 $25 - 42 \%$ ja suodattimen 3 $12 - 46 \%$. Tulevan veden keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli $13,5 \text{ mg l}^{-1}$. Huonoin kiintoaineen poistuma saatiin kaikissa suodattimissa ensimmäisen suodatusjakson aikana, jolloin suodattimateriaaleista huuhtoutui hienoainesta suodatettavaan veteen. Jyrsinturvesuodatuksissa kiintoainepoistuma oli $34 - 79 \%$. Tällöin suodatettavan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin $66,8 \text{ mg l}^{-1}$ (Ihme ym. 1991). Laskeutusaltailla päästään noin $30 - 40 \%$ kiintoainepoistumiin, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus on $10,5 - 180,2 \text{ mg l}^{-1}$ (Selin ja Koskinen 1985). Kiintoainepoistuma riippuu olennaisesti tulevan veden pitoisuudesta. Suodatuksella päästään pienempiin jäännöspitoisuuksiin kuin laskeutuksella, joten suodatus on kiintoainepoistuman suhteen parempi puhdistusmenetelmä. Hiekka- ja maasuonikuonasuodatus on puhdistusteholtaan ja jäännöspitoisuudeltaan lähes turvesuodattimen tasoinen.

4.3.3.2 Organiset aineet

Suodattimen 1 eri suodatusjaksojen keskimääräinen orgaanisen aineen poistuma oli $1 - 6 \%$. Suodattimessa 2 vastaava poistuma oli $2 - 8 \%$ ja suodattimessa 3 $-5 - 5 \%$. Suodattimen 3 MAKU oli siis ainoa materiaali, josta liukeni orgaanista ainesta suodokseen. Jyrsinturvesuodatuksissa orgaanisten aineiden poistuma oli $-56 - 27\%$ (Ihme ym. 1991). Laskeutusaltaat ja suodattimet eivät juurikaan poista vedestä orgaanista ainesta.

4.3.3.3 Typpi

Suodattimen 1 eri suodatusjaksojen keskimääräinen kokonaistyyppipoistuma oli $-22 - 19 \%$. Suodattimen 2 vastaava poistuma oli $-29 - 17 \%$ ja suodattimen 3 vastaavasti $-15 - 35 \%$. Tulevan veden keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli $3690 \mu\text{g l}^{-1}$. Jyrsinturvesuodatuksissa kokonaistyyppipoistuma oli $-13 - 28\%$ (Ihme ym. 1991). Laskeutusaltailla päästään $-20 - 51 \%$ typpipoistumiin, kun tulevan veden typpipitoisuus on $800 - 7200 \mu\text{g l}^{-1}$ (Selin ja Koskinen 1985). Pääosa kokonaistyyppipoistumasta poistuu kiintoaineen mukana.

4.3.3.4 Fosfori

Suodattimen 1 keskimääräinen kokonaisfosforipoistuma oli $2 - 18 \%$. Suodattimen 2 vastaava poistuma oli $-4 - 16 \%$ ja suodattimen 3 $5 - 22 \%$. Tulevan veden keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus oli $92 \mu\text{g l}^{-1}$. Laskeutusaltailla saadaan typpipitoisuuksiin alle 20% pieneneminen, kun tulevan veden kokonaisfosforipitoisuudet olivat $52 - 200$

$\mu\text{g l}^{-1}$. Pääosa kokonaisfosforimäärästä poistui kiintoaineen mukana (Selin ja Koskinen 1985).

4.3.3.5 Rauta

Suodattimen 1 eri suodatusjaksojen keskimääräinen kokonaisrautapoistuma oli -2 - 20 %. Suodattimen 2 vastaava poistuma oli 9 - 15% ja suodattimen 3 18 - 32%. Jyrsin-turvesuodatuksissa raudan poistuma oli keskimäärin 31 - 55 % (Ihme ym. 1991). Ainoastaan suodattimen 3 materiaalilla, MAKUlla, päästään lähes vastaaviin poistumiin kuin turvesuodatuksen yhteydessä.

4.3.4 Kunnossapidolliset tutkimukset

Suodattimien tukkeuduttua ne on puhdistettava kuorimalla niiden pinnasta 2 - 10 cm:n paksuinen kerros materiaalia pois. Suodatinmateriaalin orgaanisen aineksen määrä ei lisääntynyt, aivan pintakerrosta lukuunottamatta, suodatuskokeiden aikana. Suodattimet toimivat siis odotetulla tavalla ja puhdistamiseksi riittää pintakerroksen kuoriminen. Soveltuvimmat koneelliset puhdistusmenetelmät ovat kevyen traktorin perälevyllä ja kai-vukoneen kuormauskauhalla tehtävät kuorinnat. Suodattimien tukkeutumista on seuratta-va säännöllisesti ja suodattimet on puhdistettava tarvittaessa. Kannattavuuslaskennan pohjaksi voidaan valita keskimääräiseksi puhdistusväliksi kaksi viikkoa. Laskeutusaltat joudutaan puhdistamaan myös tarpeen mukaan, mutta keskimäärin vain kerran vuodessa (Ihme ym. 1991).

5 SUUNNITTELU, RAKENTAMINEN, KÄYTTÖ JA KUNNOSSAPITO

5.1 Suodattimen suunnittelu

Tässä esitettävien suunnitteluohjeiden mukaan on suunniteltiin "ideaalisuodatin", jolla voidaan käsitellä 50 ha tuotantoalueelta tulevat valumavedet (liite 6).

5.1.1 Rakennuspaikan valinta

Suodattimen rakennuspaikkaa valittaessa on huomioitava seuraavat näkökohdat:

- Rakennuspaikan maapohja on kantavaa kivennäismaata.
- Suodattimen yläpuolelle rakennetaan laskeutusallas.
- Suodattimelle tuleva vesi voidaan ohjata vedenjakorakenteisiin mieluummin ilman pumppausta. Tarvittaessa on rakennettava pumppaamo.
- Suodatinalueelle varataan tilaa suodatinmateriaalin puhdistamista varten.
- Suodatinalueelle on saatavissa sähkö kohtuullisin kustannuksin.
- Suodatinalueelle on rakennettavissa tie kohtuullisin kustannuksin.
- Vedenpoistorakenteet on pystyttävä rakentamaan riittävän lyhyiksi.

Nämä rakennuspaikan valintaan liittyvät näkökohdat ovat ohjeellisia, mutta niihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Mikäli suodatin joudutaan rakentamaan huomattavasti edellä sanotuista ohjeista poikkeavalle rakennuspaikalle kasvavat rakentamiskustannukset huomattavasti. Esimerkiksi maaperän kantavuus vaikuttaa ratkaisevasti työkoneiden liikkuvuuteen niin rakentamis- kuin käyttöaikana.

5.1.2 Suodattimen mitoitus

Suodattimen mitoitukseksi on valuma-alueen koko määritettävä. Valumavesimäärää arvioitaessa käytetään mitoitusvalumaa $150 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Suodatinmateriaalia valittaessa on kartoitettava kohtuullisella kuljetusetäisyydellä olevat rakeisuusominaisuuksiltaan soveltuvat materiaalit. Materiaalin valintaan on kiinnitettävä erityistä huomioita, sillä suodatinmateriaali on tärkein suodatukseen vaikuttava tekijä. Suodatinmateriaalista on pesuseulottava hienoaines ja seulottava yli 3 mm rakeet pois. Suodatinmateriaalin tehokkaan raekoon (d_{10}) on oltava 1,0 - 1,2 mm ja tasaisuusluvun (d_{60}/d_{10}) 2 - 2,5. Paras vaihtoehto on luonnonmateriaaleille ominainen pyöreä raemuoto.

Suodattimen pintakuorman mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti käytettävän suodatinmateriaalin tehokas raekoko ja siitä johtuva vedenläpäisykyky. Tutkituista suodatinmateriaaleista suodattimessa 1 ollut luonnonkivistä murskattu "hiekoitussora" (kuva 16) oli soveltuvinta turvetuotantoalueen valumavesien puhdistamiseen. Rakeisuusominaisuuksiltaan vastaavalla materiaalilla voidaan suodattimen pintakuormaksi valita $0,5 \text{ m h}^{-1}$. Mikäli suodatinmateriaalin tehokas raekoko (d_{10}) on pienempi, on pintakuormaa vastaavasti pienennettävä. Pintakuorman minimiarvona voitaneen pitää arvoa $0,1 \text{ m h}^{-1}$. Käsiteltävän vesimäärän ja suodattimen mitoituspintakuorman avulla määritetään suodattimen pinta-ala.

Suodatinkerroksen paksuudella ei suodatustuloksen kannalta ole suurta merkitystä suodattimen toimintaperiaatteen vuoksi. Suositeltava minimikerrospaksuus on kuitenkin 0,3 m, jotta likapartikkelit pidättyvät suodattimeen. Suodattimen kunnossapidon kannalta kerrospaksuuden on suodatusten alkuvaiheessa oltava vähintään 0,6 m. Suodattimen puhdistaminen tehdään kuorimalla suodattimen pintaa ja yhdellä kuorintakerralla poistetaan noin 5 cm kerros. Suodatinmateriaalin kerrospaksuus on pyrittävä suunnittelemaan sellaiseksi, ettei suodatinmateriaalia tarvitse lisätä tai uusia kesken suodatuskauden (1.5. - 31.10).

Sallittu painehäviö ja sitä vastaava suodattimen ylin vesipinta on mitoitettava vähintään 0,6 m ylemmäs kuin vesipinta suodatuksen alussa. Lisäämällä sallittua painehäviötä voidaan suodattimen toiminta-aikaa pidentää. Sallittu painehäviö on optimoitava kunkin rakennuspaikan mukaan erikseen.

5.1.3 Suodattimen rakenteellinen suunnittelu

5.1.3.1 Kantavat rakenteet

Suodatin rakennetaan kantavalle kivennäismaalle ilman eristys- ja tasauskerroksia, mikäli tällainen alue on käytettävissä. Suodattimen pohjalle voidaan tarvittaessa levittää lujitekangas, ettei kantava kerros sekoitu pohjamaahan. Kantavan kerroksen materiaaliksi soveltuu 0 - 8 mm murske tai sora. Salaoja kerroksen materiaaliksi soveltuu 5 - 32 mm murske, josta hienoaines on pesty pois. Suodattimeen on suunniteltava ajoluiska (vertaa liite 6), jotta kunnossapito voidaan tehdä koneellisesti.

Suodatinalueelle tulevan tien kantava kerros on mitoitettava niin, että suodattimen rakentamisen ja kunnossapidon vaatima liikenne on mahdollista.

5.1.3.2 Vedenjakorakenteet

Tuotantoalueelta tuleva vesi on johdettava vedenjakokaivoihin. Vedenjakokaivoista vesi on johdettava suodattimelle mahdollisimman tasaisesti. Tarkoitukseen käytettävä vedenjakoputkisto on suunniteltava sellaiseksi, että se on suodattimen puhdistuksen yhteydessä helposti poistettavissa. Vedenjakoputket on rei'itettävä 0,5 m:n välein 20

mm:n rei'illä. Vedenjakoputkien reikämäärä on mitoitettava niin, ettei putkisto padota vedenjakojärjestelmää.

5.1.3.3 Vedenpoistorakenteet

Vedenpoistoputkisto on mitoitettava niin, etteivät putkirakenteet lisää suodattimessa syntyvää painehäviötä. Purkuputken päähän on tehtävä nk. munkkiputki, jolla saadaan vesipinta nostettua suodattimessa noin 0,1 m ylemmäs kuin suodatinmateriaalin yläpinta suodatuskauden alussa. Tällä rakenneratkaisulla saadaan koko suodattimen pinta-ala heti suodatuksen alussa käytettyä hyväksi. Munkkirakenne on voitava poistaa suodattimen kunnossapidon yhteydessä, jotta suodatin voidaan kuivattaa ennen puhdistamista.

5.2 Suodattimen rakentamiskustannukset

Suodatinpaikan ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi rakentamiskustannuksiin. Liitteessä 6 esitetylle ideaalisuodattimelle tehtiin kustannusarvio (liite 7). Ideaalisuodattimen rakentamisen kokonaiskustannukset ovat 6200 mk tuotantohehtaaria kohden. Kustannusarviossa on pumppaamon osuus noin 35 % rakentamisen kokonaiskustannuksista. Laskeutusaltaan rakentamiskustannukset ovat 520 - 1020 mk tuotantohehtaaria kohden (Selin ja Koskinen 1985). Pintavalutus kentän rakentamisen kokonaiskustannukset ovat 530 - 1970 mk tuotantohehtaaria kohden (Ihme ym. 1991B). Rakentamiskustannukset on esitetty heinäkuun 1991 hintatasossa, jolloin maarakennuskustannusindeksi oli 138 (1985 = 100).

5.4 Suodattimen käyttö ja kunnossapito

5.3.1 Suodattimen puhdistaminen

Turvetuotantoalueen valumavesien puhdistamiseen soveltuvan suodattimen toimintatapa on lähellä hidassuodattimen toimintatapaa. Suodatin puhdistetaan aina tukkeutumisen jälkeen. Puhdistustarve on lähinnä kiintoainekuormituksesta riippuvainen ja voi vaihdella muutamasta vuorokaudesta neljään viikkoon. Toimintatavan yhtäläisyyden vuoksi suodattimen puhdistaminen tapahtuu kuorimalla suodattimen pinnasta noin 5 cm:n paksuinen kerros suodatinmateriaalia pois. Ennen kuorintaa suodatin on kuivatettava ja vedenjakoputket siirrettävä sivuun. Suodattimen puhdistamisen ajan vedet on johdettava suodattimen ohi. Kuorinta on tehtävissä esimerkiksi kevyellä perälevyllisellä traktorilla. Suodatinmateriaali on ajoittain, esimerkiksi vuoden välein uusittava.

5.3.2 Vuosittaiset kunnossapitotoimenpiteet

Suodattimen vuosittaiset kunnossapitotoimenpiteet voidaan jakaa kahteen osaan. Kevät-kunnostukseen kuuluu suodatinmateriaalin paikalleen laittaminen ja vedenjako- sekä -poistojärjestelmien tarkistaminen. Syyskunnostuksen yhteydessä suodatuskauden aikana loppuunkäytetty suodatinmateriaali poistetaan talveksi suodattimesta. Suodattimella ei voida käsitellä talviajan valumavesiä ilman lämmöneristystä. Suodattimen salaojakerrokset kannattaa suojata hyvin jäätymiseltä, jotta suodatin saadaan mahdollisimman aikaisin keväällä käyttöön. Suodattimen käyttöaika on 1.5. - 31.10.

5.3.3 Käyttö- ja kunnossapitokustannukset

Ideaalisuodattimen käyttö- ja kunnossapito kustannukset on esitetty liitteessä 7. Ideaalisuodattimen vuosittaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat noin 70000 mk eli noin 1400 mk tuotantohehtaaria kohden vuodessa. Pääomitettuna 10 vuodelta suodattimen käyttö ja kunnossapito maksaa noin 17 000 mk tuotantohehtaarialta. Pintavalutus-

kentän kunnossapito kustannukset ovat 10000 mk vuodessa, eli 200 mk tuotantohehtaaria kohden.

5.4 Suodattimen soveltuvuus käytäntöön

Maasuodattimen soveltuminen turvetuotantoalueen valumavesien puhdistamiseen on selvitettävä tapauskohtaisesti. Suodatus ei sovellu ainoaksi puhdistusmenetelmäksi nopean tukkeutumisen ja suhteellisen vähäisen ravinnepoistuman vuoksi. Suodatusta voidaan käyttää laskeutusaltaan puhdistustehon ja käyttövarmuuden lisäämiseen. Suodatuspuhdistuksen valintaan vaikuttaa olennaisesti soveltuvan rakennuspaikan ja tarvittavan suodatinmateriaalin löytyminen.

Rakentamis- ja käyttökustannuksiltaan suodatus on vertailluista menetelmistä kallein ja siksi ennen rakentamispäätöstä on tarkoin harkittava muut alueelle soveltuvat menetelmät.

6 JATKOTUTKIMUSTARVE

Suodatustutkimuksia ei liene tarkoituksenmukaista jatkaa nykyisessä muodossa. Hidas-suodatintyyppinen ratkaisu on muihin käytettävissä oleviin menetelmiin verrattuna kallis ja lisäksi sen teho ei ole erityisesti ravinteiden poiston suhteen hyvä. Jatkossa tulee keskittyä lähinnä sellaisten suodatuslaitteiden kehittämiseen ja kokeiluun, jotka ovat tehokkaita kuormitushuippujen aikana. Tällöin tuleva kysymykseen siivilätyyppiset suodattimet. Näistä on kokemuksia mm. kalanviljelylaitoksilta ja ne ovat toimineet hyvin vastaavissa olosuhteissa.

7 YHTEENVETO

Turpeen käyttö energiantuotannossa on kasvanut nopeasti. Turvetuotannon seurauksena lisääntyvät kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumat alapuoliseen vesistöön. Turvetuotannon laajenemisen vuoksi käynnistettiin vuonna 1987 tutkimusprojekti "Turvetuotannon vesien-suojeluteknologian kehittäminen". Tämä tutkimusprojekti on jatkunut 1990 luvulla tutkimusprojektilla "Pintavalutus ja suodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistamisessa". Tutkimusprojektin tavoitteena on parantaa käytössä olevia pintavalutus ja suodatusmenetelmiä ja selvittää niiden toimintaperiaatteet. Tutkimuskohteet sijaitsivat Oulun läänissä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hiekka- ja masuunikuonasuodattimien soveltuvuus turvetuotannon valumavesien puhdistukseen. Tarkoituksena oli saada tietoa suodattimen puhdistuskyvystä, suunnittelu- ja mitoitusarvoista sekä kunnossapidosta. Tutkimuksessa selvitettiin, miten suodattimella saadaan poistettua valumavedestä kiintoainetta ja ravinteita.

Vuonna 1991 tehtiin tutkimukset Piipsannevan suodatinkoealueella, jossa oli kolme pinta-alaltaan noin 80 m² suodatinta. Lisäksi suodatinkoealueella oli suodattimen pienoismalli, jota käytettiin alustaviin materiaalivalintoihin.

Suodattimessa 1 käytettiin luonnonkivistä murskattua "hiekoitussoraa", jonka tehokas raekoko oli 1,0 mm ja tasaisuusluku 3. Suodattimessa 2 käytettiin luonnonsoraa jonka tehokas raekoko oli 0,4 mm ja tasaisuusluku 3,5. Suodattimessa 3 ja pienoismallissa kokeiltiin granulointua masuunikuonaa, eli MAKUA. Suodattimen 3 materiaalin soveltuvuutta kokeiltiin ensin pienoismallissa. Lähinnä valmiiden tutkimusmahdollisuuksien

vuoksi päätettiin kokeilla MAKUa myös suuremmassa mittakaavassa suodattimessa 3. Tähän suodattimeen laitetun MAKUn tehokas raekoko oli 0,4 mm ja tasaisuusluku 3,5.

Suodattimien kerrospaksuudet olivat suodattimessa 1 0,6 m ja suodattimissa 2 ja 3 0,5 m kokeiden alussa. Suodattimelle 1 kokeiltiin pintakuormia 0,1 - 0,9 m h⁻¹, jolloin suodatetut vesimäärät olivat noin 1500 - 10 000 m³ suodatuskoetta kohden. Suodattimelle 2 kokeiltiin pintakuormia 0,1 - 0,4 m h⁻¹, jolloin suodatetut vesimäärät olivat noin 30 - 2000 m³ suodatuskoetta kohden. Suodattimelle 3 kokeiltiin pintakuormia 0,1 - 0,5 m h⁻¹, jolloin suodatetut vesimäärät olivat noin 600 - 1 700 m³ suodatuskoetta kohden. Suodatusajat vaihtelivat 0,5 - 592 tuntiin. Suodatus lopetettiin, kun suodattimen sallittu painehäviö saavutettiin joko tukkeutumisen tai liian suuren hydraulisen kuormituksen vuoksi.

Suodattimella 1 saavutettu keskimääräinen kiintoainepoistuma oli 34 %. Orgaanisten aineiden ja ravinteiden poistuma oli suodattimessa 1 eri suodatusjaksoilla keskimäärin 3 - 12 %. Kokonaisrautapoistuma oli vastaavasti 9 %. Suodattimella 2 saavutettu keskimääräinen kiintoainepoistuma oli 35 %. Orgaanisten aineiden ja ravinteiden poistuma oli suodattimessa 2 eri suodatusjaksoilla keskimäärin 0 - 7 %. Kokonaisrautapoistuma oli vastaavasti 12 %. Suodattimella 3 saavutettu keskimääräinen kiintoainepoistuma oli 30,8 %. Orgaanisten aineiden ja ravinteiden poistuma oli suodattimessa 3 eri suodatusjaksoilla keskimäärin 2 - 15 %. Kokonaisrautapoistuma oli vastaavasti noin 20 %.

Suurin ongelma käytettäessä suodatusta turvetuotantoalueen valumavesien puhdistuksessa on suodattimen tukkeutuminen. Suodatinmateriaali 1 tukkeutui, kun siihen kohdistunut kiintoainekuormitus oli keskimäärin 0,6 kg suodattimen pinta-alaneliometriä kohden. Suodatinmateriaali 2, joka oli rakeisuudeltaan hienompaa, tukkeutui, kun siihen kohdistunut kiintoainekuormitus oli keskimäärin 0,2 kg suodattimen pinta-alaneliometriä kohden. Suodatinmateriaali 3, eli MAKU tukkeutui, kun siihen kohdistunut kiintoainekuormitus oli keskimäärin 0,15 kg suodattimen pinta-alaneliometriä kohden. Näiden tulosten perusteella laskettiin, että turvetuotantoalueella, jonka valuma-alue on 50 ha, keskimääräinen valuma 10 l s⁻¹ km⁻² ja valumaveden keskimääräinen kiintoainepitoisuus on 40 mg l⁻¹, voidaan 80 m² suodatinta käyttää yhtäjaksoisesti korkeintaan 5 vuorokautta, mikäli käytetään materiaalia 1. Vastaavasti materiaalia 2 voidaan käyttää korkeintaan 4 vuorokautta ja materiaalia 3 korkeintaan 2 vuorokautta.

Suodatinmateriaaleista rakeisuusominaisuuksiltaan paras oli suodattimessa 1 ollut materiaali. Materiaalilla oli pisimmät yhtäjaksoiset suodatusajat ja kohtuulliset kiintoainereaktiot. Materiaalille soveltuvin pintakuorman arvo on 0,5 m h⁻¹.

Suodattimien nopean tukkeutumisen vuoksi oli suodattimia kunnostettava usein. Tukkeutumisen jälkeen suodatin on puhdistettava kuorimalla pinnasta noin 5 - 10 cm kerros suodatinmateriaalia pois. Soveltuvimpia menetelmiä ovat kaivukoneen lastauskauhalla tai kevyen traktorin perälevyllä tapahtuva kuorinta. Suodattimen tukkeutumisen seuranta ja puhdistaminen vaatii lähes jatkuvaa kone- ja miestyötä. Tämä tekee suodatuksesta kustannuksiltaan kalliin menetelmän verrattaessa sitä muihin turvetuotannon valumavesien puhdistusmenetelmiin.

Suodatus ei sovellu turvetuotantoalueiden valumavesien ainoaksi puhdistusmenetelmäksi nopean tukkeutumisen, riittämättömän puhdistustehon ja kalleutensa vuoksi. Suodatusta voidaan pitää ainoastaan laskeutusaltaan puhdistustehon ja käyttövarmuuden lisääjänä.

7 SUMMARY

The use of peat as a fuel has been increasing rapidly, but it has been found that peat mining causes solid matter and nutrients to leach into the lakes and rivers located below the mining areas. A research project "Development of water pollution control technology

for use in peat mining" was set up in spring 1987 as a result of the expansion in peat mining, to be followed in the 1990's by 'Surface drainage and peat filtration for the purification of water issuing from peat mining areas'. The aim was to improve the surface drainage and filtration methods already in use and to examine their operating principles at sites located in the province of Oulu.

The purpose of the present investigation was to examine the applicability of sand and furnace slag filters for the purification of runoff water with the aim of assessing their purification ability, planning and dimensioning values and maintenance. The removal of solid matter and nutrients from runoff water was also considered.

The filters were tested during field investigations carried out in the peat mining area of Piipsanneva in 1991, employing three filters of size 80 m³ and a scale filter model which was used for preliminary selection of the material.

'Road-sanding gravel', composed of crushed natural rock with an effective grain size of 1.0 mm and a uniformity coefficient of 3, was employed in filter 1, while natural gravel with corresponding figures of 0.4 mm and 3.5 respectively was used in filter 2 and granulated furnace slag in filter 3 and the scale model, its applicability being first tested in the latter. The effective grain size of the material in filter 3 was 0.4 mm and its uniformity coefficient 3.5, while the layer thicknesses at the initiation of the test were 0.6 mm in filter 1 and 0.5 mm in filters 2 and 3. Surface loads of 0.1 - 0.9 m h⁻¹ were employed in filter 1, which required the filtration of approx. 1500 - 10,000 m³ of water per test, the corresponding figures being 0.1 - 0.4 m⁻¹ and approx. 30 - 2000 m³ for filter 2, and 0.1 - 0.5 m h⁻¹ and approx. 600 - 1700 m³ for filter 3 respectively. The filtration periods varied from 0.5 to 592 hours, and the tests were concluded once the maximum pressure loss in the filters was achieved, as a result of either clogging or excessive hydraulic loading.

The average solid matter loading in the water conducted through the filters at Piipsanneva was 3.7 g m⁻² h⁻¹, the chemical oxygen demand 15.1 g m⁻² h⁻¹, total nitrogen 1.0 g m⁻² h⁻¹, total phosphorus 0.03 g m⁻² h⁻¹ and total iron 1.1 g m⁻² h⁻¹.

The average solid matter removal rate achieved with filter 1 was 34%, that for organic matter and nutrients during the various filtration periods averaging 3 - 12% and that for total iron 9%, while the corresponding figures for filter 2 were 35%, 0 - 7% and 12%, respectively, and those for filter 3 30.8%, 2 - 15% and approx. 20%.

The major problem for the purification of runoff water from peat mining areas by filtration is clogging of the filter. Filter material 1 became clogged at an average solid matter load of 0.6 kg per m², material 2, a finer one, at an average load of 0.2 kg and material 3, the furnace slag, at a load of 0.15 kg. Calculations performed on the basis of these results indicated that it is possible to use a 80m² filter of material 1 continuously for a maximum of 5 days if the peat mining area concerned has a catchment of 50 ha and an average runoff of 10 l s⁻¹ km⁻², given that the average solid matter content of the runoff water is 40 mg l⁻¹. Filters of material 2 can be used for a maximum of 4 days and those of material 3 for 2 days.

The material used in filter 1 was found to be the most suitable in terms of its grain-size distribution, as it allowed the longest continuous filtration periods with acceptable solid matter reductions. The most suitable surface load for the material was 0.5 m h⁻¹.

As the filters become clogged rapidly, they require frequent maintenance and cleaning, which should preferably be implemented with an excavator grab or the back plate of a light tractor, removing approx. 5 - 10 cm of filter material from the surface. In addition, the monitoring of clogging and cleaning requires almost continuous use of both machines and manual labour, which makes filtration an expensive method by comparison with other purification techniques.

Filtration cannot be employed as the only purification method in the case of the runoff water issuing from peat mining areas, due to rapid clogging, insufficient purification capacity and expense, but can rather be regarded as a means of improving the purification capacity and reliability of precipitation basins.

KIRJALLISUUS

- Baylis, J.R., Gullans, O. & Hudson, H.E. 1971. Filtration. In: American water association (ed.), Water Quality and Treatment. McGraw-Hill Book Co., New York. pp. 247-250.
- Clausen, J.C., Brooks, K.N. 1980. The water resources of peatlands: a literature review. Department of Forest Resources, College of Forestry, University of Minnesota.
- Cleasby, J.L. & Fan, K.S. 1981. Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media. J. Environmental Engineering Division, ASCE, Vol.107, EE3, June 1981, pp.445 - 471.
- Ihme, R., Isotalo, L., Heikkinen, K., & Lakso, E. 1991. Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa, Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä ja Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Vesi- ja Ympäristöhallituksen julkaisuja, Sarja A Nro 77. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki. 260 s.
- Isotalo, L. 1990. Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelymenetelmänä - pienoismallikokeilu. Diplomityö Oulun yliopiston rakentamistekniikan osastolle. Oulu. 61 s.
- Lääkintöhallitus. 1985. Yleiskirja nro 1862. Talousveden terveydellisen laadunvalvonta, Helsinki 1985.
- Nikunen, E., Miettinen, V., Tulonen, T., Kemikaalien myrkyllisyys vesieliöille. Ympäristöministeriön ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu D:15 Ympäristöministeriö, Helsinki 1986.
- RIL 93. 1973, Vesihuolto. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. Helsinki, Kirjapaino Jaarli, Hämeenlinna. 374 s.
- RIL 126. 1987, Rakennusten ja tonttialueiden kuivatus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. Helsinki. 103 s.
- Selin, P., & Koskinen, K. 1985. Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Vesihallitus, tiedote 262. Helsinki 1985. 112 s.
- Tebbut, T.H.Y. 1971, Principles of Water Quality Control, Pergamon Press, Oxford, p.50.
- Vesihallitus 1981. Vesihallinnon analyysimenetelmät. Vesihallitus, Tiedotus 213, Helsinki.
- Meatcalf & Eddy, Inc. 1979. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill Book co., New York, 2nd ed., pp.227-252 and 362-372.

LIITE 1. PIENOISMALLIKOKEIDEN ANALYYSITULOKSET JA POISTUMAT VUONNA 1991

KOE	AIKA	KIINTOAINE			pH			VÄRILUKU		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Muutos	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mgl-1	mgl-1	%						%
D	9.Jul	14,0	6,4	54	6,3	10,1	3,8	450	210	53
J	24.Jul	6,9	3,0	57	6,2	10,3	4,1	350	180	49
	25.Jul	7,2	5,2	28	5,8	8,8	3,0	375	375	0
K	29.Jul	9,4	6,8	28	6,3	9,5	3,2	375	300	20
M	31.Jul	9,5	11,5	-21	6,1	8,9	2,8	300	300	0
	1.Aug	10,0	4,4	56	6,2	6,8	0,6	375	300	20
O	15.Aug	13,3	7,3	45	6,2	6,4	0,2	300	300	0
	ka	10,0	6,4	35	6,2	8,7	2,5	361	281	20
	max	14,0	11,5	57	6,3	10,3	4,1	450	375	53
	mi	6,9	3,0	-21	5,8	6,4	0,2	300	180	0

KOE	AIKA	KOKONAISTYYPPI			KOKONAISFOSFORI			KOKONAISRAUTA		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		ugl-1	ugl-1	%	ugl-1	ugl-1	%	ugl-1	ugl-1	%
D	9.Jul	3198	3575	-12	118	73	38	3924	752	81
J	24.Jul	5271	4875	8	79	57	28	2540	326	87
	25.Jul	3500	4000	-14	40	31	23	2760	1204	56
K	29.Jul	4625	4075	12	57	53	7	3828	1368	64
M	31.Jul	4010	4625	-15	77	87	-13	4295	2524	41
	1.Aug	4600	4375	5	80	67	16	4555	3585	21
O	15.Aug	2690	2540	6	89	87	2	3148	2244	29
	ka.	3985	4009	-2	77	65	14	3579	1715	54
	max.	5271	4875	12	118	87	38	4555	3585	87
	min	2690	2540	-15	40	31	-13	2540	326	21

KOE	AIKA	COD(Mn)		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mgl-1 O ₂	mgl-1 O ₂	%
D	9.Jul	50,3	46,1	8
J	24.Jul	48,8	34,2	30
	25.Jul	49,5	44,0	11
K	29.Jul	55,2	48,6	12
M	31.Jul	49,0	45,1	8
	1.Aug	47,8	46,8	2
O	15.Aug	48,2	51,4	-7
	ka.	49,8	45,2	9
	max	55,2	51,4	30
	mi	47,8	34,2	-7

LIITE 2. AAS-ANALYYSIEN TULOKSET PIENOISMALLIKOKEIDEN NÄYTTEISTÄ VUONNA 1991

Koe	Aika	Mn		Al		Cr		Cd		Pb		Zn	
		Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹	Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹	Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹	Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹	Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹	Tuleva mg l ⁻¹	Lähtevä mg l ⁻¹
D	15.Jul	0,09	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,03	0,015
J	24.Jul	0,13	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,17	0,1
	25.Jul	0,11	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	6,5	0,7
K	29.Jul	0,09	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,18	0,13
M	1.Aug	0,09	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,02	0,015
O	15.Aug	0,15	<0,04	<1,0	<0,1	<0,1	<0,02	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,025	0,01

LIITE 3. SUODATTIMEN 1 ANALYYSITULOKSET JA POISTUMAT VUONNA 1991

KOE	AIKA	KIINTOAINE			pH			VÄRILUKU			COD(Mn)		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Muutos	Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mg l-1	mg l-1	%						%	mg l-1	mg l-1	%
A	2.Jul	8,6	11,1	-29	6,0	6,1	0,1	300	300	0	47,9	48,1	0
	3.Jul	10,4	7,2	31	5,8	5,8	0,0	300	300	0	49,5	48,9	1
	4.Jul	8,5	7,9	7	5,8	5,9	0,1	300	300	0	52,5	51,3	2
	5.Jul	6,9	6,1	12	5,8	5,8	0,0	300	300	0	44,0	44,4	-1
	6.Jul	11,1	5,4	51	5,9	5,9	0,0	300	300	0	52,9	50,7	4
	7.Jul	11,7	4,8	59	6,0	6,1	0,1	313	313	0	50,7	49,5	2
	8.Jul	12,0	5,5	54	6,7	7,3	0,5	375	375	0	57,0	56,8	0
	C	10.Jul	12,3	9,7	21	5,8	5,9	0,1	375	375	0	56,2	53,5
11.Jul		11,6	5,5	53	5,8	6,1	0,4	450	375	17	55,4	53,5	3
12.Jul		9,2	4,8	48	6,0	6,2	0,2	450	450	0	59,8	58,2	3
13.Jul		10,4	6,0	42	6,0	6,3	0,3	450	400	11	60,4	58,4	3
14.Jul		10,8	7,5	31	6,4	6,3	0,0	400	400	0	60,2	58,2	3
F	17.Jul	10,7	7,5	30	6,0	5,9	-0,1	400	375	6	62,7	65,1	-4
	18.Jul	67,4	20,8	69	6,0	5,9	-0,1	450	300	33	74,5	56,4	24
	19.Jul	12,1	7,6	37	5,9	6,0	0,0	300	350	-17	63,5	64,3	-1
H	24.Jul	6,9	6,0	13	6,2	6,1	-0,1	350	350	0	48,8	48,1	1
	25.Jul	7,2	5,7	21	5,8	5,8	0,0	375	375	0	49,5	49,0	1
	26.Jul	8,2	5,9	28	6,2	5,9	-0,3	300	300	0	54,1	47,8	12
	27.Jul	10,3	6,1	41	6,2	6,2	0,0	350	375	-7	50,2	50,2	0
L	30.Jul	12,0	9,6	20	6,3	6,1	-0,2	375	375	0	54,6	52,1	5
	31.Jul	9,5	8,0	16	6,1	5,7	-0,4	300	300	0	49,0	48,0	2
	1.Aug	10,0	7,6	24	6,2	6,0	-0,2	375	300	20	47,8	48,0	0
N	2.Aug						0,0				48,5	47,7	2
	15.Aug	13,3	4,8	64	6,2	5,5	-0,7	300	100	67	48,2	45,5	6
	19.Aug	12,9	6,5	50	6,3	5,7	-0,6	350	300	14	47,8	46,8	2
	20.Aug	11,7	6,9	41	6,1	5,7	-0,4	300	250	17	46,0	46,2	0
	21.Aug	11,6	9,0	22	6,1	5,8	-0,3	320	270	16	44,7	45,5	-2
	22.Aug	11,3	6,3	44	5,9	5,4	-0,5	300	300	0	46,6	46,6	0
	23.Aug	9,0	6,5	28	6,2	5,9	-0,4	375	300	20	48,4	45,5	6
	24.Aug	12,0	5,3	56	6,4	6,1	-0,3	375	375	0	46,6	45,3	3
	25.Aug	9,5	7,0	26	6,3	6,2	-0,1	375	375	0	48,6	48,6	0
	26.Aug	10,5	7,0	33	6,3	6,0	-0,3	375	375	0	52,9	52,5	1
	27.Aug	12,0	8,4	30	6,2	6,1	-0,1	333	280	16	49,8	46,7	6
	28.Aug	11,2	6,0	46	6,3	6,2	-0,1	315	375	-19	54,9	45,1	18
	29.Aug	7,8	5,6	28	6,2	6,0	-0,2	375	300	20	50,4	49,4	2
	30.Aug	12,5	4,8	62	6,2	6,0	-0,2	333	300	10	46,0	44,4	3
	31.Aug	12,2	6,5	47	6,5	6,0	-0,5	333	300	10	43,2	44,8	-4
	1.Sep	19,0	6,4	66	6,5	6,4	-0,1	300	333	-11	46,8	41,2	12
	2.Sep	13,2	8,6	35	6,4	6,4	0,0	350	450	-29	46,5	53,8	-16
	3.Sep	15,8	7,2	54	6,3	6,1	-0,2	450	300	33	46,0	40,8	11
	4.Sep	27,1	6,4	76	7,4	6,0	-1,4	375	300	20	42,4	38,8	8
	5.Sep	12,7	8,0	37	6,4	6,0	-0,4	350	300	14	44,0	44,0	0
6.Sep	10,5	6,0	43	6,2	5,9	-0,3	375	300	20	45,6	43,2	5	
7.Sep	8,3	6,0	28	6,2	6,1	-0,1	315	315	0	41,6	41,6	0	
8.Sep	7,7	3,4	56	6,3	6,2	-0,1	300	250	17	43,2	40,0	7	
ka.		12,5	7,0	38	6,2	6,0	-0,2	351	326	7	50,7	49,0	3
max		67,4	20,8	76	7,4	7,3		450	450	67	74,5	65,1	24
min		6,9	3,4	-29	5,8	5,4	-1,4	300	100	-29	41,6	38,8	-16

KOE	AIKA	KOKONAISTYYPPI			KOKONAISFOSFORI			RAUTA		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%
A	2.Jul	2550	2292	10	54	76	-41	2176	2292	-5
	3.Jul	2476	2040	18	61	57	7	2396	2040	15
	4.Jul	2760	2300	17	59	81	-37	2468	2300	7
	5.Jul	2570	2336	9	64	56	13	2556	2336	9
	6.Jul	3525	2648	25	87	55	37	2014	2648	-31
	7.Jul	3375	2872	15	84	66	21	2236	2872	-28
	8.Jul	3438	2650	23	89	76	15	3852	3136	19
C	10.Jul	3388	2875	15	107	111	-4	4000	3664	8
	11.Jul	4975	3825	23	102	85	17	4504	3804	16
	12.Jul	3525	3300	6	98	85	13	4545	3850	15
	13.Jul	3750	3913	-4	111	88	21	4320	4060	6
	14.Jul	3900	3375	13	108	93	14	4365	3610	17
F	17.Jul	4300	2950	31	96	104	-8	4064	3932	3
	18.Jul	4288	4025	6	168	89	47	6096	3392	44
	19.Jul	5075	4037	20	93	76	18	3195	2712	15
H	24.Jul	5271	3950	25	79	79	0	2540	2704	-6
	25.Jul	3500	3275	6	40	36	10	2760	3336	-21
	26.Jul	3075	3175	-3	55	49	11	3168	2904	8
	27.Jul	3925	3350	15	64	52	19	3920	3036	23
L	30.Jul	3375	6150	-82	83	68	18	4144	3720	10
	31.Jul	4000	4400	-10	77	74	4	4295	3995	7
N	1.Aug	4600	4400	4	80	76	5	4555	4280	6
	2.Aug							4780	4565	4
	15.Aug	2690	4340	-61	89	74	17	3148	2316	26
	19.Aug	3750	3875	-3	101	73	28	3288	2976	9
	20.Aug	2775	2950	-6	90	71	21	3516	3080	12
	21.Aug	3150	3925	-25	84	76	10	3756	3232	14
	22.Aug	3575	4500	-26	83	66	20	3428	3116	9
	23.Aug	2925		100	88	67	24	4030	3270	19
	24.Aug	2925	3150	-8	96	82	15	4375	3675	16
	25.Aug	3000	3250	-8	94	80	15	4745	3910	18
	26.Aug	2875	2725	5	105	96	9	5760	3848	33
	27.Aug	4500	3900	13	119	97	18	4876	4148	15
	28.Aug	4525	3250	28	113	96	15	5004	4148	17
	29.Aug	3175	2800	12	95	71	25	5235	4585	12
	30.Aug	3050	3250	-7	101	81	20	5245	4575	13
	31.Aug	4925	2725	45	100	94	6	5275	4620	12
	1.Sep	4500	4375	3	113	89	21	5365	4560	15
	2.Sep	3000	2850	5	119	183	-54	5405	6660	-23
	3.Sep	2800	2200	21	126	91	28	5200	4400	15
	4.Sep	4300	4200	2	130	91	30	5310	4930	7
	5.Sep	4850	4150	14	131	92	30	4775	4200	12
	6.Sep	4250	4175	2	115	88	23	4580	3960	14
7.Sep	3575	3075	14	116	95	18	4520	3950	13	
8.Sep	3800	2900	24	104	91	13	4555	3860	15	
ka.		3649	3412	7	95	81	12	4096	3627	10
max		5271	6150	100	168	183	47	6096	6660	44
min		2476	2040	-82	40	36	-54	2014	2040	-31

LIITE 4. SUODATTIMEN 2 ANALYYSITULOKSET JA POISTUMAT VUONNA 1991

KOE	AIKA	KIINTOAINE			pH			VÄRILUKU		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Muutos	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mg l-1	mg l-1	%						%
B	10.Jul	12,3	11,3	8	5,8	6,0	0,2	375	375	0
	11.Jul	11,6	8,0	31	5,8	6,1	0,3	450	450	0
	12.Jul	9,2	6,0	35	6,0	6,3	0,2	450	400	11
E	16.Jul	11,0	8,8	20	7,2	6,4	-0,8	400	375	6
	17.Jul	10,7	8,8	18	6,3	6,5	0,2	400	375	6
	18.Jul	67,4	8,0	88	6,0	6,0	0,0	450	300	33
I	26.Jul	8,2	6,3	23	6,2	5,4	-0,8	300	375	-25
	27.Jul	10,3	7,8	24	6,2	6,1	-0,1	350	300	14
	28.Jul	10,0	6,0	40	6,2	6,1	-0,1	375	375	0
	29.Jul	9,4	5,5	41	6,3	6,0	-0,3	375	375	0
U	10.Sep	10,5	8,0	24	6,2	6,0	-0,2	300	240	20
	11.Sep	18,9	7,7	59	6,2	6,3	0,1	300	300	0
	ka.	15,8	7,7	34	6,2	6,1	-0,1	377	353	6
	max	67,4	11,3	88	7,2	6,5	0,3	450	450	33
	min	8,2	5,5	8	5,8	5,4	-0,8	300	240	-25

KOE	AIKA	KOKONAISTYYPPI			KOKONAISFOSFORI			RAUTA		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%
B	10.Jul	3388	2363	30	107	120	-12	4000	3968	1
	11.Jul	4975	3950	21	102	95	7	4504	3872	14
	12.Jul	3525	3488	1	98	90	8	4545	3970	13
E	16.Jul	4700	4250	10	94	103	-10	4376	3912	11
	17.Jul	4300	4075	5	96	91	5	4064	3812	6
	18.Jul	4288	4150	3	168	76	55	6096	2528	59
I	26.Jul	3075	3925	-28	55	48	13	3168	3012	5
	27.Jul	3925	3450	12	64	69	-8	3920	3632	7
	28.Jul	4025	4025	0	46	62	-35	3716	3096	17
	29.Jul	4625	3125	32	57	49	14	3828	3176	17
U	10.Sep	3100	4950	-60	110	98	11	4655	3615	22
	11.Sep	2775	2700	3	124	104	16	4240	4065	4
	ka.	3892	3704	2	93	84	5	4259	3555	15
	max	4975	4950	32	168	120	55	6096	4065	59
	min	2775	2363	-60	46	48	-35	3168	2528	1

KOE	AIKA	COD (Mn)		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mg l-1	mg l-1	%
B	10.Jul	56,2	55,0	2
	11.Jul	55,4	53,9	3
	12.Jul	59,8	58,4	2
E	16.Jul	61,2	59,6	3
	17.Jul	62,7	65,1	-4
	18.Jul	74,5	54,1	27
I	26.Jul	54,1	47,4	12
	27.Jul	50,2	54,9	-9
	28.Jul	56,4	53,3	5
	29.Jul	55,2	52,1	6
U	10.Sep	39,6	37,6	5
	11.Sep	40,8	40,0	2
	ka.	55,5	52,6	5
	max	74,5	65,1	27
	min	39,6	37,6	-9

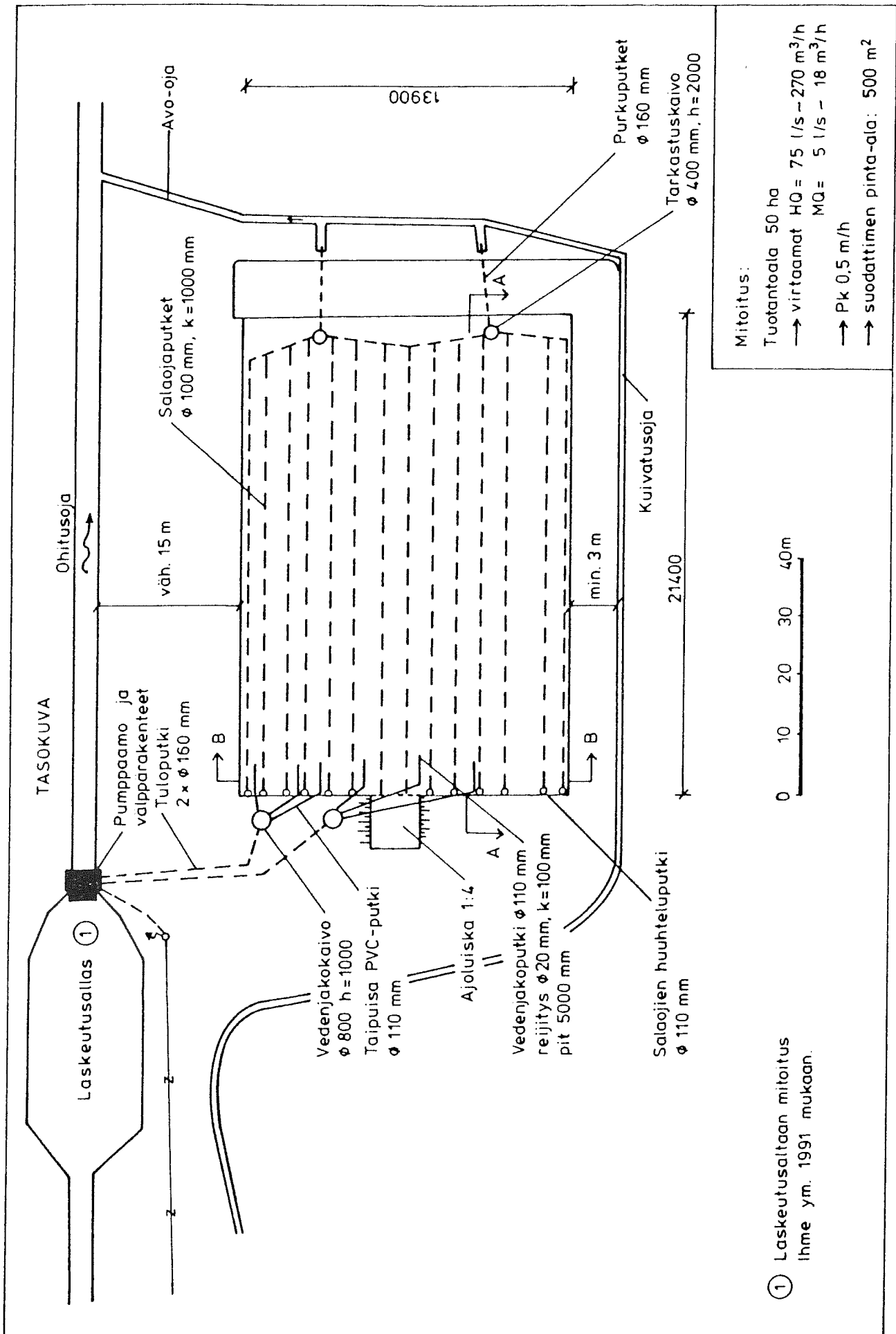
LIITE 5. SUODATTIMEN 3 ANALYYSITULOKSET JA POISTUMAT VUONNA 1991

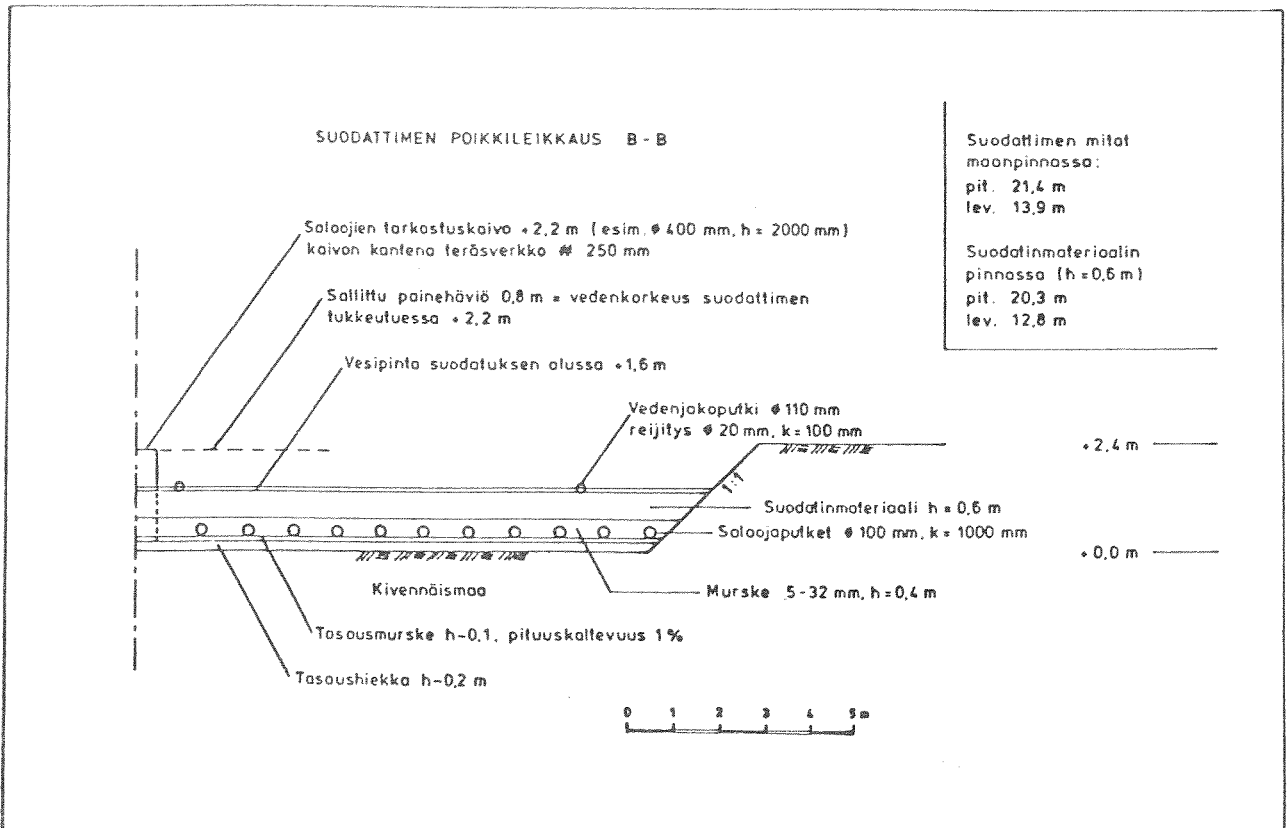
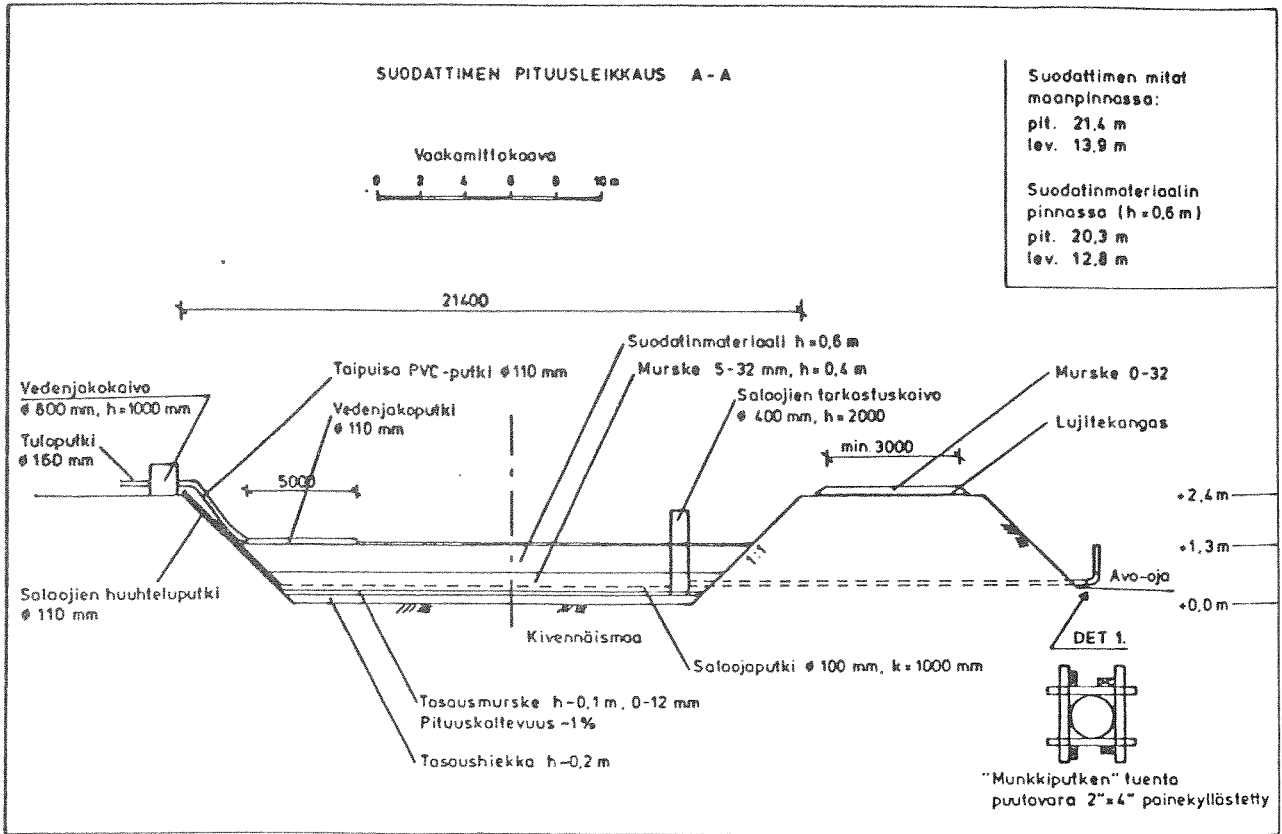
KOE	AIKA	KIINTOAINE			pH			VÄRILUKU		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Muutos	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mg l-1	mg l-1	%						%
R	29.Aug	7,8	9,5	-22	6,2	9,1	2,9	375	250	33
	30.Aug	12,5	6,8	46	6,2	6,8	0,6	333	400	-20
S	4.Sep	16,4	14,7	10	6,3	8,8	2,5	375	450	-20
T	9.Sep	11,6	7,4	36	7,2	8,2	1,0	300	315	-5
	10.Sep	17,2	8,7	49	6,5	6,6	0,1	270	375	-39
	11.Sep	18,9	9,6	49	6,2	7,4	1,2	300	300	0
V	13.Sep	10,6	5,3	50	6,2	7,1	0,9	300	270	10
	14.Sep	7,3	5,1	30	6,6	6,9	0,3	300	270	10
	15.Sep	7,6	4,4	42	6,7	7,1	0,4	300	270	10
X	23.Sep	9,2	4,4	52	6,8	7,4	0,6	300	200	33
	24.Sep	16,7	11,6	31	6,6	7,0	0,4	300	300	0
	25.Sep	10,7	4,8	55	6,8	7,5	0,7	300	300	0
	ka	12,2	7,7	36	6,5	7,5	1,0	313	308	1
	max	18,9	14,7	55	7,2	9,1	2,9	375	450	33
	min	7,3	4,4	-22	6,2	6,6	0,1	270	200	-39

KOE	AIKA	KOKONAISTYYPPI			KOKONAISFOSFORI			RAUTA		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma	Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%	ug l-1	ug l-1	%
R	29.Aug	3175	2675	16	95	94	1	5235	2644	49
	30.Aug	3050	3350	-10	101	91	10	5245	4440	15
S	4.Sep	4300	2800	35	130	110	15	5310	4110	23
T	9.Sep	3125	3250	-4	118	117	1	4575	3115	32
	10.Sep	2925	3775	-29	111	97	13	4965	4005	19
	11.Sep	2775	3150	-14	124	89	28	4240	3830	10
V	13.Sep	4425	4450	-1	85	58	32	3240	2290	29
	14.Sep	4250	3625	15	63	58	8	3185	2845	11
	15.Sep	3925	4450	-13	65	52	20	3195	2730	15
X	23.Sep	3225	4375	-36	98	70	29	4050	2190	46
	24.Sep	3625	3350	8	88	75	15	2970	3115	-5
	25.Sep	3500	3600	-3	90	70	22	2995	2870	4
	ka	3525	3571	-3	97	82	16	4100	3182	21
	max	4425	4450	35	130	117	32	5310	4440	49
	min	2775	2675	-36	63	52	1	2970	2190	-5

KOE	AIKA	COD (Mn)		
		Tuleva	Lähtevä	Poistuma
		mg l-1	mg l-1	%
R	29.Aug	50,4	48,6	4
	30.Aug	46,0	43,6	5
S	4.Sep	42,4	44,4	-5
T	9.Sep	44,0	42,4	4
	10.Sep	40,8	38,0	7
	11.Sep	40,8	38,0	7
V	13.Sep	38,7	36,0	7
	14.Sep	35,9	36,0	0
	15.Sep	35,8	34,6	3
X	23.Sep	38,4	39,2	-2
	24.Sep	38,4	35,1	9
	25.Sep	46,5	46,1	1
	ka	41,5	40,2	3
	max	50,4	48,6	9
	min	35,8	34,6	-5

LIITE 6. IDEAALISUODATTIMEN RAKENNEPIIRUSTUKSET (TASOKUVA, PITUUS- JA POIKKILEIKKAUKSET)





LIITE 7. IDEAALISUODATTIMEN KOKONAISKUSTANNUSARVIO (RAKENTAMIS- JA KUNNOSSAPITOKUSTANNUSARVIO)

Hintataso: heinäkuu 1991

Maarakennusindeksi: 138

pinta-ala: 1000 m²

Liitteen 6 mukainen rakenne

Materiaalien toimitusmatka ~ 50 km

Litterointi vesi- ja ympäristöhallinnon ohjeiden mukaan

Littera	selite	yks.	määrä	yks.hinta	hinta[mk]	hinta[mk]
RO						
000	RAKENNUTTAJAN KUSTANNUKSET					
010	Maanhankinta, lunastukset, vuokrat					0
030	Rakennuttajan yleiskustannukset					0
040	Suunnittelu ja tutkimukset					
041	yleissuunnittelu	erä	1	5000	5000	
042	rakennesuunnittelu	erä	1	5000	5000	
						10000
100	OLEVAT RAKENTEET					
110	Puusto ja kasvillisuus					
111	kaataminen ja poisto	m2tr	1000	0,67	670	
150	Raivaus					
151	pintamaan poisto	m2tr	1000	2,5	2500	
						3170
200	LEIKKAUKSET, KAIVANNOT JA KUIVATUSRAKENTEET					
210	Maanleikkaus					
212	maanleikkaus, massat läj.	m3ktr	1200	14,6	17520	
240	Avo-ojat					
242	avo-ojat, massat vierialueelle	mtr	100	7,2	720	
						18240
400	PENGER- JA KERROSRAKENTEET					
410	Maapenkereet ja padot					
411	tie- yms. penkereet	m3tr	160	66	10560	
440	Suodatin-, eristys-, ja jakavat kerrokset					
441	suodatinkerrokset					
	tasaushiekka h= 0,2 m	m3ktr	125	47	5875	
	tas.murske (0-8 mm) h= 0,1	m m3ktr	70	64	4480	
	salaojamurske(5-32mm) h=0,4	m m3ktr	300	66	19800	
	suod. mat. h=0,6 m	m3ktr	400	80	32000	
445	erikoisratkaisut					
	suodatinkangas	m2tr	500	12	6000	
						78720

Littera	selite	yks.	määrä	yks.hinta	hinta[mk]	hinta[mk]
RO						
600	PERUSTUS- JA PUTKIRAKENTEET					
	Putkien asennus	h	96	80	7680	
650	Vesihuollon putket					
655	vedenjakoputkisto # 160mm	mtr	50	59	2950	
	vedenjakoputkisto #110mm	mtr	70	33,7	2359	
	purkuputket #160mm	mtr	15	59	885	
659	joustava paineputki #110mm	mtr	50	70	3500	
660	Kaivot ja putkivarusteet					
662	elementtikaivot	kpl	2	1000	2000	
664	putkistojen varusteet	kpl	1	3000	3000	
670	Salaojat ja salaojakaivot					
671	salaojaputket # 100 mm	mtr	400	21,5	8600	
	salaojaputket #150mm	mtr	75	49,5	3712,5	
672	salaojakaivot	kpl	2	1000	2000	
						36690
700	SILLAT, VARUSTEET JA ERITYISRAKENTEET					
760	Pumppaamot					
764	pumppaamo	kpl	1	110000	110000	110000
900	TYÖMAAN KÄYTTÖ- JA YHTEISKUSTANNUKSET					
910	Työmaan hallinto					
911	työn johto	kk	2	11780	23560	
912	työmaatoimisto	kk	2	500	1000	
920	Työnaikaiset rakenteet ja as.					
922	varasto	kk	2	100	200	
930	Työmaan huolto					
931	työmaatilojen hoito	kk	2	640	1280	
932	työvoiman kulj.	kk	2	1000	2000	
960	Mittaus ja laadunvalvonta					
961	mittaustyöt	kk	2	1000	2000	
990	Erilliskulut	erä	1	20000	20000	50040
	RAKENNUSKUSTANNUKSET					307000
	KUSTANNUSARVIO					307000

KUNNOSSAPITO KUSTANNUKSET /VUOSI

KEVÄTKUNNOSTUS

Materiaalin vaihto

materiaali	m3ktr	500	80	40000
konetyöt	h	16	160	2560
konetyöt	h	8	120	960
m.työt	h	16	80	1280

Salaajien huuht.

konetyöt	h	4	120	480
m.työt	h	4	80	320

45600

KÄYTTÖ n. 4 viikon välein

Kuurinta

500 m2				
konetyöt	h	6	120	720
konetyöt	h	6	120	720
m.työt	h	6	80	480

1920

käyttökp 15.4 - 15.10 6 1920 11520 11520

SYYSKUNNOSTUS

konetyöt	h	8	160	1280
konetyöt	h	8	120	960
m.työt	h	8	80	640

2880

SÄHKÖ

7,5 kW	pumppu	kWh	30000	0,36	10800
7,5 kW	pumppu	kWh	1000	0,36	360

11160

VUOSIKUSTANNUKSET

71160

PÄÄOMITUS

524000

10v / 6% nykyarvomenetelmällä

524000

INVESTOINTIHINTA

RAKENNUSKUSTANNUKSET

307000

KÄYTTÖ- JA KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET

524000

(10 v / 6 % nykyarvomenetelmä)

831000

INVESTOINTIHINTA ilman pumppaamaa

RAKENNUSKUSTANNUKSET

137000

KÄYTTÖ- JA KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET

464000

(10 v / 6 % nykyarvomenetelmä)

601000

