

YVY

TUTKIMUS 26

Juomaveden haju- ja makuhäiriöt ja niiden torjunta

yhdykskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1977

YVY

WV 103. 103.
YVY Tutkimus

TUTKIMUS 26

Juomaveden haju- ja makuhäiriöt ja niiden torjunta

VESIHALLITUKSEN PROJEKTI N:O 7532

SUOMEN KAUPUNKILIITTO

ASKO KAUPPILA
RIITTA MURTO

Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1977

1997 KIRJASTO OY
KIRJASTO OY

STÄNDIGT VERBODEN TOEGANG

ISBN 951-9250-75-1
ISSN 0355-1997

KYRIIRI OY
Luotsikatu 4, 00160 H:KI 16
PAINO: 90-630 230
MYyntI: 90-440 211/KIRJAKAUPPA
RUNEBERGINK. 14-16
(H:GIN KAUPPAKORKEAKOULU)
00100 Helsinki 10

ESIPUHE

Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojektin toteutussuunnitelmassa asetettiin vedenhankinnan yhdeksi päätavoitteeksi eri käyttötarkoituksiin moitteettomasti sopivan veden riittävä saanti. Vesilaitosten jakamaa vettä moititaan usein maku- ja hajuhäiriöistä. Vesilaitokset ovat tätä varten ottaneet käyttöön tai suunnitelleet em. häiriöitä poistavia menetelmiä (mm. otsonointi, aktiivihiihi ja tekopohjavesi).

Haju- ja makuhäiriöiden esiintymisen ja niiden torjunnan selvittämiseksi esitti Suomen Kaupunkiliitto YVY-projektille asiaa koskevan tutkimuksen rahoittamista. YVY-projektin johtoryhmä suositteli osallistumista tutkimuksen rahoittamiseen vesihallituksen ns. YVY-määrärahasta. Tutkimus toteutettiin Kaupunkiliiton toimistossa, jossa vastuullisena johtajana toimi kemisti Asko Kauppila Suomen Kaupunkiliitosta ja tutkijana tekn.yo. Riitta Murto.

Tutkimusta valvoivat seuraavat henkilöt:

yli-ins. Pentti Erkola, Suomen Kaupunkiliitto
toim.pääll. Hannu Laikari, Vesihallitus
DI Jouko Liimatainen, Suomen Kaupunkiliitto
DI Arto Latvala, Vesihallitus

Tutkimus valmistui marraskuussa 1976.

Tutkimustyön ensisijaisena tavoitteena oli kartoittaa Suomessa esiintyneet vesijohtoveden haju- ja makuhäiriöt. Muina tavoitteina oli selvittää:

- miten veden haju- ja makututkimukset oli järjestetty
- millä keinoin häiriöitä oli yritetty torjua
- miten maku- ja hajututkimuksia voitaisiin kehittää sekä
- mitä uusia menetelmiä voitaisiin käyttää haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi.

Tutkimus antaa hyvän lähtökohdan harkittaessa mm. erilaisten tehostettujen vedenkäsittelymenetelmien käyttöönottoa tai ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä. Tutkimus osoittaa myös tarpeellisia lisätutkimusaiheita sekä puhdistusmenetelmien että niillä saavutettavan hyödyn arvioimiseksi.

Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ESIPUHE	I
SISÄLLYSLUETTELO	III
YHTEENVETO	VI
ENGLISH SUMMARY	XI
1. JOHDANTO	1
1.1 Projektin lähtökohta	1
1.2 Projektin tavoitteet	1
2. HAJU- JA MAKUKYSYMYS KÄYTÄNNÖN VESILAITOSTOIMINNASSA	2
3. VEDEN HAJUJEN JA MAKUJEN AIHEUTTAJAT	6
3.1 Raakavesilähteestä johtuvat hajua ja makuhäiriöt	8
3.1.1 Jätevedet	8
3.1.2 Öljytuotteet	9
3.1.3 Fenolit	10
3.1.4 Biologiset torjunta-aineet	11
3.1.5 Levät	12
3.1.6 Sädesienet	16
3.1.7 Epäorgaaniset aineet	18
3.2 Puhdistusprosessista johtuvat hajua ja makuhäiriöt	20
3.3 Jakelujärjestelmästä johtuvat hajua ja makuhäiriöt	21
4. VEDEN HAJU- ja MAKUTESTIT	24
5. VEDEN HAJU- JA MAKUHÄIRIÖIDEN ENNALTAEHKÄISY JA POISTO	27
5.1 Vesistöissä suoritettavat toimenpiteet	27
5.1.1 Raakavesilähteen valinta ja suojaus	29
5.1.2 Vedenottokohdan valinta	30
5.1.3 Raakaveden laadun tarkkailu	31
5.1.4 Vedän happitilanteen korjaaminen	32
5.1.5 Levien torjunta	33
5.1.6 Vesikasvien torjunta	35
5.2 Laitoksella suoritettavat toimenpiteet	37
5.2.1 Otsonointi	37

5.2.2	Aktiivihiiilen käyttö	40
5.2.3	Muiden adsorptioaineiden käyttö	42
5.2.4	Yliklooraus	42
5.2.5	Klooridioksidin käyttö	43
5.2.6	Kaliumpermanganaatin käyttö	44
5.2.7	Hidassuodatus	45
5.3	Jakeluverkossa suoritettavat toimenpiteet	46
6.	SUORITETTU KYESELY SUOMESSA	48
6.1	Yhteenveto	48
6.1.1	Yleistä	48
6.1.2	Häiriöiden esiintyminen	48
6.1.3	Häiriöiden voimakkuus	50
6.1.4	Haju- ja makutyypit	50
6.1.5	Aistinvaraiset haju- ja makutestit	50
6.1.6	Suoritetut tarkemmat tutkimukset	51
6.1.7	Haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi suoritetut toimenpiteet	52
6.1.7.1	Raakaveden kohdistuneet toimenpiteet	52
6.1.7.2	Puhdistusprosessiin kohdistuneet toimenpiteet	52
6.1.7.3	Jakelujärjestelmään kohdistuneet toimenpiteet	53
6.2	Kuntakohtainen selvittely	53
6.2.1	Helsinki	53
6.2.1.1	Kuparisulfaatin käyttö ja siihen liittyvä vesistön tarkkailu	54
6.2.1.2	Laitoksilla suoritettavat haju- ja makututkimukset	55
6.2.1.3	Silvolan tekoallas veden laadun tasaajana	56
6.2.1.4	Veden organoleptisen laadun muuttuminen verkossa	56
6.2.1.5	Vedentutkimustoimiston suorittamat tutkimukset	64
6.2.1.6	Aktiivihiiლისuodatuskokeet	64

6.2.1.7	Veden orgaanisten haitta-aineiden tutkimukset	70
6.2.1.8	Otsonointi	73
6.2.2	Tampere	86
6.2.2.1	Aktiivihiilikokeet	89
6.2.2.2	Klooridioksidikokeet	91
6.2.2.3	Kaliumpermanganaatilla suoritettut kokeet	91
6.2.3	Turku	92
6.2.4	Espoo	95
6.2.4.1	Vesistössä suoritettut toimenpiteet	98
6.2.4.2	Laitoksella suoritettut puhdistuskokeet	103
6.2.5	Kuopio	116
6.2.6	Vaasa	117
6.2.7	Rauma	118
6.2.8	Seinäjoki	120
6.2.9	Lohja	121
6.2.10	Kiuruvesi	121
6.2.10.1	Aktiivihiilikokeet	122
6.2.10.2	Otsonointikokeet	123
6.2.11	Kaarina	123
6.2.12	Hamina	124
6.2.12.1	Otsonointikokeet	126
6.2.12.2	Klooridioksidikokeet	127
6.2.12.3	Aktiivihiilikokeet	127
6.2.12.4	Yhteenveto Haminasta	128
6.2.13	Ålands Vatten Ab, Ahvenanmaa	128
6.3	Vesihallituksen veden haju- ja makuprojekti	131
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	133
	LÄHDELUETTELO	137
	LIITTEET	
1.	Tutkimuksessa käytetty kyselykaavake, joka lähetettiin vesilaitoksille	
2.	Yhteenveto kunnista, joissa on esiintynyt haju- ja makuhaittoja	

YHTEENVETO

Tutkimustyön ensisijaisena tavoitteena oli kartoittaa Suomessa esiintyneet vesijohtoveden haju- ja makuhäiriöt. Edelleen oli tarkoitus selvittää, miten veden haju- ja makututkimukset on järjestetty ja millä keinoin häiriöitä on pyritty torjumaan sekä miten tässä on onnistuttu. Lisäksi oli tavoitteena selvittää, millä keinoin haju- ja makututkimusta voitaisiin kehittää sekä mitä uusia menetelmiä voitaisiin eri tapauksissa käyttää haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi.

Työn alkupuolella on pyritty selvittämään kirjallisuuden avulla haju- ja makuhäiriöiden aiheuttajat, käytössä olevat haju- ja makutestit sekä häiriöihin kohdistuvat ennaltaehkäisevät toimenpiteet sekä varsinaiset poistotoimenpiteet. Loppupuolella on koottu yhteenveto maamme vesilaitoksille lähetetystä kyselystä ja käsitelty yksityiskohtaisemmin Suomen eräitä kuntia, joiden vesijohtovedessä on esiintynyt haju- ja makuhäiriöitä.

Tutkimusraportti jakaantuu seuraaviin pääkohtiin:

- haju- ja makukysymys käytännön vesilaitostoiminnassa
- veden haju- ja makuhäiriöiden aiheuttajat
- veden haju- ja makutestit
- veden haju- ja makuhäiriöiden ennaltaehkäisy ja poisto
- Suomessa suoritettu kysely
- johtopäätökset

Vesijohtovedessä esiintyvät haju- ja makuhäiriöt ovat yleensä peräisin vesilaitosten raakavedessä tapahtuneista laadun muutoksista. Tällaisia muutoksia saattavat aiheuttaa erilaiset orgaaniset ja epäorgaaniset yhdisteet, öljytuotteet, fenolit tai torjunta-aineet. Näitä saattaa joutua vesistöön jätevesien mukana, huuhtoutua sinne ympäröivästä maaperästä tai laskeutua ilmasta.

Vesijohtovedessä ilmeneviä haju- ja makuhäiriöitä voivat myös aiheuttaa raakavesilähteiden runsas vesikasvillisuus, erilaiset mikro-organismit kuten levät ja sädesienet sekä näiden erittämät erilaiset yhdisteet.

Vesilaitoksen puhdistusprosessin yhteydessä voi veteen ilmaantua epämiellyttävää hajua ja makua. On kuitenkin todettu, että laadultaan hyvästä raakavedestä valmistettu vesijohtovesi on yleensä myös organoleptisesti hyvälaatuista. Mikäli raakaveden laatu heikkenee, joudutaan prosessissa lisäämään kemikaalien käyttöä, ja tästä voi seurata myös vesijohtoveden laadun heikkeneminen.

Vaikka veden organoleptinen laatu olisi puhdistuslaitokselta lähtötiessä hyvää, saattavat mm. seuraavat tekijät heikentää sitä vielä jakelujärjestelmässäkin:

- johtotarvikkeet
- fysikaaliset ja kemialliset laadun muutokset jakeluverkossa
- jakeluverkkoon päässeet ja siellä kehittyneet mikro-organismit

Veden organoleptisen laadun tarkkailussa on käytössä erilaisia menetelmiä. Yleisin tapa on haistaa ja maistaa vettä sellaisenaan ja antaa siitä henkilökohtaisen mielipiteen mukainen arvostelu. Vesianalyysin ohjekirjassa Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater on esim. esitetty veden hajun ja maun kynnyсарvomenetelmä, jossa tutkittavaa näytettä laimennetaan hajuttomalla ja mauttomalla standardivedellä niin paljon, että näytevedessä esiintyvä haju ja maku on katoamassa havaitsemattomaksi. Kynnyksen numeroarvo saadaan jakamalla laimennuksen lopullinen tilavuus siinä olevan alkuperäisen näytteen tilavuudella. Kynnyсарvon lisäksi menetelmässä määritetään hajun ja maun tyyppi sekä havaittavuusaste.

Vesijohtovedessä esiintyvien haju- ja makuhäiriöiden ennaltaehkäisevää toimintaa ovat ennen kaikkea raakavesilähteen järkevä valinta ja suojaus sekä vedenottokohdan valinta. Myös huolellisella vedenpuhdistuslaitoksen ja jakelujärjestelmän suunnittelulla, käytöllä ja hoidolla voidaan estää haju- ja makuvirheiden syntymistä.

Vesistöissä suoritettavista haju- ja makuhäiriöiden poistotoimenpiteistä tavallisimmat ovat levien torjunta ja vesikasvien poisto sekä veden happitilanteen parantaminen. Onnistuakseen nämä toimenpiteet vaativat raakavesilähteenä käytettävän vesistön säännöllistä tarkkailua.

Pintaveden normaalilla käsittelyllä, saostus-selkeytys-suodatus-prosessilla, pystytään jossain määrin poistamaan vedestä hajua ja makua aiheuttavia tekijöitä. Mikäli kuitenkin puhdistetussa vedessä esiintyy haju- ja makuvirheitä, voidaan prosessia pyrkiä tehostamaan käyttämällä mm. erilaisia hapettimia kuten otsonia, klooridioksidia tai kaliumpermanganaattia tai adsorptioaineita kuten aktiivihhiiltä.

Jakeluverkossa suoritetuista haju- ja makuvirheiden torjuntatoimenpiteistä tärkeimmät ovat säiliöiden puhdistaminen, verkon huuhdeltu ja mahdollinen klooraus.

Käyttövedessä esiintyvien haju- ja makuhaittojen kartoitusta varten lähetettiin kyselykaavakkeet kaupunkien ja kauppaloiden vesilaitoksille sekä niihin maalaiskuntiin, joiden pintavesilaitos tuottaa vettä yli 200 m³/vrk. Kaikkiaan kaavakkeita lähetettiin 115 kpl. Näistä palautettiin täytettyinä 79 kpl eli vastausprosentti oli 68,7.

Näistä vastauksista 43 kuntaa eli 54 % vastanneista ja 9 % kaikista maamme kunnista ilmoitti vesijohtovedessä esiintyvän haju- ja makuhaittoja. Ilmoituksista 39 koski pintavesilaitosta ja ainoastaan neljä pohjavesilaitosta.

Seuraavassa on esitetty saatujen vastausten perusteella laadittu lyhyt yhteenveto:

- häiriöiden esiintymistiheys
 - satunnaisesti 15 laitoksella
 - tiettyinä vuodenaikana 27 "
 - jatkuvasti 3 "
- esiintyneet haju- ja makutyypit
 - homemainen 9 "
 - metallimainen 4 "
 - maaton 23 "
 - muu 24 "
- aistinvaraisten haju- ja makutestien suorittaminen
 - säännöllisesti 23 "

- aika-ajoin	31	laitoksella
- ei ollenkaan	25	"
- testien suorittajat		
- koulutettu henkilökunta	10	"
- muu henkilökunta	37	"
- ulkopuolinen	9	"
- haju- ja makuhäiröiden eliminoimiseksi suoritettut toimenpiteet		
- raakavesilähteeseen kohdistuneet toimenpiteet		
- kuparisulfaatin käyttö	5	"
- muut toimenpiteet	7	"
- puhdistusprosessiin kohdistuneet toimenpiteet		
- aktiivihiihlen käyttö	17	"
- otsonin käyttö	1	"
- klooridioksidin käyttö	6	"
- kaliumpermanganaatin käyttö	7	"
- muut toimenpiteet	5	"
- jakelujärjestelmään kohdistuneet toimenpiteet		
- verkon huuhtelu	35	"
- verkon mekaaninen puhdistus	3	"
- verkon (säiliön) klooraus	18	"

Kuntakohtaisen selvittelyn perusteella voidaan eri puhdistusmenetelmien tehokkuudesta todeta seuraavaa:

Aktiivihiihlen käytöllä saavutetut tulokset vaihtelevat suuresti, mutta aina sen vaikutus veden laatuun ei ole ollut odotusten mukainen.

Klooridioksidin vaikutus maassamme esiintyviin haju- ja makuhäiriöihin on ollut yleensä positiivinen. Varsinkin laitoksilla, joilla joudutaan käyttämään suuria klooriannostuksia, on klooridioksidin käyttöönnotolla desinfioinnissa pystytty parantamaan veden organoleptistä laatua.

Kaliumpermanganaattia on Suomessa käytetty ensisijaisesti mangaa-

nin poistoon puhdistusprosessissa, mutta tässä yhteydessä ei ole yleensä tehty havaintoja mahdollisista veden haju- ja maun muutoksista. Tiedot kaliumpermanganaatin käytöstä levien torjuntaan ovat vielä puutteellisia ja hajanaisia.

Kunnissa, joissa on kokeiltu useita eri menetelmiä haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi, on miltei poikkeuksetta parhaat tulokset saavutettu otsonoinnilla. Otsonin käytöllä voidaan ilmeisesti torjua hyvin monentyppisiä haju- ja makuhäiriöitä.

Suositteluvia jatkotutkimuskohteita olisivat mm. seuraavat:

- vesistöissä suoritettavien toimenpiteiden ja niitä varten tarvittavien laitteiden kehittäminen
- ympärivuotisten puhdistuskokeiden järjestäminen nykyistä useammilla paikkakunnilla
- haju- ja makutekijöiden kemiallisen luonteen selville saamiseen tähtäävän tutkimustyön kehittäminen
- jakeluverkossa tapahtuvan veden haju- ja maun mahdollisen muuttumisen tutkiminen

Lisäksi olisi tarkoituksenmukaista tehostaa sekä raakaveden, puhdistetun veden että vesijohtoveden organoleptisen laadun tarkkailua, kouluttaa laitoksilla toimivaa henkilökuntaa tähän tehtävään sekä mahdollisuuksien mukaan lisätä kuntien välistä yhteistoimintaa veden laadun parantamiseen liittyvissä kysymyksissä.

Mitään uusia puhdistusmenetelmiä haju- ja makuhäiriöiden poistamiseen ei ainakaan tämän selvityksen perusteella voida esittää vaan tutkimustoiminta olisi lähinnä keskitettävä jo käytössä olevien menetelmien edelleen kehittämiseen.

SUMMARY

The main aim of this study was to discover the odour and taste disturbances observed in water pipe water in Finland. A further aim was to find out how investigations into the odour and taste of water have been arranged, what kind of measures have been taken to combat these disturbances and how these have succeeded. Also the possibilities of developing the examination of odour and taste, and of new methods for eliminating odour and taste disturbances in various cases were to be investigated.

First the causes of odour and taste disturbances, applied tests of odour and taste and both preventive and actual removal methods aimed at combatting these disturbances were investigated through literature. After this, the report contains the conclusion of an inquiry sent out to Finnish water works, and a more detailed study on certain Finnish communities, where odour and taste disturbances have been observed in water pipe water.

The main contents of the report may be divided as follows:

- The problem of odour and taste in the practical operation of waterworks
- The causes of odour and taste disturbances in water
- The odour and taste tests of water
- The prevention and removal of odour and taste disturbances of water
- The inquiry performed in Finland
- Conclusions

The odour and taste disturbances prevalent in water pipe water generally are due to changes in the quality of the raw water of waterworks. Such changes may be caused by different organic and inorganic compounds, oil products, phenols or combatting agents. These may get into bodies of water with waste waters, by washing from surrounding soil or by falling from air.

Further causes of odour and taste disturbances of water pipe water are abundant aquatic vegetation of raw water sources, various micro-organisms such as algae and actinomycetes, and different compounds secreted by these.

In connection to the purification process of waterworks, unpleasant odour and taste may occur in water. However, water pipe water based on good-quality raw water has generally proved to be also organoleptically of good quality. If the quality of raw water falls, the application of chemicals in the process has to be increased and this also may cause lower quality of water pipe water.

Even if the organoleptical quality of water were good as it leaves a purification plant, following factors for instance may degrade it still in the distribution system:

- pipe materials
- physical and chemical changes of quality in the distribution network
- micro-organisms which have got into the distribution network or developed there

Various methods are applied in monitoring the organoleptical quality of water. The most common is to sniff and taste water as such and to rate it by personal opinion. In the water analysis manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, for instance the threshold value method for the odour and taste of water is presented, consisting of diluting the sample in question by odour- and tasteless standard water to such an extent that the odour and taste of the original sample water are about to disappear, or about to get unperceptible. The numerical value of the threshold is obtained by dividing the final volume of the dilution by the volume of the original sample contained in it. Apart from the threshold value, the type of odour and taste and the degree of perceptibility are determined in the method.

Preventive measures against odour and taste disturbances in water

pipe water are especially the reasonable selection and protection of raw water source and water intake spots. The occurring of odour and taste disturbances may also be prevented by careful planning, operation and maintenance of water purification plants and distribution systems.

In bodies of water the most common measures against odour and taste disturbances are algae control, removal of aquatic plants and improvement of the oxygen condition of water. For succeeding these measures require regular monitoring of the body of water used as raw water source.

The causes of odour and taste may to some extent be removed from water by the normal treatment of surface water, the precipitation-settling-filtration process. If odour and taste faults still are found in purified water, however, an increasement of the efficiency of the process may be sought, for instance by using various oxidizers such as ozone, chlorine dioxide or potassium permanganate, or by adsorbing agents like activated carbon.

In distribution networks the most important means of combatting odour and taste faults are the purification of reservoirs, the washing of networks and possibly chlorination.

For finding out the odour and taste disturbances observed in consumed water, questionnaires were sent to the waterworks of all cities and towns, and to such rural communes that have a surface water based waterworks system producing more than 200 m³ of water per day. In all, 115 questionnaires were sent out and 79, that is 68.7 %, were returned with the requested data.

43 communes, or 54 % of those who answered and 9 % of all Finnish communes, reported odour and taste disturbances in water pipe water. 39 of these reports concerned surface water based waterworks and only 4 were about ground water based ones.

The following is a short conclusion drawn up on the basis of the

XIV

received answers:

- frequency of occurring of disturbances
 - occasionally at 15 waterworks
 - at certain seasons " 27 "
 - continuously " 3 "
- observed types of odours and tastes
 - musty " 9 "
 - metal-like " 4 "
 - mouldered " 23 "
 - other " 24 "
- performance of odour and taste tests through senses
 - regularly at 23 waterworks
 - at times " 31 "
 - not at all " 25 "
- tests are carried out by
 - trained personnel " 10 "
 - other personnel " 37 "
 - outsiders " 9 "
- measures taken for eliminating odour and taste disturbances
 - concerning raw water source:
 - application of copper sulphate at 5 waterworks
 - other measures " 7 "
 - concerning purification process:
 - application of activated carbon " 17 "
 - " " ozone " 1 "
 - " " chlorine dioxide " 6 "
 - " " potassium permanganate " 7 "
 - other measures " 5 "
 - concerning distribution network:
 - washing of network " 35 "
 - mechanical cleaning of network " 3 "
 - chlorination of network (reservoir) " 18 "

Based on investigations in various communes the following may be stated concerning the efficiency of different purification methods:

Results of the application of activated carbon vary greatly and not always has it affected the quality of water as expected.

The effect of chlorine dioxide on the odour and taste disturbances prevalent in Finland has generally been positive. Particularly at waterworks that have to use great doses of chlorine, the introduction of chlorine dioxide in disinfection has succeeded in raising the organoleptical quality of water.

Potassium permanganate has in Finland mainly been applied for removing manganese during the purification process, but no observations concerning possible changes of odour and taste have generally been made in this connection. The data about the application of potassium permanganate in combatting algae are still incomplete and scattered.

At communities where several different methods have been tried in removing odour and taste disturbances, the application of ozone has almost unexceptionally proved to give the best results. Obviously very many types of odour and taste disturbances may be combatted by the application of ozone.

Further studies may be recommended on, for instance, the following subjects:

- Developing of measures to be performed in bodies of water and of apparatus needed for them
- Arranging of round-the-year purification tests at larger number of communes than today
- Developing of research that aims at discovering the chemical nature of odour and taste factors
- Examining of possible changes of odour and taste of water in distribution networks

Further appropriate action would be to increase the efficiency of monitoring the organoleptical quality of both raw water, purified water and water pipe water, to train the personnel of waterworks

for this task, and, within the limits of possibilities, to increase the cooperation between communes in questions connected with improving the quality of water.

No new purification methods may, at least not on the basis of this study, be presented for the removal of odour and taste disturbances, but research should rather be directed at developing the already applied methods further.

1. JOHDANTO

1.1 Projektin lähtökohta

Veden laatuksymykset ja niihin liittyen veden haju- ja maku-
virheiden eliminointi ovat tulossa maassamme yhä tärkeämmiksi.

Haju- ja makuvirheet johtuvat yleisimmin pintavettä käyttävien
vesilaitosten raakavedessä tapahtuneista laadun muutoksista,
mutta myös pohjavesien laadussa on todettu muutoksia, jotka ovat
johtaneet vesijohtoveden haju- ja makuominaisuuksien huononemi-
seen. Edelleen voi laatu huonota vedenjakelujärjestelmässä.

Alan kirjallisuutta on suomen kielellä verraten vähän. Ulkomai-
sesta kirjallisuudesta sen sijaan löytyy monenlaista aineistoa,
jonka soveltuvuutta Suomen oloihin ei ole riittävästi selvitetty.

1.2 Projektin tavoitteet

Projektin tavoitteena oli:

- Kartoittaa maassamme esiintyneet vesijohtoveden haju- ja maku-
häiriöt; selvittää, miten veden haju- ja makututkimukset on
järjestetty; selvittää, millä keinoin näitä häiriöitä on pyrit-
ty torjumaan sekä miten tässä on onnistuttu.
- Selvittää millä keinoin haju- ja makututkimusta voitaisiin ke-
hittää sekä mitä uusia menetelmiä voitaisiin eri tapauksissa
käyttää haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi.

2. HAJU- JA MAKUKYSYMYS KÄYTÄNNÖN VESILAITOSTOIMINNASSA

Lääkintöhallituksen yleiskirjeen n:o 1501 mukaisissa talousveden laatuvaatimuksissa on veden organoleptisen laadun kohdalla mainittu ainoastaan, ettei vedessä saa olla epämiellyttävää hajua tai makua. Samoin useiden muidenkin maiden sekä WHO:n antamissa suosituksissa veden laadun standardeiksi rajoitutaan organoleptisten ominaisuuksien kohdalla ainoastaan mainintaan: ei epämiellyttävää hajua tai makua.

Milloin vettä sitten voidaan pitää täysin hajuttomana ja mauttomanä? Onko se täysin moitteetonta vasta sitten, kun kukaan vedenkuluttajista ei joudu nauttimaan vettä, joka hänen mielestään on organoleptiseltä laadulta epämiellyttävää? Kansainvälisen vesilaitosjärjestön (IWSA:n) New Yorkissa pidetyssä kongressissa vuonna 1972 esitettiin, että vettä voitaisiin pitää täysin hajuttomana ja mauttomanä silloin, kun 0,01 % kaikista vedenkuluttajista eli siis aisteiltaan ainoastaan kaikkein herkimmät havaitsevat siinä olevan epämiellyttävän hajun ja maun.

Useat eri tekijät saattavat aiheuttaa veteen haju- ja makuhäiriöitä. Raakaveden laadulla on luonnollisestikin olennainen vaikutus valmistettavan vesijohtoveden laatuun. Kaupunkiliiton toimiston julkaisussa n:o 33 "Vesilaitosten raakaveden laatuvaatimukset" on raakaveden hajun kohdalla toteamus, ettei vedessä saa olla jätevesistä peräisin olevaa tai muuta pilaantuneen veden hajua. Näin ollen sama epämääräisyys koskee raakaveden laatuvaatimuksia kuin talousvedenkin laatuvaatimuksia. Useissa maissa on määritelty tietyille orgaanisille ja epäorgaanisille yhdisteille organoleptiset havaittavuusrajat. Suomessa tällaisia raja-arvoja ei ole annettu, vaan edellä mainittujen aineiden suurimmat sallitut pitoisuudet on määritelty haittana veden kelvollisuuteen talousvetenä.

Hajua ja makua veteen aiheuttavat orgaaniset ja epäorgaaniset yhdisteet joutuvat yleensä vesistöihin ihmisten erilaisten toimintojen seurauksena. Tosin raakavesi saattaa luonnostaankin sisäl-

tää mm. rautaa niin paljon, että se antaa veteen makua. Mutta käytettäessä täysin luonnontilassakin olevaa vesistöä raakavesilähteenä, saattaa siihen yllättäen ilmaantua vierasta hajua tai makua. Tällöin aiheuttajan selville saaminen on huomattavasti vaikeampaa. Syynä saattavat olla mikro-organismit ja niiden aineenvaihdunnan tuotteet tai raakavesialtaan vesikasvillisuus. Aiheuttaja voi olla peräisin yläpuolisesta vesistöstä tai häiriöt voivat johtua valuma-alueella suoritetuista toimenpiteistä, kuten voimaperäisestä maanviljelyksestä ja metsänhoidosta. Sääolosuhteilla on yleensä ratkaiseva vaikutus em. häiriöiden voimakkuuteen.

Vaikka raakaveden laatu organoleptisesti olisi täysin moitteetonta, saattaa puhdistusprosessi ja jopa jakelujärjestelmänkin huonontaa veden laatua. Kaupunkiliiton toimiston julkaisussa n:o B 44 "Yleisten vesijohtojen ja viemäreiden aines- ja työselitys" esitetään vaatimus, ettei tarvikkeista, jotka voivat joutua yhteyteen vesijohtoveden kanssa, saa irrota tai liueta terveydelle haitallisia aineita tai aiheutua veteen hajua, makua tai väriä eikä muutakaan veden laadun huonontumista. Vaadittaessa tulee tarvikkeen toimittajan esittää todistukset tarvikkeiden soveltuvuudesta. Vastavasti Kaupunkiliiton toimiston julkaisussa n:o B 35 "Vesijohtoveden valmistuksessa käytettävät kemikaalit" esitetään vesilaitostoiminnassa yleisesti käytetyt kemikaalit ja todetaan, etteivät ne saa sisältää lisäaineita, jotka voivat aiheuttaa veteen vierasta hajua tai makua.

Veden laadun tarkkailuun on varsinkin laitoksilla, joiden puhdistamassa vedessä on esiintynyt haju- ja makuhäiriöitä, liitetty jonkinlainen aistinvarainen hajun ja maun määrittäminen. Vesianalyysien ohjekirjassa "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" on esim. esitetty hajun ja maun kynnysarvon määrittäminen. Kuitenkin maamme vesilaitoksilla on käytössä erilaisia menetelmiä, ja useinkaan varsinaisia kynnysarvoja ei määritetä. Kaupunkiliiton toimiston julkaisussa n:o B 39 "Veden laadun käyttötarkkailuohjeet" suositellaan raakaveden ja puhdistetun veden päivittäistä haju- ja makutarkkailua.

Ihmisen haju- ja makuaisti tottuu pian tietyn tyyppiseen veteen. Näin ollen vedestä, jonka organoleptinen laatu on jatkuvasti huonoa, valitetaan harvoin vesilaitoksille. Esimerkiksi tasaisen voimakkaaseen kloorin makuun vedenkuluttajat tottuvat helposti. Sen sijaan jos veden laatu äkillisesti muuttuu ja varsinkin jos veteen ilmaantuu sille täysin vieras, kuten esim. lääkemäinen haju tai maku, kuluttajat epäilevät veden terveydellisyyttä ja tiedustelevat asiaa. Jos taas vedessä voimistuu sen luonteeseen kuuluva esim. mutamainen haju tai maku, yleisön reaktiot ovat tavallisesti vaimeahkoja.

Käyttöveden haju- ja makuongelma on myös taloudellinen kysymys. Kasvavan teollistumisen myötä käytettävissä olevan pintaveden laatu huononee jatkuvasti. Normaalilla saostus-selkeytys-suodatusprosessilla ei saada enää läheskään aina organoleptiseltä laadulta moitteetonta vettä, vaan tarvitaan uusia lisäpuhdistusmenetelmiä. Tällöin herää kysymys, kuinka paljon vedenkuluttajat ovat valmiita maksamaan organoleptiseltä laadultaan hyvästä vedestä. Mikäli haju- ja makuhäiriöitä esiintyy ainoastaan muutaman kuukauden ajan vuodesta ja muulloin veden laatu on hyvää, on kyseenalaista, ovatko kalliit investoinnit järkeviä. Jos sen sijaan raakaveden laatu vaihtelee jatkuvasti ja häiriöt ovat tavallisia, ollaan ilmeisesti valmiita suuriinkin kustannuksiin hyvälaatuisen veden saamiseksi. Mikäli vedenpuhdistuskustannukset nousevat suhteettomiin rahasummisiin, kannattaa luonnollisesti harkita veden johtamista kauempainkin kulutuspaikalle. Tällöin voidaan selvittää suhteellisen pienillä puhdistuskustannuksilla ja välttyä raakaveden laatuvaihteluiden aiheuttamilta riskitekijöiltä.

Pohdittaessa kuinka paljon organoleptisesti hyvälaatuisesta vedestä ollaan valmiita maksamaan, on otettava huomioon myös terveydelliset tekijät. Paitsi sitä, että hajujen ja makujen esiintyminen voi tehdä juomaveden epämiellyttäväksi nauttia, on viime aikoina myös herännyt kysymys, missä määrin juomaveden terveydellisyys on riippuvainen näistä tekijöistä. Yhdysvalloissa on useissa tapauksissa voitu osoittaa selvä suhde juomaveden kohonneiden hajukynnysarvojen ja ripulitapausten välillä. Hajut aiheutuvat likaantuneessa

pintavedessä suurin piirtein samoista tekijöistä, joten paikallisista tutkimustuloksista voi olla yleisemminkin hyötyä. Muukin kerätty informaatio vahvistaa otaksumaa, että jätevesissä esiintyvät hajua ja makua aiheuttavat aineet ovat myös terveydellinen vaara. Kun lisäksi nämä tekijät useimmiten esiintyvät vedessä niin pieninä pitoisuuksina tai monimutkaisina yhdisteinä, ettei niiden havaitseminen normaalien kemiallisten analyysien avulla ole mahdollista eivätkä ne poistu tavallisessa puhdistusprosessissa, voidaan hajukynnysarvojen kohoamista pitää varoituksena terveydelle vaarallisten aineiden mahdollisesta läsnäolosta. /16/

3. VEDEN HAJUJEN JA MAKUJEN AIHEUTTAJAT

Täysin hajutonta ja mautonta vettä ei ole olemassakaan. Veden ominaismaun, joka tuntuu tislatussakin vedessä, sanotaan olevan lääkemäinen. /7/

Maamme pintavedet sisältävät luonnostaan runsaasti orgaanista ainesta, humusta, joka antaa vedelle paitsi sen tyypillisen ruskeh-tavan värin, myös turvemaista makua. Lisäksi useat eri aineet, joista monet ovat yhä tuntemattomia, saattavat antaa vedelle ha-jua ja makua. Nämä aineet voivat olla peräisin asuma- ja teolli-suusjätevesistä tai ne saattavat olla vedessä, pohjalietteessä tai rantatörmässä elävien mikro-organismien aineenvaihdunnan tu-loksia. Lisäksi rehevät, lähes umpeenkasvaneet vesistöt voivat antaa vedelle epämiellyttävää hajua ja makua. Suolaisen meriveden virtaus sisämaahan päin on aiheuttanut mm. Saksan Liittotasaval-lassa Reinillä veteen haju- ja makuhäiriöitä. Samanlaisia häi-riöitä saattaa esiintyä rannikon läheisyydessä sijaitsevien pohja-vedenottomoiden vedessä.

Pohjavettä raakavetenä käytettäessä voivat mm. seuraavat syyt ai-heuttaa veteen haju- ja makuhäiriöitä: /16/

- liuenneet kaasut, ennen kaikkea rikkivety (H_2S), mutta joskus myös maakaasu, metaani (CH_4)
- liuenneet metalli-ionit ja suolat sekä liuenneet orgaaniset aineet
- pohjaveden likaantuminen esim. bakteerikasvustosta tai öljy-tuotteista

Vesilaitoksen puhdistusprosessin yhteydessä voi veteen myös ilmaan-tua epämiellyttävää hajua ja makua. On kuitenkin todettava, että hyvälaatuisesta raakavedestä valmistettu vesijohtovesi on yleensä myös organoleptisesti virheetöntä. Mutta mikäli raakaveden laatu heikkenee, joudutaan prosessissa lisäämään mm. kemikaalien käyttöä, ja tästä voi seurata myös vesijohtoveden laadun heikkeneminen.

Taulukossa 1 on esitetty luettelo erityyppisistä juomavedessä esiin-

Taulukko 1. Luettelo vedessä mahdollisesti esiintyvistä epämiellyttävistä hajuiista ja mauista.

NO RYHMÄ	HAJU- TAI MAKUTYYPPI	TUOTE TAI AINE	AIHEUTTAJA	ALKUPERÄ	
1	Mauttomuus	Laimea, mauton, suolaton	Suoloja liian vähän	Sadevesi, Mineraalit poistettu	A B
2	Mineraalit	Suolainen, karvas	Suoloja liian paljon	Kuiva ilmasto, meri- vesi, maaperä	A
3	Metallit	Metallimainen	Rauta ja mangaani kupari, sinkki jne.	Hapeton pohjavesi Metalliteollisuus Putkisto	A A C
4	pH	Saippuamainen	Alkaalinen, korkea pH Hapan, matala pH	Veden pehmennys Teollisuusjätevesi Turve- ym. maaperä	B A A
5	Kloori	Kloorille maistuva Lääkemäinen	Kloori ja klooriyhdisteet	Klooraus Desinfiointi	B C
6	Rikki	Rikille maistuva Mätänevä	Rikki ja rikkiyhdisteet	Levien hajoaminen Hapeton sulf. reduktio	A A B C
7	Pinnoituk- set	Bitumimainen, mätänevä	Bitumi, muovi	Putkien vuoraus ja säiliöiden eristys	B C
8	Öljy	Öljymäinen	Öljynjalostustuotteet	Öljyvarastot, puhdis- tamot ja kuljetus	A
9	Kemikaalit	Lääkemäinen, aromaattinen	Fenolit ja muut orgaaniset teollisuuskemikaalit	Kemiallinen ym. teollisuus	A
10	Sienet	Ummehtunut, homemainen, maamainen, mätänevä	Bakteerit ja sädesienet	Vesistöjen biomassa	A B C
11	Levät	Kalamainen, krassi, ruohomainen	Elintointojen ja hajau- tumisen tuotteet	Järvien, säiliöiden ja avosuodattimien rehevöityminen	A B

A = raakevesilähteestä johtuva

B = puhdistusprosessista johtuva

C = jakelujärjestelmästä johtuva

tyvistä hajuista ja mauista sekä niiden aiheuttajista.

3.1 Raakavesilähteestä johtuvat haju- ja makuhäiriöt

3.1.1 Jätevedet

Jätevesien vaikutus veden haju- ja makuongelmiin on monitahoinen. Ne tuovat mukanaan erilaisia orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, jotka riittävän suurina konsentraatioina antavat vedelle hajua ja makua ja voivat olla myös myrkyllisiä. Lisäksi orgaaniset aineet hajotessaan kuluttavat vesistön happivaroja ja aiheuttavat täten lisäongelmia. Kolmantena haittavaikutuksena on syytä mainita jätevesien tuovan mukanaan ravinteita, jotka edistävät veden biologista toimintaa, ja täten ne edesauttavat levien ym. mikroorganismien aiheuttamia haju- ja makuhäiriöitä.

Tavallisen asumajäteveden mukana vesistöihin saattaa joutua mm. valkuaisaineita, amino- ja rasvahappoja, fenoleja ja pesuaineita.

Teollisuusjätevesistä eniten haittaa aiheuttavat ainakin Suomen olosuhteissa puunjalostusteollisuuden jätevedet, jotka sisältävät runsaasti liuenneita orgaanisia aineita mm. ligniiniä ja joita joutuu vesistöihin mm. selluloosan valmistuksessa syntyvän jäteliipeän ja sen väkevöinnissä muodostuvan haihdelaauhteen sekä valkaisimon jätevesien mukana. Sulfiittiselluloosatehtaan jätevesien aiheuttamien hajuhaittojen pääasiallisena syynä ovat fenolit, jotka valkaisimon klooripitoisten jätevesien kanssa muodostavat erittäin voimakkaan hajuisia kloorifenoleita. Sulfaattitehtaassa jätokaasujen ja -vesien aiheuttama paha haju johtuu puolestaan pelkistyneistä rikkiyhdisteistä, rikkivedystä ja muista sulfideista, merkaptaneista sekä hartsihapoista ja tärpäteistä. /18/

Muiden teollisuushaarojen jätteaineista, joilla on merkitystä raakaveden haju- ja makukysymysten kannalta, voidaan mainita mm. seuraavat: /18/

- öljynjalostusteollisuuden fenolit ja orgaaniset rikkiyhdisteet sekä öljyt

- lääketeollisuuden mikrobiostaattiset jätteet, esim. anti-biootit
- saippuateollisuuden rasvan puhdistamisessa muodostuvat orgaaniset jätteet
- maaliteollisuuden orgaaniset liuottimet, öljyt ja kloorifenoliyhdisteet
- liimateollisuuden fenolit, formaldehydit, rasvahapot ja aminohapot
- kumiteollisuuden formaldehydit ja tärkkelykset
- elintarviketeollisuuden liuenneet rasvat, valkuaisaineet ja hiilihydraatit sekä niiden hajoamistuotteet
- meijereiden rasvat, valkuaisaineet ja maitosokeri
- tekstiiliteollisuuden öljyt, rasvat, vahat, tärkkelys, dekstriini, glukoosi, alkoholit, pesuaineet, happojen suolat ja fenolit
- nahkateollisuuden jätteissä eläimistä peräisin olevat orgaaniset aineet

3.1.2 Öljytuotteet

Raakaöljy sisältää lukuisia orgaanisia yhdisteitä, joilla on suuri molekyyli ja siten myös suuri molekyyllipaino. Nämä yhdisteet ovat kemiallisesti pysyviä parafiinihiilivetyjä, joiden joukossa on hyvin vähän tyydyttämättömiä yhdisteitä sekä aromaatteja. Lisäksi raakaöljy voi sisältää orgaanisia rikki- ja typpiyhdisteitä sekä happiyhdisteitä. Raakaöljyn koostumus vaihtelee suuresti sen mukaan, mistä päin maapalloa öljy on peräisin. /8/

Öljytuotteet ovat vettä kevyempiä ja siihen huonosti liukenevia. Veden kanssa kosketuksiin joutuessaan ne muodostavat veden pinnalle erillisen kerroksen, joka pintajännitysvoimien vaikutuksesta pyrkii leviämään.

Öljytuotteiden tunkeutuminen maaperään riippuu suuresti maalajista, sen tiheydestä, huokosellisuudesta ja vesipitoisuudesta. Yleensä öljy tunkeutuu maahan huomattavasti nopeammin kuin vesi.

Öljytuotteiden haitallisuus riippuu olennaisesti niiden haihtuvuu-

desta. Öljyjen haihtumisnopeuteen vaikuttavat lämpötila, ilmavirtaukset ja öljyjen leviämisestä johtuva haihtumispinta-alan kasvu sekä erilaiset kemialliset ja biokemialliset reaktiot.

Öljytuotteen pysyvyyteen maaperässä vaikuttavat samoin kuin sen liikkuvuuteenkin ympäristötekijät. Pintakerroksissa, missä on saatavilla runsaasti happea ja ravinteita, hajoaminen on suhteellisen nopeaa. Sen sijaan syvemmällä maaperässä hapettomissa olosuhteissa hajaantuminen on osoittautunut erittäin hitaaksi.

Jo varsin pienet öljymäärät aiheuttavat vedessä hajun ja makuhaittoja. Hajun havaittavuuteen vaikuttaa nesteen lämpötila, mistä esimerkkinä mainittakoon polttoöljy, jonka hajukynnys lämpötilassa $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ on $4-12 \times 10^6$ ja lämpötilassa $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $1,5-2 \times 10^6$. /20/

Taulukossa 2 on esitetty muutamien öljytuotteiden hajun havaittavuus-konsentraatioita. /2/

Taulukko 2. Öljytuotteiden hajun havaittavuus-konsentraatioita (mg/l).

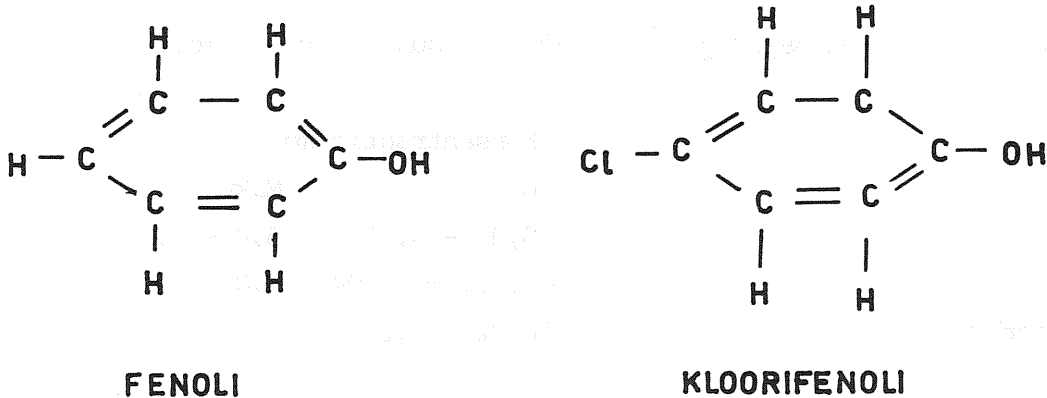
Puhdistamaton raakaöljy	0,1 - 0,5
Tavallinen bensiini	0,005
Korkeaoktaaninen bensiini	0,00005
Polttoöljy	0,22 - 0,5
Lämmitysöljy	0,3 - 0,6
Dieselöljy	0,0005
Voiteluöljy	0,5 - 0,25
Moottoriöljy	1,0

3.1.3 Fenolit

Fenolit ovat yhdisteitä, joissa rengasrakenteisen aromaattisen hiilivedyn hiiliatomiin on liittynyt hydroksyyli-ryhmä tai -ryhmiä. Fenoli on jossain määrin veteen ja helposti orgaanisiin liuotteisiin liukeneva väritön kiteytyvä aine. Klooripitoisessa vedessä fenolit reagoivat helposti kloorin kanssa muodostaen kloorifeno-
leja. /9/

Vesistöihin fenoleja joutuu pääasiassa teollisuuden jätevesien mukana, mutta myös eräiden mikrobin aineenvaihdunnan tuloksena saattaa syntyä fenoleja.

Eri tutkijoiden mukaan pitoisuudet, joissa fenolin hajua ja makua on havaittavissa, vaihtelevat 0,01 - 60 mg/l ja klooratussa vedessä 0,00001 - 0,02 mg/l. /9/



Kuva 1. Fenolin ja kloorifenolin rakennekaavat.

3.1.4 Biologiset torjunta-aineet

Biologisilla torjunta-aineilla (pestisidit) tarkoitetaan niitä aineita, joilla tuhoetaan vahingollisia rikkaruohoja (herbisidit), hyönteisiä (insektisidit) ja sieniä (fungisidit) tai ehkäistään näiden kasvua. Lisäksi pestisideihin katsotaan kuuluvaksi eräitä puun, tekstiilien ja erilaisten teollisuustuotteiden suoja-aineita ja kyliästeitä. Joskus myös elintarvikkeiden säilöntäaineet luetaan kuuluviksi pestisideihin.

Orgaanisista pestisidiryhmistä tärkeimmät ovat klooratut hiilivedyt, organofosfaatit sekä herbisideinä käytetyt kloorifenoksihapot ja -esterit. Näistä kloorifenoksiyhdisteet ennen kaikkea aiheuttavat juomaveden haju- ja makuvirheitä. Eräillä herbisideillä ilmenee makuhäiriöitä jo laimennuksessa 1:10 000 000.

Pestisidejä saattaa joutua veteen maa- ja metsätaloudesta suoraan

ruiskutusten yhteydessä, huuhtoutumalla tai ilmavirtojen mukana. Useat teollisuuden alat käyttävät näitä myrkkyyjä, jolloin niitä voi joutua vesistöihin jätevesien mukana. Lisäksi puutavaran käsittelyssä käytetyt aineet voivat joutua veteen uiton ja puutavaran varastoinnin yhteydessä.

Taulukossa 3 on esitetty muutamien pestisidien hajun ja maun havaittavuuskonsentraatioita. /2/

Taulukko 3. Pestisidien hajun ja maun havaittavuuskonsentraatioita.

Pestisidi	Konsentraatio mg/l	
	Haju	Maku
Malathion	0,05 - 0,25	5,0 - 6,0
Parathion	0,001 - 0,004	0,08
Parathion methyl	0,02 - 0,025	1,0
Dimetan	0,012	
2,4-D (Natriumsuola)	1,0 - 2,0	2,0
2,4-D (Butyyliesteri)	3,0	
HHDN	1,0	

3.1.5 Levät

Planktonlevillä tarkoitetaan niitä mikroskooppisia leviä, jotka keijuvat vapaasti vedessä ja joiden siirtyminen paikasta toiseen on ensi sijassa riippuvainen veden liikkeistä. /9/

Planktonlevälajit ovat hyvin monimuotoisia ja -kokoisia: nauhamaisia, pallomaisia, ellipsimäisiä, levymäisiä, kierteisiä tai sukkelamaisia noin 5-500 μ :n kokoisia yksi- tai monisoluisia liikkuvia tai liikkumattomia kasveja. Käytännöllisesti katsoen kaikilla planktonlevillä on vihreitä pigmenttejä, jotka absorboivat aurinkon säteilyenergiaa ja joiden avulla levät pystyvät tuottamaan orgaanista ainetta vedessä olevista epäorgaanisista ravinteista. /9/

Levien aiheuttamat haju- ja makuhaitat liittyvät läheisesti ns. veden kukintaan. Noin 65 levälajin on todettu aiheuttavan tällais-

ta "kukintaa" vesistöissä. Haitallisimmat leväkukintojen aiheuttajat kuuluvat sini- ja piileviin.

Levistä aiheutuu veteen hajuhaittoja populaation kaikissa kehitysvaiheissa, vaikkakin pahimmat haitat ilmenevät vasta leväpopulaation kuollessa, kuten myöhemmin sädesienten yhteydessä esitetään.

Eräät levät saattavat antaa vedelle hajua ja makua jo erittäin pieninä solumäärinä. Amerikassa on esim. todettu, ettei Synurallevää tarvitse olla kuin noin 10 yhdyskuntaa millilitrassa kun vedessä jo tuntuu makua. /16/ Toisten levien kohdalla häiriöitä syntyy vasta solumäärän ollessa useampia tuhansia millilitrassa.

Taulukossa 4 on esitetty lähinnä Pohjois-Amerikassa todetut, hajua ja makua veteen antavat levälajit sekä niiden kriittiset pitoisuusrajat. Lukujen paikkansapitävyydestä meikäläisissä olosuhteissa ei ole juuri tietoa, ja onkin todettava, että kriittilisen määrän suurestikin ylittävän levämäärän ei läheskään aina tarvitse antaa veteen hajua ja makua. Häiriöiden syntymisolosuhteet ovat paljolti vielä hämärän peitossa. Esim. aiemmin mainittu Synura ei raja-arvoon nähden monikymmenkertaisenakaan ole aiheuttanut Vantaanjoessa häiriöitä. /16/

Levien aiheuttamat haju- ja makutyypit voidaan jaotella esim. seuraavasti: /7/

- aromaattinen, jonka alaryhmiä ovat kurjenpolvi, krassi, orvokki, myski, kurkku sekä maustemaiset hajut ja maut
- kalamainen
- ruohomainen
- homemainen
- mädäntynyt

Sinilevät

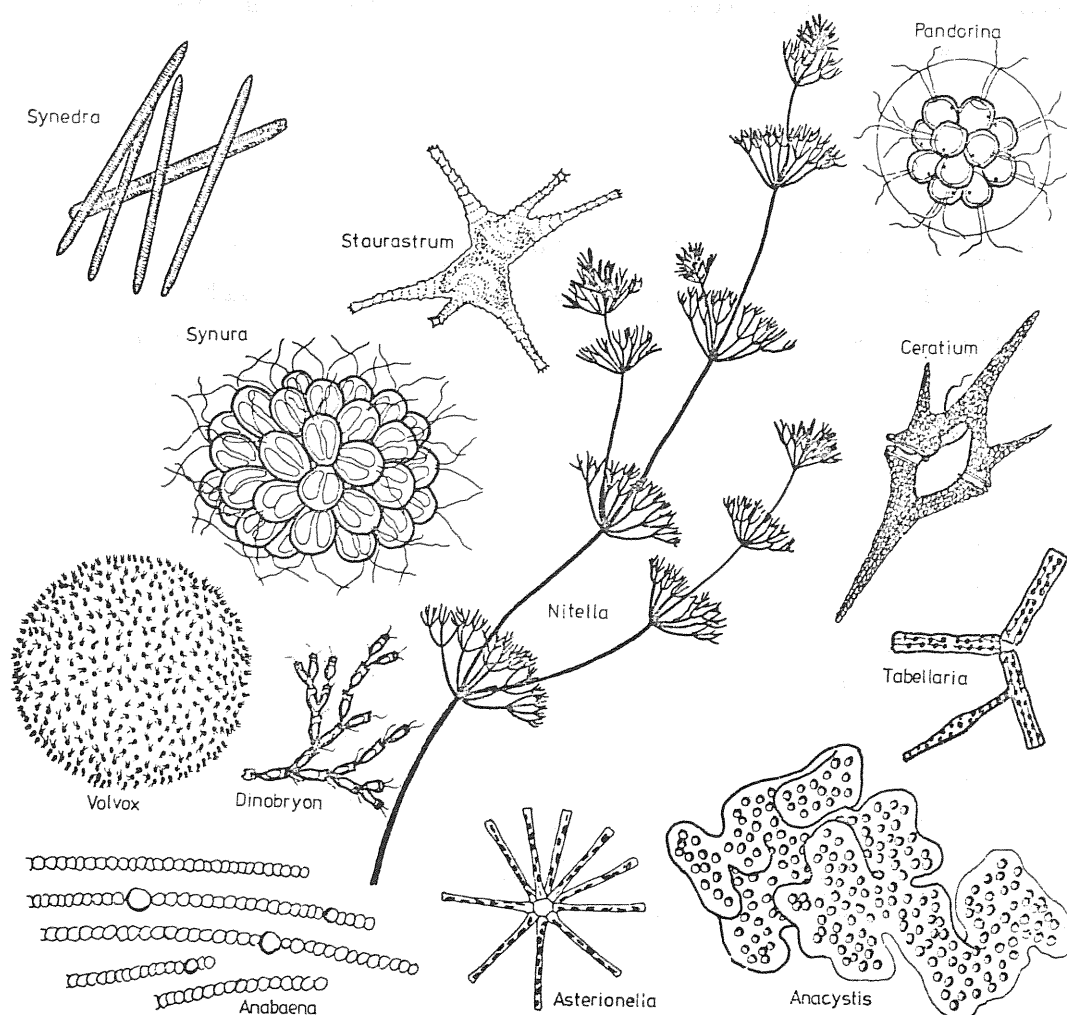
Sinileviä, varsinkin Anabaena-, Aphanizomenon- ja Oscillatorialajeja, pidetään sädesienten ohella yleisimpinä raakaveden hajuhaittojen aiheuttajina.

Organismi	Ryh- mä	Haju		Maku	Jälki- maku	Kriittinen raja		CuSO ₄ · 5H ₂ O mg/l + 15°C
		kun eliöitä on vähän	kun eliöitä on runsaasti			yks./ ml	kolo- niaa/ ml	
Anabaena (circinalis)	Cy	ruohomainen homemainen	mädäntynyt, lääkemäinen	—	—	5300	200	0.12
Anabaenopsis	Cy	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Microcystis (Anacystis)	Cy	ruohomainen homemainen	mädäntynyt, lääkemäinen	makea	—	35000	—	0.20
Ankistrodesmus	Chl	—	ruohomainen homemainen	—	—	4000	—	1.00
Aphanizomenon	Cy	ruohomainen, homemainen	mädäntynyt lääkemäinen	makea	kuiva	6600	200	0.12 á 0.20
Asterionella (formosa)	D	maustemainen	kalamainen	—	—	3000	—	»
Ceratium	Fl	kalamainen	mädäntynyt, lääkemäinen	karvas	—	200	—	0.33
Chlamydomonas	Fl	homemainen, ruohomainen	kalamainen lääkemäinen	makea	pysyvä	3600	—	0.50
Chlorella	Chl	—	homemainen	—	—	—	—	—
Closterium	Chl	—	ruohomainen	—	—	200	—	0.17
Cosmarium	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Cryptomonas	Fl	orvokkimainen	orvokkimainen	makea	—	1200	—	0.50
Cyclotella	D	maustemainen, ruohomainen	kalamainen	—	—	2200	—	0.33
Cylindrospermum	Cy	ruohomainen	mädäntynyt, lääkemäinen	—	—	—	—	—
Diatoma	D	—	aromaattinen	—	—	—	—	—
Dictyosphaerium	Chl	ruohomainen	kalamainen	—	—	—	—	—
Dinobryon	Fl	orvokkimainen	kalamainen	—	pysyvä	3000	—	0.25
Eudorina (elegans)	Fl	—	kalamainen	makea	—	800	80	10.00
Euglena	Fl	—	kalamainen	—	—	—	—	0.50
Fragilaria	D	maustemainen, ruohomainen	homemainen	—	—	—	—	—
Glenodinium	Fl	—	kalamainen	—	pysyvä	—	—	—
Gloeocystis	Chl	—	mädäntynyt, lääkemäinen	—	—	—	—	—
Gloeotrichia	Cy	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Gomphosphaerium	Cy	ruohomainen	ruohomainen	makea	—	—	170	0.20 á 0.33
Gonium (sociale)	Chl	—	kalamainen	—	—	—	—	—
Mallomonas	Fl	orvokkimainen	kalamainen	—	—	450	—	0.50
Melosira	D	maustemainen, ruohomainen	homemainen	—	pysyvä	2500	—	0.33
Nostoc	Cy	homemainen	mädäntynyt, lääkemäinen	—	—	—	—	—
Oscillatoria	Cy	ruohomainen,	maustemainen, homemainen	—	—	53000	3000	0.20 á 0.50
Pandorina	Fl	—	kalamainen	—	—	200	—	10.00
Pediastrum	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Peridinium	Fl	kurkkumainen	kalamainen	—	—	—	—	—
Rivularia	Cy	ruohomainen	homemainen	—	—	—	—	—
Scenedesmus	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	1500	1.00
Spirogyra	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Staurastrum	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Stephanodiscus	D	maustemainen,	kalamainen	—	pysyvä	—	—	—
Synedra	D	ruohomainen	homemainen	—	pysyvä	300	—	0.50
Synura	Fl	ruohomainen kurkkumainen, mädäntynyt, lääkemäinen	kalamainen	karvas	kuiva, metalli- nen	—	10	0.12 á 0.25
Tabellaria	D	maustemainen, ruohomainen	kalamainen	—	—	750	—	0.12 á 0.50
Tribonema	Chl	—	kalamainen	—	—	—	—	—
Uroglenopsis	Fl	kurkkumainen	kalamainen	—	pysyvä	—	—	—
Ulothrix	Chl	—	ruohomainen	—	—	—	—	—
Volvox	Fl	kalamainen	kalamainen	—	—	—	—	—

Taulukko 4. Pohjois-Amerikassa todetut hajua ja makua veteen aiheuttavat levälajit /9/.

Haitallisimpien sinileväkukintojen on todettu kehittyvän aluksi anaerobisissa oloissa pohjalla tai pohjan läheisyydessä. Leväkukintojen muodostumiseen vaikuttavat mm. lämpötila, happi, valo ja ravinteet. Kanadassa on todettu, ettei sinileviä esiinny ennen kuin veden lämpötila on noin 15 °C, ja massaesiintymisiä tavataan vain harvoin alle 23-26 °C:n lämpötiloissa. Pääravinteista on todettu fosforin olevan tärkein sinileville. /27/

Levien massaesiintymisien aikana veden pH voi nousta jopa yli 10 ja happipitoisuus 200-300 %:iin, sillä levät käyttävät yhteyttäessään veden bikarbonaatteja ja hiilidioksidia sekä luovuttavat happea, ja näin saattaa aiheutua happikadon synnyttämiä haittoja, mm. rauta- ja mangaaniyhdisteiden liukenemista pohjalietteestä.



Kuva 2. Erilaisia leviä.

Sinilevät eivät aiheuta ainoastaan haju- ja makuhaittoja, vaan ne saattavat erittää myös toksiineja, joiden on todettu aiheuttavan myrkytyksiä mm. kaloille.

Piilevät

Piilevistä hajujen ja makujen aiheuttajina mainitaan useimmiten Asterionella-, Fragilaria- ja Synedra-lajit. Haju- ja makuhäiriöiden lisäksi piilevät aiheuttavat harmia puhdistuslaitoksilla tukkimalla suodattimia.

Piilevien aiheuttamat hajut ovat todennäköisesti yhteydessä niiden tuottamiin öljyihin, jotka ovat analogisia eteeristen öljyjen kanssa. Esim. Asterionella-levän öljy on havaittavissa vedessä vielä laimennuksessa 1:2 000 000. /27/

Muut levät

Muut haju- ja makuhaittoja aiheuttavat levät kuuluvat pääasiassa viherleviin. Näistä chlorococcales-levällä on osoitettu hajuaineen pysyvän solun sisällä ja vapautuvan vasta autolyysin alettua kuoleman jälkeen. Yleensä viherlevät saavat aikaan kalamaista hajua. /7/

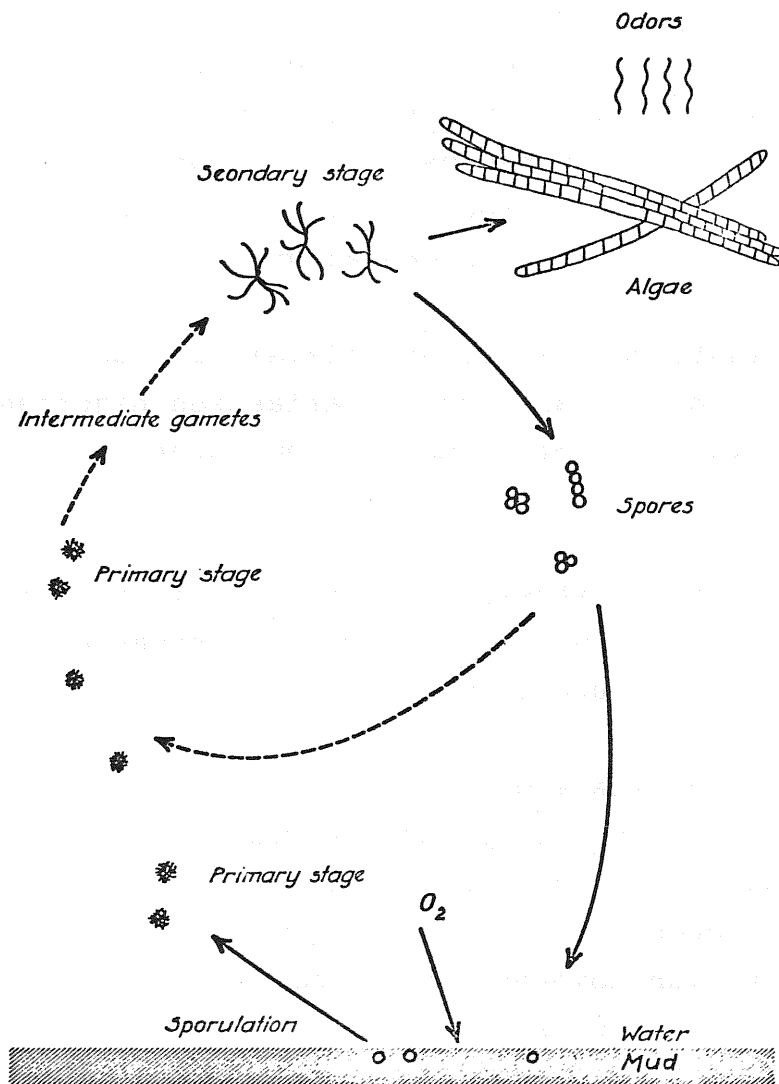
3.1.6 Sädesienet /28/

Vaikka levien aiheuttamia hajuilmiöitä voidaan todeta populaation eri kehitysvaiheissa, syntynevät vakavimmat hajuhaitat vasta leväpopulaation kuollessa ravintonaan kuolleita planktonorganismeja käyttävien mikrobien, sädesienten aineenvaihdunnan tuloksena. Yksinomaan levien mainitseminen hajuhaittojen aiheuttajiksi johtunee siitä, ettei vesilaitoksilla yleensä ole sellaisia tutkimusvälineitä, joilla suurta mikroskooppista suurennusta vaativat sädesienet voitaisiin havaita.

Sädesienet ovat jakosienten luokkaan kuuluva mikrobilahko. Sädesienistä on todettu, että ne ovat bakteereita, joilla on sienten

morfologia. Ne ovat luonnossa erittäin laajalle levinneitä, ja ainakin sukuja *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Nocardia* ja *Actinoplanes* on tavattu myös vedessä.

Kuvassa, 3 on esitetty sädesienten elämän sykli vedessä.



Kuva 3. Sädesienten sykli vedessä.

Pohjalietteen pinnalla syntyy itiöistä pieniä pallomaisia esiasteita. Itiöt itävät vain hapellisissa olosuhteissa, joskin esiaste pystyy elämään myös hapettomassa alusvedessä. Esiasteisiin syntyy sukusoluja, joiden yhtyessä syntyy sekundaariaste.

Sekundaariasteiset sädesienet, jotka esiintyvät samanaikaisesti kuin sinilevien tai piilevien maksimi todetaan tai hieman sen jälkeen, hajottavat kuolleita planktonleviä. Sykli täyttyy sitten sekundaariasteen muodostaessa itiöitä, joita vedessä elävillä lajeilla on todettu olevan kahdenlaisia, nimittäin ketjumaisia ja kolmen tai neljän itiön muodostamia kimppuja.

Sädesienten kasvua rajoittavista tekijöistä tärkein on vesistöjemme alhainen lämpötila. Sädesienten kehitykselle optimilämpötila olisi 27 °C. Itiöiden itämiseen tarvittava minimilämpötila on 15 °C ja hajua aiheuttavia aineenvaihdunnan tuotteita alkaa kehittyä lämpötilan noustessa 17 °C:een. Alle 7 °C lämpötila estää sädesienten kaikkien kehitysvaiheiden kasvun.

Jo sädesienten esiaste voi aiheuttaa kalamaista, ruohomaista tai perunalaarin hajua, mutta vasta sekundaariasteen hajottaessa planktonleviä syntyvät varsinaiset voimakkaat ummehtuneen mullan ja maan hajut.

Veteen hajua aiheuttavien sädesienten ei välttämättä tarvitse olla vesimuotoja, vaan myös rannalta huuhtoutuneet sädesienet voivat olla syynä ilmeneviin hajuhaittoihin.

Jotkut hajua aiheuttavista aineenvaihdunnan tuotteista on tunnistettu alkoholeiksi, aldehydeiksi, ketoneiksi, estereiksi ja hapoiksi. Useat sädesienet ja myös sinilevät tuottavat voimakkaasti maatuneen hajuista geosmiinia. Streptomyces-sädesienten on todettu puolestaan tuottavan homeenhajuista mukidonia, jonka hajukynnysarvo puhtaana on 300 miljoonaa.

3.1.7 Epäorgaaniset aineet

Metallit

Vesissä esiintyvistä metalleista yleisimmät ovat rauta, mangaani, natrium, kalium, kalsium ja magnesium. Metalleilla ei ole olennaista hajua yleensä niissä konsentraatioissa, joissa ne esiintyvät

vedessä. Sen sijaan maku saattaa olla hyvinkin selvä.

Metalleista rauta ja mangaani ovat yleisimmät makuhäiriöiden aiheuttajat.

Varsinkin maamme pohjavesissä esiintyy yleisesti rautaa ja mangania. Suurimmat rautapitoisuudet, jotka on todettu kaivovesissä, ovat olleet suuruusluokkaa 100 mg/l. Kahden Suomen kaupungin pohjavedenottamon rautapitoisuus on kohonnut arvoon 70 mg/l. Varsin yleisiä ovat pitoisuudet alle 5 mg/l. /7/ Kaupunkiliiton antamien raakaveden laatuvaatimusten mukaan raakaveden rautapitoisuus ei saisi olla suurempi kuin 2 mg/l.

Vesijohtoveden rautapitoisuuden tulisi puolestaan olla alle 0,3 mg/l lääkintöhallituksen antamien alempien raja-arvojen mukaan.

Pohjavesien mangaanipitoisuudet ovat yleensä pienemmät, tavallisesti alle 1 mg/l. /7/ Edellä mainittujen vaatimusten mukaan raakaveden mangaanipitoisuuden tulisi olla alle 0,5 mg/l ja vesijohtoveden mangaanipitoisuuden alle 0,1 mg/l.

Pintavesissä rauta ja mangaani ovat yleensä sitoutuneet kompleksina muihin yhdisteisiin, pääasiassa humusaineisiin /7/.

Muut epäorgaaniset aineet

Epäorgaanisia yhdisteitä, jotka aiheuttavat veteen haju- ja makuhäiriöitä ja jotka yleensä joutuvat vesistöihin jätevesien mukana, on mainittu jätevesistä aiheutuvien haju- ja makuhaittojen yhteydessä.

Taulukossa 5 seuraavalla sivulla on esitetty neuvostoliittolaisten standardien mukaiset organoleptiset pitoisuusrajat eräille epäorgaanisille aineille /30/.

Taulukko 5. Neuvostoliittolaisten standardien mukaiset organoleptiset pitoisuusrajat eräille epäorgaanisille aineille.

	mg/l
Kloridi Cl	350
Sulfaatti SO ₄	500
Rauta Fe	0,3
Mangaani Mn	0,1
Kupari Cu	1,0
Sinkki Zn	5,0
Jäännösalumiini Al	0,5
Heksametafosfaatti PO ₄	3,5
Tripolyfosfaatti PO ₄	3,5

3.2 Puhdistusprosessista johtuvat haju- ja makuhäiriöt

Kuten jo aikaisemmin on todettu, riippuu puhdistetun veden laatu olennaisesti raakaveden laadusta: mitä paremman laatuista käytävissä oleva raakavesi on, sitä paremmat mahdollisuudet on tehdä siitä joka suhteessa kelvollista juomavettä. Käytössä olevien vedenpuhdistusmenetelmien avulla voidaan huonostakin raakavedestä saada laatuvaatimukset täyttävää juomavettä, mutta tällöin siihen usein tulee runsaammasta kemikaalien käytöstä johtuen tyypillinen puhdistetun veden haju ja maku.

Puhdistuslaitoksen vedenottolaitteista voi joskus aiheutua veden organoleptisen laadun huonontumista. Vedenottokaivojen seinämiin saattaa ilmaantua leväkasvustoa, ja pikkukalat voivat joskus välpien läpi päästä prosessiin, jossa ne mädäntyessään aiheuttavat häiriöitä.

Vesilaitoskemikaaleista kloori aiheuttaa yleisimmin hajua ja makua puhdistettuun veteen. Varsinkin jos raakavedessä on jätevesien vaikutusta ja näin ollen se sisältää mm. typpi- ja fenolihydrideitä, ovat haju- ja makuhäiriöt hyvinkin mahdollisia. Reagoidessaan typpiyhdisteiden kanssa kloori aiheuttaa veteen typpi-trikloridityypistä hajua ja makua. Fenolien kanssa, kuten aikaisem-

min on mainittu, kloori muodostaa kloorifenoleita. Lisäksi on epäilty nestemäisen kloorin sisältävän epäpuhtauksina muita halogeeniyhdisteitä mm. bromiyhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä veden laadussa. Muista vesilaitoskemikaaleista sooda ja kalkki saattavat suurina annoksina antaa vedelle makua.

Jauhemaisesta aktiivihielestä, jota käytetään veden hajun ja maun parantamiseen, on todettu joskus liuenneen veteen epäpuhtauksia, jotka saattavat jossain määrin vaikuttaa veden organoleptiseen laatuun. On kuitenkin mainittava, että aktiivihieksen vaikutus veden laatuun yleensä on positiivinen.

Eräillä laitoksilla, joilla rautaa ja mangaania poistetaan ioninvaihtimilla, on ioninvaihtomassoista tullut veteen hyvinkin epämiellyttävää hajua ja makua.

3.3 Jakelujärjestelmästä johtuvat haju- ja makuhäiriöt /14/

Veden esteettiseen ja organoleptiseen laatuun jakeluverkossa saattavat vaikuttaa mm. seuraavat tekijät:

- johtotarvikkeet
- fysikaaliset ja kemialliset muutokset putkissa
- jakeluverkkoon päässeet ja siellä kehittyneet mikro-organismit

Johtotarvikkeet

Johtotarvikkeista aiheutuvat haju- ja makuvirheet johtuvat pääasiassa materiaalina käytetyn metallin, kuten raudan, kuparin ja sinkin, liukenemisestä veteen. Hollannissa on havaittu eräissä kaupungeissa, joissa vanhat talot ovat vielä lyijyputkilla varustettuja, lyijyn liukenemisen asteittaista lisääntymistä, mikä johtune raakaveden laadun muuttumisesta. Ilmiö on merkinnyt paitsi veden laadun huonontumista myös terveydellisiä ongelmia.

Eräiden muoviputkien on myös todettu antavan vedelle hajua ja makua. Syynä tähän ovat muoviraaka-aineen sisältämät haihtuvat ja siten veteen joutuvat orgaaniset aineet.

Putkien vuorauksesta ja säiliöiden eristyksistä veteen voi tulla lähinnä bitumimaista makua.

Fysikaaliset ja kemialliset muutokset.

Vesilaitostoiminnan yhteydessä syntyy johtojen sisäpinnoille kerrostumia, jotka johtuvat veden sisältämien aineiden, kuten mm. kalsiumin, raudan ja mangaanin, saostumisesta. Saostumien muodostumiseen vaikuttaa mm. veden kovuus ja virtausnopeus. Saostuminen on runsainta verkon vedenjakaja-alueilla, missä virtausnopeus on lähes olematonta. Aika-ajoin saostumat saattavat lähteä liikkeelle varsinkin virtausolosuhteiden muuttuessa, jolloin veden sameus lisääntyy ja myös organoleptinen laatu voi muuttua. Veden hygieeniseen laatuun saostumat eivät yleensä suoranaisesti vaikuta, mutta ne kuluttavat vedessä olevaa jäännösklooria, jolloin myös veden hygieeninen laatu saattaa huonontua. Putkien pinnalle muodostuvat saostumat vaikuttavat alentavasti veden pH-arvoon putken ja veden rajakerroksissa ja edistävät siten kemiallista korroosiota.

Veden nautittavuuteen vaikuttaa olennaisesti sen lämpötila. Mitä kylmempänä vesi pystytään kuluttajille tarjoamaan, sitä miellyttävämmän makuista se on. Näin ollen lähes tasalämpöistä pohjavettä käyttävät laitokset ovat edullisemmassa asemassa kuin pintavesilaitokset, joiden raakavedenkin lämpötila saattaa nousta yli 20 °C:een kesäaikana, jolloin raakaveden laatu muutoinkin on useasti huonompaa.

Veden vaihtuvuus putkissa vaikuttaa myös veden makuun. Alueella, jossa kulutus on pientä ja jossa on paljon umpipääjohtoja, veteen tulee helposti ummehtunut maku.

Vesijohtoverkon ikä vaikuttaa luonnollisesti myös siinä kulkevan veden laatuun, ja useilla alueilla onkin ryhdytty vanhan putkiverkon uusimiseen tai täydelliseen kunnostamiseen toisaalta putkien huonon kunnan vuoksi mutta osittain myös veden laadun parantamiseksi.

Mikro-organismit

Mikro-organismeja voi päästä jakeluverkkoon mm. seuraavista syistä:

- Eri vedenkäsittelyvaiheiden läpi pääsee verkkoon kulkeutumaan eläviä organismeja. Tämä on mahdollista varsinkin pikasuodattimien vastavirtahuuhtelun jälkeen sekä hidassuodattimien ensimmäisinä käyttöpäivinä suodattimien mekaanisen puhdistuksen jälkeen.
- Vesisäiliöiden ilman välityksellä.
- Putkivaurioiden ja niihin liittyvän paineenlaskun seurauksena.
- Huoltotöiden yhteydessä.

4. VEDEN HAJU- JA MAKUTESTIT

Veden organoleptisen laadun standardoituna tutkimusmenetelmänä on esitetty esim. vesianalyysin ohjekirjassa "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" hajun ja maun kynnykskoe sekä siihen liittyvä hajun ja maun tyyppin määrittäminen.

Kynnyksarvomenetelmässä laimennetaan tutkittavaa näytettä hajuttomalla ja mauttomalla standardivedellä niin paljon, että näytevedessä esiintyvä haju ja maku on katoamassa havaitsemattomaksi. Standardivesi vastaa organoleptisiltä ominaisuuksiltaan ihannevettä paikallisissa olosuhteissa. Hajun tai maun kynnyks on viimeisessä laimennoksessa, josta haju tai maku on vielä havaittavissa. Kynnyksen numeroarvo saadaan jakamalla laimennoksen tilavuus siinä olevan alkuperäisen näytteen tilavuudella eli

$$\text{kynnyksarvo} = \frac{a + b}{a}$$

a = näyteveden tilavuus
b = laimennusveden tilavuus

Kynnyksarvojen lisäksi hajun ja maun tyyppi on määrittämissä olennainen tekijä, ja se pyritään ilmaisemaan mahdollisimman tarkoin. Tähän voidaan käyttää tunnusomaisia määreitä, kuten homemainen, multamainen, ummehtunut jne.

Eri tyyppiset hajut ja maut vedessä ärsyttävät yleensä vedenkuluttajaa eri tavoin. On tyyppisiä, joita pidetään veteen luontaisesti kuuluvina, kuten savimainen ja multamainen, ja näihin eivät kuluttajat suurienkaan kynnyksarvojen vallitessa kiinnitä suurempaa huomiota. Sen sijaan tyyppit, jotka ovat luonnon vesille vieraita, herättävät käyttäjissä epäilyksiä veden terveydellisestä laadusta jo alhaistenkin kynnyksarvojen vallitessa. Tällaisia ovat mm. kloorifenolimainen ja öljymäinen haju- ja makutyyppi.

Hajun kynnyksmäärittämissä ja tyyppin kuvauksen lisäksi kuuluu standardimenetelmään vielä hajun intensiivisyyden arviointi suoraan haistamalla laimentamatonta näytettä sekä kuumana (60 °C) että kylmänä (20 °C). Intensiteetin asteikoksi otetaan esimerkiksi testaajan arviointi, miten haju on havaittavissa ja miten vettä

käyttävän yleisön otaksutaan siihen reagoivan, esim. seuraavasti:

- 0 Ei havaittavissa
- I Ainoastaan kokeneen ja herkkäaistisen huomioitsijan havaittavissa
- II Tavallisen kuluttajan havaittavissa, jos hänen huomiotaan kiinnitetään siihen
- III Helposti havaittavissa ja saattaa aiheuttaa valituksia
- IV Voimakas, tekee juomaveden nauttimisen vastenmieliseksi
- V Kuvottava, tekee veden nautittavaksi kelpaamattomaksi

Standard Methods'in mukaan testit suorittaa viiden hengen tehtävään koulutettu ryhmä.

Edellä kuvattu kynnsarvomääritys on käytössä ainoastaan maamme suurimmilla laitoksilla. Yksinkertaisempi ja tavallisempi tapa on haistaa ja maistaa vettä sellaisenaan juomalasista ja antaa siitä henkilökohtaisen mielipiteen mukainen arvostelu. Tällaista laadun määrittystä tekevät useinkin tehtävään kouluttamattomat vesilaitoksen puhdistusprosessin teknistä valvontaa päätehtävään suorittavat henkilöt.

Kahdella eri laitoksella määritetyt kynnsarvot eivät ole keskenään vertailukelpoisia, sillä koulutetutkin maistajat tottuvat oman laitoksensa veden tyypillisiin hajuihin ja makuihin ja jos heidän laitokseltaan viedään vettä toisen laitoksen koulutetuille maistajille arvosteltavaksi, nämä saattavat erottaa siinä hyvinkin voimakkaana nuo tyypilliset hajut ja maut. Sen sijaan puhdistamon sisäisessä käyttötarkkailussa kynnsarvomääritykset ovat tarpeellisia, varsinkin kun raakaveden laadussa tapahtuu suuria muutoksia.

Esimerkkinä siitä, miten erilaisia kynnsarvoja eri paikkakuntien maistajat saavat samasta vedestä, voidaan mainita Helsingin ja Kuopion välinen tapaus: Kuopiosta lähetettiin Helsinkiin mais-

tettavaksi Kuopion vettä ja samanaikaisesti Kuopion omat maistajat suorittivat vastaavat määritykset Kuopiossa. Kuopiolaisten kynnyсарvot olivat jatkuvasti suurempia, joskus jopa kymmenkertaisia.

Näyte	Pitkäkoscilla määritetty Kuopion veden kynnyсарvo	Kuopiossa määritetty kynnyсарvo
Raakavesi 7.9.1970, haju	7	120
Johtovesi 7.9.1970, haju	6	40
Johtovesi 7.9.1970, maku	6	40
Raakavesi 15.9.1970, haju	8	20
Johtovesi 15.9.1970, haju	8	20
Johtovesi 15.9.1970, maku	9	30

5. VEDEN HAJU- JA MAKUHÄIRIÖIDEN ENNALTAEHKÄISY JA POISTO

Kuten aikaisemmin on esitetty raakavedessä olevat aineet tai sen laadussa tapahtuvat eräät muutokset voivat aiheuttaa juomaveteen haju- ja makuhäiriöitä. Niitä voi syntyä puhdistusprosessissa ja vaikka veden organoleptinen laatu laitokselta lähtiessä olisi täysin moitteetonta, erilaiset fysikaaliset, kemialliset ja biologiset muutokset jakelujärjestelmässä voivat vielä huonontaa veden organoleptistä laatua.

Vedessä esiintyvien haju- ja makuvirheiden ennaltaehkäisevä toiminta keskittyy pääasiassa vesistössä suoritettaviin toimenpiteisiin, joskin huolellisella vedenpuhdistuslaitoksen ja jakelujärjestelmän suunnittelulla, käytöllä ja hoidolla voidaan jossain määrin estää haju- ja makuvirheiden syntymistä. Varsinaisia poistotoimenpiteitä voidaan suorittaa sekä vesistössä, laitoksella että jakelujärjestelmässä.

Taulukossa 6 on esitetty menetelmiä epämiellyttävien hajujen ja makujen syntymisen ehkäisemiseksi sekä niiden poistamiseksi.

5.1 Vesistössä suoritettavat toimenpiteet

Ennaltaehkäisevien toimenpiteiden merkitystä vesistössä suoritettavista toimenpiteistä on syytä korostaa. Järkevällä raakavesilähteen valinnalla ja suojauksella sekä vedenottokohdan valinnalla pystytään useasti haittojen syntymisen estämään. Jos näistä toimenpiteistä huolimatta raakaveden organoleptisessä laadussa esiintyy häiriöitä, voidaan vesistössä suorittaa myös varsinaisia torjuntatoimenpiteitä, joita ovat mm. levien torjunta ja vesikasvien poisto sekä veden happitilanteen parantaminen. Nämä toimenpiteet ovat parhaillaankin ainoastaan ensiaputoimenpiteitä ja edellyttävät onnistuakseen, että veden laadun huononemiseen vaikuttavat tekijät pyritään poistamaan. Onnistuakseen em. toimet vaativat raakavesilähteenä käytettävän vesistön säännöllistä tarkkailua.

Taulukko 6. Menetelmiä juomavedessä esiintyvien epämiellyttävien makujen ja hajujen syntymisen estämiseksi ja poistamiseksi /3/.

Menetelmät	Makua ja hajua tuottavien aineiden laatu	Käsittelyprosessi
Saastuminen kontrollointi	Kaikki aineet lukuunottamatta muuttomuutta	Saastumisen vähentäminen, jätevesien käsittely, raakaveden ottokohdan sijoitus
Mekaaninen	Levät ja vesikasvusto sekä bakteerikasvustojen aiheuttama lima	Orgaanisen aineksen poisto, jaksottainen kasvuston hävittäminen, jaksottainen suodatintien ja altaiden pesu, verkoston huuhtelu
Haihduttaminen	Haihtuvat öljyt Haihtuvat kemikaalit	Ilmastus, laajat pinta-alat altaissa
Adsorptio.	Metallit Öljy Monet org.kemikaalit	Rauta- tai alumiinisulfaatti koagulationissa, pulverimainen aktiivihili tai raemainen aktiivihili suodattimessa
Desinfiointi	Levät, sienet bakteerit	Kuparisulfaattikäsittely raakavedessä, klooraus käsittelyssä, kloramiinijakelujärjestelmässä
Ilapetus	Rauta ja mangaani Orgaaniset kemikaalit Biomassa	Kontakti ilman hapen kanssa, klooraus, klooriridioksidi, kaliumpermagnaatti, otsonointi, biologinen käsittelyprosessi
Miedontaminen	Mineraalit Kaikki aineet johonkin asteeseen	Vähemmän suolaisella tai puhtaammalla vedellä laimentaminen

5.1.1 Raakavesilähteen valinta ja suojaus

Raakavesilähdettä valittaessa on kiinnitettävä huomiota paitsi vesilähteen riittävyteen, myös veden laatuun ja siinä odotettavissa oleviin muutoksiin. Mikäli alueella on riittävästi sekä pinta- että pohjavettä, on pohjaveden käyttö yleensä suositeltavampaa. Pohjaveden eduista (huomioiden veden haju- ja makutekijät) pintaveteen verrattuna voidaan mainita mm. seuraavaa: /14/

- pohjaveden laatu on yleensä vuodenaajoista riippumatta lähes muuttumatonta
- pohjavesien sisältämä mikro-organismien määrä on tavallisesti pienempi kuin pintavesien
- pohjavesi on kesällä pintavettä viileämpää
- pohjavesi ei yleensä ole yhtä altista likaantumiseen kuin pintavesi

Pintavedessä esiintyvät haju- ja makuhäiriöt ovat useimmiten seurausta jätevesien vaikutuksesta ja vesistön rehevöitymisestä. Pohjavedessä aiheuttajana on taas useimmiten maaperän likaantuminen jätevesien, öljyjen ym. vaikutuksesta.

Vesilaissa on veden laadun turvaamiseksi annettu vesistön yleinen pilaantumiskielto. Tämän yleisluonteisen määräyksen lisäksi laki tarjoaa mm. mahdollisuudet suoja-alueen muodostamiseen vedenottamon ympärille.

Varsinkin pohjavesialueilla on järkevää perustaa suoja-alue, jonka tarkoituksena on taata maaperän puhdistuskyvylle riittävästi aikaa poistaa veteen päässeet lika-aineet. Tätä varten pohjaveden muodostumisalue jaetaan eriasteisiin suojavyöhykkeisiin, joilla voidaan sallia sitä suurempia likaantumisriskejä aiheuttavaa toimintaa mitä pitemmän virtausajan päässä vedenottamolta ne sijaitsevat. Pintavedenottamon yhteydessä pyritään likaantuminen estämään asutuksen, teollisuuden ja liikenneväylien rakentamisrajoituksilla sekä järkevällä viemäroinnillä.

5.1.2 Vedenottokohdan valinta

Käytettäessä pintavettä raakavetenä on vedenottokohdan ja -syvyyden oikealla valinnalla huomattava merkitys veden organoleptiseen laatuun.

Vedenottopaikan valintaan vaikuttavat mm. virtausolosuhteet, pohjan laatu sekä vedensyvyys.

Vedenottosyvyyttä valittaessa on syytä muistaa, että päällysvedessä esiintyvät mikro-organismit, lähinnä levät, saattavat aiheuttaa veteen haju- ja makuhäiriöitä. Jos alusveden ja päällysveden lämpötilojen ero kesällä on suuri, merkitsee lämpötilan lasku harppauskerroksessa huomattavaa veden viskositeetin kasvua. Näin ollen kuolleen orgaanisen aineksen laskeutumisenopeus pieneneekin tällaisessa tapauksessa siinä määrin, että kuollutta ainesta esiintyy harppauskerroksessa runsaammin kuin muualla vesipatsaassa. Tämä puolestaan voi johtaa siihen, että haju- ja makuilmiötkin keskittyvät harppauskerrokseen.

Mikäli vedenotto suunnitellaan tapahtuvaksi alusvedestä, josta tasalämpöisemmän veden saanti ympäri vuoden olisi varmempaa, on kiinnitettävä huomiota mahdollisiin mangaanihaittoihin, joita voi syntyä alusveden happipitoisuuden laskiessa. Mikäli hapen loppuminen alusvedestä johtaa myös pohjalietteen yläpinnan pelkistymiseen, liukenee mangaania välittömästi tästä veteen. Suurinta harmia siitä aiheutuu jakeluverkossa, jossa putkien seinämiin kerrostunut mangaani liikkeelle lähtiessään muuttaa veden läpinäkyvämmäksi ja usein hajoavan bakteerimassan johdosta pahan hajuiseksi.

Vedenotto olisikin järjestettävä siten, että vedenpuhdistamon raakavetenä voitaisiin käyttää sekä päällysvettä että alusvettä riippuen siitä, kumman laatu kulloinkin on parempaa. Ainoastaan tilavuudeltaan suurissa, vähäravinteisissa altaissa, joissa happi-tilanne ei pohjalietteen läheisyydessä milloinkaan muodostu kriittiseksi, voidaan vesi jatkuvasti ottaa viileämmästä alusvedestä.

Esim. Espoossa on käytössä raakavesiputki, jonka avulla vedenotto-syvyyttä voidaan vaihdella (ks. kohta 6.2.4.1).

5.1.3 Raakaveden laadun tarkkailu

Raakaveden laadun säännöllisellä ja asianmukaisella tarkkailulla voidaan ennakoida äkilliset veden laadun häiriöt ja täten tehdä mahdolliseksi tarvittavien torjuntatoimenpiteiden ajoissa suorittaminen sekä vesistöissä että laitoksella.

Pohjaveden laadun jatkuva tarkkailu on tarpeen varsinkin silloin, kun on erityistä syytä pelätä, että öljyä tai veden mukana kulkevia haju- ja makuaineita voi päästä esiintymään, kuten esim. pohjavesiesiintymän sijaitessa osaksikin asutuksen tai teollisuusalueiden alla. Tarkkailu on yksinkertaisinta suorittaa ottamalla näytteet vedenottamolta ja ympäröivistä havaintoputkista. Näytteenottovälien pituus riippuu luonnollisestikin pohjavesiesiintymän sijainnista ja suojauksesta.

Pintaveden laadun tarkkailussa vesinäytteiden ottotiheys riippuu myös vesistöistä ja vedenottoaikan sijainnista siinä. Tarkkailu olisi ulotettava myös varsinaisen vedenottoalueen yläpuolelle, varsinkin jokivesistöissä, jossa haitalliset aineet saattavat äkillisesti esiintyä keskimääräistä suurempina pitoisuuksina.

Vesistöissä, joissa esiintyy kesäisin voimakasta leväkasvustoa, ovat säännölliset biomassan määritykset tarpeen. Täten voidaan tehokkaasti ennakoida mahdolliset, tulevat haju- ja makuhäiriöt ja ryhtyä torjuntatoimenpiteisiin ennen levien massaesiintymistä.

Mikäli laitoksen raakavedenottosysteemi on sellainen, että vedenotto-syvyyttä voidaan muuttaa, on vesimassan vertikaalisesti tapahtuva laadun tarkkailu tarpeen. Tällöin voidaan vedenotto suorittaa syvyydestä, jossa vesi on parasta mahdollista ja täten välttää esim. levä- ja mangaanihaitat, kuten aiemmin on jo todettu.

5.1.4 Veden happitilanteen korjaaminen

Mikäli järven rehevöityminen on huonontanut raakavesialtaan happitilannetta niin paljon, että esim. edellä mainittuja mangaanihaittoja on ilmennyt, voidaan raakaveden laatua yrittää parantaa juoksuttamalla hapetonta alusvettä pois tai ilmastamalla järvi-allasta.

Hapeton alusvesi voidaan poistaa lappoperiaatteella, mikäli luusuassa tai jossain muussa kohdassa järveä on käytettävissä riittävän suuri korkeusero lapon toimintaa varten. Luonnollisen korkeuseron puuttuessa voidaan alusvesi poistaa pumppauksella, jolloin luusuaan rakennettavan padon ei tarvitse olla painetta kestävä, koska padon kummallakin puolella veden pinta on samalla tasolla, mikäli pumppausteho pidetään samana kuin luonnollinen virtaama vastaavissa olosuhteissa.

Alusveden poisjohtamista suunniteltaessa on otettava huomioon toimenpiteen mahdolliset negatiiviset vaikutukset alapuoliseen vesistöön, missä ravinnepitoinen vesi joutuu päällysveteen ja voi aiheuttaa välittömästi perustuotannon kasvua.

Hapettoman järven veden laadun parantaminen ilmastamalla tai hapettamalla voi tapahtua joko purkamalla lämpötilakerrostuneisuus tai ilmastamalla alusvettä.

Lämpötilakerrostuneisuus voidaan purkaa kahdella eri tavalla: joko pumppaamalla vettä järvestä ja ilmastamalla sitä tai johtamalla veteen paineilmaa tai puhdasta happea. Tällöin pumput tai ilmakuplat saavat aikaan voimakkaita virtauksia, jotka poistavat kerrostuneisuuden. Menetelmällä saavutetut tulokset ovat olleet jossain tapauksissa negatiivisia pumppujen sekoittaessa veteen runsaasti happea kuluttavaa pelkistynyttä vettä tai jopa pohjalietettä.

Kerrostuneisuuden murtamista on käytetty Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa vesilaitosten raakavesialtaissa veden laadun parantami-

seksi. Suuremmissa altaissa on menetelmällä saavutettu parempia tuloksia kuin pienvesissä. Veden laatu on parantunut, ja vain muutamassa tapauksessa on todettu lämpötilan kohoamisen ja ravinteiden mobilisaation aiheuttaneen leväkasvuston lisääntymistä. Raudan ja mangaanin pitoisuus on laskenut.

Alusveden happitilannetta voidaan parantaa ilmastamalla kerrostuoneisuutta murtamatta, jolloin vältytään kierron aiheuttamilta haitoilta. Menetelmästä on kehitetty useita teknisiä sovellutuksia, joista mainittakoon mm. Limnox-, Vyrecip- ja Electrolux-menetelmät. Veden lämpötila ei kohoakaan eivätkä alusveden kasviraivon teet pääse planktonituotannon käyttöön. Lisäksi joudutaan käsittelemään pienempää vesimäärää, koska päällysveteen ei tarvitse kiinnittää huomiota. /21/

5.1.5 Levien torjunta

Kuparisulfaatin käyttö

Levien torjunnassa yleisimmin käytetty algisidi on kuparisulfaatti, $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Oikean annostuksen määrittäminen riippuu vesistöissä olevista levälajeista ja niiden määrästä. Torjunnassa olisi pyrittävä käyttämään pienintä tehollista väkevyyttä, jotta planktonyhteisössä aiheutuva ekologinen häiriö jäisi mahdollisimman pieneksi. Kirjallisuuden mukaan käytetyt pitoisuudet vaihtelevat alle 0,5 mg/l:stä yli 10 mg/l:aan. /27/ Yleensä tehokkaana koncentraationa levien torjunnassa pidetään 0,5 - 2,0 mg/l. /27/ Käsitteily olisi pyrittävä suorittamaan leväpopulaation logaritmisessä kasvuvaiheen alussa. Mikäli käsitteily suoritetaan vasta levien massaesiintymisen aikana, saattaa kuollut levämassa tukkia suodattimia ja aiheuttaa voimakkaita hajua- ja makuhäiriöitä johtovedessä. Organismien tuhoamiseen riittävät kuparisulfaattipitoisuudet on esitetty taulukossa 4.

Vaadittavan annostuksen määrään vaikuttavat veden lämpötila, pH, alkaliteetti ja liuennan orgaanisen aineen määrä. Lisäksi käsitteilyalueen laajuus ja muoto samoin kuin veden virtausnopeus ja

käsittelyn toistuvuus vaikuttavat tarvittavaan kuparisulfaattimäärään. Alhainen lämpötila vähentää kuparisulfaatin vaikutusta, mutta toisaalta tällaisissa lämpötiloissa leväkasvuston kehittyminen on vähäisempää. Kovissa vesissä joudutaan käyttämään suurempia kuparisulfaattipitoisuuksia kuin pehmeissä vesissä, sillä kovassa vedessä kupari reagoi nopeasti muodostaen vaikealiukoista kuparihydroksidia ja -karbonaattia.

Kuparisulfaatti on myrkyllistä muillekin organismeille kuin leville. Toksisuusrajaksi on esitetty mm. taimenelle 0,14 mg/l ja ahvenelle 0,75 mg/l. /27/ Käsittelyn yhteydessä sattuneet kalakuolemat ovat kuitenkin johtuneet pääasiassa siitä, että kuollut levämassa on tukkinut kalojen kiduksia ja että vedessä oleva liuennut happi on tilapäisesti vähentynyt kuolleen levämassan hajotessa.

Kuparisulfaatin levitys järvioltaisiiin suoritetaan tavallisesti ruiskuttamalla CuSO_4 -liuosta levityksessä käytettävän moottoriveeneen moottorivanaan. Tarvittavaa määrää laskettaessa otetaan huomioon korkeintaan 3-4 metrin vesikerros /14/. Vantaassa käsittely on laskettu yleensä 2 metrin vedensyvyyttä vastaavaksi.

Käsittelyjä on myös suoritettu vetämällä veneen perässä $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ -kiteillä täytettyjä säkkejä. Suuria alueita voidaan käsitellä myös lentokoneesta. Kiinteän kuparisulfaatin levittäminen suoraan veteen ei ole erikoisen tehokasta, koska osa aineesta vajoaa nopeasti pohjaan ja sitoutuu pohjalietteeseen. Näin ollen käytettäviä pitoisuuksia joudutaan nostamaan tehon parantamiseksi. Virtaavaan veteen kuparisulfaatin syöttö suoritetaan tavallisesti kiinteitä annostelupumppuja käyttäen.

Suomessa kuparisulfaattikäsittelylle tarvitaan poikkeuksetta vesioikeuden lupa. Myönnetyissä luvissa maksimikonsentraatiot ovat yleensä olleet 1,0 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ /l virtaavaan ja 0,5 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ /l virtaamattomaan veteen.

Kaliumpermanganaatin käyttö /27/

Levien torjuntaan on myös jonkin verran kokeiltu kaliumpermanganaattia.

Kaliumpermanganaatin on havaittu soveltuvan hyvin pienten Synura- populaatioiden tuhoamiseen. KMnO_4 :n leviin vaikuttavana konsentraationa on mainittu 1-5 mg/l, joihinkin viherleviin on jouduttu käyttämään kuitenkin yli 8 mg/l.

Vesilaitoksilla kaliumpermanganaattia käytetään hajujen ja makujen poistoon, mutta sen käytöstä itse raakavesialtaissa on vain vähän tietoja. Eräiden tutkimusten mukaan se soveltuu käytettäväksi levittämällä KMnO_4 -liuosta veteen tai vetämällä veneen perässä kiinteällä KMnO_4 :lla täytettyjä säkkejä.

Kaliumpermanganaatin etuina mainitaan muun muassa, että se hapettaa hajua ja makua aiheuttavien aineiden ohella myös muita orgaanisia yhdisteitä. Lisäksi sen korroosiovaikutukset ovat pienemmät kuin esim. kuparisulfaatin.

5.1.6 Vesikasvien torjunta

Vesikasvustoa hävittämällä ja uomia perkaamalla voidaan parantaa veden virtausolosuhteita, suurentaa vedensyvyyttä, estää mätänevien aineiden joutumista veteen ja vähentää ravinnepitoisuuksia.

Vesikasvien torjunnassa voidaan erottaa mekaaninen, kemiallinen ja biologinen torjunta.

Mekaaninen torjunta

Vesikasvien mekaanisella torjunnalla tarkoitetaan pääasiassa kasvien leikkaamista käsin sirppiä ja viikatetta käyttäen tai koneellisesti. Niissä maissa, joissa vesikasvit ovat aiheuttaneet vaikeita ongelmia, on kehitetty tarkoitusta varten erilaisia leikkuukoneita. Esim. Hollannissa on käytössä ruuhimainen vene, jonka keulaan on asennettu leikkuupuimurin kaatokelaa muistuttava pyörivä kehikko. Laitteen etuna on, että se kerää kaadetut kasvit veneeseen, josta ne on helppo siirtää maihin hävitettäväksi. /29/

Tsekkiläinen leikkuri käsittää teräsrakenteisen veneen siihen asen-

nettuine leikkuumekanismeineen ja ilmajäähdytteisine polttomoottoreineen. Laite on helppokäyttöinen ja sen tehoksi on ilmoitettu 0,2-0,6 ha/h vesikasvuston tiheydestä riippuen. /29/

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan leikatut vesikasvit kasvavat enemmän kuin leikkaamattomat. Näin ollen vesikasvustojen kurissa pitäminen vaatii ilmeisesti useita leikkauskertoja kasvukauden aikana. Repimällä kasvien juuristoja rikki voidaan uudelleenkasvua hidastaa. /15/

Vedestä poistetun kasvuston käyttö on eräs menetelmään liittyvä ongelma. Eräänä mahdollisuutena pidetään kasvien käyttöä rehuna. Toinen mahdollisuus on kompostointi. Mikäli vesikasvit poltetaan, on se suoritettava niin kaukana vesistöstä, ettei ole vaaraa ravinteiden huuhtoutumisesta takaisin vesistöön.

Kemiallinen torjunta

Kemiallisella torjunnalla tarkoitetaan vesikasvien myrkyttämistä. Tähän tarkoitukseen on käytetty mm. kloorattuja hiilivetyjä, ammoniumsulfanaattia ja natriumarseniittia. Useimmat herbisidit tehoavat ainoastaan tiettyyn vesikasvilajiin tai -ryhmään.

Vesikasvien kemialliseen torjuntaan liittyy useita haitallisia sivuvaikutuksia. Tällaisia ovat esim. yhdisteiden myrkyllisyys kaloille ja niiden taipumus kulkeutua luonnon biologisiin ravintoketjuihin. Kuollut kasvimassa saattaa käyttää hajotessaan niin paljon veden happivarjoja, että seurauksena on happikato. Näin ollen vesikasvien myrkytys on mielekästä ainoastaan, jos kasvit myrkytyksen jälkeen poistetaan vedestä.

Suomessa vesikasvien myrkyttämiseen vaaditaan poikkeuksetta vesioikeuden lupa. /15/

Biologinen torjunta

Biologisessa torjunnassa käytetään hyväksi kasvitauteja, lajien

välistä kilpailua tai kasveja syöviä kaloja, kotiloita, hyönteisiä ja nisäkkäitä.

Ruotsalaisessa Osbyjärvässä Djursholmin kaupungissa on kokeiltu vesikasvien vähentämistä istuttamalla järveen kasveja syövää ruohokarpia. Järvässä oli ennen kokeita runsaasti järviruokoa ja ärviää. Kalat vaikuttavat varsinkin ärviäkaskvustoon, koska ne repivät nuorta kasvustoa irti pohjasta juurineen. Vastaavia kokeita ruohokarpilla on tehty mm. Neuvostoliitossa, Englannissa ja USA:ssa /29/.

5.2 Laitoksella suoritettavat toimenpiteet

Pintaveden normaalilla käsittelyllä, saostus-selkeytys-suodatusprosessilla, pyritään vedestä poistamaan erilaisia liuennetta, kolloidisia ym. epäpuhtauksia. Tällöin vedestä poistuu myös useita hajua ja makua aiheuttavia tekijöitä. Näin ollen prosessin hyvä fysikaalis-kemiallinen toteutus onkin organoleptisiltä ominaisuuksiltaan hyvälaatuisen veden valmistuksen perusedellytyksiä. Mikäli kuitenkin puhdistetussa vedessä esiintyy hajua- ja makuvirheitä, voidaan prosessia pyrkiä tehostamaan erilaisilla hapetuskemikaaleilla tai adsorptioaineilla.

Pohjaveden normaaliin puhdistusprosessiin liittyy tavallisesti ilmastus, jolloin vedestä hiilidioksidin ohella saadaan poistetuksi erilaisia pelkistyneistä olosuhteista johtuvia kaasuja, kuten rikkivetyä ja metaania sekä metallien liuennetta muotoja, esim. ferro- ja mangaanoioneja, jotka muuten antaisivat vedelle hajua ja makua.

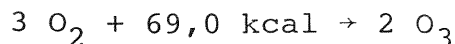
Seuraavassa esitellään lähemmin vedenpuhdistuksessa käytettyjä lisämenetelmiä, joiden avulla veden organoleptistä laatua pyritään parantamaan.

5.2.1 Otsonointi

Otsonoinnin ominaisuuksia

Otsoni on hapen allotrooppinen muoto, jonka molekyyllissä on kolme

happiatomia. Sitä syntyy seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti



Otsoni on normaaliolosuhteissa kaasu, jonka ominaispaine on 2,154 g/l. Se on siten noin puolitoista kertaa painavampaa kuin ilma. Otsoni liukenee veteen paremmin kuin happi, mutta koska sen osapaine kaasuseoksissa on yleensä pieni, saadaan sen konsentraatioksi vedessä vain muutamia milligrammoja litrassa.

Otsoni hajoaa helposti hapeksi. Hajoamisessa syntyvä happiatomi on erittäin reaktiokykyinen, mihin perustuu otsonin käyttö hapettimena.

Otsonin haju on erittäin voimakas ja pistävä. Hajukynnys lienee noin 0,02 ppm (= 0,04 mg O₃/m³ ilmaa). Pienissäkin O₃-kaasukonsentraatioissa hajuaisti turtuu helposti jo viiden minuutin oleskelun jälkeen, ja kun konsentraatio nousee yli 0,5 ppm, otsoni ärsyttää silmiä ja hengityselimiä sekä aiheuttaa päänsärkyä. /26/

Otsonin valmistus ja liuotus

Otsoni hajoaa niin nopeasti, ettei sitä voida siirtää paikasta toiseen, vaan se valmistetaan käyttöpaikalla tavallisesti ilman hapesta sähköpurkauksen avulla.

Tavallinen laitosmittakaavainen, ilmaa käyttävä otsonointilaitteisto koostuu seuraavista pääkomponenteista: /26/

- ilmakompressorit
- ilman esikäsitteilylaitteet
- otsonisaattori
- otsonin liuotusyksikkö

Otsonisaattoriin johdettavan ilman tulee olla mahdollisimman puhtaasta, kylmää ja kuivaa. Sen tähden ilman esikäsitteilyyn kuuluvat pölyn poisto suodattamalla, ilman esikuivatus jäähdyttämällä ja ilman lopullinen kuivaaminen adsorptiosuodattimissa. /26/

Otsonisaattorissa on elektrodit, jotka on kytketty korkeajännitteiseen vaihtovirtalähteeseen. Kulkiessaan elektrodien välissä otsonoitava ilma ionisoituu ja alkaa säteillä ultravioletivaloa samalla kun osa ilman hapesta muuttuu otsoniksi. Reaktio on voimakkaasti endoterminen. Otsonisaattoreiden hyötysuhde on huono, vain noin 30 %, ja tästä johtuen valtaosa energiasta vapautuu lämpönä elektrodieihin, joita joudutaan tämän vuoksi jäähdyttämään. /7/

Otsonisaattoreita on olemassa kahta perustyyppiä: levyotsonisaattoreita ja putkiotsonisaattoreita. Viime vuosina rakennetut suuret otsonisaattoriyksiköt ovat olleet pääasiassa putkiotsonisaattoreita.

Otsonisaattoreissa käytettävä jännite vaihtelee välillä 5 000 - 20 000 V ja jaksoluku on tavallisesti 50 Hz. /26/

Otsonin liuottamiseksi veteen on olemassa useita menetelmiä. Päämääränä on, että otsonin ja ilman seos saataisiin tasaisesti ja hienokuplaisena jaetuksi käsiteltävään vesimäärään. Tavallisimmin käytetään reaktiutilana 5-10 metrin korkuista kolonnia, joka mitoitetaan noin 10 minuutin viipymälle.

Otsonin annostus ja syöttökohdat

Otsonointi voidaan suorittaa joko esi- tai jälkiotsonointina. Esiotsonoinnissa annostus vaihtelee tavallisesti 4-6 mg O₃/l, ja syöttö tapahtuu raakaveteen ennen alkukemikalointia. Jälkiotsonoinnissa taas otsonoitava vesi otetaan joko ennen jälkikemikalointia tai sen jälkeen, ja annostus vaihtelee tavallisesti 1-2 mg O₃/l. /19/

Otsonoinnin eduista

Otsoni on puhdas hapetin, joka ei hapetuksen tapahduttua jätä jälkeensä hajua ja makua aiheuttavia sivutuotteita. Otsonin vaikutusta haju- ja makutekijöihin pidetään yleensä positiivisena. Mm. sinilevien aiheuttamien haittojen torjunnassa on saatu hyviä tuloksia, joskin taas joidenkin toistaiseksi tuntemattomien yhdisteiden

kohdalla tulos saattaa olla negatiivinenkin.

Otsoni tuhoaa bakteerit ja mahdollisesti myös virukset täysin, mutta se hajoaa vedestä nopeasti, joten jakeluverkkoon ei aina saada riittävää bakterisidistä suojaa. Tämän vuoksi otsonoitu vesi yleensä jälkikloorataan joko kloorilla tai klooridioksidilla ennen verkkoon pumppuamista.

Otsonoinnin eduista voidaan vielä mainita, että sen vaikutuksesta orgaaniset epäpuhtaudet muuttavat muotoaan suurelta osin ja että rauta- ja mangaaniyhdisteet saadaan hapetetuiksi poistettavaan muotoon.

5.2.2 Aktiivihiiilen käyttö

Aktiivihiilellä on voimakas kyky pidättää pinnalleen eli adsorboida vedestä kolloidisia ja liuenneita aineita sekä kaasuja. Tähän perustuu sen verrattain yleinen käyttö hajua ja makua parantavana aineena.

Hiilellä on jo luonnostaan hyvät adsorptio-ominaisuudet, mutta niitä voidaan huomattavasti parantaa ohjaamalla valmistusolosuhteita siten, että käsittelyn läpikäynyt "aktivoitunut hiili" on rakenteeltaan kuohkea, mahdollisimman paljon adsorboivaa pintaa sisältävä. Raaka-aineena käytetään yleisimmin puumaisia kasviaineita. Tarkoin valvottua liekkiöntä hiillyttämistä seuraa korkeassa lämpötilassa tapahtuva aktivointi ilmaa, höyryjä sekä erilaisia suoloja ja happoja käyttäen. On arvioitu, että yhdessä kuutiosenttimetrissä hyvää aktiivihiiiltä on adsorptiopinta-alaa lähes tuhat neliömetriä. /10/

Aktiivihiiiltä käytetään vedenpuhdistuksessa jauhemaisena, kemikaalien tavoin prosessiin syötettynä, tai hiilisuodattimissa rakeisessa muodossa.

Jauhemaisen aktiivihiiilen käyttö

Yleensä vesilaitoksilla suositaan jauhemaisen aktiivihiiilen käyttöä,

koska sen annostusta voidaan vaihdella raakaveden laadun vaihteluiden mukaan. Syöttömäärät ovat muutaman g/m^3 suuruusluokkaa ja saattavat nousta häiriöiden aikana meikäläisissä olosuhteissa 15-25 g/m^3 :aan. /7/ Riittävän pitkän kontaktiajan saavuttamiseksi (miniminä pidetään 60 minuuttia) aktiivihiihi syötetään laitoksella tavallisesti alkukemikaloinnin yhteydessä ja poistetaan prosessista selkeytyksen ja suodatuksen yhteydessä.

Ennen hiilen lisäystä suoritettua alkukloorauksen väitetään johtavan parempaan kokonaistulokseen hajujen ja makujen poistamisessa. sillä molekyylikooltaan suurempien orgaanisten yhdisteiden oletetaan hajoavan helpommin adsorboituviksi molekyyli-rakenteiksi.

Mikäli hiili syötetään prosessiin vasta hiukan ennen suodatusta, on vaarana, että hienojakoinen aines pääsee suodattimien läpi jakeluverkkoon.

Aktiivihiihili-suodatus

Aktiivihiihili-suodatuksessa rakennetaan rakeisella hiilellä täytetyt suodatinastiat, jotka sijoitetaan prosessissa hiekkapikasuodatuksen jälkeen. Suodattimien paksuus on tavallisesti 1-3 metriä. Veden ja hiilen kontaktiaika on yleensä 5-10 minuuttia suodatusnopeuden ollessa 10-30 m/h. Suodattimia pestään vastuksen noustua kuten muitakin painesuodattimia, mutta hiilen adsorptiokyvyn tulla loppuunkäytetyksi on suodatusmassa joko regeneroitava tai uusittava. Hiilen hajuja ja makuja vähentävä vaikutus on Suomen olosuhteissa voimakkaimmillaan suodattimen täytön jälkeisinä 3-5 viikkoina, minkä jälkeen se putoaa jyrkästi. /7/

On kuitenkin huomattava, että aktiivihiihili-laatu- ja adsorptio-ominaisuuksissa sekä rakenneominaisuuksissa on hyvinkin suuria eroja.

Myös avosuodattimissa hiekka voidaan korvata rakeisella aktiivihiihilellä. Kokeita tällaisella suodattimella on tehty mm. Helsingin kaupungin vesilaitoksella. Näitä kokeita selostetaan tarkem-

min kohdassa 6.2.1.6. Göteborgin vesilaitoksella on jatkuvassa käytössä mainitun tyyppisiä suodattimia.

5.2.3 Muiden adsorptioaineiden käyttö

Adsorptiohartsit ovat synteettisesti valmistettuja orgaanisia hartseja, joilla on voimakas orgaanisten aineiden adsorptiokyky. Rakenteeltaan ne muistuttavat ioninvaihtohartseja, mutta niiltä puuttuu ioninvaihtajille tyypillinen elektrolyyttinen luonne. Hartsien harva kolmiulotteinen molekyyliverkko tekee mahdolliseksi sisäpuolisen adsorption pinta-adsorption lisäksi. /7/

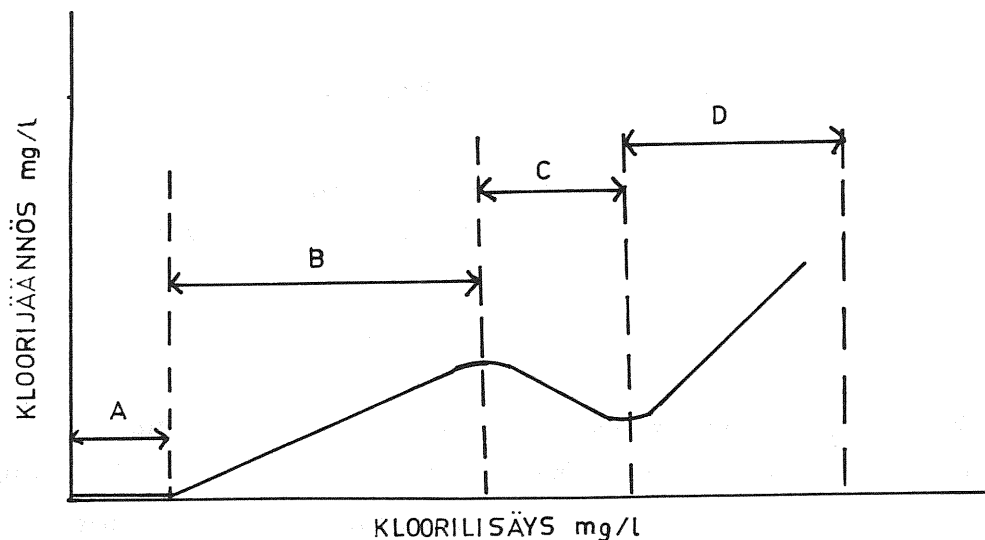
Adsorptiohartseja ei tiettävästi ole käytetty yhdelläkään laitoksella, mutta laboratoriomittakaavaisia kokeita on tehty, ja niiden mukaan hartsit poistavat vedestä tehokkaasti mm. fenoleja ja kloorifenoleja. /7/

5.2.4 Yliklooraus

Vaikka kloorin pääasiallisena tarkoituksena on veden desinfiointi, sillä on myös merkitystä veden haju- ja makuvirheiden poistamisessa sekä niiden syntymisen estämisessä. Kloorauksella voidaan mm. hävittää mikro-organismeja ja leviää altaista, suodattimista ja jakelujärjestelmästä. Lisäksi kloorin avulla voidaan hapettaa rauta- ja mangaaniyhdisteitä. Orgaanisten aineiden kanssa kloori saattaa muodostaa yhdisteitä, jotka jo pieninäkin pitoisuuksina aiheuttavat veteen hajua ja makua. Tällaisia aineita ovat esim. fenolit. Näiden kanssa kloori muodostaa kloorifenoleita, joiden hajukynnys vaihtelee 0.00001-0.02 mg/l /9/.

Kuva 4 esittää kloorin reaktioita vedessä olevien yhdisteiden kanssa. Alueella A tapahtuu suhteellisen nopeita hapetus-pelkistysreaktioita eikä veteen jää kloorijäännöstä. Alueella B kloorijäännös on pääasiassa ns. sidottua kloorijäännöstä, joka muodostuu orgaanisista klooriyhdisteistä ja kloramiineista. Nämä saattavat aiheuttaa veteen haju- ja makuvirheitä. Alueella C edellä mainitut yhdisteet hapettuvat, ja mahdolliset haju- ja makuhaitat osittain

häviävät, kunnes alueiden C ja D muutoskohdassa saavutetaan taitepiste. Alueella D lisääntyy kloorijäännös melko suoraviivaisesti. Kloorijäännös on tällöin lähinnä vapaata kloorijäännöstä. Ylikloorauksella tarkoitetaan alueella D tapahtuvaa desinfiointia. Tähän tarvittava kloorimäärä on yleensä vähintään kymmenkertainen verrattuna vedessä olevaan ammoniumin määrään.



Kuva 4. Taitepisteklooraus.

Ylikloorauksen jälkeen on vedessä yleensä vesijohtovedelle liian suuri kloorijäännös, joka alennetaan hyväksyttäviin rajoihin deklloorauksella. Tämä suoritetaan yleensä rikkidioksidilla.

Ylikloorauksen eräs muoto on taitepisteklooraus, jossa klooraus pyritään suorittamaan taitepisteen lähelle. Mikäli tässä onnistutaan hyvin, deklloorausta ei tarvita. On kuitenkin todettava, että Suomen vesissä on niin paljon hitaasti hapettuvaa orgaanista ainesta, ettei jäännöskloorin kehityksessä syöttöä lisättäessä useinkaan havaita mitään selvää taitepistettä. /14/

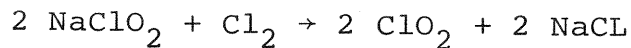
5.2.5 Klooridioksidin käyttö

Klooridioksidi, ClO_2 , on kellanvihreä, pistävän hajuinen, myrkyllinen ja helposti räjähtävä kaasu, joka liukenee erittäin hyvin veteen. Se ei reagoi kuten kloori ammoniakkin ja amiinien kanssa.

eikä siten menetä näiden läsnäollessa desinfioivaa vaikutustaan. Riittävän hygieenisyyssuojan antavina pitoisuuksina se ei ole niin voimakkaan hajuisen ja makuinen kuin kloori.

Klooridioksidi on 2,5 kertaa voimakkaampi hapetin kuin kloori ja sitä käytetään normaalin kloorauksen täydennyksenä vedessä esiintyvien hajujen ja makujen torjuntaan. Erityisesti fenolityyppisiä haju- ja makuhaittoja poistettaessa klooridioksidilla on saavutettu hyviä tuloksia, koska se ei muodosta kloorifenoleja.

Klooridioksidia valmistetaan yleensä käyttöpaikalla tavallisesti natriumkloriitista ja kloorista seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Natriumkloriittia on saatavissa 30 %:na vesiliuoksena ja 80 %:na valkoisena jauheena. Yleensä käytetty annostus on ollut suuruusluokkaa 0,2 - 2,0 mg ClO₂/l. Syöttö tapahtuu tavallisesti jälki-kloorauksen yhteydessä joko ennen hiekkasuodatusta tai sen jälkeen. /10/

Klooridioksidin valmistukseen on tarkoituksenmukaista hankkia myrkyasetuksen edellyttämä lupa. Tämän myöntää hakemuksesta Teknillinen tarkastuslaitos.

Klooridioksidia tuodaan Suomeen myös stabiloituna liuoksena, mutta korkeasta hinnasta johtuen sen käyttö on kannattavaa ainoastaan lyhytaikaisesti pienillä koelaitoksilla.

5.2.6 Kaliumpermanganaatin käyttö

Kaliumpermanganaatti KMnO₄ on tumman violetinruskea, kidepinnoiltaan metallihohtoinen suola. Liuetessaan se värjää veden voimakkaan violetiksi, mikä väri kaliumpermanganaatin hapetusvaikutuksen loppuessa häviää. Hapen luovutettuaan permanganaatti pelkistyy mangaanidioksidiksi (MnO₂) eli ruskokiveksi, joka saostumana eroaa vedestä.

Hapetusreaktio on edullisinta suorittaa lievästi alkaalisissa olo-
suhteissa, sillä erottuva mangaanidioksidi saostuu parhaiten pH:n
ollessa 8,0. /10/

Kaliumpermanganaattia käytetään orgaanisten aineiden hapettami-
seen, ja on esitetty, että sitä voidaan käyttää menestyksellisesti
myös leväkasvuston aiheuttamien hajua- ja makuhaittojen torjuntaan.
 KMnO_4 syötetään raakaveden ja annostus vaihtelee 0,2 grammasta
muutamaan grammaan kuutiometriä kohti raakaveden orgaanisen aineen
määrästä riippuen. /19/ Annosmääriä saattaa rajoittaa mahdolli-
suus, että muodostuva violetinpunainen väri menee läpi suodatti-
mista.

5.2.7 Hidassuodatus

Suodatettaessa pintavettä nopeudella 0,05 - 0,5 m/h /27/ muodostuu
hiekkakerroksen pinnalle ja päällimmäiseen hiekkakerrokseen enin-
tään muutaman senttimetrin syvyyteen ulottuva, biologisesti toimiva
kerros, suodatinkalvo, joka koostuu erilaisista bakteereista, le-
vistä ja alkueläimistä. Nämä käyttävät hyväkseen ja näin siis
pilkkovat veden mukana tulleita orgaanisia yhdisteitä. Tämän bio-
logisen toiminnan yhdessä mekaanisen puhdistusvaikutuksen, säh-
köisten muutosten, sedimentaation ja adsorption kanssa on todettu
vaikuttavan parantavasti veden hajua- ja makuominaisuuksiin.

Suodatinkalvossa tapahtuvat prosessit ovat aerobeja, ja ne kulut-
tavat siten happea ja tuottavat hiilidioksidia. Jos orgaanista
ainesta on liikaa, ei veden sisältämä happi riitä aerobisuuden
ylläpitämiseen, ja tällöin veden hajua- ja makuominaisuudet saatta-
vat jopa huonontua. Joskus on todettu hajua- ja makuhäiriöitä ai-
heuttavia leviä kehittyvän suodatinta peittävään vesikerrokseen
niin runsaasti, että niitä on tunkeutunut suodatinkalvon läpi, jol-
loin ne ovat aiheuttaneet veden laadun huonontumista.

Suodattimen materiaalina käytetään yleensä pestyä kvartsihiekkää,
jonka suurin raekoko on 2 mm. Suodatinhiekan valumisen estämiseksi
on hiekkakerroksen alapuolella suojakerros, joka muodostuu useista

kerroksista soraa raekoon ollessa 2 mm:stä nyrkinkokoiseen. Suojakerroksen alapuolella on putkisto, joka kerää veden kokoomaltaaseen. Keräilyputket ovat esim. huokoisia betoni- tai tiili-putkia. /24/

Suodatin voi olla joko kattamaton tai katettu. Kattamattoman suodattimen rakennuskustannukset ovat pienemmät, mutta käyttökustannukset suuremmat, sillä levän ja jään muodostuminen on runsaampaa.

Suodatin on puhdistettava, kun painekorkeus on kasvanut 0,2 - 0,5 m:iin vesipatsasta. Ruotsissa, jossa laitoksia on suhteellisen runsaasti, puhdistuskertojen väli on vaihdellut 1 viikosta 2-3 kuukauteen. Puhdistaminen tapahtuu laskemalla vesi pois suodattimesta ja kuorimalla pinnasta noin 2 cm. Kun suodattimesta on poistettu materiaalia noin 30 cm, se on korvattava uudella pesyllä hiekalla. Puhdistuksen jälkeen suodatin täytetään alhaalta-päin puhtaalla vedellä. /24/ Suomessa hidassuodatin on nykyisin toiminnassa Juvalla.

5.3 Jakeluverkossa suoritettavat toimenpiteet

Rauta- ja mangaanisaostumien aiheuttamat haitat voidaan ainakin tilapäisesti poistaa vesijohtoverkon huuhteluiden avulla. Apuna voidaan käyttää vaahtomuovisieniä, joita kuljetetaan puhdistettavassa putkiosuudessa paineen avulla. Lämpimitaltaan suuret putket voidaan myös puhdistaa mekaanisia kaapimia käyttäen, minkä jälkeen putken sisäpinta usein suojataan keskipakovaletulla betoni-laastikerroksella.

Putkirikkojen ja uuden jakeluverkon käyttöönoton yhteydessä suoritettavalla putkiston kloorauksella pyritään ennalta ehkäisemään veden hygieenisen laadun huononeminen.

Puhdistuslaitoksella suoritettavalla veden desinfioinnilla pyritään estämään mikrobien kasvu putkiverkossa. Riittävänä kloorijäännöksenä pidetään 0,2-0,5 mg/l. Kloorin vaikutusta viruksiin

ei tarkoin tunneta. Tasaisen kloorijäännöksen vallitessa on vaarana, että putkistoon kehittyy mikrobikanta, joka on täysin immuuni klooripitoiselle vedelle. Mikäli tällaista havaitaan, on mahdollista yrittää tuhota mikrobit ns. šokkikloorauksella.

Verkon järkevällä suunnittelulla, nimittäin pyrkimällä kiertojärjestelmän mukaiseen verkkoon, vältytään umpipääjohtojen aiheuttamalta veden laadun huononemiselta.

Jakeluverkon arin kohta bakteerien, levien ym. mikro-organismien kasvun kannalta ovat vesisäiliöt.

Vesisäiliöiden ilmanvaihto olisi suunniteltava siten, ettei pölyä eivätkä hyönteiset pääse tuloilman mukana säiliöön vedenkorkeuden alentuessa.

Huoltotoimenpiteitä vaativat laitteet tulisi sijoittaa siten, että turhaa liikkumista voitaisiin välttää vedenpinnan yläpuolisissa tiloissa.

Vesisäiliön tulisi olla pimeä, koska valon vaikutuksesta veteen saattaa muodostua sen laatua huonontavaa planktonlevästä.

Vesisäiliön sisärakenteet olisi suunniteltava siten, että vesi pääsee vaihtumaan kaikissa vesitilan osissa. Näin vältytään jälkisaostumilta ja vedessä olevan orgaanisen aineen hajoamisesta aiheutuvilta makuhäiriöiltä.

6. SUORITETTU KYSELY SUOMESSA

6.1 Yhteenveto

6.1.1 Yleistä

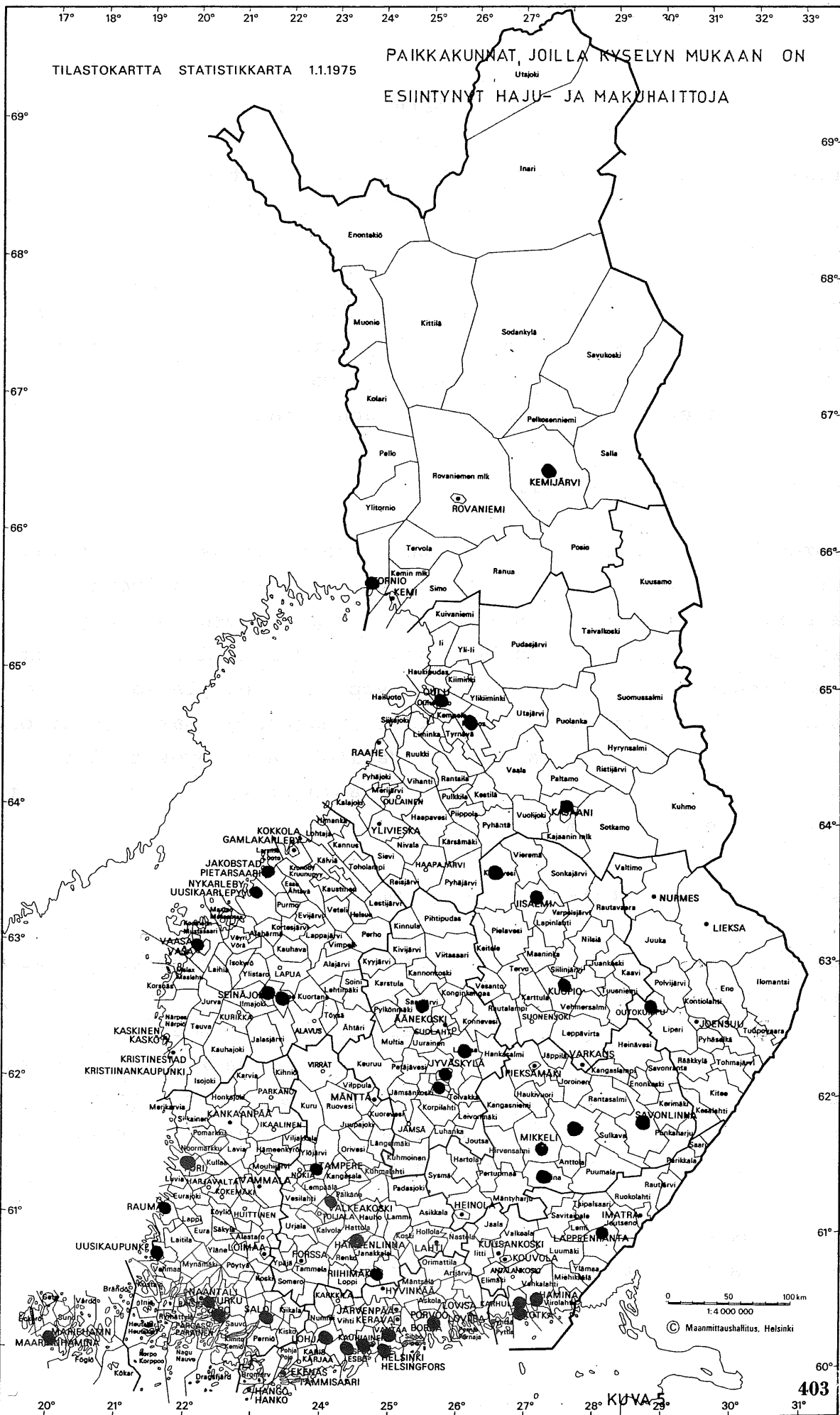
Tarvittavan aineiston hankkimiseksi käyttövedessä esiintyvien haju- ja makuhaittojen kartoitusta varten lähetettiin kyselykaavakkeet kaupunkien ja kauppaloiden vesilaitoksille sekä niihin maalaiskuntiin, joiden pintavesilaitos tuottaa vettä yli 200 m³/vrk. Lisäksi kaavakkeet lähetettiin puolustusministeriöön sekä Oy Suunnittelukeskuksen aluetoimistoihin. Kaikkiaan kaavakkeita lähetettiin 115 kpl, joista täytettyinä palautettiin 79, eli vastausprosentti oli 68,7. Käytetyt kyselykaavakkeet ovat liitteenä samoin kuin vastausten perusteella laadittu yhteenvetotaulukko.

Arvokasta lisätietoa tutkimusta varten saatiin haastatteleamalla henkilökohtaisesti alan asiantuntijoita ja suorittamalla tutustumiskäyntejä maan suurimmille vesilaitoksille.

6.1.2 Häiriöiden esiintyminen

43 kuntaa eli 54 % vastanneista ja 9 % kaikista maamme kunnista ilmoitti johtovedessä esiintyvän haju- ja makuhaittoja. Ilmoituksista 39 kpl koski pintavesilaitoksia ja ainoastaan 4 kpl pohjavesilaitoksia. Häiriöitä esiintyi satunnaisesti 15 laitoksella. Tiettyinä vuodenaikana, kuten kevättulvien aikaan tai loppukesästä, oli ongelmia 27 laitoksella. Ainoastaan 3 kuntaa ilmoitti jatkuvista haju- ja makuhäiriöistä. Ilmeisesti kyselyn luonne ymmärrettiin osittain väärin ja ilmoitettiin kunnassa esiintyneen haju- ja makuhaittoja ainoastaan, jos ne olivat olleet poikkeuksellisen voimakkaita. Sen sijaan jos käyttövedessä jatkuvasti esiintyi tietty haju tai maku, sitä ei aina katsottu häiriöksi.

Häiriöiden alueellinen jakaantuminen maassamme on esitetty kuvassa 5.



6.1.3 Häiriöiden voimakkuus

Häiriöiden voimakkuutta on arvosteltu sen mukaan, ovatko kuluttajat kiinnittäneet häiriöihin huomiota vai onko haitat havaittu ainoastaan laitoksen käyttötarkkailussa. Vastanneista 37 kunnan kuluttajat ovat valittaneet veden nautittavuudesta. Yleisin käytäntö on ollut tiedustella veden juomakelpoisuutta puhelimitse. Mikäli häiriöt ovat olleet erittäin voimakkaita, on paikallinen lehdistö usein puuttunut asiaan. 21 kunnassa on häiriöt havaittu ainoastaan laitoksen normaalissa käyttötarkkailussa. Muutamat kunnat ovat vastanneet, että haju- ja makuvirheet on havaittu sekä kuluttajien että laitoksen henkilökunnan taholta.

6.1.4 Haju- ja makutyypit

Suomen yleisin haju- ja makutyypin kyselyn perusteella on maaton, jota on esiintynyt 23 laitoksella. Tämä tyyppi on luonteenomainen matalille vesistöille. Homemaista tyyppiä, joka johtuu pääasiassa levistä, on ilmennyt 9 paikkakunnalla. Neljässä kunnassa on esiintynyt metallimaista makua. Jokin muu tyyppi kuin edellä mainitut on esiintynyt 24 laitoksella. Tällaisia hajuja ja makuja ovat olleet mm. kaislamainen ja kalamainen. Valituksia on myös tullut kloorin mausta. Useilla laitoksilla haju- ja makutyypin on vaihdellut esim. vuodenaikojen mukaan.

6.1.5 Aistinvaraiset haju- ja makutestit

Vastausten perusteella aistinvaraisia haju- ja makutestejä suoritetaan säännöllisesti 23 laitoksella, joista 17:llä on esiintynyt haju- ja makuhaittoja. Ammattitaitoisten vedenmaistajien suorittamia kynnysarvomäärityksiä tehdään kuitenkin jatkuvasti ainoastaan Helsingin kaupungin vesilaitoksella. Muualla haju- ja makutestit on liitetty normaaliin päivittäiseen käyttötarkkailuun yleensä ilman varsinaisten kynnysarvojen määrittämistä.

31 laitoksella suoritetaan haju- ja makutestejä aika ajoin esim. häiriön sattuessa. Kyselyyn vastanneista 25 laitoksella ei suori-

teta minkäänlaista tarkkailua. Näistä kuusi laitosta on kuitenkin sellaista, joissa esiintyy haju- ja makuhaittoja.

Testien suorittajina ovat olleet yleensä käyttötarkkailua suorittava laboratoriohenkilökunta tai laitoksen muu käyttöhenkilökunta. Yhdeksällä laitoksella on turvauduttu ulkopuolisiin maistajiin, lähinnä konsultteihin tai vesiensuojeluyhdistyksien laboratorioihin.

6.1.6 Suoritetut tarkemmat tutkimukset

Tarkempia tutkimuksia haju- ja makuhäiriöiden luonteen selville saamiseksi on suoritettu 24 kunnassa. Tutkimukset ovat olleet pääasiassa vesinäytteiden fysikaalis-kemiallisia tutkimuksia, joissa useinkaan ei ole pystytty määrittämään häiriön aiheuttajaa. Syyn selvillesaaminen vaatisi yleensä laajempia ja pitkäaikaisempia tutkimuksia. Muutamassa kunnassa on tehty raakavesilähteestä levämäärityksiä.

Puhdistuskokeita on suoritettu joko laboratorioissa, pienoiskoe-laitoksissa tai laitosmittakaavassa 12 kunnassa. Kokeita on tehty mm. aktiivihielellä, kaliumpermanganaatilla ja klooridioksidilla.

Lisäksi muutamassa kunnassa on kokeiltu otsonointia.

Pienehköjä kokeita kunnat ovat tehneet omissa laboratorioissaan. Suuremmissa ja vaativammissa tutkimuksissa on turvauduttu asiantuntija-apuun. Kaikkiaan 15 kunnassa on käytetty konsulttia. Lisäksi mm. Helsingin kaupungin vesilaitoksen vedentutkimustoimisto on suorittanut laajoja selvityksiä omien laitosten osalta ja Päijännehankkeen osalta.

Tutkimuksiin käytetystä rahasummasta ei kyselyn perusteella voida saada tarkkaa kokonaiskuvaa. Useimmissa kunnissa haju- ja makututkimusten kustannuksia ei ole eritelty muista tutkimuskustannuksista, ja näin ollen kunnat ovat joko arvioineet käytetyn rahamäärän tai eivät ole ilmoittaneet sitä ollenkaan. Ilmoitettujen tutkimuskustannusten kokonaissumma vuonna 1975 oli noin 300 000

markkaa, josta yksinomaan Helsingin osuus oli 250 000 markkaa. Todelliseksi käytetyksi rahamääräksi voitaneen arvioida noin 500 000 markkaa/vuosi koko maan osalta.

6.1.7 Haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi suoritettut toimenpiteet

6.1.7.1 Raakaveteen kohdistuneet toimenpiteet

Raakavesilähteeseen kohdistuneet toimenpiteet haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi ovat olleet melko harvinaisia. Ainoastaan 12 kunnassa on suoritettu jonkinlaisia toimenpiteitä haittojen eliminoimiseksi. Viidessä vastanneessa kunnassa on käytetty kuparisulfaattia levien torjuntaan ja ainakin kahdessa on lupahakemus valmisteilla. Kuparisulfaattikäsittely on ollut tehokasta, mutta se vaatii jatkuvaa leväkasvuston seurantaa, jotta käsittely voidaan suorittaa oikeaan aikaan.

Muista raakavesilähteeseen kohdistuneista toimenpiteistä mainittakoon veden varastointi laadun tasaamiseksi, veden ilmastus ja alusveden poisjuoksumus sekä jokivesistöissä huonolaatuisen veden ohijuoksumus. Niittämällä vesikasveja on myös saavutettu hyviä tuloksia pienissä, matalissa vesistöissä.

6.1.7.2 Puhdistusprosessiin kohdistuneet toimenpiteet

Puhdistusprosessiin kohdistuneista toimenpiteistä yleisin on ollut aktiivihiiilen käyttö. 17 kuntaa ilmoittaa käyttäneensä aktiivihiihtä, joskin joissakin kunnissa käyttö on ollut kokeiluluonteista ja se on lopetettu, koska vaikutus on ollut hintaan nähden verraten vähäistä. Joillekin laitoksille on hankittu aktiivihiiilen syöttölaitteet, ja niitä käytetään haju- tai makuhäiriön sattuessa.

Erilaisia hapettimia on käytetty 12 kunnassa, joista kaliumperman-ganaattia 7:ssä, klooridioksidia 6:ssa ja otsonia kahdessa kunnassa. Suomen ainoa jatkuvasti toiminnassa oleva otsonilaitos sijaitsee Lempäälässä. Toinen otsonilaitos on ollut toiminnassa vuosina 1973-

1975 Jyväskylän maalaiskunnassa Helsingin kaupungin vesilaitoksen tutkimustoimiston koelaitoksena Päijännehankkeeseen liittyen. Joissakin kunnissa on kokeiltu ja eräissä myös käytetään kahtakin hapetinta samanaikaisesti. Yleensä hapettimien käytöstä saavutetut tulokset ovat olleet positiivisia.

6.1.7.3 Jakelujärjestelmään kohdistuneet toimenpiteet

Kyselyyn vastanneista 45 kuntaa ilmoitti suorittavansa jakelujärjestelmään kohdistuvia toimenpiteitä. Näistä 10 kuntaa on sellaista, joissa ei ole esiintynyt haju- ja makuhaittoja. Yleisimmin käytetty toimenpide on ollut verkoston huuhtelu, jota on suoritettu 35 kunnassa. Huuhteluiden tarkoituksena on ollut usein myös rauta- ja mangaanisakkojen poistaminen putkistosta. Verkoston kloorausta on suoritettu 18 kunnassa vastanneista. Toimenpide on liittynyt usein uuden putkiston käyttöönottoon, putkirikkojen yhteyteen tai verkostossa esiintyneiden bakteereiden tuhoamiseen. Verkoston mekaanista puhdistusta on suoritettu ainoastaan kolmessa kunnassa.

Koko maassa on verkostoon kohdistuneita toimenpiteitä varmasti suoritettu huomattavasti enemmän.

Jakelujärjestelmään kohdistuneilla toimenpiteillä on haittoja pysytetty tilapäisesti torjumaan, mutta käsittely on aika-ajoin toistettava häiriöiden uudelleen ilmaantuessa.

6.2 Kuntakohtainen selvittely

Seuraavassa käsitellään yksityiskohtaisemmin eräitä maamme kuntia, joiden vesijohtovedessä on esiintynyt haju- ja makuhaittoja ja joissa on suoritettu puhdiskokeita häiriöiden eliminoimiseksi.

6.2.1 Helsinki

Helsingin kaupungin vesilaitoksella (perustettu v. 1876) on kaksi pintavesilaitosta, joista vanhempi, Vanhankaupungin laitos, on

peräisin 1920-luvulta ja uudempi Pitkäkösken laitos on valmistunut vuonna 1959. Vanhankaupungin laitoksen nimellisteho on 2 400 l/s, ja Pitkäkösken laitoksella on kaksi erillistä, rinnakkain toimivaa yksikköä, joiden kummankin teho on 1 200 l/s eli yhteensä 2 400 l/s. Molemmilla laitoksilla on käytössä alumiinisulfaattisaostus-selkeytys-suodatus-klooridesinfiointi-prosessi. Tämän lisäksi veteen lisätään klooridioksidia ennen vesijohtoverkkoon pumppuamista, ja alkukemikaloinnin yhteydessä on mahdollista syöttää veteen aktiivihiiltä tarpeen vaatiessa.

Molemmat laitokset käyttävät raakavetenään Vantaanjoen vettä, joka ei luonnontilassakaan ole aina ollut erityisen hyvää juomaveden raaka-aineeksi. Jo vuosisadan vaihteen tienoilla valitettiin juomavedessä olevan mm. kukkaruukun hajua. Asuma- ja teollisuusjätevesimäärän voimakkaasta kasvusta johtuen Vantaanjoen veden laatu alkoi 1940-luvulla nopeasti huonontua, ja seuraavan vuosikymmenen lopulla todettiin vesijohtovedessä fenolin ja leväkasvuston aiheuttamia häiriöitä.

Vesilaitoksen vedessä yleisimmin ilmenevät haju- ja makutyypit ovat kesällä esiintyvä homemainen tyyppi sekä vähävetisen talvikauden aikana esiintyvä tyypitrikloridityyppi, jonka aiheuttaa raakaveden korkea NH_4 -pitoisuus. Lisäksi raakaveden huonosta laadusta johtuen kloorihapetuksessa ja -desinfioinnissa mahdollisesti muodostuvat orgaaniset klooriyhdisteet tekevät kohtuullisenkin kloorijäännöksen (noin 0,5 mg/l) selvästi ja usein epämiellyttävänä havaittavaksi. Tällaisia tyyppejä ovat fenolimainen, bitumimainen ja tervamainen.

6.2.1.1 Kuparisulfaatin käyttö ja siihen liittyvä vesistön tarkkailu

Viimeksi on Helsingin vesijohtovedessä esiintynyt vuonna 1959 erittäin voimakas haju- ja makuhäiriö, jonka aiheuttivat Tuusulanjärvessä ja Vantaanjoessa esiintyneet voimakkaat sinileväkukinnot. Tästä pahasta häiriöstä lähtien on suoritettu säännöllistä leväkasvuston tarkkailua vedenottokohdassa ja kauempana vesistössä kasvuston todennäköisimmissä esiintymis- ja liikkeellelähtöpaikoissa.

Säännöllisen tarkkailun ansiosta voidaan tarpeen vaatiessa suorittaa vesistöissä tai Silvolan tekoaltaassa kuparisulfaattikäsittely ennen levien massaesiintymistä, jolloin sen vaikutus on tehokkain. Kuparisulfaatin lisäys virtaavaan veteen tai levitys järviin tapahtuu enimmäkseen ruiskutusvenettä käyttäen, mutta pari kertaa levitys on suoritettu myös koeluontoisesti lentokoneesta. Vesi-oikeudelta saatu lupa ko. toimenpiteeseen on ollut $1 \text{ mg CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/1$ virtaavaan veteen ja $0,5 \text{ mg CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/1$ virtaamattomaan veteen. Käsittelyä on suoritettu joka kesä vuodesta 1961 lähtien. Haitallisten levien kasvu on pystytty ko. toimenpiteellä hyvin torjumaan. Kasvuista aiheutuvat haju- ja makuhaitat on näin eliminoitu tai ainakin vähennetty tasolle, jolla ainoastaan ammattitaitoiset maistajat pystyvät ne havaitsemaan. Vedenkäyttäjien tai julkisen sanan taholta ei mainittavia valituksia ole tullut.

6.2.1.2 Laitoksilla suoritettavat haju- ja makututkimukset

Vuodesta 1960 lähtien on Helsingissä veden hajua ja makua säännöllisesti tarkkailtu. Kummallakin laitoksella on omat maistajansa. Näiden työnä on puhdistuslaitoksien prosessin päivittäiseen valvontaan liittyvät raakaveden hajun sekä puhdistetun veden ja verkostonäytteiden kynnsarvomääritykset, jotka tehdään Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater -käsikirjassa esitetyn menetelmän mukaisesti. Hajumääritykset tehdään sekä 20°C :ssa että 60°C :ssa, makumääritykset 20°C :ssa sellaisenaan sekä keittämällä kloorista vapautettuna. Hajun ja maun tyyppi ja intensiteetti määritetään myös. Lisäksi suoritetaan raakaveden, sekä Silvolan tekoaltaan että Vantaanjoen veden, suhteellisen etäällekin ulottuvaa hajutarkkailua. Tämän tarkoituksena on leväkasvun aiheuttamien haju- ja makuhäiriöiden ennakoiminen ja kasvustoon kohdistuvien torjuntatoimenpiteiden oikea ajoittaminen.

Lisäksi suoritetaan koko vesistöalueen fysikaalis-kemialliseen veden laadun tarkkailuun liittyviä hajumäärityksiä vesistön likaantumisen toteamiseksi ja nimenomaan jätevedenpuhdistamoiden purkuviesien vaikutusten ja mahdollisten satunnaisten likaantumisten ajoissa selville saamiseksi.

Haju- ja makumääriytykset ovat erittäin tärkeitä vedenpuhdistuskokeiden ja uusien menetelmien tulosten arvioinnissa. Nämä määriytykset on ulotettu, varsinkin Päijänne-projektin yhteydessä, raakaveden ottokohdan valinnasta lähtien eri puhdistusmenetelmien osaprosessien vaikutusten tutkimiseen.

6.2.1.3 Silvolan tekoallas veden laadun tasaajana

Vuosina 1960-62 rakennettiin Silvolan tekoallas raakaveden suurten laadunvaihteluiden ja virtaamamuutosten tasaamiseksi. Allas on rakennettu maan pinnanmuodostusta mahdollisimman tehokkaasti hyväksi käyttäen Silvolan kylässä olevaan laaksoon. Altaan pinta-ala on noin 50 ha, keskisyvyys 11 m ja vesitilavuus 5,4 milj. m³, mikä merkitsee noin kolmen viikon viipymää altaassa. Vesi johdetaan altaaseen sen alla kulkevasta kalliotunnelista, josta se purkautuu kolmen tulotornin kautta. Vedenotto tapahtuu kahdesta ottotornista.

Tulotorneissa vesi nostetaan vedenottamon pumpuilla tasolle + 42,00. Sen jälkeen se johdetaan ylivuotona tulosuuttimiin. Näillä tulojärjestelyillä saadaan altaassa aikaan kierrätystä, mikä puolestaan estää kerrostuneisuuden muodostumisen. Kierrätyksen tehostamiseksi juoksutetaan Silvolasta ylimäärin vettä, joka pumpataan vedenottamon kautta takaisin tekoaltaaseen. Lisäksi kesäaikaan on Silvolassa käytössä Nokian ilmastin, jolla myös pyritään estämään kerrostuneisuuden muodostuminen. Ottotornien eri korkeuksilla on neljässä suunnassa vedenottoaukkoja, joita voidaan käyttää vaihdellen. Pystykierron aikaansaamiseksi vettä otetaan myös ottotornien tyhjennysputkien kautta.

Vuonna 1965 valmistui raakavesitunneli Silvolasta Vanhankaupungin laitokselle, jonne vuonna 1972 valmistui kalliosäiliöt. Näiden avulla laitoksella voidaan toteuttaa ns. pitkä kontaktiaika. Veden viipymä laitoksella on nykyään 10-15 tuntia ennen vesijohtoverkkoon pumppaamista.

6.2.1.4 Veden organoleptisen laadun muuttuminen verkossa

Veden organoleptisen laadun muuttumista verkossa pyrittiin tutki-

maan Helsingin kaupungin vesilaitoksen päivittäisten tarkkailuraporttien avulla. Tutkimuksessa käytetyt raportit olivat vuosilta 1970-73.

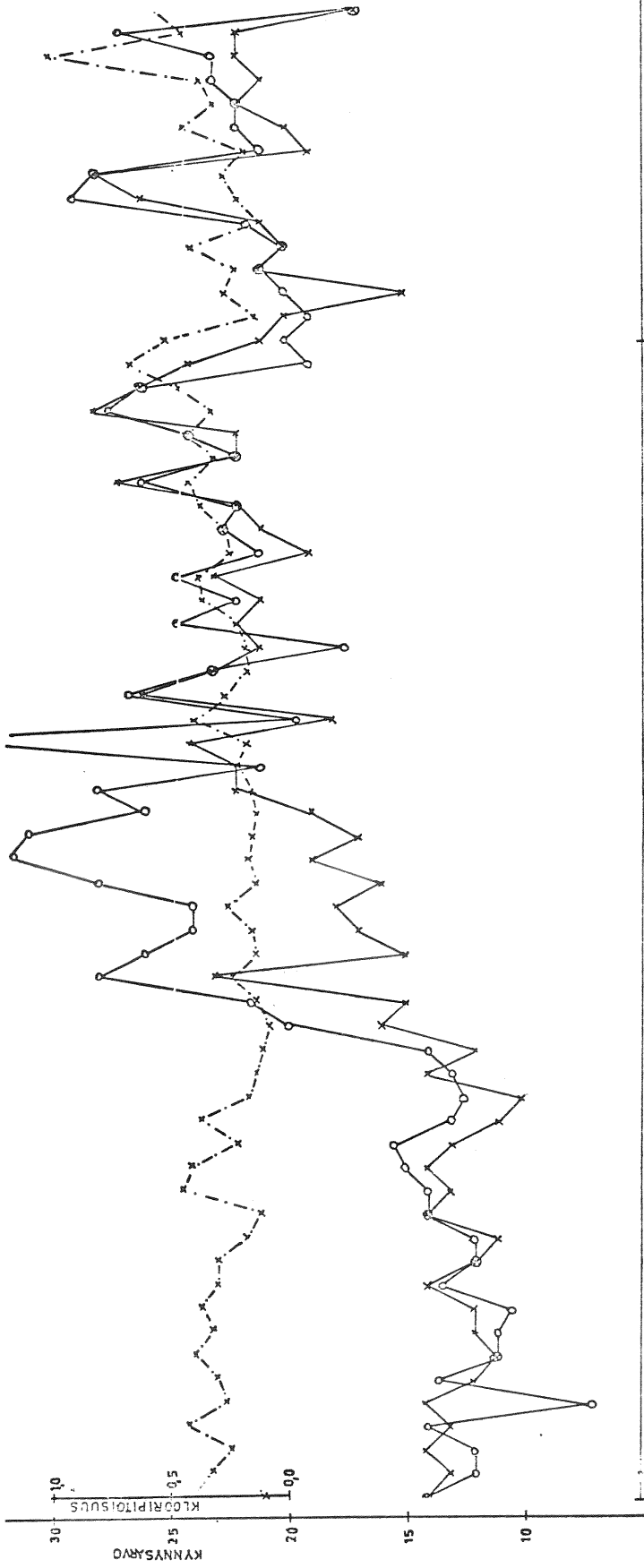
Kuviin 6-11 on piirretty raakaveden hajun, laitokselta lähtevän veden ja jakeluverkon veden hajun ja maun kynnsarvot 20 °C:ssa. Veden viipymä laitoksen ja tutkittujen pisteiden välillä on seuraava: Jakomäki, Kankaretie 1-2 vrk, Tammisalo 0,5 vrk ja Aleksis Kivenkatu 0,25 vrk. Lisäksi Jakomäen ja Tammisaloon pisteissä tutkittiin veden jäännöskloorin vaikutusta kynnsarvoihin.

Piirretyistä käyristä ilmenee, että jakeluverkon veden kynnsarvot seuraavat melko hyvin laitokselta lähtevän veden kynnsarvoja, joten veden organoleptinen laatu ei jakeluverkossa ainakaan kynnsarvoissa mitattuna muutu. Sen sijaan raakaveden laadussa esiintyneet erittäin voimakkaat häiriöhuiput puhdistusprosessi on pysynyt melko hyvin poistamaan. Mitään selvää vuodenaajoista riippuvaa vaihtelua ei myöskään kynnsarvoissa ole havaittavissa.

Kloorijäännöksestä todettakoon, että jakeluverkossa olevan kloorijäännöksen sekä hajun ja maun kynnsarvojen välillä ei näytä olevan mitään selvää korrelaatiota. (Kuva 7 ja 10.)

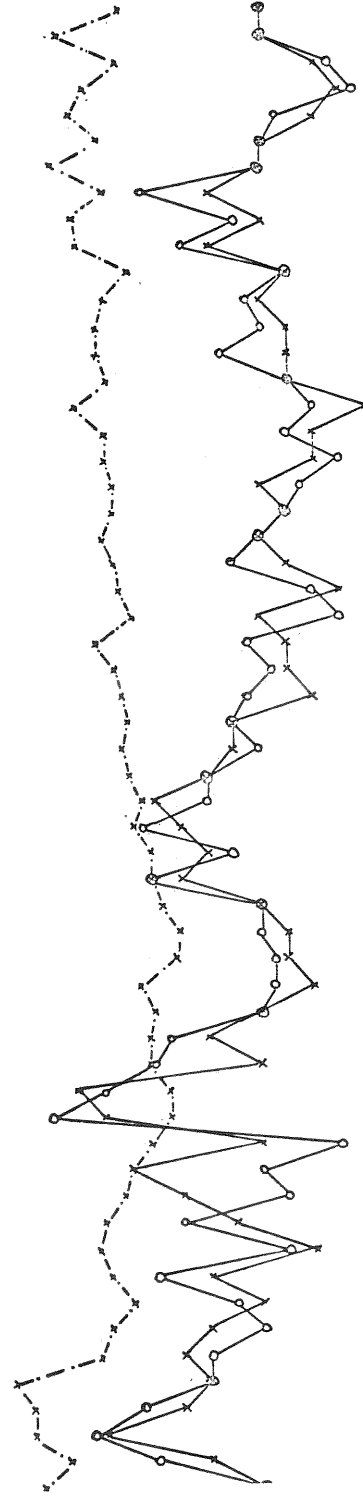
Haju- ja makutyyppeiden muuttumista jakeluverkossa pyrittiin tutkimaan vertaamalla laitokselta lähtevän veden ja Jakomäen johtoveden haju- ja makutyyppeiden esiintymistiheyttä. Sekä haju- että makutyypeistä selvästi yleisin oli kloori niin laitokselta lähtevässä vedessä kuin jakeluverkonkin vedessä. Laitokselta lähtevän veden seuraavaksi yleisimmät hajutyypit olivat muta, putket, hapan ja makea, kun taas Jakomäessä kloorin tyyppiä seurasivat ummehtuneet putket, makea, putket ja ummehtunut. Makutyypeistä taas kloorin jälkeen yleisimmät olivat laitokselta lähtevässä vedessä muta, karvas, home ja maa sekä jakeluverkon vedessä karvas, ummehtuneet putket, metalli ja muta.

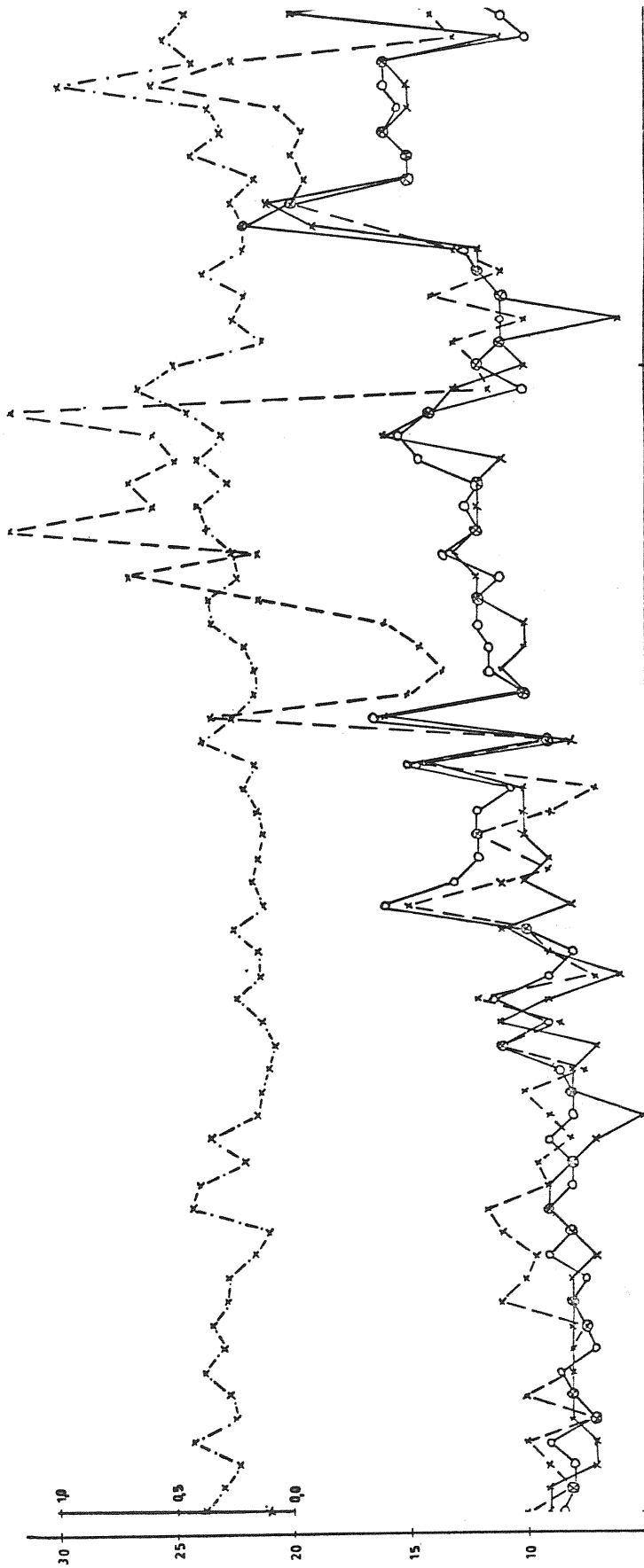
Haju- ja makutyyppeiden vertailu osoittaa, että Helsingin vesijohtovedessä on kloorin haju ja maku niin voimakas, ettei tyyppien mahdollista verkossa tapahtuvaa muutosta voida selvästi todeta.



HELSINKIN KAUPUNGIN VESILAITOS
 MAKUKYNNYSARVOT 20°C:SSA 1.1.1971 - 31.5.1973

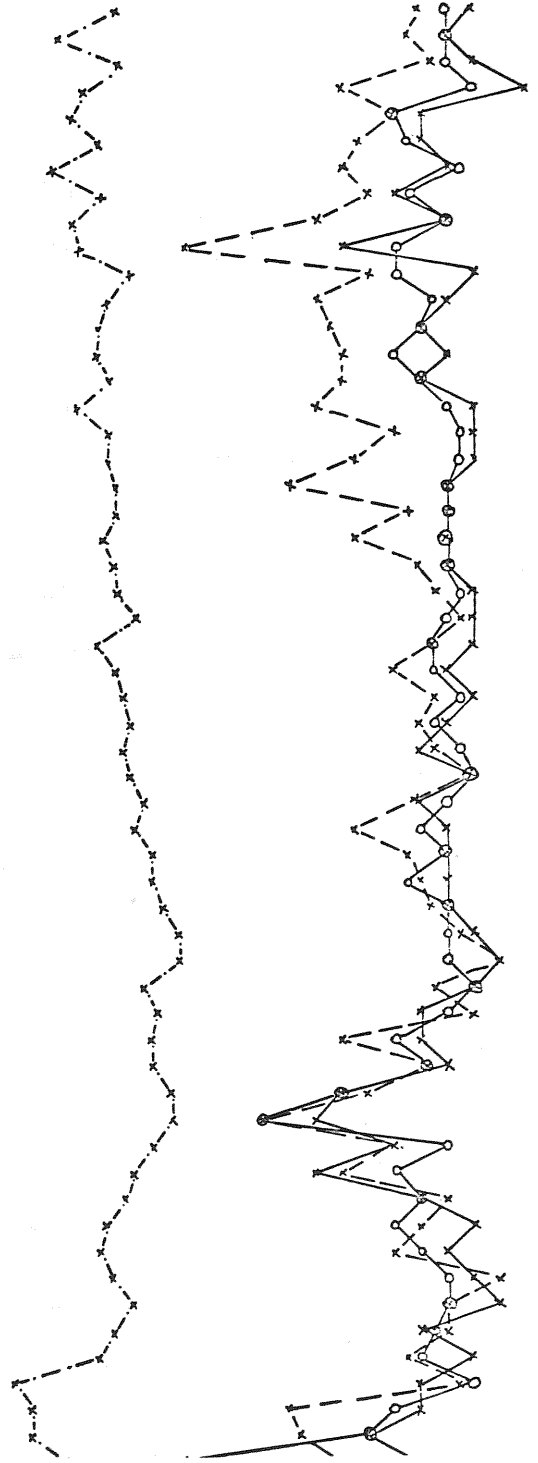
- x - - - KLOORIPITOISUS VESIJOHTOVESI
- o — — LAITOKSELTA LÄHTEVÄ VESI
- x — — VESIJOHTOVESI JAKONÄKI

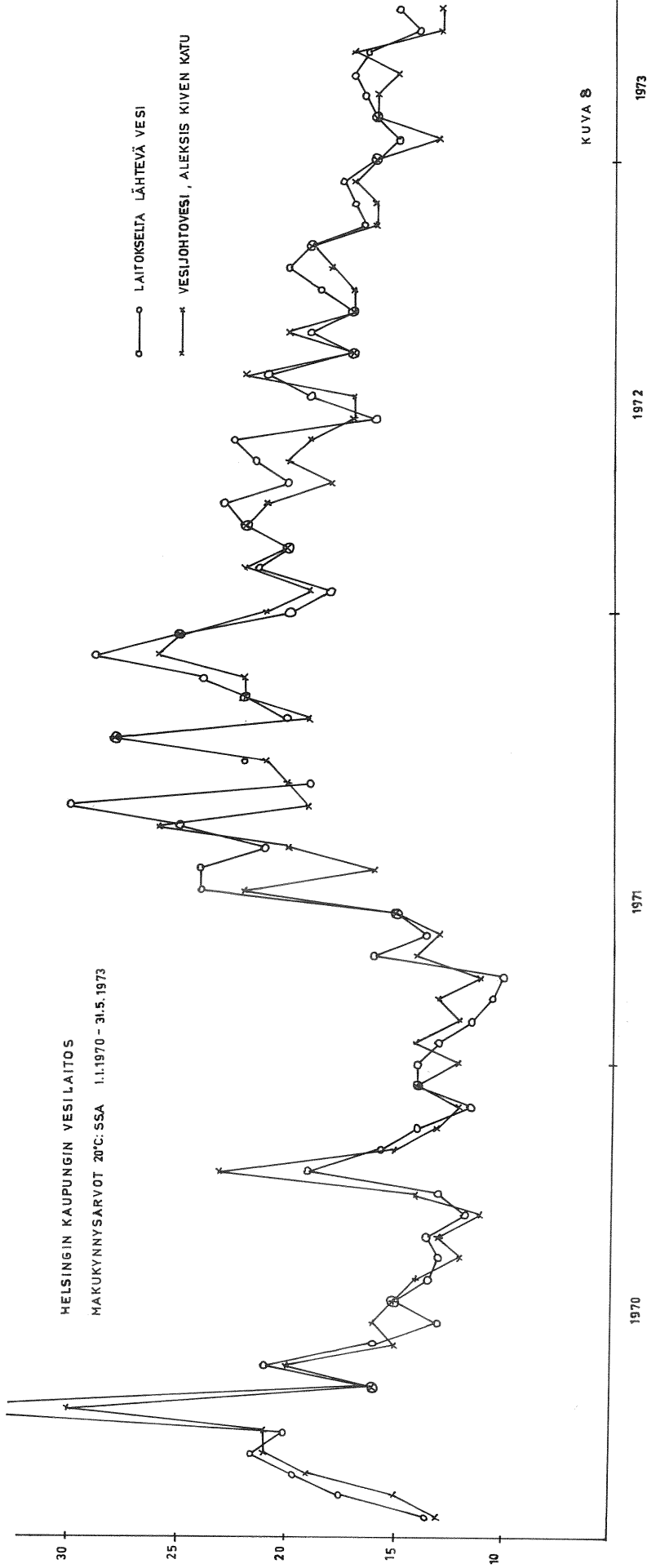


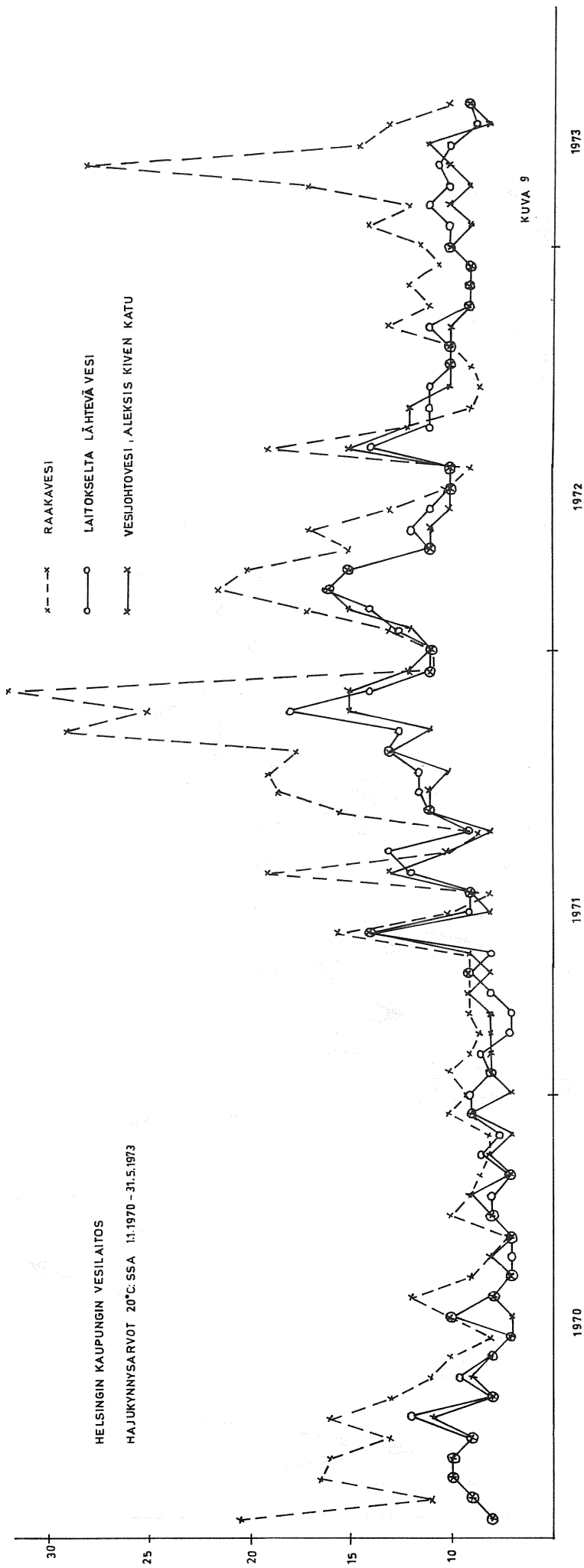


HELSINGIN KAUPUNGIN VESILAITOS
 HAJUKYNNYSARVOT 20°C:SSA 1.1.1971 - 31.5.1973

- x--- KLOORIPIITOISUUS, VESIJÄHTÖVESI
- - - - - RAAKAVESI
- LAITOKSELTA LÄHTEVÄ VESI
- x-x-x- VESIJÄHTÖVESI, JÄKÖMÄKI

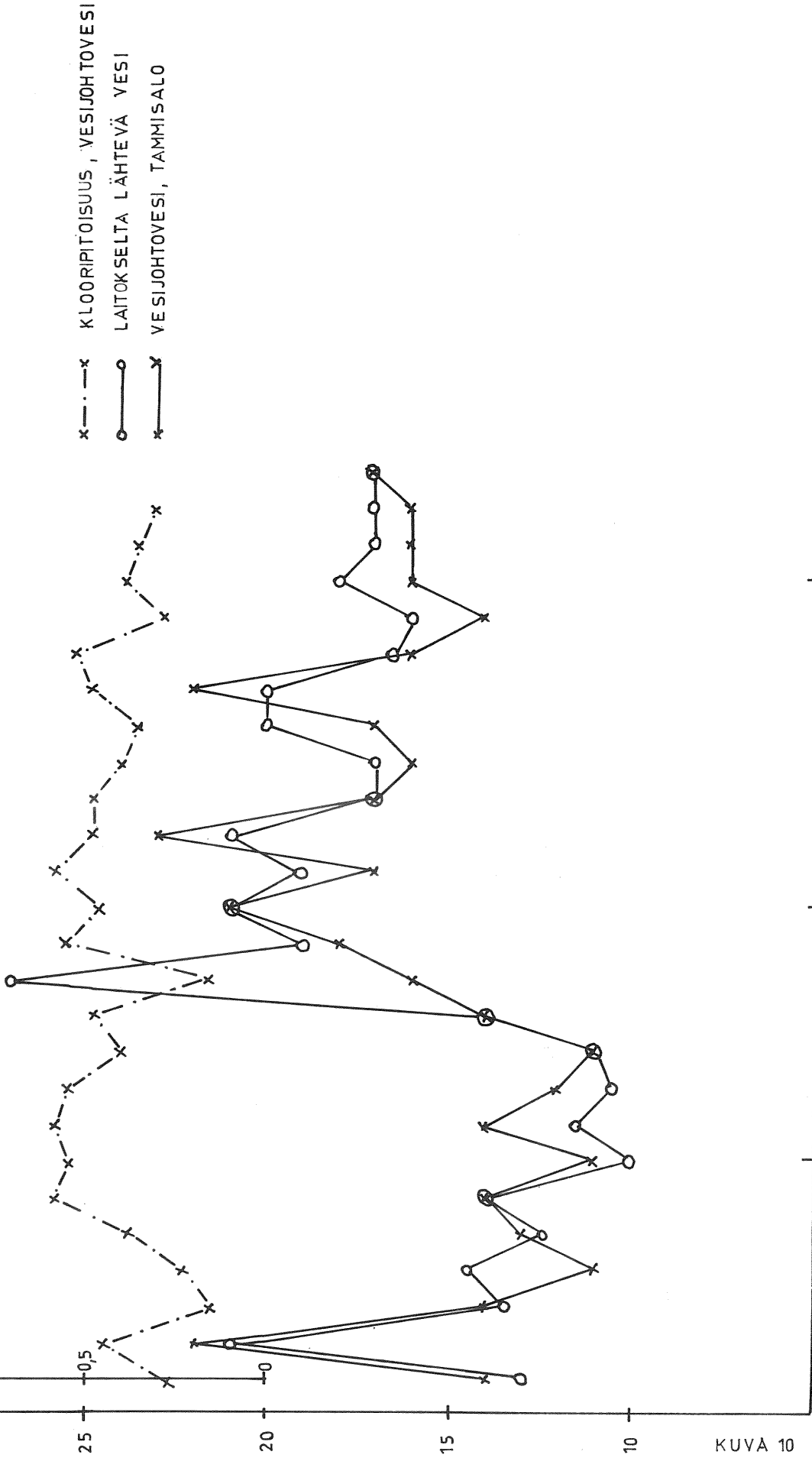






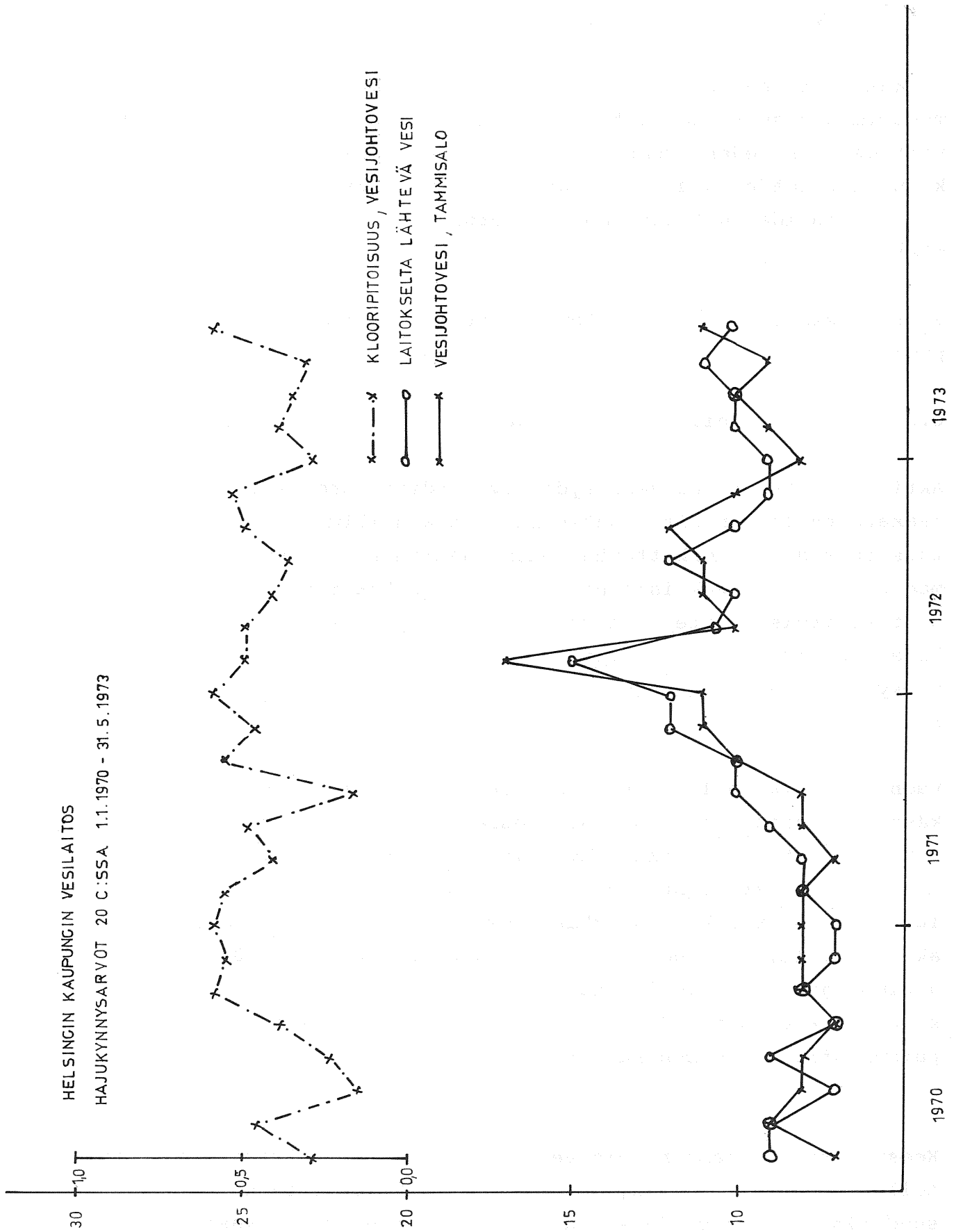
KUVA 9

HELSINGIN KAUPUNGIN VESILAITOS
 MAKUKYNNYSARVOT 20:SSA 1.1.1970 - 31.5.1973



KUVA 10

HELSINGIN KAUPUNGIN VESILAITOS
 HAJUKYNNYSARVOT 20 C:SSA 1.1.1970 - 31.5.1973



KUVA 11

6.2.1.5 Vedentutkimustoimiston suorittamat tutkimukset

Pitkälkosken vedenpuhdistuslaitoksen yhteydessä toimiva vedentutkimustoimisto suorittaa jatkuvasti tutkimustyötä, jonka yhtenä tavoitteena on veden organoleptisen laadun parantaminen. Perustutkimusta tehdään haju- ja makutekijöiden selvittämiseksi mm. orgaanisten aineiden uutetutkimusten, orgaanisesti sitoutuneen kloorin määrityksien ja orgaanisten yhdisteiden kromatogrammien avulla.

Seuraavassa esitellään muutamia laitoksella suoritetuista tutkimusprojekteista.

6.2.1.6 Aktiivihiihliisuodatuskokeet

Aktiivihiihiltä on jauheena syötetty puhdistusprosessin alkupäähän raakaveden laadun sitä vaatiessa, mutta hiilimäärät, jotka vaadittaisiin todella merkittävän tehon saamiseksi, tulevat suhteettoman kalliiksi. Rakeisia hiililaatuja on kokeiltu Pitkälkosken puhdistuslaitoksen yhteyteen rakennettujen painesuodattimien materiaalina. Saatujen koetulosten yleispiirteinä on ollut hiilen adsorptiokyvyn nopea aleneminen ja veden esteettisen laadun vähäinen paraneminen.

Vuonna 1975 kokeiltiin rakeista aktiivihiihiltä (Filtrisorb-200) Pitkälkosken laitoksen avosuodattimessa. Koesuodattimiksi valittiin kaksi suodatinta, jotka saavat veden samasta selkeytysyksiköstä. Toisesta suodattimesta poistettiin karkeimpia, kantavia aineksia lukuun ottamatta koko hiekkakerros, joka korvattiin rakeisella aktiivihiihilellä. Suodattavan kerroksen paksuus oli 100 cm. Suodatinpatjan yläpuolella, noin 30 cm:n korkeudella, oli pesuvesikourujen alapinta. Täten hiilipatjalle jäi 30 %:n teoreettinen paisumistila. Toinen suodatin toimi normaalisti vertailusuodattimena.

Koesuodatinta, samoin kuin vertailusuodatinta, käytettiin vuoroitellen nopeuksilla 3 m/h, 4 m/h ja 6 m/h. Suodatusjakso alkoi, kun suodatin oli pesty, ja se päättyi, kun suodattimen vastus nousi

noin 2 m:iin vesipatsasta, kuitenkin viimeistään 8 (joskus 10) vrk:n kuluttua jakson alkamisesta. Tämän jälkeen suodatin huuhdeltiin vastavirtahuuhtelua käyttäen.

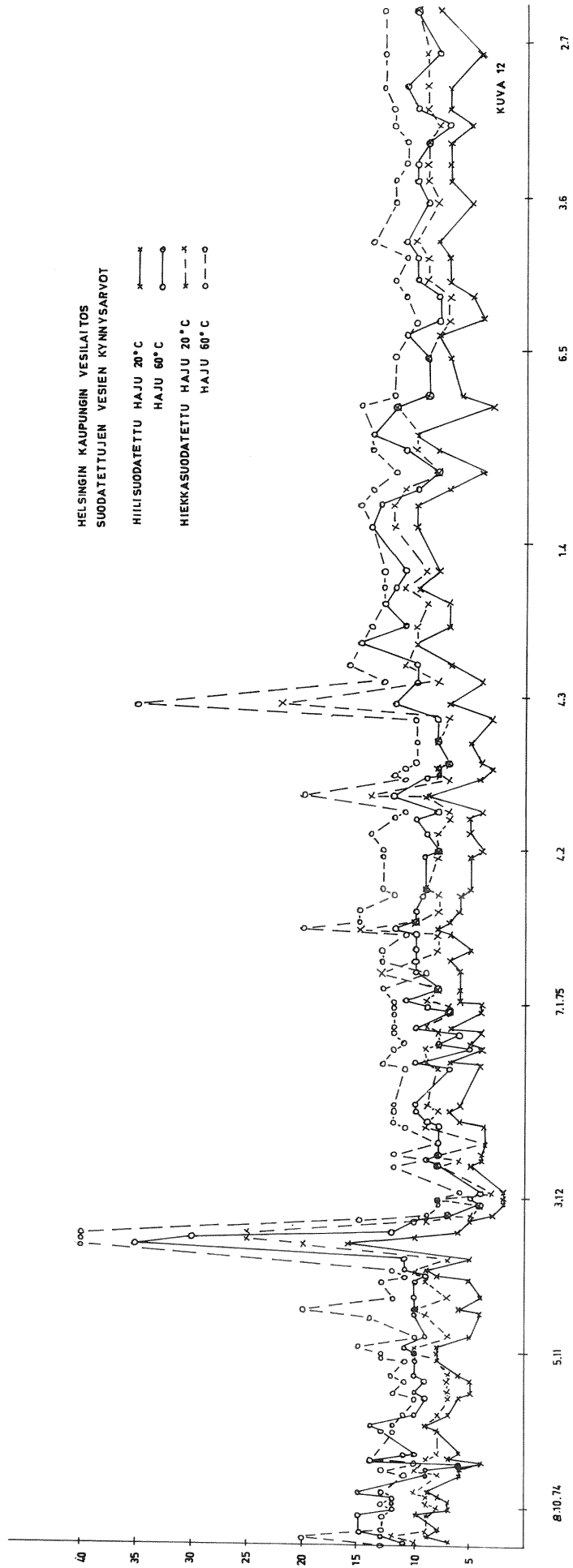
Haju- ja makututkimukset tehtiin hiilisuodatetusta vedestä ja vertailuvedestä, jotka oli laboratoriossa käsitelty klooripitoisuuden ja pH:n suhteen johtoveden tasolle. Haju määritettiin sekä 20 °C:ssa että 60 °C:ssa ja maku 20 °C:ssa sekä keittämättömästä että keitetystä vedestä. Lisäksi selkeytetystä vedestä määritettiin haju sekä 20 °C:ssa että 60 °C:ssa. Tutkimukset suoritti neljän tätä työtä ammatikseen tekevän henkilön ryhmä.

Kuvissa 12-15 on esitetty kokeissa havaitut hajun ja maun kynnyсарvot. Lisäksi on esitetty hiilellä suodatetun veden kynnyсарvojen prosentuaalinen paremmuus hiekkasuodatetun veden arvojen suhteen.

Kuvaajista on todettavissa, että peräkkäisten havaintokertojen tuloksina saadut kynnyсарvot saattavat vaihdella huomattavasti. Suurta muutosta hiekkasuodatetun veden tuloksissa vastaa samaan suuntaan tapahtunut, yleensä kuitenkin pienempi, muutos hiilisuodatetun veden vastaavissa tuloksissa. Hiilisuodatuksen aikaansaama kynnyсарvon prosentuaalinen muutos on sangen vaihteleva, jopa negatiivisesta aina 70-80 %:n paranemiseen asti.

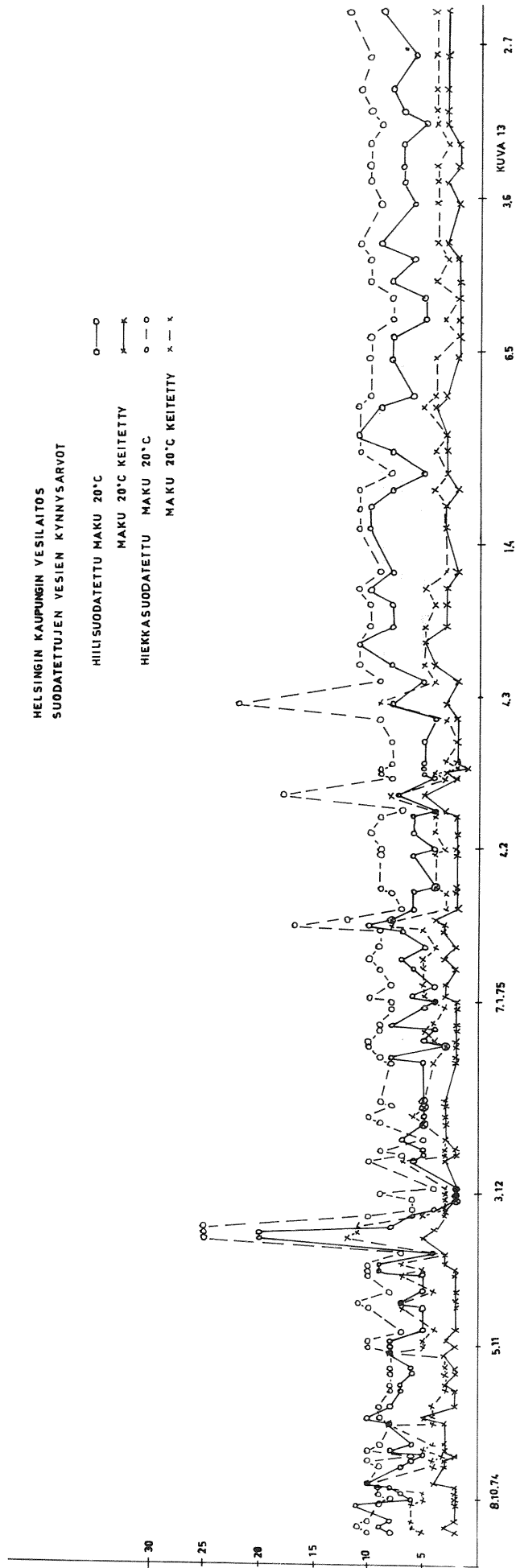
Eräiden johtovedessä esiintyvien ja sen laatua tuntuvasti heikentävien haju- ja makutyyppeiden poistamisessa tai heikentämisessä aktiivihiihisuodatuksen vaikutus oli huomattava. Tällaisia tyyppejä olivat ennen kaikkea fenolimainen, bitumimainen, lääkemäinen ja öljymäinen. Myös likaisesta pintavedestä valmistetun johtoveden selvään kloorimaiseen haju- ja makutyyppiin aktiivihiihisuodatuksella oli tuntuvasti vähentävä vaikutus. Sen sijaan raakaveden leväkasvun aiheuttamiin haju- ja makutyyppeihin ja näistä nimenomaan ehkä kiusallisimpana esiintyvään homeen tyyppiin aktiivihiihisuodatus ei tuntuvasti vaikuttanut.

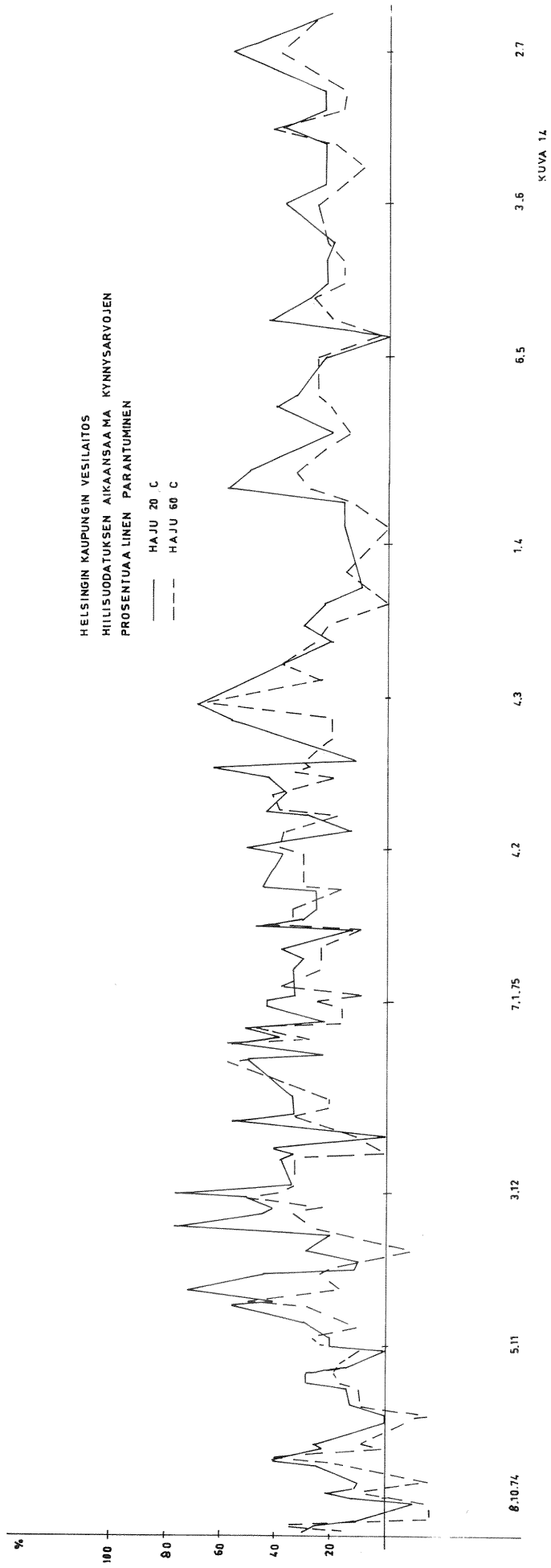
Kokeen perusteella voidaan todeta, että avosuodatus rakeisella aktiivihiihilellä on yksi mahdollisuus juomaveden laadun parantamiseksi



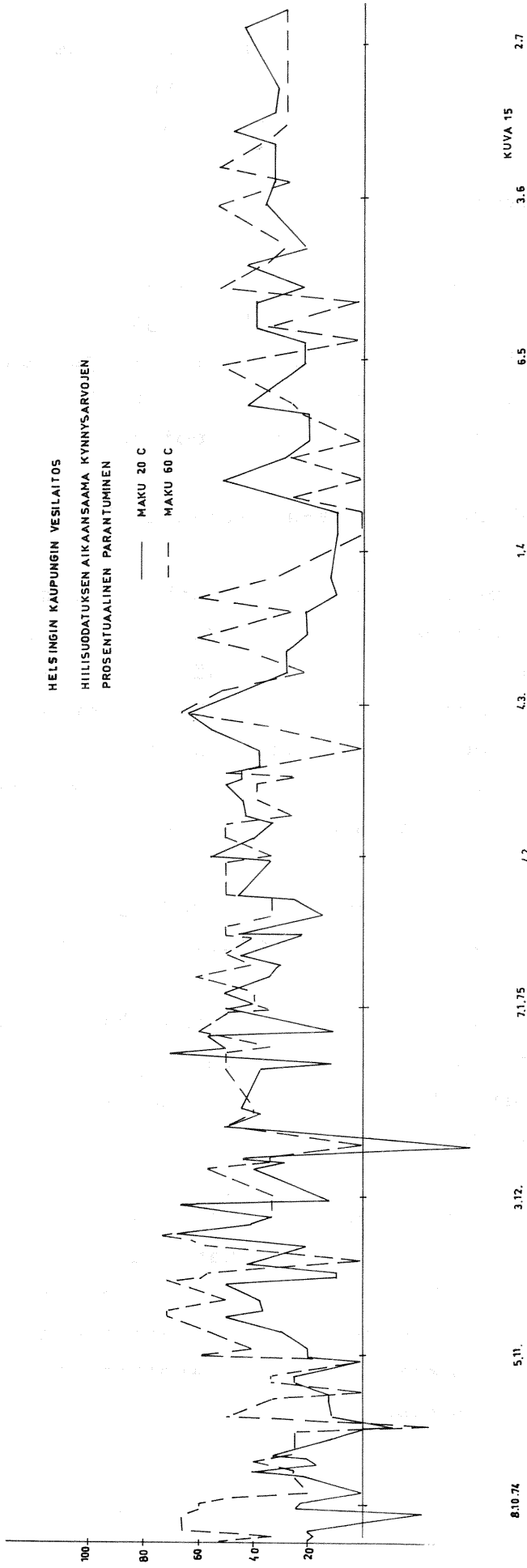
HELSINGIN KAUPUNGIN VESILAITOS
SUODATETTujen VESIEN KYNNYSARVOT

HIILI SUODATETTU MAKU 20°C ○—○
 MAKU 20°C KEITETTY x—x
 HIEKKASUODATETTU MAKU 20°C ○—○
 MAKU 20°C KEITETTY x—x





HELSINGIN KAUPUNGIN VESILAITOS
 HIILISUODATUKSEN AIKAANSAAMA KYNNYSARVOJEN
 PROSENTUAALINEN PARANTUMINEN



varsinkin tietyn tyyppisten haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi. Hiilen tehokas käyttöaika on eri mittapuiden mukaan neljännesvuodesta ainakin yhteen vuoteen puhdistettaessa Vantaanjoen vettä. Kuten edellä on mainittu, ko. hiililaatu ei näytä vaikuttavan kaikkiin haju- ja makutyyppeihin.

Kemiallisten haittojen indikaattoreiden perusteella hiilen teho loppui kolmen kuukauden kuluessa, paitsi orgaanisten klooriyhdisteiden kohdalla. Näin ollen regenerointiväliä ja sen mukaan muuttuvia kustannuksia harkittaessa olisi tiedettävä, millaisia haittoja aktiivihiiლისuodatuksella pyritään poistamaan.

6.2.1.7 Veden orgaanisten haitta-aineiden tutkimukset

Helsingin kaupungin vesilaitoksen vedentutkimustoimisto suoritti vuonna 1972 Päijänne-projektin yhteydessä veden orgaanisten haitta-aineiden tutkimuksia. Tutkimusten yhtenä tarkoituksena oli selvittää sulfiittiselluloosateollisuuden jätevesien sisältämien orgaanisten aineiden mahdollista osuutta lääkemäiseen hajuun ja makuun, jota oli ajoittain todettu Päijänteen Asikkalanselän vedellä suoritetuissa pienoiskoelaitospuhdistuksissa.

Orgaaniset haitta-aineet eristettiin vedestä jatkuvaa liuotinuuttoa käyttäen. Uuttoliuottimina käytettiin heksaania ja kloroformia. Uutot suoritettiin erikseen kummallakin aineella samanaikaisesti vesinäytteen kahdesta erästä. Kummassakin tapauksessa uutto perustui veteen liukenemattoman liuottimen kiertoön pisaroina veden läpi ja samanaikaisesti tapahtuvaan veden kiertoön liuottimen läpi pisaroina vastavirtaperiaatteella.

Haju- ja makukokeita varten kloroformiute haihdutettiin kuivaksi ja sen jälkeen liuotettiin 10 ml:aan etanolia. Liuoksesta sekoi-tettiin 0,15 ml litraan aktiivihiiლისuodatettua vettä, ja määri-tykset suoritettiin tästä vedestä. Heksaaniuutteiden haju- ja makumääriytykset tehtiin aktiivihiiლისuodatetusta vedestä, johon lisättiin 1 ml uutteen heksaaniliuosta ja josta liuotin poistettiin keittämällä.

Kerran kuukaudessa suoritettujen Asikkalanselän veden koepuhdistusten yhteydessä tehtiin uutot sekä raakavedestä että puhdistetusta vedestä. Vertailuksi uutot suoritettiin myös Silvolan vastaavista vesistä.

Syksyllä 1972 suoritettiin puhdistuskokeita Jämsänkosken sulfiittiselluloosatehtailta saaduilla jäteaineilla. Espoon Saarijärven veteen syötettiin erilaisina annostuksina jäteliipeä, vanhennettua jäteliipeä, jäteliipeän haihdutusväkevöinnissä muodostuvaa haihdelauhdetta ja valkaisimon jätevetä.

Jäteliipeä sisältävän veden puhdistuskokeissa lignosulfonihappomäärät olivat 2,5 ja 15 mg/l.

Jäteliipeä vanhennettiin lisäämällä 5-%:ksi laimennettuun jäteliipeään hajottajaorganismien saamiseksi Jämsänjoen vettä sekä typpeä ja fosforia. Annostukset vastasivat 2,5 ja 15 mg lignosulfonihappoa vesilitraa kohti tuoreessa jäteliipeässä.

Haihdelauchteilla suoritetuissa kokeissa päädyttiin annostukseen, joka karkeasti arvioiden vastaa haihdelaughteen teoreettisesti mahdollista määrää Asikkalanselän vedessä eli annostus oli 60 ml haihdelauhdetta m³:iin vettä.

Tehtaan valkaisimosta saadulla jätevedellä suoritettiin myös kokeita.

Kokeiden tuloksista on todettavissa veden hajun ja maun kannalta seuraavaa:

Uutteiden haju- ja makukynnysarvot ovat suhteellisen vähän informaatiota antavia, mikä johtuu mahdollisesti näytteiden pitkästä esikäsitelystä ja liuottimen hajua ja makua eri tavoin voimistavasta vaikutuksesta. Sen sijaan vesinäytteistä suoraan saadut hajun ja maun kynnysarvot ovat luotettavampia ja enemmän informaatiota antavia tuloksia.

Asikkalanselän vedestä puhdistetussa vedessä yleisimmin esiintyneet haju- ja makutyypit olivat puu ja lääkemäinen.

Kaikissa jätelipeää raakavedessä sisältäneissä puhdasvesinäytteissä esiintyivät puunjalostusteollisuuden jätteaineista johtuvat haju- ja makutyypit, kuten puu, lääkemäinen ja fenoli. On kuitenkin todettava, että niinkään korkea lignosulfonihappopitoisuus kuin 15 mg/l ei aiheuttanut havaittavaa puhdistetun veden haju- ja makukynnysarvojen nousua, mutta mm. KMnO_4 -kulutuksen ja värin suhteen puhdistustulos ei ollut tyydyttävä.

Vanhennetulla jätelipeällä suoritetuissa puhdistuskokeissa tapahtui orgaanisten yhdisteiden suhteellisen voimakasta kloorautumista. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että biologisen hajotuksen seurauksena muodostuu jätelipeän aineista yhdisteitä, jotka kloorautuvat helpommin kuin tuoreen jätelipeän sisältämät aineet ja aiheuttavat samalla voimakkaamman lääkemäisen hajun ja maun puhdistettuun veteen.

Sulfiittiselluloosatehtaan haihdutus- ja polttolaitosten haihdelaughteen sisältämät orgaaniset aineet aiheuttivat raakaveteen lisättyinä voimakkaan lääkemäisen hajun jo pieninäkin määrinä.

Sulfiittiselluloosatehtaan valkaisimon jätevesi sisältää suhteellisen paljon klooripitoisia orgaanisia yhdisteitä, jotka kokeen perusteella kuitenkin poistuvat lähes täysin puhdistusprosessissa.

Asikkalanselän raakavedestä ja puhdistetusta vedestä sekä puhtaaseen raakaveteen lisättyjä sulfiittiselluloosateollisuuden jätteaineita sisältävien vesien puhdisteista tehtyjen uutetutkimusten perusteella voidaan melko selvästi pitää osoitettuna, että puunjalostusteollisuus heikentää Päijänteen veden laatua raakavetenä. Tavanomaisesti puhdistetun veden lääkemäinen haju ja maku näyttää olevan peräisin haihdelaughteen sisältämisestä orgaanisista aineista ja mahdollisesti myös lignosulfonihappojen hajoamisessa muodostuneista tuotteista.

6.2.1.8 Otsonointi

Helsingin kaupungin vesilaitoksen vedentutkimustoimisto aloitti laboratoriomittakaavaiset otsonointikokeilut vuonna 1959. Kokeilulla pyrittiin selvittämään otsonoinnin käyttömahdollisuudet veden haju- ja makuominaisuuksien parantamisessa. Otsonisaattorin pienestä tehosta johtuen tulokset jäivät kuitenkin heikoiksi.

Koelaitoslaboratorioon hankittiin myöhemmin 1960-luvun lopulla Gebr. Herrmann-Labor-otsonisaattori, jolla päästiin suurempiin koncentraatioihin. Tämän jälkeen sekä Vantaan että Päijänteen Asikkalanselän vedellä suoritettut kokeilut osoittautuivat lupaaviksi. Käytettäessä otsonimääriä 3,0-7,5 g O₃/m³ vettä mm. Asikkalanselän vedessä ollut 2,5-3,0 mg/l lignosulfonihappomäärä saatiin häviämään. Samalla veden makuominaisuudet paranivat.

Laboratoriomittakaavassa saadut edulliset tulokset haluttiin varmistaa laitosmittakaavaisella kokeilulla. Lisäksi haluttiin tietoja otsonin käyttötekniikasta, kustannuksista ja otsonoitua vettä käyttävän yleisön reaktioista.

Päijänteen vedenlaatutyyppin laitosmittakaavaiset otsonointikokeilut suoritettiin vuosina 1973-1975 Jyväskylän maalaiskunnan Janakan vedenpuhdistuslaitoksella Vaajakoskella. Perusteluna Janakan laitoksen valinnalle voidaan esittää mm. seuraavaa:

- Asikkalanselän vettä käyttävää vedenpuhdistuslaitosta ei ollut olemassa.
- Janakan laitoksen käyttämä raakavesi on tyypiltään muuten samanaista kuin Asikkalanselän vesi, paitsi että se sisältää enemmän puunjalostusteollisuuden ligniinijätettä.
- Laitoksen koko on sopivan pieni, noin 200 m³/h.
- Laitoksen puhdistusprosessi on normaali pintaveden käsittelyssä käytetty prosessi (saostus, selkeytys, suodatus).

Ensimmäisen koevuoden aikana marraskuusta 1973 lokakuuhun 1974 suoritettiin laitoksella esiotsonointi. Koetta jatkettiin jälkiotso-

nointina marraskuusta 1974 lokakuuhun 1975. Molempien otsonointitapojen prosessikaaviot on esitetty kuvissa 16 ja 17.

Molempina koevuosina otsonointia käytettiin Janakan laitoksen puhdistusprosessissa joka toinen kuukausi. Tällä kuukausittain keskeytyvällä käytöllä pyrittiin selvittämään eri vuodenaikoina otsonoinnilla aikaansaatu veden laadun paraneminen sekä fysikaalis-kemiallisten analyysien että hajua- ja makuominaisuuksien kohdalla.

Janakan laitokselle rakennetuilla laitteilla otsonin valmistus ja annostelu raakaveden tapahtui esiotsoneinnissa ennen alkukemikaloitusta. Otsonin annostuksena kokeiltiin aluksi ensimmäisenä kuukautena $4 \text{ g O}_3/\text{m}^3$, mutta se todettiin riittämättömäksi ja annostus nostettiin $6 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Laitoksen normaalista käytännöstä poiketen alkukloorausta ei suoritettu, vaan klooraus siirrettiin suoritettavaksi jälkikemikaloinnissa.

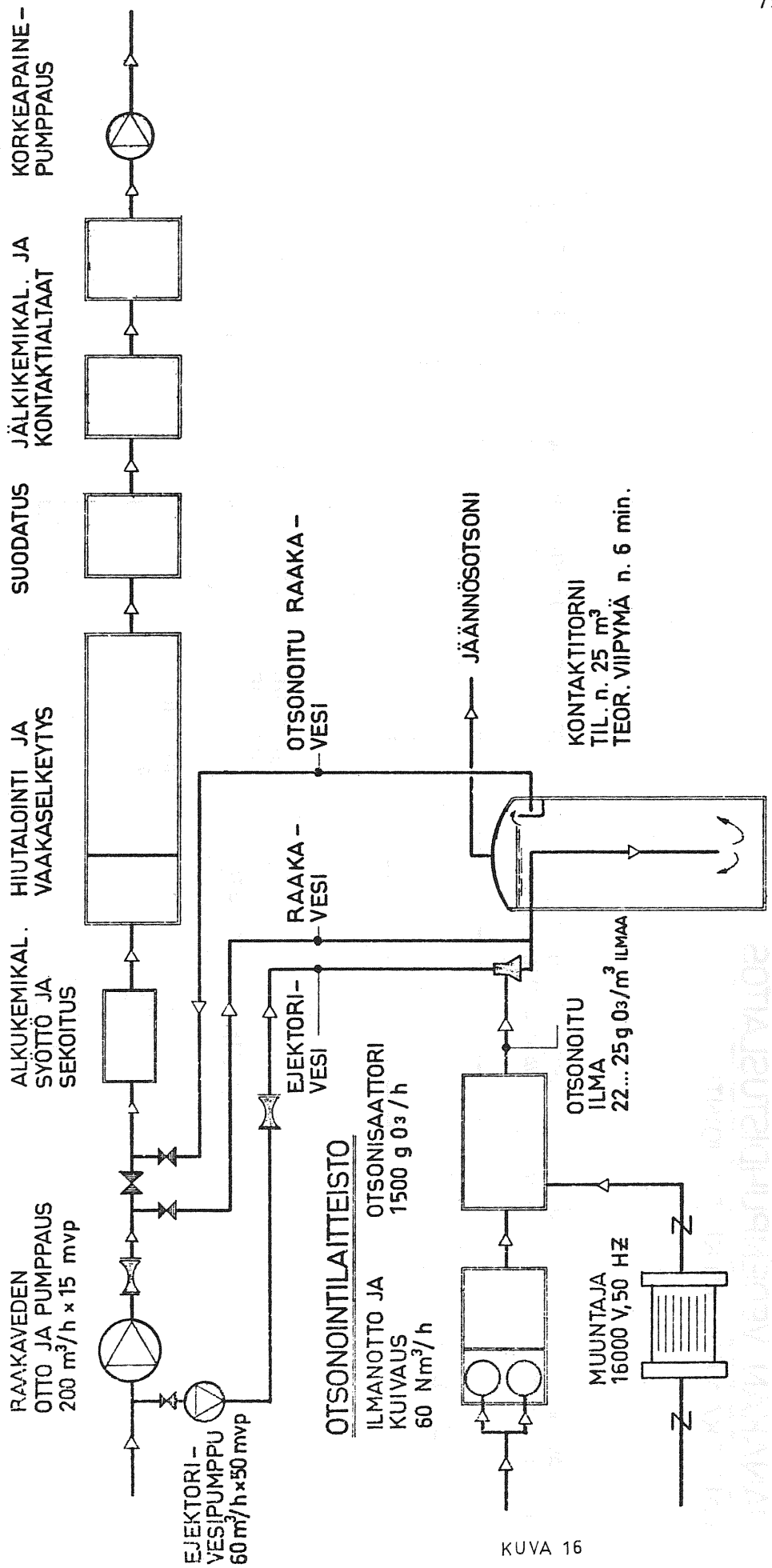
Jälkiotsonointia kokeiltiin ensin kolmella eri annostuksella 1, 2 ja $3 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Alkutulosten perusteella päädyttiin noin $2 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ olevaan syöttömäärään kokeiden pääosan ajaksi. Suodatettu vesi jälkialkaloitiin ennen jälkiotsonointia ensimmäisinä koekuukausina ja kolmannen koekuukauden puolivälistä alkaen alkalointi suoritettiin jälkiotsonoinnin jälkeen. Alkukloorausta pienennettiin sellaiseen määrään, että otsonoitavassa vedessä oli vain jäänteitä alkukloorista eli $0,0-0,1 \text{ mg/l}$.

Vuotta ennen otsonikokeiden käynnistystä aloitettiin vertailupohjan saamiseksi hajun ja maun kynnyksarvojen määritykset Janakan laitoksen raakavedestä, käsitellystä vedestä sekä vesijohtovedestä. Määritykset tehtiin kerran kuussa Helsingin vesilaitoksen vedentutkimustoimistossa siellä olevan käytännön mukaisesti. Kun otsonointikokeet aloitettiin, siirryttiin kerran viikossa tapahtuviin määrityksiin otsonointikuukausien aikana ja 2-3 kertaan välikuukausien aikana.

Yleisön reaktioiden kartoittamiseksi pyydettiin hajun ja maun arvosteluun Vaajakoskella vedenkuluttajia. Aiemmin suoritettun kyselyn

JANAKAN VEDENPUHDISTUSLAITOS

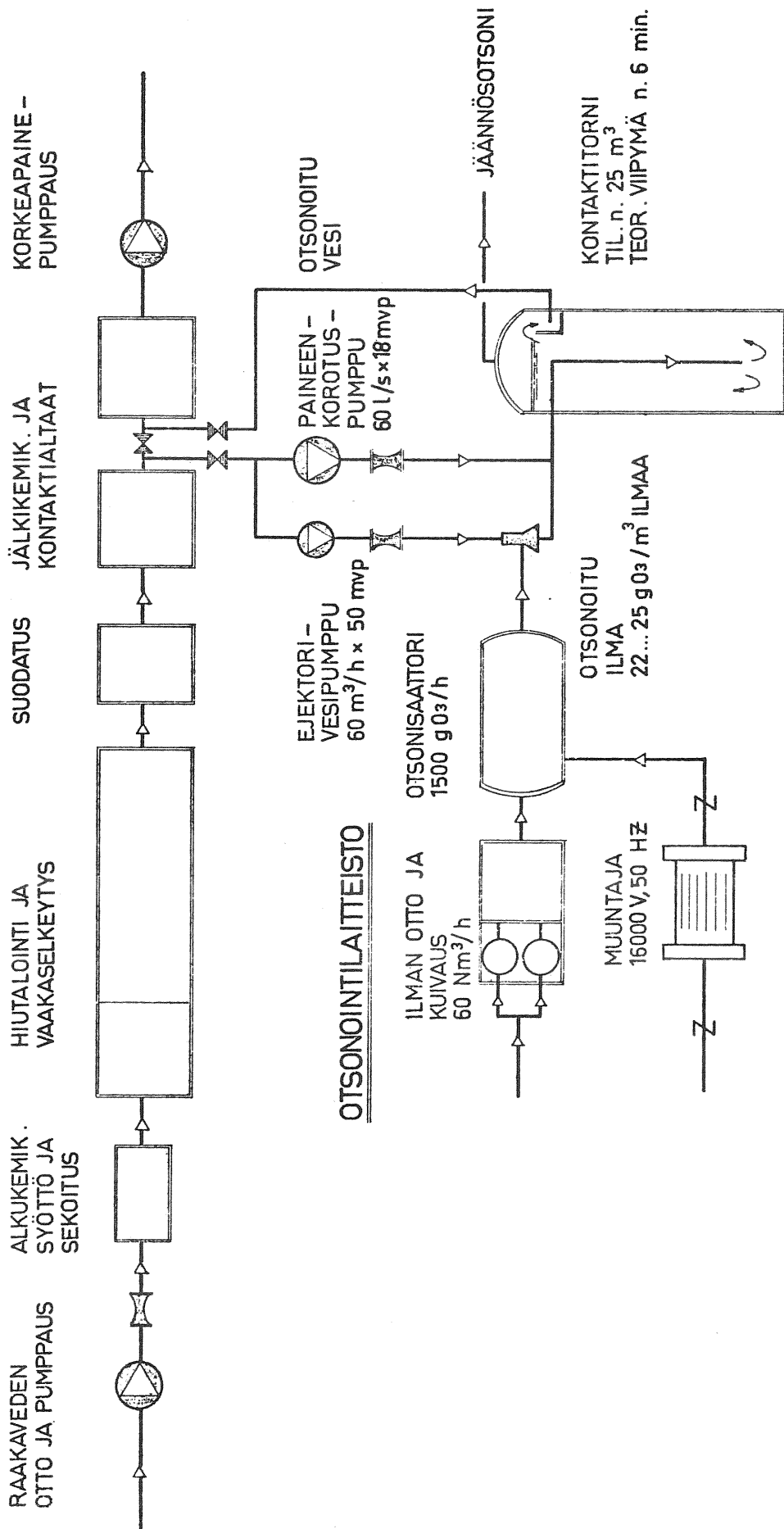
LAITOSKAAVIO, ESIOTSOINTI



KUVA 16

JANAKAN VEDENPUHDISTUSLAITOS

LAITOSKAAVIO, JÄLKIOTSONOINTI



KUVA 17

perusteella poimittiin veden laatuominaisuuksiin vahvasti huomiota kiinnittäneitä kuluttajia, jotka miltei poikkeuksetta olivat omakotitaloissa asuvia. Haastattelun piiriin otettiin myös joitakin kerrostaloissa asuvia vedenkuluttajia huolimatta heidän osoittamastaan, pienemmästä mielenkiinnosta veden esteettiseen laatuun.

Helsingin kaupungin vedentutkimustoimiston henkilökuntaa käytettiin vielä arvostelupaneelina verrattaessa veden hajua ja makuominaisuuksia Pitkälän laitoksen tuottaman veden vastaaviin ominaisuuksiin.

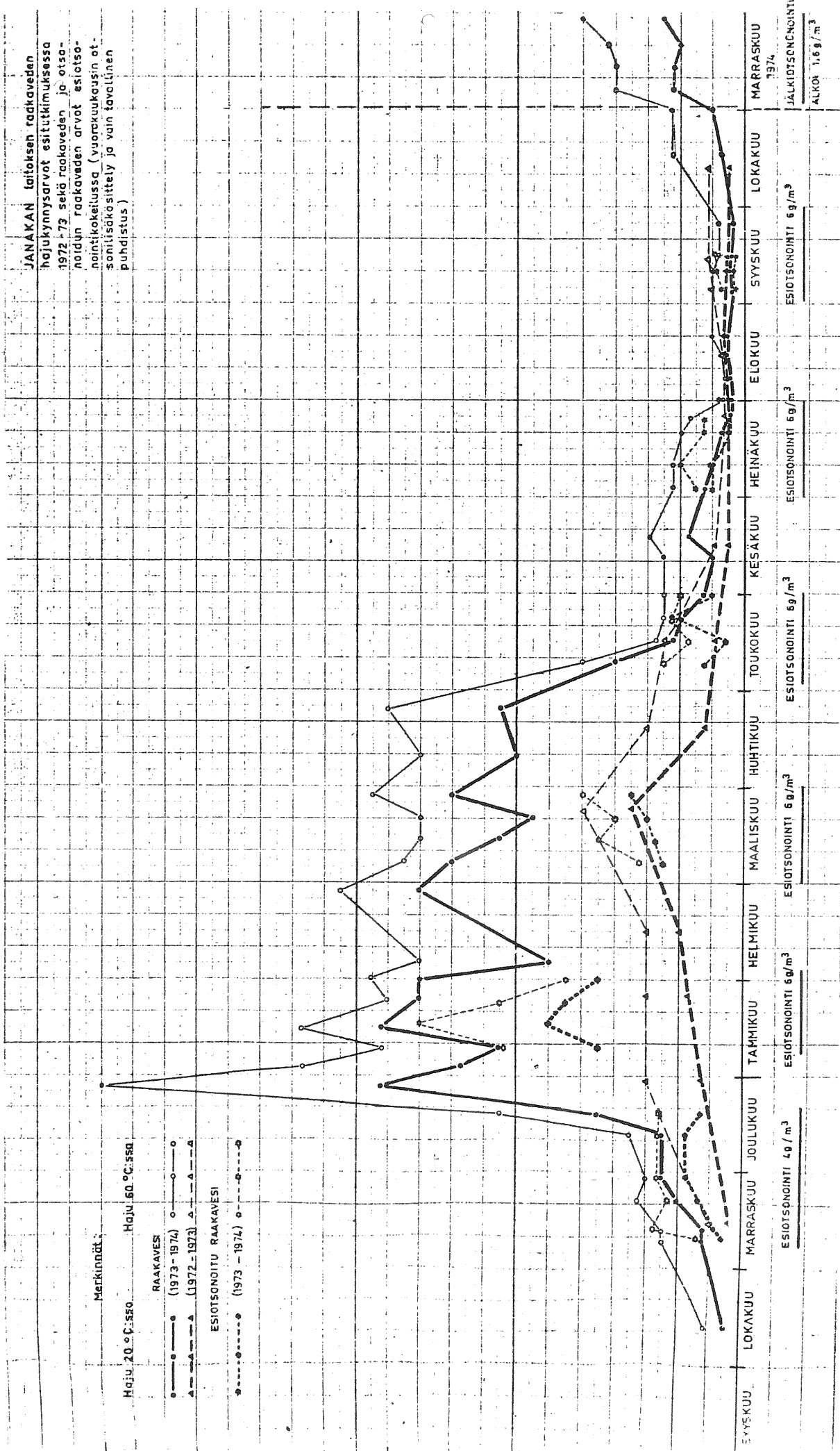
Kuvissa 18-23 on esitetty hajua ja makututkimusten kynnysarvot.

Kulloinkin noin kuukauden mittaisen, samanlaisena pidetyn puhdistuskäsittelyn aikana saatujen kynnysarvojen heilahteluista voidaan havaita se kynnysarvojen stabiilisuus, mihin vallitsevassa raakaveden laadussa ja myös sen muuttuessa voidaan ko. puhdistuskäsittelyllä päästä.

Kuvat 18 ja 21 osoittavat, miten suuresti Janakan laitoksen raakaveden laatu huononi talvikauden ajaksi otsonikokeiden vuosina ja myös, kuinka suuri ero raakaveden laadussa talvikausina voi vallita kahden eri vuoden välillä.

Kokeissa havaittiin, kuinka tehokkaasti niin esi- kuin jälkiotsonointikin pystyivät korjaamaan huonosta raakavedestä tavanomaisessa vedenkäsittelyssä vesijohtoveteen jäänyttä tai siihen puhdistusprosessissa tullutta huonoa laatua.

Molemmat otsonointitavat poistivat talvikuukausina laitoksen tavanomaisen käsittelyn jälkeen vesijohtovedessä esiintyneet pahat häiriöhajut ja -maut vähintään sille tasolle, joka vastasi tyydyttävästä raakavedestä tavallisella puhdistuskäsittelyllä saatua laatua. Esiotsonointitalvena raakavesi oli laadultaan huonompaa kuin jälkiotsonointitalvena, ja näin ollen jälkiotsonoinnissa saavutetut paremmat kynnysarvot ovat osittain selitettävissä. Tosin ilmeisesti muutenkin jälkiotsonoinnissa saavutetut arvot olisivat olleet jonkin verran pienemmät.



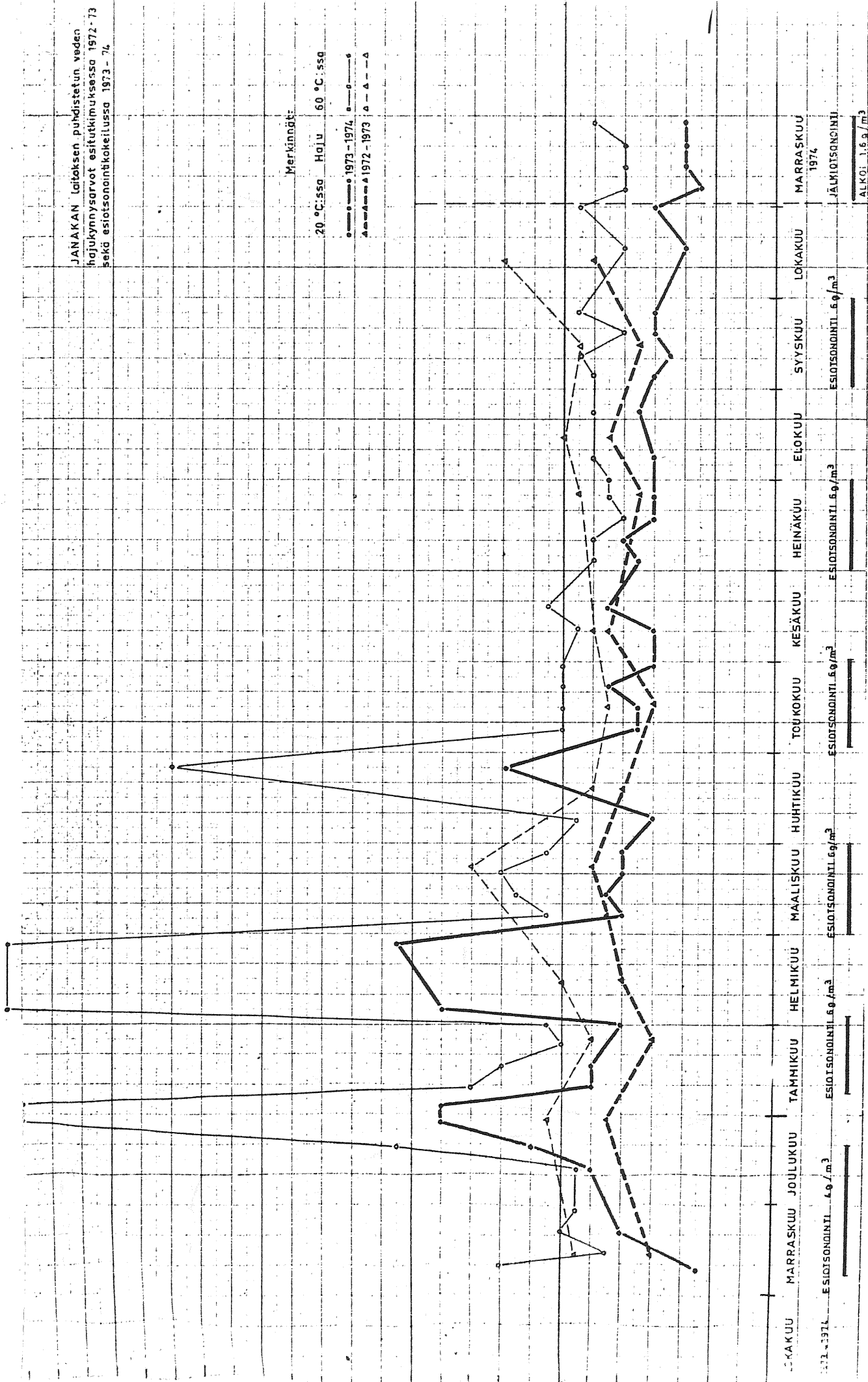
JANAKAN laitoksen puhdistetun veden
hajukynnysarvot esitutkimuksessa 1972-73
sekä esiotsonointikohteissa 1973-74

Merkinnot:

20 °C:ssa Hajuu 60 °C:ssa

● —●— 1973-1974

▲ —▲— 1972-1973



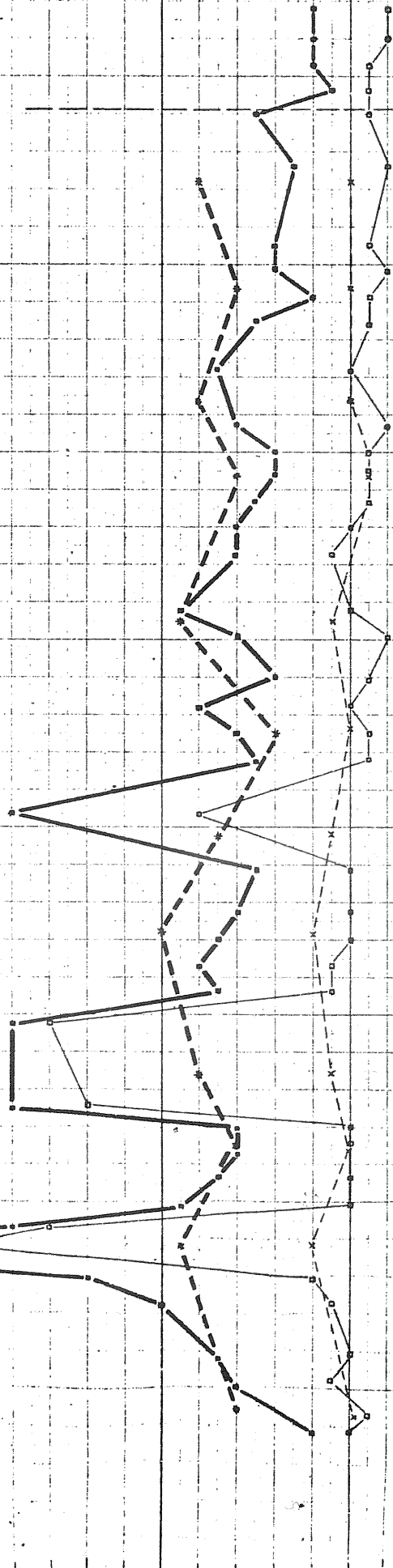
KUVA 19

JANAKAN laitoksen puhdistetun veden
makukynnysarvot esitutkimuksessa
1972 - 73 sekä esiotsonointikehitys
1973 - 74

Markkinat

KEITÄMÄLLÄ DEKLOO -
20 °C:ssä Makuu RATUN MAKU 20 °C:ssä

1973 - 1974 ○ ○ ○ ○ ○
1972 - 1973 X - X - X - X



LOKAKUU MARRASKUU JOULUKUU TAMMIKUU HELMIKUU MAALISKUU HUHTIKUU KESÄKUU HEINÄKUU ELOKUU SYYSKUU LOKAKUU MARRASKUU
1974
JALKIOTSONOINTI
ALKOI 1,6g/m³

1973 - 74 ESIOTSONOINTI 6g/m³
1972 - 73 ESIOTSONOINTI 6g/m³
1974 ESIOTSONOINTI 6g/m³
1973 ESIOTSONOINTI 6g/m³

KUVA 20

JANAKAN taluksen rakkaveden
 halukkuusluvut jalkiotsointi-
 kokeiden aikana 1974-1975

Merkinnät:

Haju

RAAKAVESI 20 °C

50 °C

Otsoneittuna merkitty viivalla

KYNNÄSARVO

250

220

180

140

100

60

20

MARRASKUU JOULUKUU TAMMIKUU HELMIKUU MAALISKUU HUHTIKUU TOUKOKUU KESÄKUU HEINÄKUU ELOKUU SYYSKUU

JANAKAN (aitokien puhdistetun veden)
 ja otsonointivaiheen veden hajukynnys-
 arvot ja kioloetäisyydet 1974 - 1975

Merkinnät:

Hajuj

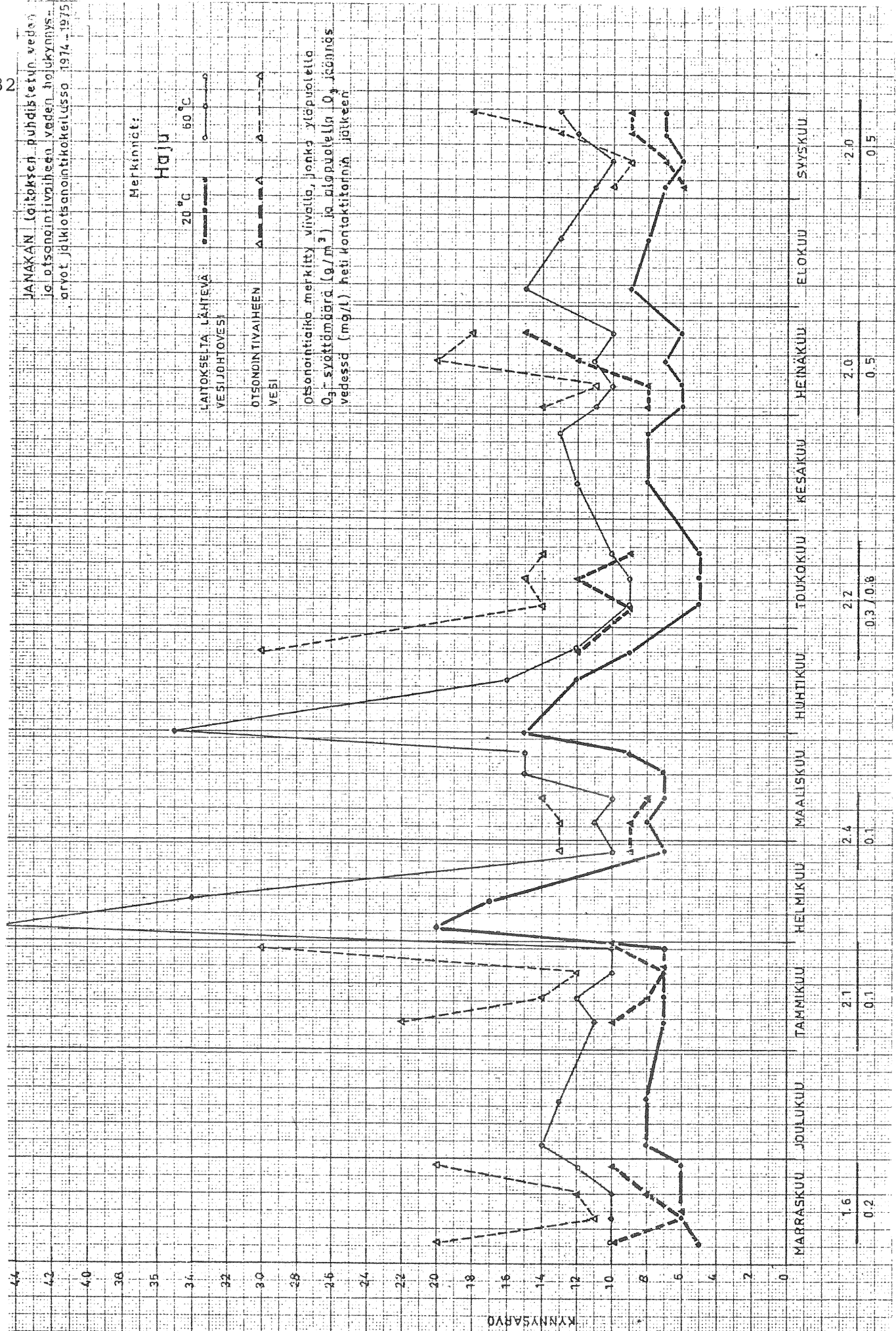
20 °C

60 °C

LAITOKSELTA LÄHTEVÄ
 VESUOHTOVESI

OTSONOINTIVAIHEEN
 VESI

Otsonoituaika merkitty viivalla, jonka yläpuolella
 O_3 -syöttömäärä (g/m^3) ja alapuolella O_3 -kannus
 vedessä (mg/l) heti kontaktin jälkeen



KUVA 22

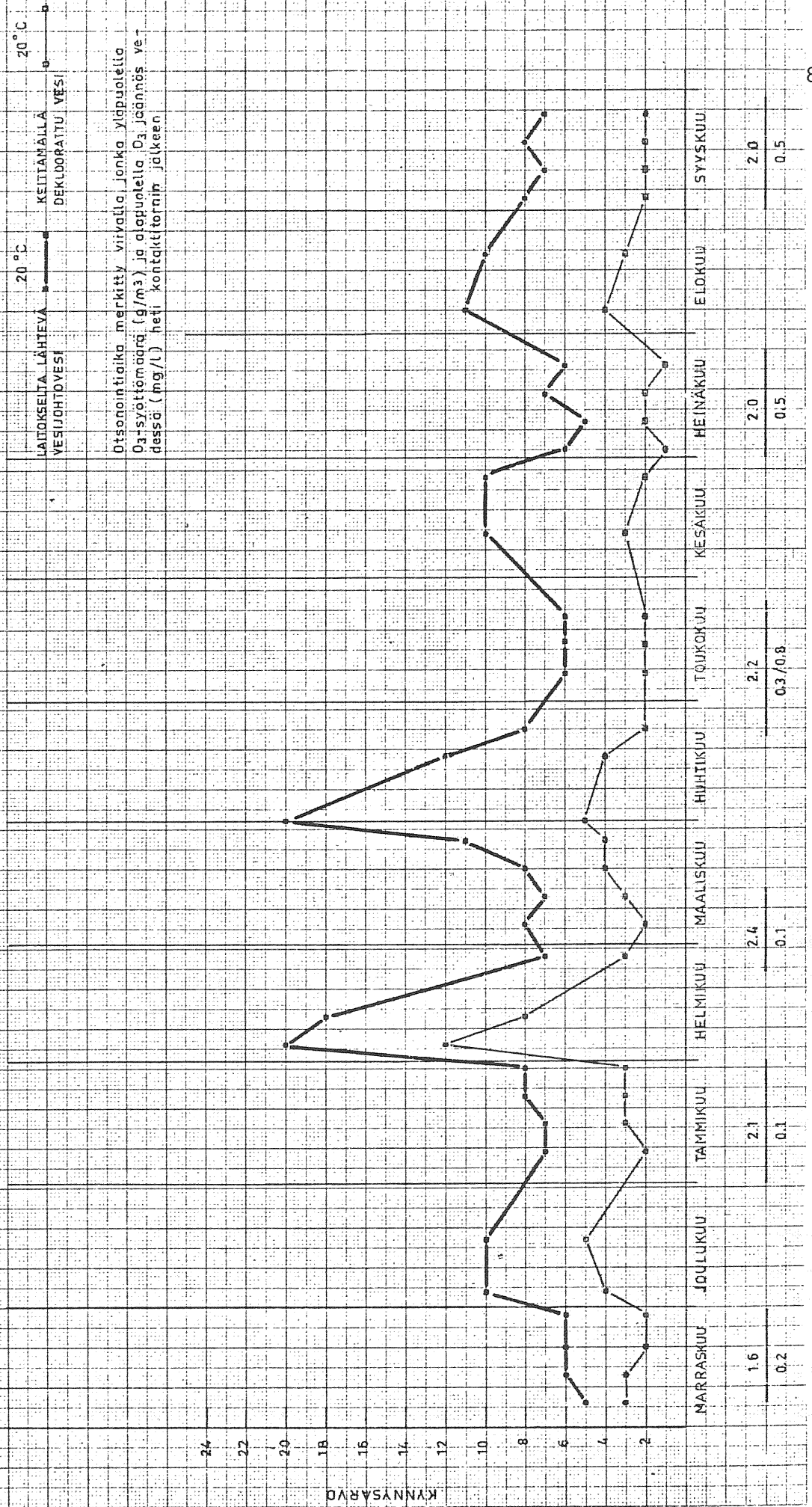
JANAKAN laitoksen puhdistetun
veden makukynnyksen arvot jatkotulso-
nointikokelussa 1974-1975

Merkinnät:
Maku

LAITOKSELTA LÄHTEVÄ VESIJOHTOVESI KELLIAMALLA DEKLORATTU VESI 20 °C 20 °C

Oksygenitiikka merkitty viivalla, jonka yläpuolella O₂-syöttömäärä (g/m³) ja alapuolella O₂-jäännös vedessä (mg/l) heti kontaktin jälkeä.

KYNNYSARVO



KUVA 23

Vielä selvempi oli jälkiotsonoinnin paremmuus tyydyttävän tai hyvän raakaveden laadun kautena keväällä ja kesällä. Tällöin jälkiotsonoinnilla saadut kynnyksarvot olivat keskimäärin 40 % pienemmät kuin esiotsonoinnilla vastaavina vuodenaikoina saadut arvot.

Otsonoinnin vaikutuksesta haju- ja makutyyppeihin on todettava, että tavallisessa Janakan laitoksen puhdistuskäsittelyssä useasti ja varsinkin kausina, joina raakavesi oli huonoa, voimakkaina esiintyneet epämiellyttävät haju- ja makutyypit, kuten kloori, terva ja lääkemäinen, esi- ja jälkiotsonointikäsittelyssä poistuivat täydellisesti tai vähenivät voimakkuudeltaan merkityksettömiksi. Jälkiotsonointi oli tässäkin tehokkaampi. Esiotsonoinnissa ei annos $4 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ ollut riittävä ja jonkin verran näitä virheitä saattoi esiintyä silloinkin kun annos oli $6 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ ilmeisesti heikohkosti onnistuneen muun puhdistumisen seurauksena.

Janakan laitoksen raakaveden puunjalostusteollisuuden voimakkaista jätevesivaikutuksista johtuva hajun tyyppi, jota tutkimuksissa luonnehdittiin sellunvalmistuksen hajuna, meni raakaveden laadun huonoina kausina aina vahvasti läpi Janakan laitoksen tavallisessa puhdistusprosessissa ja oli selvästi tunnettavissa puhdistetun veden hajussa ja maussa niin laitokselta lähtevässä vedessä kuin vesijohtoverkon koko alueen vedessä. Jälkiotsonointi poisti täysin tämän hajun ja maun. Esiotsonoinnissa ei $4 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ riittänyt poistamaan raakavedessä esiintynyttä puunjalostusteollisuuden jätevesien aiheuttamaa hajua, ja $6 \text{ g O}_3/\text{m}^3$:kin päästi tämän virheen pari kertaa vesijohtoveteen. Näistä voimakkaista selluteollisuuden jätevesivaikutuksista otsonointi jätti vesijohtoveteen puun ja puumaisen hajun ja maun, mutta merkaptaanin ja mädän kaalin hajusta tällaiseksi tyyppiksi muuttuneena häiriö tuntui vähäiseltä.

Otsonoinnin vaikutuksesta veteen ilmestyi herneen, kaislojen ja oljen tyypit, joita useissa tutkimuksissa on pidetty tyypillisinä otsonoidulle vedelle.

Aikaisemmin suoritetun kyselyn ja otsonointitutkimukseen kuuluneen pistohaastattelun perusteella Vaajakosken omakotitalojen asukkail-

la oli aivan yleisesti erittäin väheksyvä mielipide vesijohdosta saatavan veden laatuun. Mitään selvää kannanottoa siitä, että vesi sellaisena kuukautena, jolloin otsonointia suoritettiin, olisi ollut parempaa kuin otsonoimattomana kuukautena, ei tämän vahvan ennakkoesiintymisen vuoksi tuntunut muodostuvan. Kerrostalojen asukkaat olivat huomattavasti vähemmän kriittisiä veden laadun suhteen.

SOK:n makeistehtaan maistajapaneeli saatiin myös suorittamaan arviointi Janakan laitoksen toimittaman 6 g/m^3 esiotsoidun ja Jyväskylän kaupungista sekä Helsingistä tuodun normaalin vesijohtoveden suhteen. Arvostelussa Janakan ja Jyväskylän vesi jakoivat tasavertaisesti 1. ja 2. sijan, Helsingin vesi oli aivan ehdoton kolmonen ja se sai suullisessa laatuarvioinnissa hyvin heikkoja laatusanoja.

Samoista vesistä järjestettiin arviointipaneeli vielä Keravan hyvää pohjavettä käyttävien kuuden vedenkuluttajan avulla. Tällöin Vaajakosken otsonoitu vesi sai ylivoimaisen 1. sijan, Jyväskylän vesi 2. sijan ja Helsingin vesi täälläkin hyvin huonoin laatu-
noin 3. sijan.

Helsinkiläiset ammattimaistajat eivät olleet samaa mieltä. Helsingin ja Jyväskylän vesi oli suunnilleen samanveroisena heidän mielestään selvästi Vaajakosken vettä parempaa, josta heidän havaintojensa mukaan oli tunnettavissa sellunvalmistuksen jätevesivaikutus.

Janakan laitoksella ollut otsonointiyksikkö siirrettiin Pitkäläskoskelle nykyistä vesijohtovettä koskevia kokeita varten. Kokeet aloitettiin tammikuussa 1976. Tavoitteena on ensisijaisesti selvittää otsonoinnin yksityiskohtainen toteuttamistapa sekä sijoitus vedenpuhdistusprosessiin.

Otsonoinnin vaikutus Vantaanjoen veteen on ollut positiivinen pienoiskoelaitospuhdistuksissa. Sen on todettu paremmin kuin min-
kään muun lisäpuhdistusmenetelmän torjuvan Vantaanjoelle tyypilli-

siä sekä fenoleista että levistä aiheutuvia vesijohtoveden hajuja ja makuhäiriöitä. Otsonoinnin ansiosta voidaan myös hygieenistä riskiä lisäämättä vähentää vesijohtoveden klooripitoisuutta.

Otsonoinnin käyttöönotolla voitaisiin taata veden nykyistä selvästi parempi organoleptinen laatu niin kauan kuin Vantaanjoen vettä joudutaan käyttämään Helsingin raakavetenä. Etenkin kun puhdistuskokeet Päijänteen vedellä ovat olleet positiivisia, on hyvinkin perusteltua siirtyä Helsingissä otsonin käyttöön.

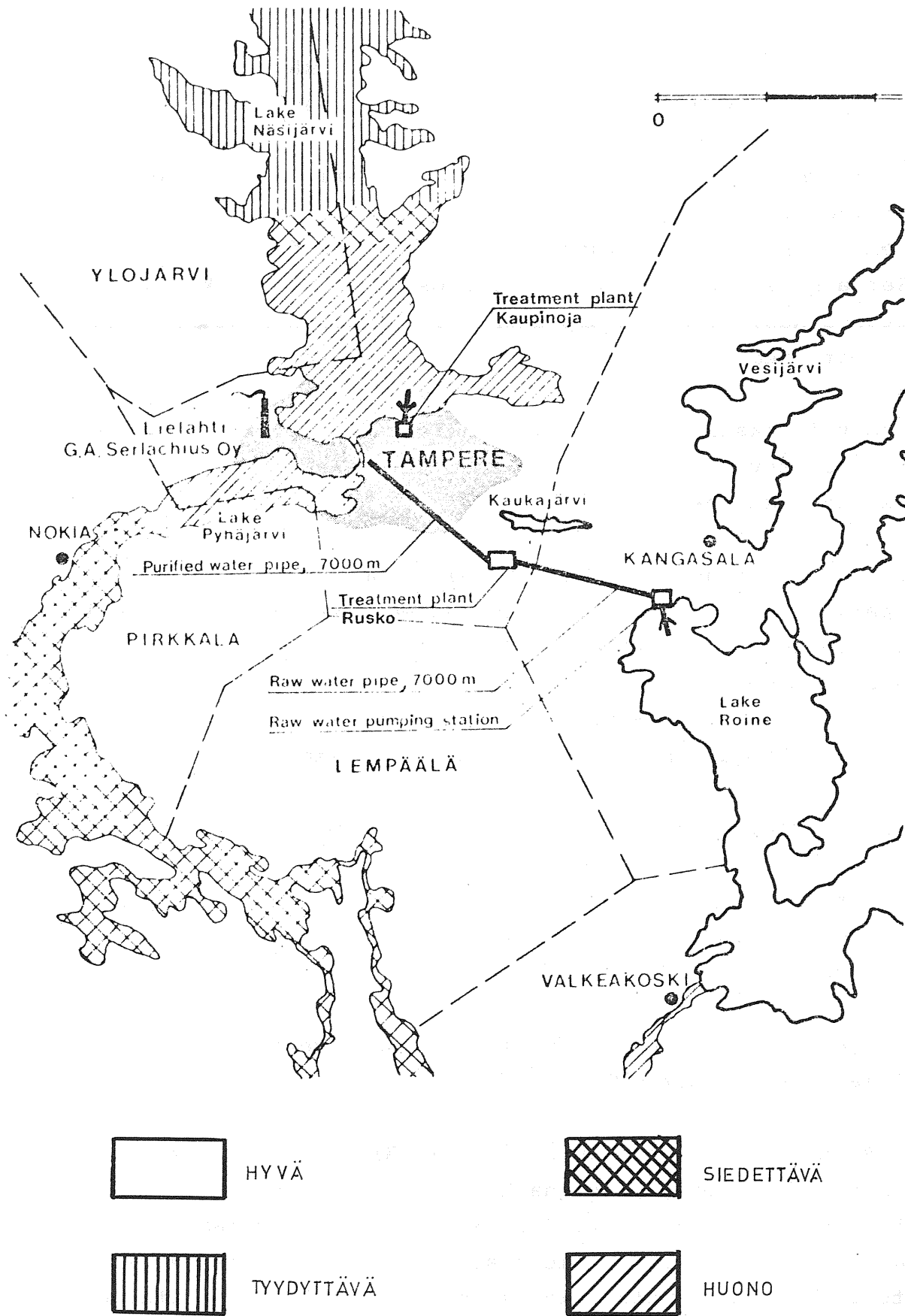
Otsonointi onkin suunniteltu otettavaksi käyttöön sekä Pitkälkosken että Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitoksilla. Otsonointi tapahtuisi ns. jälkiotsonointina, jossa puhdistettava vesi otsonoitaisiin hiekkasuodatuksen jälkeen ennen jälkikemikalointia. Jälkikloori korvattaisiin mahdollisesti klooridioksidilla.

Helmikuussa 1976 laaditun kustannusennusteen mukaan otsonointilaitoksen kokonaiskustannukset olisivat 24 mmk, josta Pitkälkosken laitoksen osuus olisi noin 13,4 mmk ja Vanhankaupungin laitoksen osuus noin 10,6 mmk. Otsonoinnin käyttöönotto lisäisi vedenpuhdistuskustannuksia noin 3,5 p/m³, josta pääomakustannukset olisivat noin 2,5 p/m³ ja käyttökustannukset noin 1,0 p/m³. Toisaalta otsonointi vähentäisi kloorin ja sitä kautta myös kalkin kulutusta, joten lisäkustannukset olisivat noin 3,0 p/m³.

Aikataulun mukaan rakennustyöt käynnistyisivät Pitkälkosken laitoksen osalta vuoden 1977 kevätpuolella sekä Vanhankaupungin osalta vuoden 1978 keväällä. Pitkälkosken laitoksen osalta laitos valmistuisi vuoden 1978 loppuun mennessä ja Vanhankaupungin osalta vuotta myöhemmin.

6.2.2 Tampere

Tampereen kaupungilla on kaksi pintavesilaitosta, joista vanhempi, Kaupinojan puhdistuslaitos, käyttää raakavetenään Näsijärven vettä, ja toinen, Ruskon pintavesilaitos, Roineen vettä. Kuvassa 24 on esitetty Tampereen kaupungin vedenhankintavesistöt. Kaupinojan



Kuva 24. Tampereen kaupungin vedenhankintavesistöt.

laitoksella, jonka maksimiteho on 420 l/s, on käytössä normaali alumiinisulfaattisaostus-selkeytys-suodatusprosessi.

Näsijärven vedessä on ajoittain esiintynyt erittäin voimakkaana sulfiittijäteliemen haju, jota normaali puhdistusprosessi ei poista. Jäteliemi on peräisin kaupungin alueella Lielahdessa sijaitsevasta G.A. Serlachius Oy:n sulfiittiselluloosatehtaasta, joka laskee jätevetensä Näsijärven eteläpäähän, josta kaupunki ottaa raakavetensä. Jäteliemi kerrostuu talven aikana järven pohjalle ja saa aikaan sen, että vesi on noin 15 m:n syvyydestä alkaen täysin hape-tonta ja voimakkaasti rikkivedyltä haisevaa. Tämä pahanhajuinen kerros tekee kevätkierron aikana koko vesimassan vastenmielisen ha-juiseksi ja makuiseksi.

Näsijärven eteläpään tila oli erittäin huono 1960-luvun alkaessa, mutta parani jonkin verran, kun Lielahteen rakennettiin 1960-luvun alussa jäteliemen haihduttamo. Tehtaan tuotannon kasvaessa tilanne kuitenkin jälleen huononi ja varsinkin vuodet 1970 ja 1971 olivat erittäin vaikeat. 1970-luvun alussa tehdas laajensi haihduttamoan ja nykyisin Näsijärven tila on jälleen paranemassa.

Vuonna 1972 valmistuneen Ruskon pintavesilaitoksen raakavesilähtee-nä on Längelmäveden vesistöön kuuluva Roine, josta vesi pumpataan 7 km:n pituista painejohtoa pitkin puhdistamolle. Myös Ruskon lai-toksella on käytössä normaali alumiinisulfaattisaostus - selkeytys-suodatusprosessi.

Vesioikeuden luvan mukaan kaupunki saa ottaa vettä Roineesta 330 l/s, tilapäisesti kuitenkin 400 l/s.

Vaikka Roineen vettä voidaan pitää erittäin hyvälaatuisena vesi-laitoksen raakavetenä, on siinä kuitenkin esiintynyt viime vuosina ajoittain haju- ja makuhaittoja. Kesäisin on toisinaan havaittu kalamaista sekä syksyisin homemaista ja mutamaista hajua ja makua. Suoritetuissa vesistötutkimuksissa hajua ja makua aiheuttavien le-vien määrät eivät ole kuitenkaan ylittäneet kriittisiä raja-arvo-ja.

Kaupungin molemmilla pintavesilaitoksilla on suoritettu sekä laitos- että laboratoriomittakaavassa kokeita haju- ja makuhaittojen poistamiseksi lähinnä aktiivihiilellä, klooridioksidilla ja kaliumpermanganaatilla.

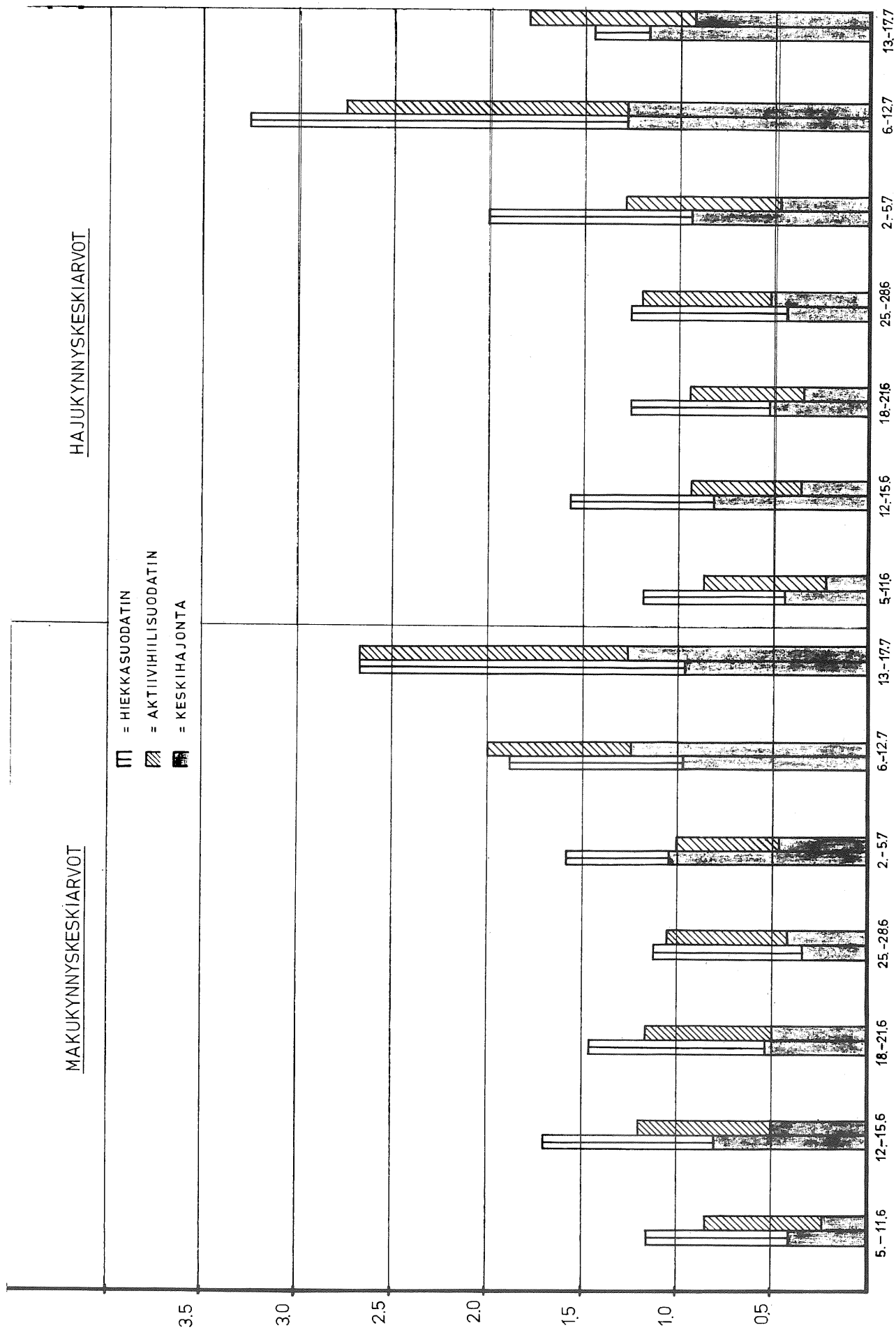
6.2.2.1 Aktiivihiilikokeet

Kaupinojan vedenpuhdistuslaitoksella suoritettiin vuonna 1973 aktiivihiilisuodatuskokeita laitosmittakaavassa. Kokeet suoritettiin kahdessa rinnakkaisessa suodatinallasyksikössä. Toinen suodatin toimi normaalina hiekkapikasuodattimena, ja toisessa suodattimessa korvattiin ylin 30 cm:n kerros aktiivihiilipatjalla. Käytetty aktiivihiili oli kauppanimikkeeltään Hydrassil L.S., jonka raekoko oli 0,5-3,0 mm. Suodatinallasta valittiin siten, että niihin tuleva selkeytetty vesi jakautui tasaisesti molempiin suodattimiin suodatusjakson alussa.

Kokeessa systemaattinen haju- ja makutestaus suoritettiin seuraavasti:

- käytettiin näytevesimääriä 50 ml, 100 ml ja 200 ml, joista kaksi ensimmäistä laimennettiin hajuttomalla ja mauttomalla vedellä 200 ml:ksi
- näytteiden joukkoon laitettiin aina yksi 0-näyte, joka sisälsi pelkkää laimennusvettä
- näytteitä ei lämmitetty, testauslämpötila oli 20 °C.

Tulosten käsittelemiseksi saadut kynnsarvot ryhmiteltiin neljän testikerran ryhmiin, ja kullekin tällaiselle ryhmälle laskettiin haju- ja makukynnskeskiarvo ja tälle keskihajonta. Keskiarvot ja -hajonnat on esitetty pylväsdiagrammina kuvassa 25. Kuvasta voidaan havaita keskiarvoissa selvä, toistuva ero aktiivihiilisuodattimen eduksi niin haju- kuin makutesteissäkin aina 5.7.1973 saakka. Keskihajonta kuvaa testaaajien mielipidejakautumaa kynnsarvovälillä 0...4. Tuloksista havaitaan keskihajonnan kasvavan keskiarvojen kasvaessa. On huomattava, että kyseessä oli täysin harjaantumaton testiryhmä, jolloin suuretkin mielipide-erot ovat mahdollisia.



KUVA 25

Kokeen perusteella voidaan aktiivihiihlen katsoa vaikuttaneen Kaupinojan laitoksella parantavasti veden haju- ja makuominaisuuksiin. Aktiivihiihlen teho ko. tavalla käytettynä näyttäisi riittävän kahdeksi kuukaudeksi. Vuoden 1973 aikana vedenpuhdistamon käyttämä raakavesi oli "normaalia" parempaa, koska kevätkierto tapahtui ja veden happitilanne oli suhteellisen hyvä koko vuoden. Siten myöskään vedessä esiintyneet haju- ja makuhäiriöt eivät olleet kovin voimakkaita ja pitkäaikaisesti vaikuttavia.

Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella suoritettiin vuonna 1974, jolloin esiintyi erittäin voimakasta kalamaista hajua, laboratoriokoe jauhemaisella aktiivihiihellä. Syöttömäärien ollessa alle 10 g/m^3 ei aktiivihiihellä havaittu olevan vaikutusta veden haju- ja makuominaisuuksiin. Laitoksella on kuitenkin tilavaraus aktiivihiihensyöttökojeita varten.

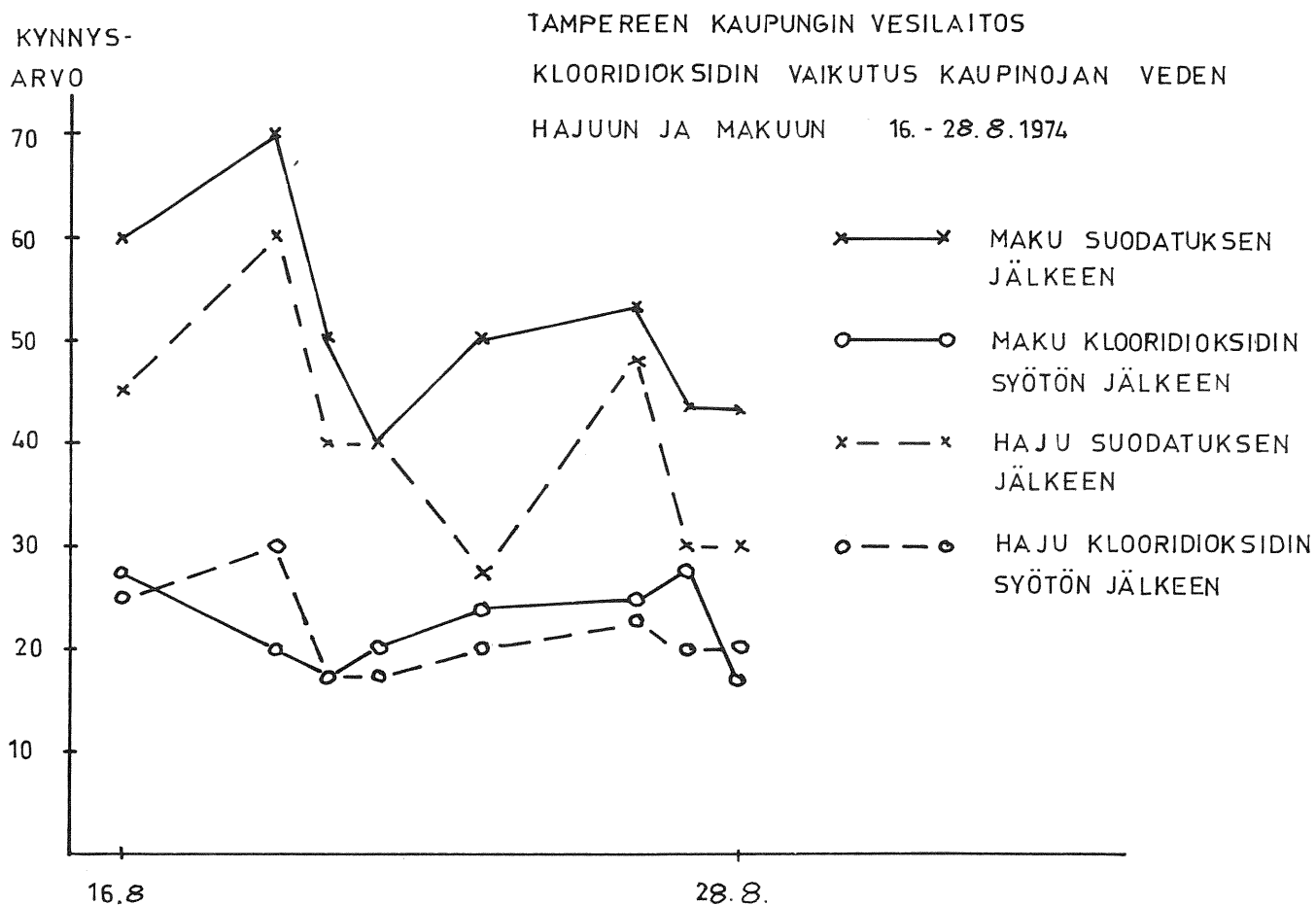
6.2.2.2 Klooridioksidikokeet

Elokuussa 1974 suoritettiin Kaupinojan laitoksella kokeita klooridioksidin vaikutuksesta veden hajun ja maun kynnyksarvoihin. Kokeen aikana alkukloorausta pienennettiin ja jälkiklooraukseen käytettiin klooridioksidia syöttämällä sitä $0,5 \text{ g/m}^3$ suodatettuun veteen. Kynnyksarvot määritettiin sekä heti suodatuksen jälkeen että klooridioksidin syötön jälkeen. Saadut tulokset ovat kuvassa 26, josta havaitaan, että klooridioksidin vaikutuksesta kynnyksarvot alenivat huomattavasti.

Nykyään klooridioksidia käytetään jatkuvasti Kaupinojan laitoksella, jossa sitä valmistetaan kloorista ja natriumkloriitista. Luvan klooridioksidin valmistamiseen laitoksella on antanut kauppa- ja teollisuusministeriö vuonna 1974. Myös Ruskon laitoksella on varauduttu syöttämään klooridioksidia.

6.2.2.3 Kaliumpermanganaatilla suoritettut kokeet

Ruskon pintavesilaitoksella kokeiltiin kesällä 1974 laitosmittakavassa kaliumpermanganaatin vaikutusta veden kalamaiseen hajuun ja



Kuva 26.

makuun. Syöttö tapahtui kemikalointitorniin. Annostuksen ollessa $0,5 \text{ g/m}^3$ tulokset olivat hyviä. Kun annostusta nostettiin niin, että se oli $0,7 \text{ g/m}^3$, ei lisävaikutusta saavutettu. Myöhemmin esiintyneeseen homemaiseen hajuun ja makuun kaliumpermanganaatti ei tehonnut.

6.2.3 Turku

Turun kaupungin vesilaitos pumppasi kulutukseen vuonna 1975 noin $64\,600 \text{ m}^3/\text{vrk}$, josta pohjaveden osuus oli vain 3 %. Kaupungin pintavesilaitoksen, Halisten vedenpuhdistuslaitoksen, raakavesilähteenä toimii Aurajoki, johon kuivina aikoina pumpataan lisävettä Paimionjoesta. Suurimmillaan Paimionjoen osuus saattaa olla jopa

70 %. Puhdistusprosessina laitoksella on alumiinisulfaattisaostus-selkeytys-suodatus. Desinfiointi tapahtuu kloorilla ja klooridioksidilla.

Laitoksella puhdistetussa vedessä on esiintynyt vuosittain kevät- ja syystulvien aiheuttamia haju- ja makuhaittoja. Lisäksi kesäisin on ilmennyt kalamaista hajua ja makua, jonka aiheuttajana on leväkasvusto.

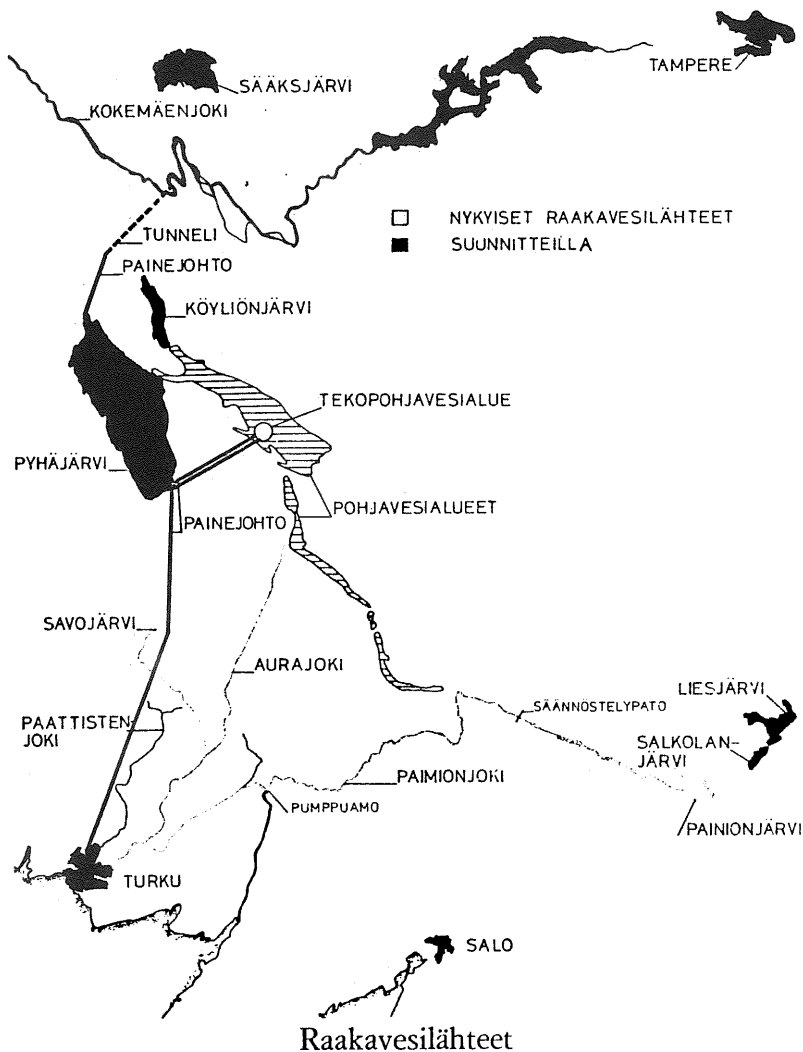
Vesilaitoksen yhteydessä toimivassa vedentutkimuslaboratoriossa suoritetaan fysikaalisia, kemiallisia, bakteriologisia ja limnologisia tutkimuksia, joilla seurataan raakaveden hankintaan kuuluvien vesistöjen tilaa ja vedenpuhdistuksen tehoa sekä tutkitaan vesijohtoveden laatua. Tulva-aikoina tehostetaan erityisesti typpiyhdisteiden pitoisuuksien määrittystä, sillä jokiveden NH_4 -pitoisuudet ovat nousussa lähinnä voimakkaasta maan lannoituksesta, sikaloista ja jätevedenpuhdistuksen heikosta tehosta johtuen. Jatkuva jokiveden seuranta raakavedenottokohdan yläpuolella on tehnyt mahdolliseksi juoksentaa normaalia huonompilaatuista vettä Halisten padon ohi. Kesällä suoritetaan jatkuvaa levälajien ja niiden määrien seuranta. Jokiveden kuparisulfaattikäsittely on tarkoitus suorittaa, mikäli leväkasvusto antaa siihen aiheutta. Lupahakemus ko. toimenpidettä varten on valmisteilla.

Haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi on laitoksella mahdollisuus syöttää jauhemaista aktiivihiihtä alkukemikaloinnin yhteydessä. Aktiivihiihtä on vuosittain käytetty 3 000 - 20 000 kg. Lisäksi raakaveteen on syötetty kaliumpermanganaattia ja ylimäärin saostuskemikaaleja. Tulokset eivät kuitenkaan ole olleet tyydyttäviä. Sen sijaan taitepistekloorauksella on saavutettu hyviä tuloksia. Laboratoriomittakaavassa on kokeiltu selkeytetyn veden suodattamista rakeisen aktiivihiihten läpi, ja näissä kokeissa saadut tulokset ovat olleet lupaavia.

Turun kaupungin nykyiset vesivarat riittävät noin vuoteen 1980. Alueellista raakavedenhankintaa varten perustettiin vuonna 1974 Turun Seudun Vesi Oy, jonka tarkoituksena on hankkia tarvittavaa

lisävettä Turun seudun kunnille. Suunnitelmia on tehty lisäveden ottamiseksi Pyhäjärvestä sekä Säkyän-Virttaan-Oripään pohjavesi-varoista.

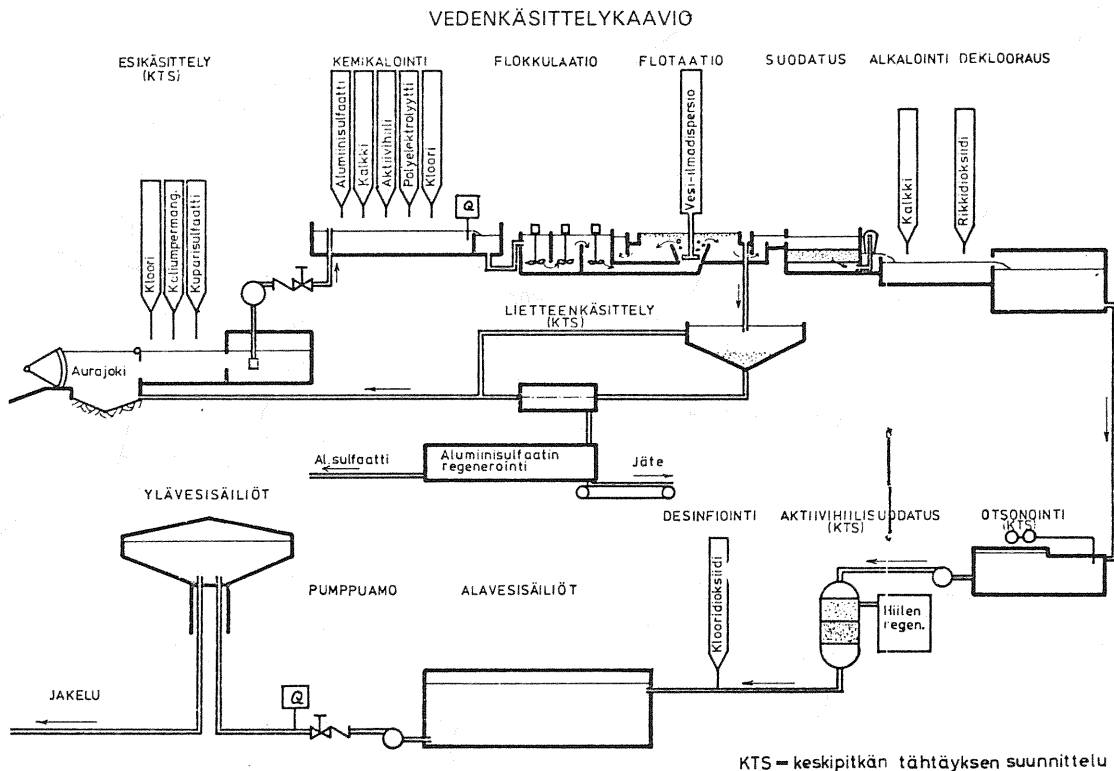
Kuvassa 27 on esitetty Turun kaupungin nykyiset ja suunnitellut raakavesilähteet.



Kuva 27. Turun kaupungin raakavesilähteet.

Halisten vedenpuhdistuslaitoksen puhdistustehon lisäämiseksi on tehty keskipitkän tähtäyksen suunnitelma, jonka mukaan prosessiin tullaan mahdollisesti liittämään veden otsonointi jälkikemikaloin-

nin jälkeen sekä otsonoidun veden aktiivihiilisuodatus. Raakaveden esikäsittelyallas rakennetaan jo vuonna 1976. Hankkeen lupahakemus on jätetty vesioikeudelle. Lisäksi on tarkoitus kokeilla rakeista aktiivihiiltä laitoksen suodattimissa. Kuvassa 28 on esitetty Turun kaupungin vesilaitoksen vedenkäsittelykaavio.

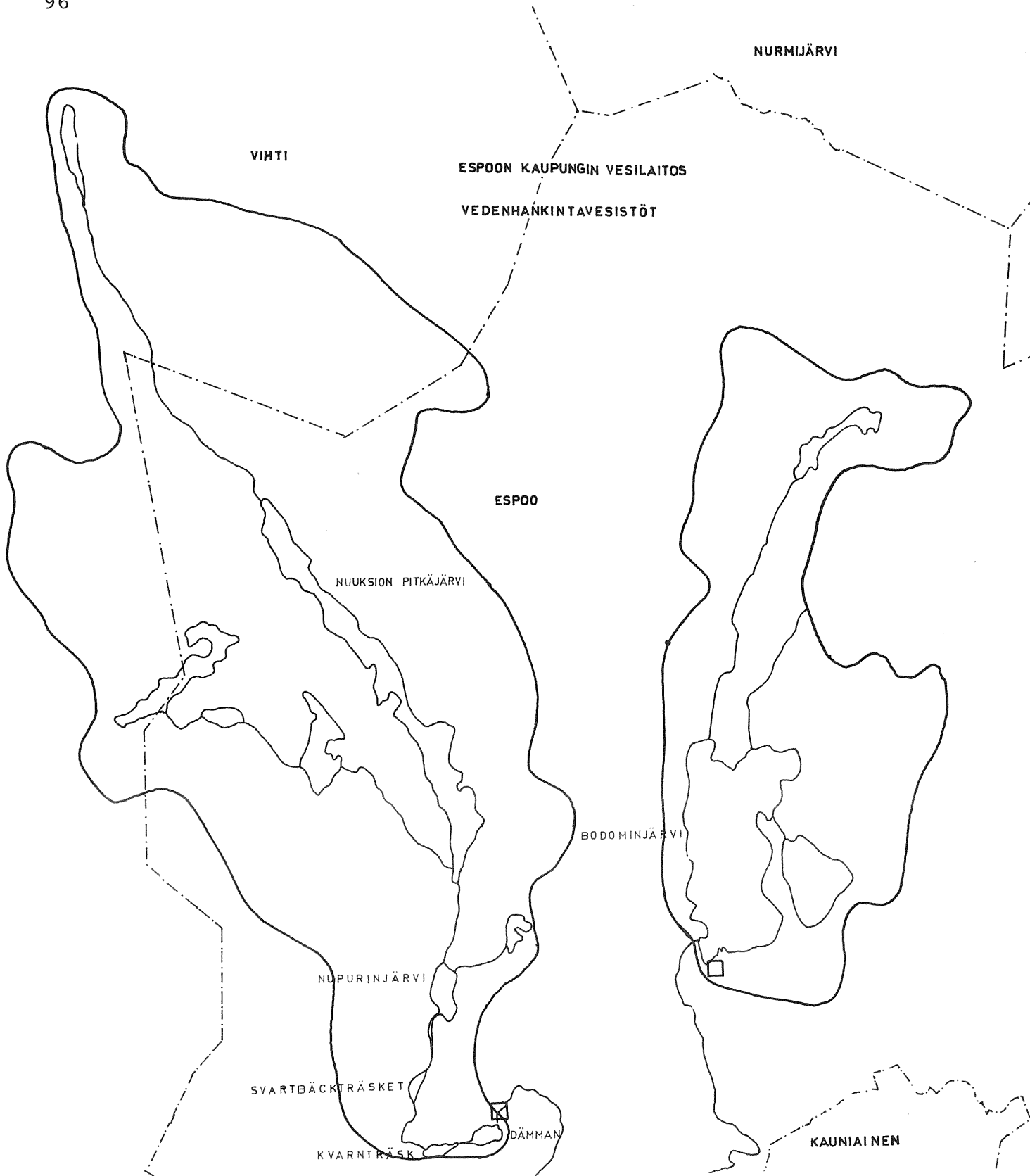


Kuva 28. Turun kaupungin vedenkäsittelykaavio.

6.2.4 Espoo

Espoon kaupungilla on kaksi pintavesilaitosta, Dämman ja Bodom. Molemmilla laitoksilla on käytössä tavallinen alumiinisulfaatti-saostus-selkeytys-suodatus-prosessi. Veden alkaliniteetin säätämiseen käytetään soodaa sekä suodatuksen jälkeen kalkkia veden neutraloimiseen. Desinfiointi suoritetaan kloorilla. Kuvassa 29 on esitetty Espoon kaupungin vedenhankintavesistöt.

Vesioikeuden päätöksen mukaan Bodom-järvestä saadaan ottaa 150 l/s



Kuva 29. Espoon kaupungin vedenhankintavesistöt.

ja Nuuksion Pitkäjärvestä 300 l/s. Veden saannin turvaamiseksi kumpaakin järveä joudutaan säännöstelemään.

Espoon kaupungin juomavedessä on kesäisin esiintynyt voimakkaita haju- ja makuhäiriöitä. Vallitsevana tyyppinä on ollut homemainen, jonka havaittavuutta lisää raakaveden korkea lämpötila, joskus jopa yli 20 °C. Häiriöiden pääasialliseksi aiheuttajaksi epäillään mädäntyviä kasvinosia. Vesi virtaa Dämmanin tekojärveen Nuuksion Pitkäjärvestä lähes umpeenkasvaneita vesireittejä pitkin. 5,2 km:n matkalla viipymä on 3-5 vrk. Myös leväkasvillisuutta on ilmennyt sekä Dämmanin tekojärvestä että yläpuolisessa vesistöissä. Vallitsevana levälajina on ollut eräs kultalevälaji.

Usean vuoden ajan on Dämmanin laitoksella kesäisin suoritettu raakaveden ylikloorausta haju- ja makuhäiriöiden pienentämiseksi. Deklooraus on suoritettu rikkidioksidilla. Alkuaikoina yliklooraus paransi veden laatua, mutta viime vuosina häiriöt ovat niin voimakkaasti kasvaneet, ettei yliklooraus ole enää auttanut.

Dämmanin puhdistuslaitoksen yhteydessä toimii vedentutkimuslaboratorio, jossa suoritetaan sekä raakaveden että vesijohtoveden fyysikaalis-kemiallista ja mikrobiologista valvontaa. Lisäksi harjoitetaan prosessiin liittyvää tutkimustoimintaa. Mm. on kokeiltu klooridioksidin syöttöä ylikloorauksen yhteydessä sekä vaihdeltu kemikaalien syöttöpaikkoja. Tulokset eivät ole kuitenkaan antaneet ratkaisua laitoksen haju- ja makuhäiriöihin. Vesistötutkimuksissa pääpaino on valuma-alueiden vesistöjen tarkkailussa. Kuparisulfaatin syötön valvontaa suoritetaan laboratoriossa tekemällä kuparimäärityksiä sekä raakavedestä että puhdistetusta vedestä.

Haju- ja makuhaittoja on pyritty torjumaan myös vesistöissä suoritetuilla toimenpiteillä, jotka ovatkin lieventäneet häiriöitä, mutta eivät ole kokonaan poistaneet niitä. Lisäksi Dämmanin pintavesilaitoksella on tutkittu mahdollisuuksia parantaa valmistettavan veden haju- ja makuominaisuuksia laitoksella suoritettavin toimenpitein. Vuonna 1971 suoritettiin kokeita aktiivihiilellä, kalliumpermanganaatilla, klooridioksidilla sekä otsonilla. Otsonointi-

kokeita jatkettiin edelleen syksyllä 1975.

6.2.4.1 Vesistöissä suoritettut toimenpiteet

Levien torjunta

Levien torjuntaa Espoon kaupungin vedenottovesistöissä on suoritettu kuparisulfaattilla. Länsi-Suomen vesioikeus on antanut toimenpiteeseen luvan, jossa maksimikonsentraatioksi on määrätty $0,5 \text{ mg CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}/\text{l}$.

Vuonna 1964 suoritettiin käsittely ensimmäisen kerran. Tällöin käsiteltiin Bodomin järvi sekä yläpuolinen vesistö. Levitys suoritettiin lentokoneesta. Siitä lähtien toimenpidettä on toistettu tarpeen vaatiessa sekä Bodomin että Dämmanin vesistöalueella.

Yleensä levitys tapahtuu moottoriveneeseen kiinnitetyn laitteiston avulla (kuva 30). Dämmanin alueella on kokeiltu myös jatkuvaa tiputusta, niin että kuparisulfaatti on puhdistuslaitoksella liuotettu puhdistettuun veteen ja pumpattu annostelupumpulla muoviputkea pitkin Dämmanin yläpuoliseen puroon.

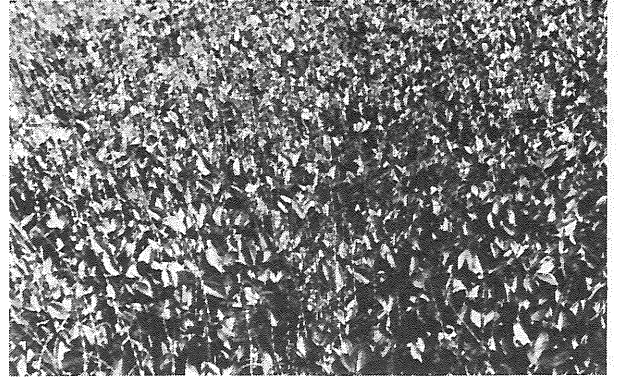
Vesikasvien torjunta

Kuten aikaisemmin on mainittu, suurimpana syynä vedessä esiintyvien haju- ja makuhaittoihin pidetään Dämmanin yläpuolisen vesistön erittäin rehevää kasvustoa. Kuvat 31-33 esittävät lähes umpeenkasvanutta vesistöä, jossa valtalajeina ovat uistinviita sekä eräät korte- ja raatelajit.

Vuonna 1972 suoritettiin vesistöissä ensimmäisen kerran vesikasvien niitto. Tällöin laitoksen käytössä oli suomalaisvalmisteinen leikkuri (kuva 34). Myöhemmin laitokselle on hankittu tšekkiläinen Moto-Zetor -leikkuri (kuva 35). Vesikasvien leikkauksen avulla on pyritty avaamaan uoma Dämmanin yläpuolisessa vesistöissä, jotta veden virtaus paranisi ja samalla viipymä pienenesi. Kuva 36 esittää Kvarnträskiin kasvuston poiston avulla avattua väylää.



Kuva 30. Kuparisulfaattikäsittelyyn käytetty moottorivene.



Kuva 31. Umpeenkasvanutta vesireittiä.



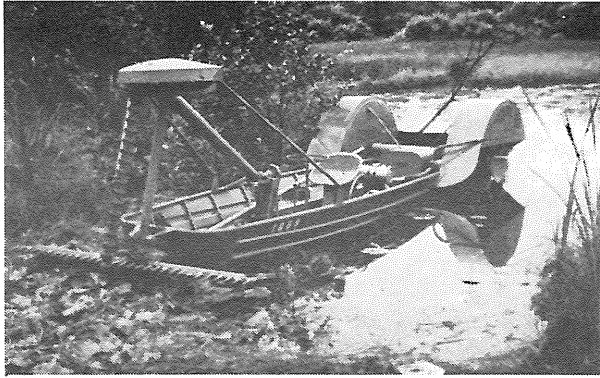
Kuva 32. Umpeenkasvanutta vesireittiä.



Kuva 33. Umpeenkasvanutta vesireittiä.



Kuva 34. Vesikasvien leikkaukseen käytetty suomalainen leikkuri.



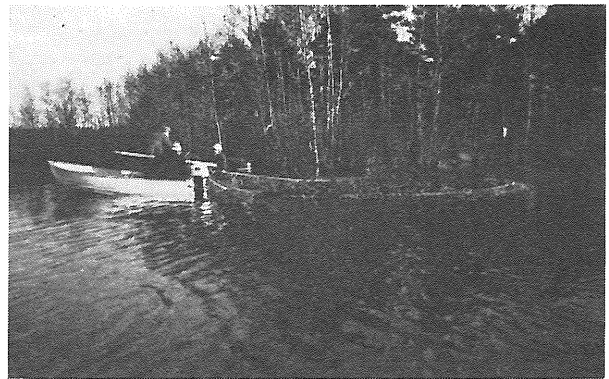
Kuva 35. Tsekkiläinen Moto-Zetor-leikkuri.



Kuva 36. Vesikasvien leikkauksen avulla Kvarnträskiin avattu uoma.



Kuva 37. Vesilaitoksella käytössä oleva haravakone.



Kuva 38. Vesikasvien keruuta leikkauksen jälkeen.



Kuva 39. Vesikasvien keruuta leikkauksen jälkeen.

Niittämisen jälkeen kasvit pyritään poistamaan vesistöistä mahdollisimman tarkoin, jotta mädäntyvät kasvinosat eivät aiheuttaisi lisäharmia. Laitoksen käytössä on eräänlainen "haravakone" (kuva 37). Lisäksi henkilökunta on kehittänyt nuottaa muistuttavan verkon kahdesta lentopalloverkosta. Kuvat 38 ja 39 esittävät kasvien keruuta tällä nuotalla. Kerätyt kasvit on toistaiseksi hävitetty viemällä ne kaupungin kaatopaikalle.

Alusveden poistaminen Dämmanista

Dämmanin tekojärven happipitoisuus saattaa kesäaikanakin olla niin alhainen, että rauta- ja mangaaniyhdisteitä liukenee pohjalietteestä veteen.

Vuonna 1968 aloitettiin lappoperiaatteella poistaa hapetonta alusvettä. Systeemi käsitti aluksi kolme muoviputkea, joista kaksi pienempää olivat halkaisijaltaan ainoastaan 30 mm, suurimman läpimitta oli 200 mm. Pienimmät putket on myöhemmin poistettu ja ainoastaan suurin on toiminnassa. Lappoputken vaikutus raakaveden laatuun on ollut positiivinen.

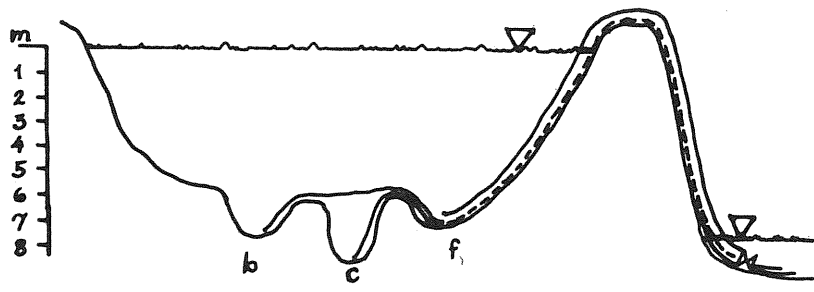
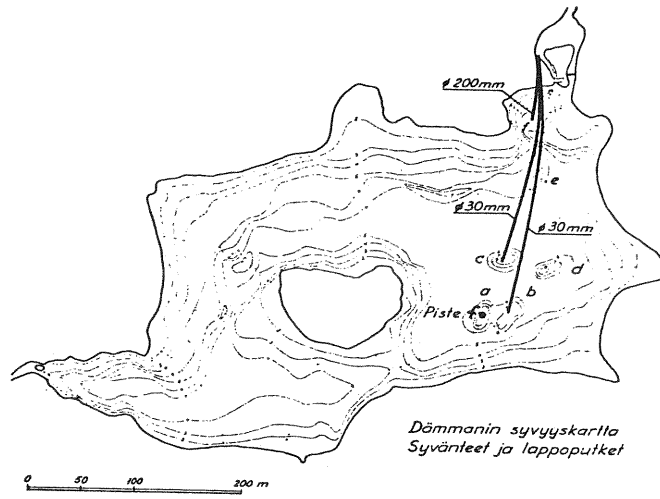
Kuva 40 esittää periaatepiirrosta Dämmanin lappoputkesta.

Bodomin raakavedenottosysteemi

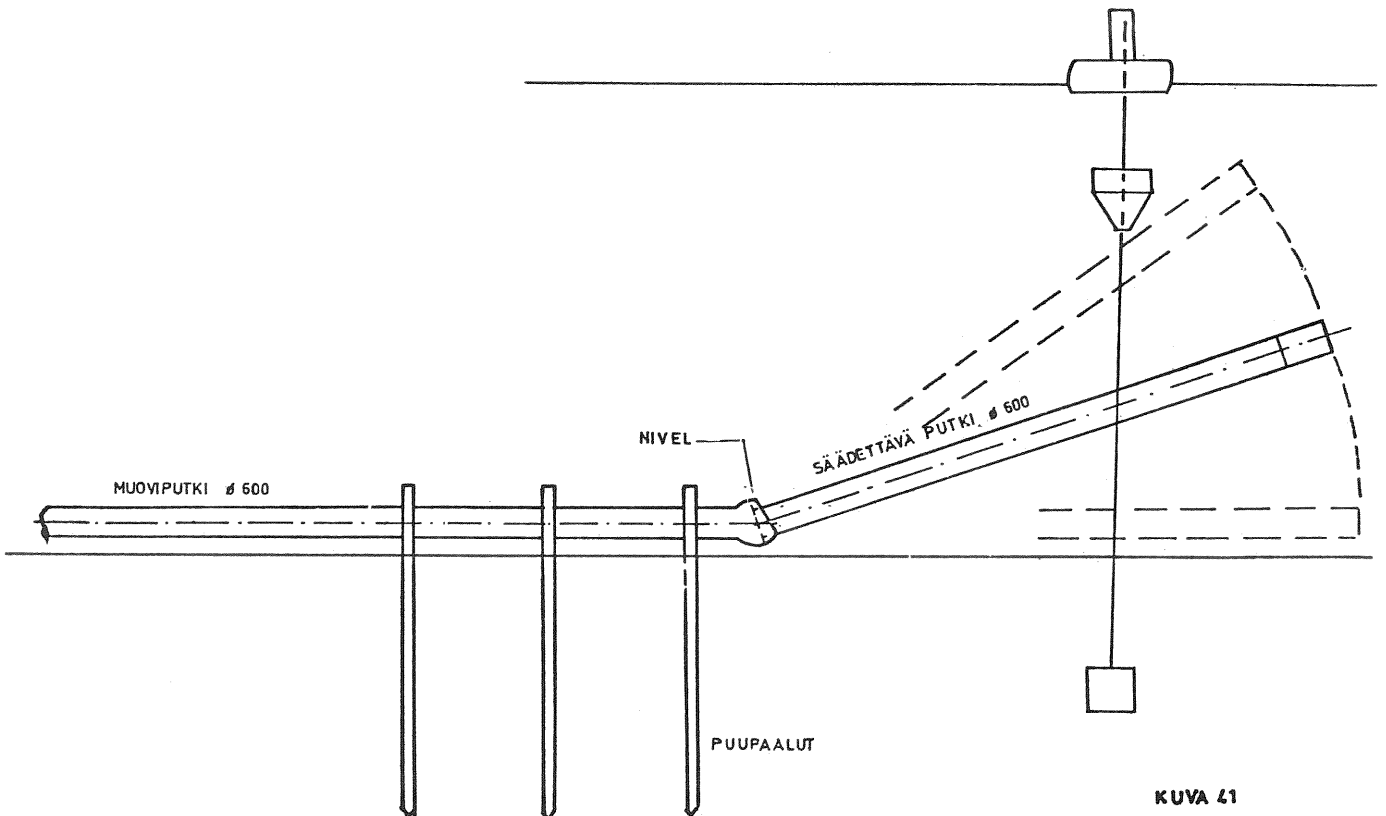
Bodomin pintavesilaitoksen toimintaa häiritsee ennen kaikkea veden korkea mangaanipitoisuus. Tämän haitan torjumiseksi on Bodomin laitoksella käytössä raakavesiputki, jonka viimeiset 13 metriä on nivelletty muutoin pohjaan kiinnitettyyn putkeen. Veden pinnalla ponttoonien varassa kelluvalla lautalla olevan vinssin avulla voidaan vedenottokorkeutta portaattomasti säätää. Tämä systeemi ja jatkuva raakaveden laadun tarkkailu tekevät mahdolliseksi raakaveden oton siitä syvyydestä, missä veden laatu on parasta.

Kuva 41 esittää Bodomin raakavesiputken periaatepiirrosta.

Kuva 40.
Periaatepiirros
Dämmanin
lappoputkesta.



ESPOON KAUPUNKI, BODOMIN PINTAVESILAITOS
RAAKAVESIPUTKI



KUVA 41

Dämmanin ilmastuskokeet

Kesällä 1975 suoritettiin Dämmanin tekojärvellä ilmastuskokeita Nokian lautasilmastimilla. Kokeissa saadut tulokset olivat huonot. Ilmastuksen vaikutuksesta huonolaatuista alusvettä ja jopa pohjalietettä sekoittui järven koko vesimassaan ja näin ollen Dämmanin laitoksen raakaveden laatu huononi. Ilmeisesti veden laadun huononemisesta johtuen Dämmanin vedessä havaittiin ilmastuksen jälkeen sinileviä, joita siinä normaalioloissa ei ole.

6.2.4.2 Laitoksella suoritettut puhdistuskokeet

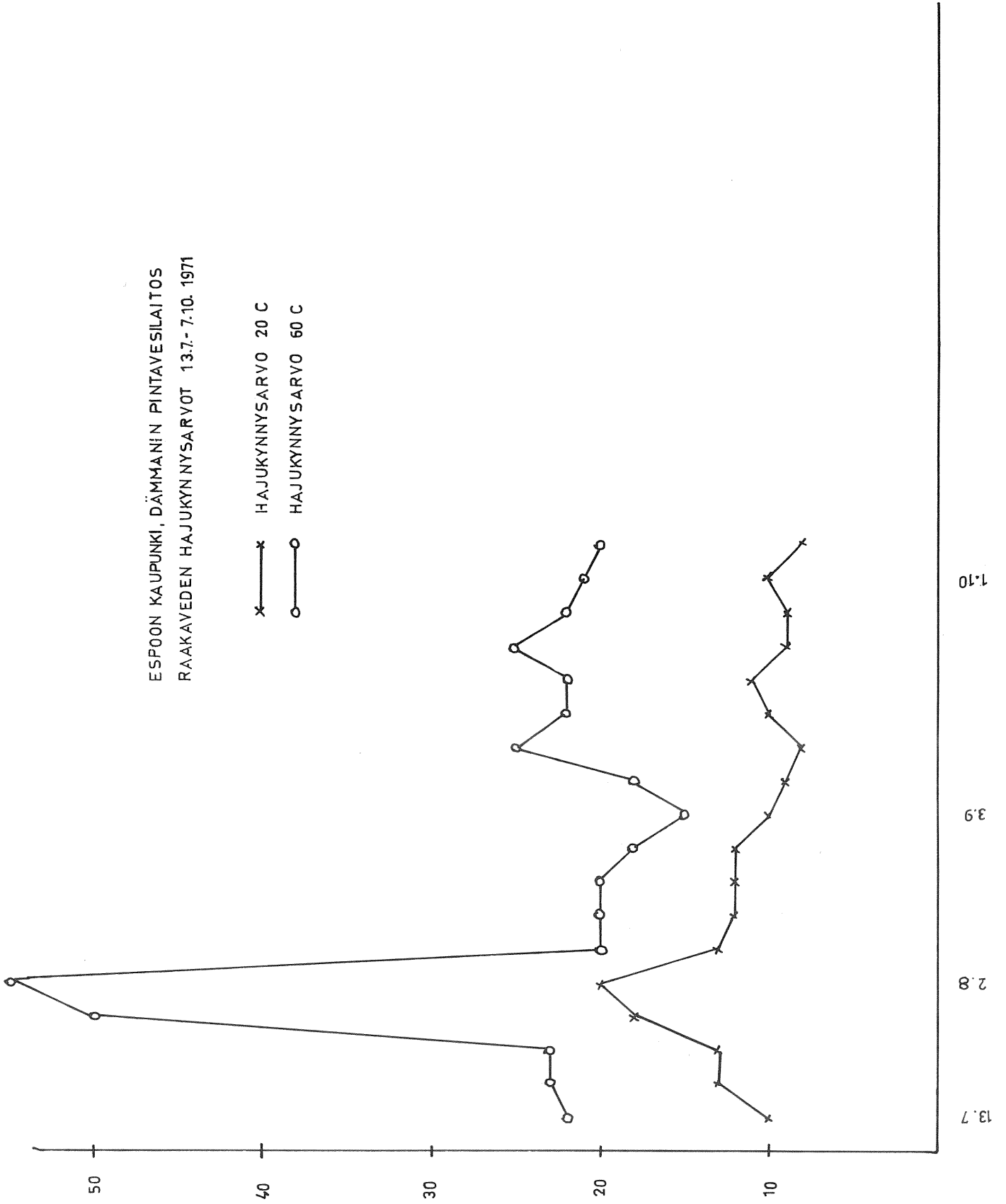
Laitoksella suoritettujen kokeiden aikana 13.7.-7.10.1971 seurattiin myös raakaveden hajuominaisuuksia. Raakavesinäytteet otettiin yleensä puhdistamolta, paitsi 27.9. ja 2.8., jolloin ne otettiin suoraan vesistöistä. Hajukynnysarvot määritettiin sekä 20 °C että 60 °C:ssa (kuva 42). Raakaveden laatua kuvattiin yleisimmin homemaiseksi. Muita useasti esiintyviä tyyppisiä olivat multa, kala, sammal ja ruoho.

Vesistöissä tapahtuvien veden hajuun ja makuun vaikuttavien ominaisuuksien muuttumista tarkkailtiin kaksi kertaa. Vesistönäytteet otettiin Nuuksion Pitkäjärven säännöstelypadolta, Svartbäckträsketin ja Kvarnträskin välisestä purosta sekä Dämmanin tekojärvestä. Määritetyt kynnyksarvot osoittavat, että Nuuksion Pitkäjärvestä johdettavan veden hajukynnyksarvot suurenevat merkittävästi Pitkäjärven ja Dämmanin välisellä vesireitillä. Kynnyksarvojen kasvun lisäksi hajuominaisuudet muuttuvat myös laadullisesti. Merkittäväntä on, että homemaista hajua, joka on yleisimmin tunnistettavissa Dämmanin raakavedessä, ei esiintynyt Nuuksion Pitkäjärvessä.

Myös laitoksella normaalisti puhdistetun veden haju- ja makuominaisuuksia seurattiin kokeiden aikana. Hajukynnyksarvot sekä 20 °C että 60 °C:ssa ja makukynnyksarvot 20 °C:ssa on esitetty kuvassa 43. Puhdistetun veden yleisimmät makutyypit olivat home, kloori, rikki ja mädäntyneet vesikasvit. Verrattaessa raakaveden ja puhdistetun veden hajutyyppejä havaitaan, että puhdistetussa vedessä

ESPOON KAUPUNKI, DÄMMÄNIN PINTAVESILAITOS
 RAAKAVEDEN HAJUKYNNYSARVOT 13.7. - 7.10. 1971

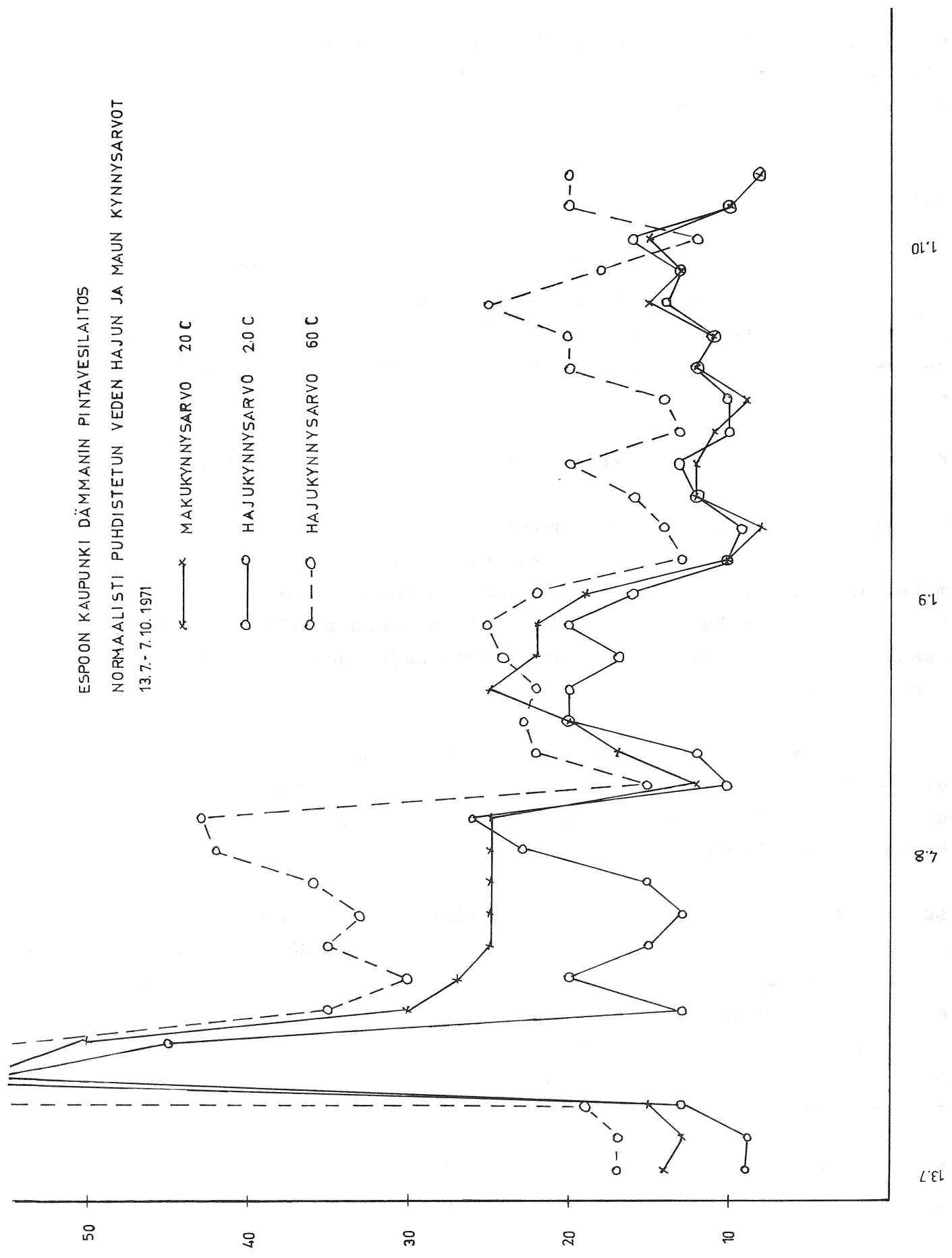
× HAJUKYNNYSARVO 20 C
 ○ HAJUKYNNYSARVO 60 C



KUVA 42

ESPOON KAUPUNKI DÄMMÄNIN PINTAVESILAITOS
 NORMAALISTI PUHDISTETUN VEDEN HAJUN JA MAUN KYNNYSARVOT
 13.7. - 7.10. 1971

x — MAKUKYNNYSARVO 20 C
 o — HAJUKYNNYSARVO 20 C
 o - - - HAJUKYNNYSARVO 60 C



KUVA 43

1.10

1.9

7.8

13.7

esiintyy usein rikkimäinen tyyppi, jota raakavedessä ei esiinny ollenkaan. Näin ollen se on ilmeisesti syntynyt puhdistusprosessissa ja on saattanut aiheutua muodostuneista kloorin yhdisteistä.

Aktiivihiilikokeet

Jauhemaista aktiivihiiltä syötettiin jakotornista hämmentimiin menevään kemikaloituun veteen. Annostukset vaihtelivat 5-20 g/m³, ja kokeissa käytettiin kahta eri aktiivihiililaaatua (Norit W - 20 ja Hydraffin 118 ff). Annostelu suoritettiin 5 % vesisuspensiona kalvopumpuilla.

Kuvassa 44 on esitetty kokeissa saadut hajun ja maun kynnsarvot.

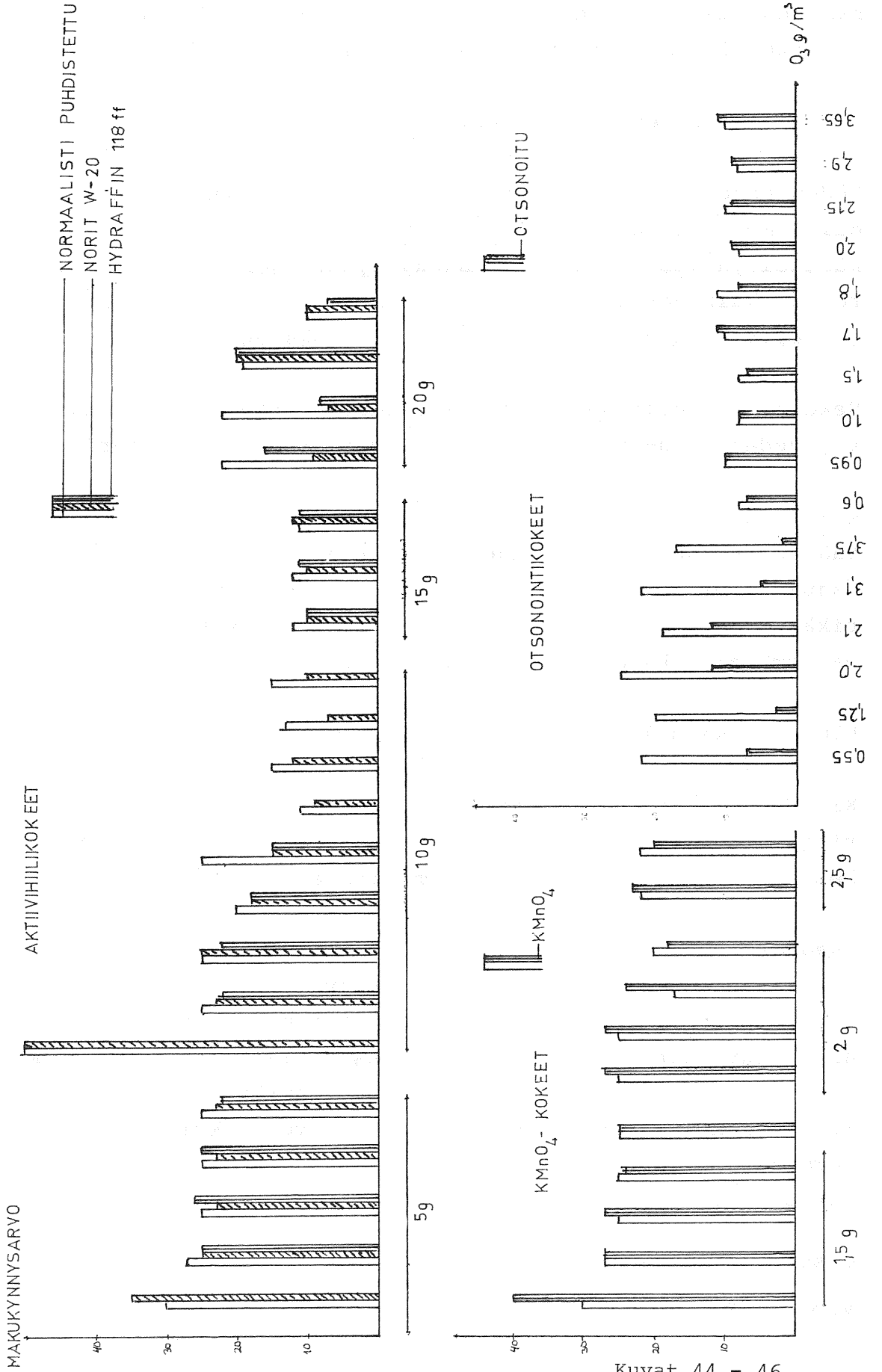
Kokeissa havaituista hajun- ja makutyypeistä voidaan todeta, että sekä aktiivihiilellä käsiteltyjen että vertailuvesien hajun- ja makuominaisuudet olivat pitkälle samankaltaiset. Aktiivihiilikäsittelyn voidaan kuitenkin katsoa vaikuttaneen pistäviin hajun- ja makulaatuihin, joskin tällöin miedommat hajun- ja makuominaisuudet tunnistettiin useammin.

Ylikloorauksen vaikutusta aktiivihiilen tehoon pyrittiin myös selvittämään. Tuloksista voidaan havaita, että aktiivihiilellä käsitellyn veden kynnsarvot pienenevät vettä ylikloorattaessa vähemmän kuin silloin kun ylikloorausta ei suoritettu.

Suoritettujen kokeiden perusteella veden hajun ja maun parantamiseksi olisi käytettävä melko suuria aktiivihiilimääriä (15-20 g/m³), jotta veden hajun- ja makuominaisuudet paranisivat merkittävästi. Aktiivihiilen kanssa olisi ilmeisesti edullisinta käyttää jälkikloorausta veden desinfioimiseen ja rajoittaa alkukloorin käyttöä minimiin. Käytettyjen aktiivihiililaaatujen välillä ei hajun ja maun poistossa ollut merkittäviä eroavuuksia.

Kaliumpermanganaatilla suoritettut kokeet

Kaliumpermanganaattia syötettiin samoin kuin aktiivihiiltäkin ennen



Kuvat 44 - 46

hämmenninvaihetta annostuksen vaihdellessa 1-2,5 g/m³. Annostelu tapahtui 1 %:na vesiliuoksena liuossyöttöpumpulla.

Kuvassa 45 on esitetty kokeissa saadut kynnyсарvot.

Veden haju- ja makuominaisuuksiin kaliumpermanganaatin syötöllä ei ollut myönteistä vaikutusta. Annostuksen ollessa 1,5 ja 2,0 g/m³ käsitellyn veden haju- ja makukynnyсарvojen keskiarvot olivat suuremmat kuin vertailuveden. Syötettäessä 2,5 g/m³ käsitellyn veden ja vertailuveden kynnyсарvot olivat jokseenkin samat.

Sekä kaliumpermanganaatilla käsitellyn että normaalisti puhdistetun veden haju- ja makutyypit olivat jokseenkin samanlaiset.

Kokeiden perusteella kaliumpermanganaatin hapettava vaikutus näyttää kohdistuneen muuhun orgaaniseen aineeseen kuin varsinaisesti hajua ja makua aiheuttaviin yhdisteisiin, joten kaliumpermanganaattikäsitelyllä ei Dämmanin vesilaitoksella saatane veden haju- ja makuominaisuuksia paremmiksi.

Klooridioksidilla suoritettut kokeet

Klooridioksidi valmistettiin laitoksella natriumkloriitista ja kloorista. Syöttömääräksi pyrittiin saamaan 2 g/m³. Annostus tapahtui kemikaloituun veteen ennen hämmentimiä.

Saaduista koetuloksista havaitaan, että kun klooridioksidikäsitellyn lisäksi vesi ylikloorattiin, saavutettiin kynnyсарvoissa 25-35 % pieneneminen. Kun vesi kloorattiin normaalisti, eivät kynnyсарvot parantuneet, vaan klooridioksidilla käsitellyn ja normaalisti puhdistetun veden kynnyсарvot olivat käytännöllisesti katsoen samat. Pienestä koemäärästä johtuen ei voida kuitenkaan sanoa mitään varmaa klooridioksidin vaikutuksesta puhdistetun veden haju- ja makuominaisuuksiin.

Otsonointikokeet

Vuonna 1971 kokeet suoritettiin pienoismittakaavassa laitteistolla,

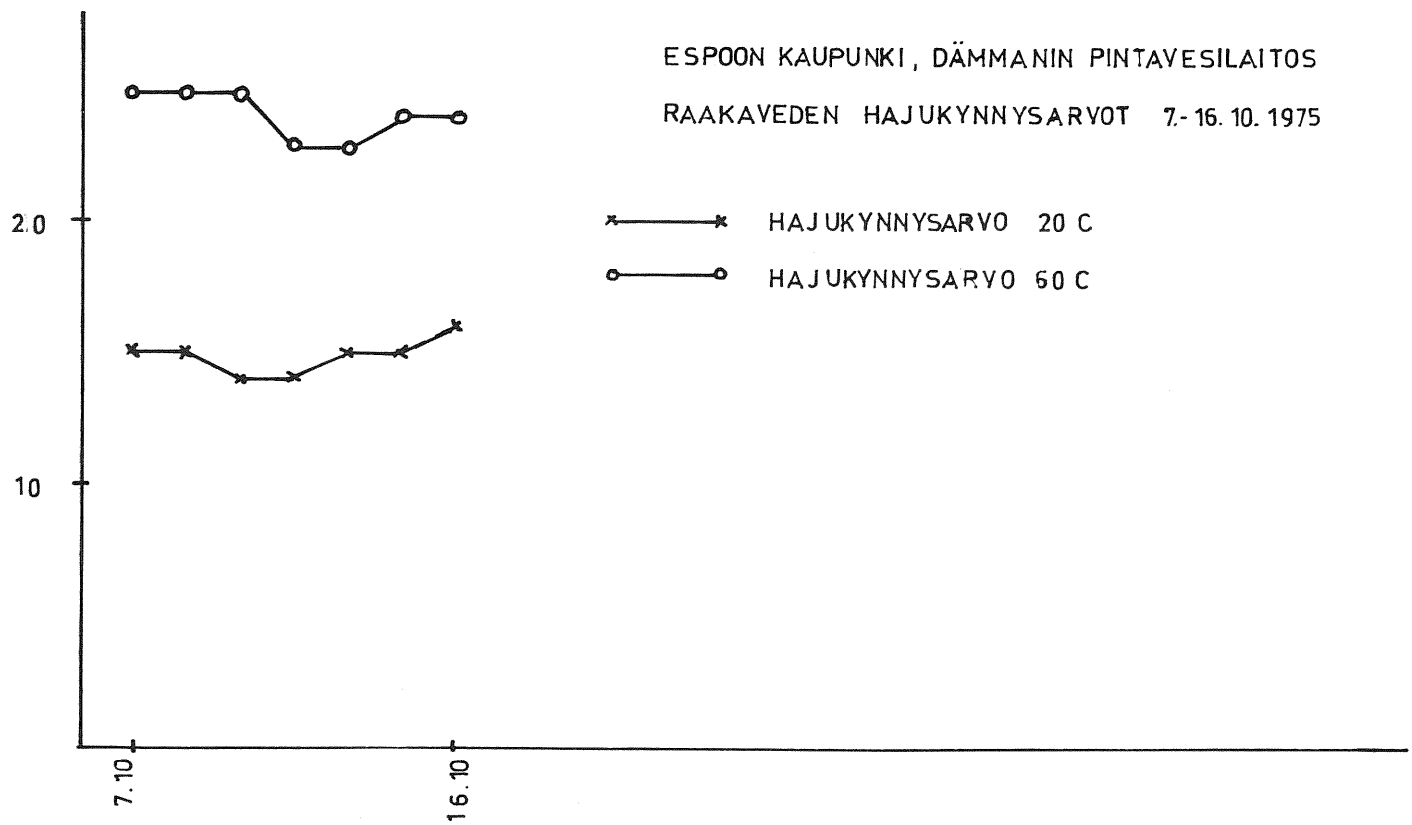
jonka otsonisaattorin teho oli 4 g O₃/h happea käytettäessä. Otsonilla käsiteltiin pääasiassa laitoksen normaalisti puhdistettua vettä syöttömäärien vaihdellessa 0,55-3,75 mg O₃/l. Lisäksi suoritettiin raakaveden puhdistuskokeilu ns. klooriotsonointimenetelmällä, joka perustuu kloorin ja otsonoinnin hapettavaan yhteisvaikutukseen ja näiden jälkeen syötettävän pelkistimen stabilointiominaisuuksiin.

Raakaveden klooriotsonointipuhdistuksen annostelujen optimoimiseksi suoritettiin koesarja, jolla selvitettiin otsoni- ja klooriannostuksen vaikutus pH-arvoon, KMnO₄-kulutukseen ja väriarvoon. Koe-tuloksista havaittiin, että klooria annosteltaessa yhdessä otsonin kanssa ei saavutettu merkittävästi parempi tuloksia kuin pelkällä otsonikäsittelyllä. Tämän vuoksi suoritettiin varsinainen raakaveden puhdistuskoe otsoniannostuksella 5 ja 6 mg O₃/l käyttämättä lainkaan klooria, jolloin saatiin selvästi alhaisemmat haju- ja makukynnysarvot kuin vastaavana aikana normaalisti puhdistetussa vedessä.

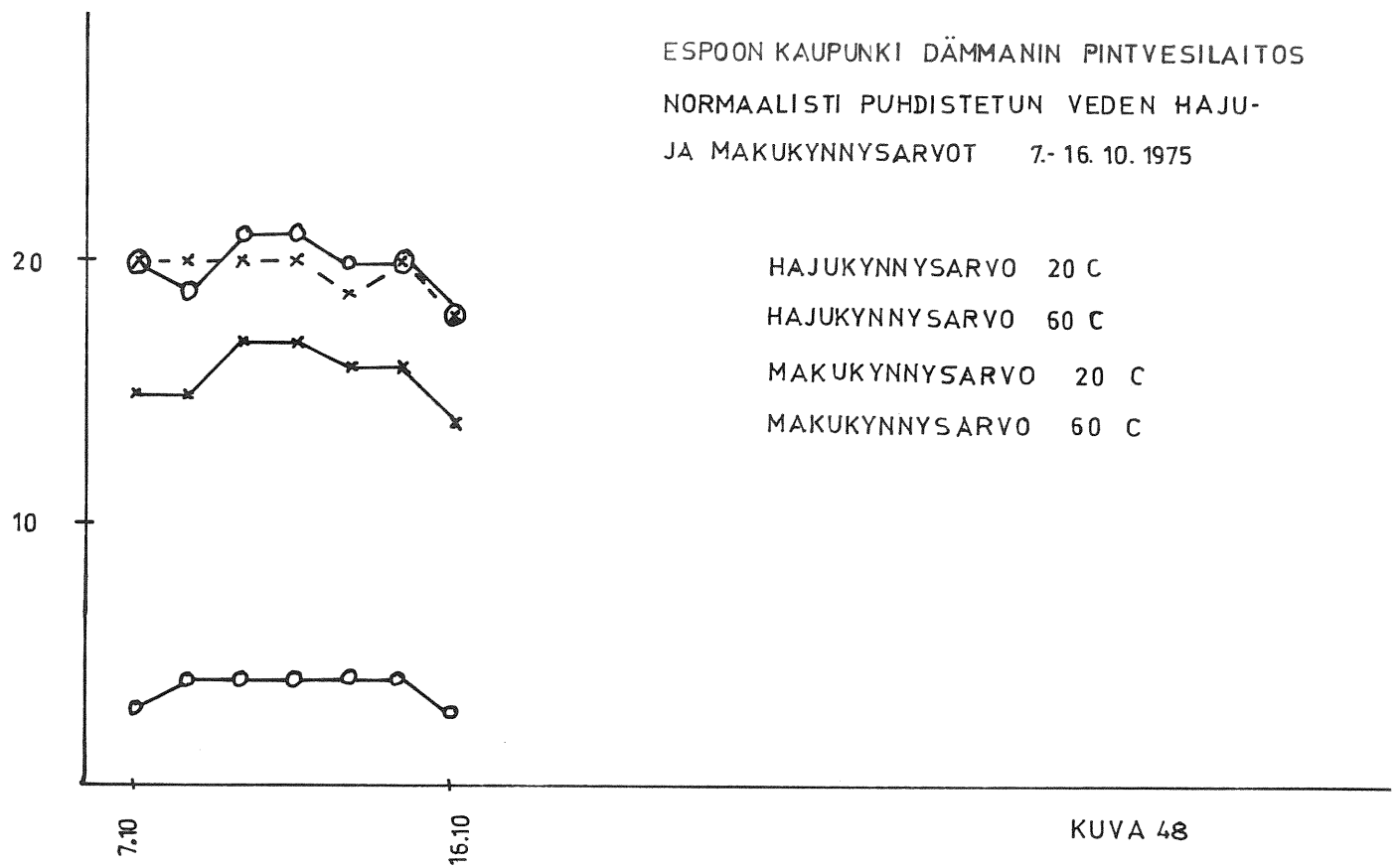
Tarkasteltaessa puhtaan veden otsonoinnissa saavutettuja tuloksia havaitaan, että homeinen haju ja maku, joka Dämmanin haju- ja makutyypeistä on yleisin, esiintyi otsonoidussa vedessä huomattavasti harvemmin kuin vastaavassa vertailuvedessä. Homeen tilalle tulleet haju- ja makutyypit olivat hapan ja makea. Lisäksi voidaan todeta, että huomattavaa paranemista veden haju- ja makuominaisuuksissa tapahtui silloin, kun vedessä oli selviä haju- ja makuhaittoja (kynnysarvot ≥ 20). Käsiteltävän veden ollessa parempaa (kynnysarvot ≤ 10) ei kokeissa saavutettu kynnysarvoiltaan parempaa vettä (kuva 46).

Koska vuonna 1971 suoritettut otsonointikokeet olivat melko suppeat, täydennettiin näitä kokeita syksyllä 1975. Tällöin tutkittiin otsonin vaikutusta prosessin eri kohdissa. Kokeissa käytetty vesimäärä vaihteli 2-4 m³/h. Koelaitteisto käsitti otsonin valmistusyksikön, kaasun ja veden sekoitusyksikön, reaktiotornin sekä suodat-timen, johon oli liitetty pieni hämmennystila. Otsonisaattorin teho oli 20 g O₃/h.

Vertailupohjan saamiseksi seurattiin jatkuvasti myös raakaveden ja



KUVA 47



KUVA 48

normaalisti puhdistetun veden haju- ja makuominaisuuksia. Näiden kynnsarvot on esitetty kuvissa 47 ja 48.

Raakaveden ja normaalisti puhdistetun veden hajutyypeistä esiintyi jälleen voimakkaimpina home. Toinen lähes yhtä voimakas hajutyyppi oli muta.

Normaalisti puhdistetun veden makutyypeistä yleisimmät olivat karvas, home ja multa, keitettyssä vedessä taas yleisimmin esiintynyt makutyyppi oli karvas.

Puhdasvesiotsonointi

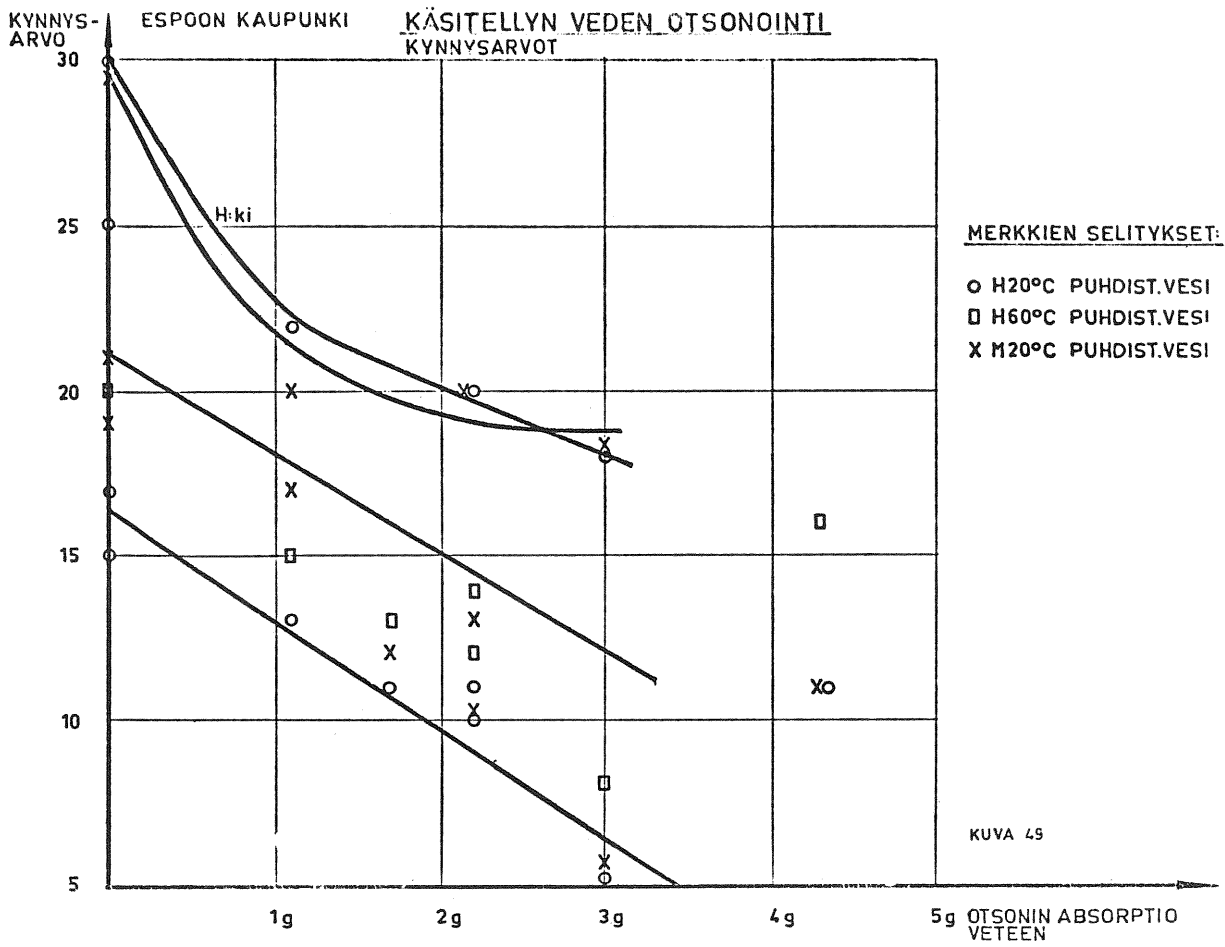
Puhdasvesiotsonoinnilla tarkoitetaan laitokselta lähtevän veden otsonointia. Tällöin veteen on jo siis lisätty jälkikalkki sekä kloori. Syöttökaasun konsentraatio vaihteli kokeissa $5,5-17 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Otsonipitoisuus reaktiotornista tulevassa vedessä oli $0,1-0,6 \text{ g O}_3/\text{m}^3$.

Kokeissa saadut kynnsarvot on esitetty kuvissa 49 ja 50. Ylemmät käyrät esittävät Helsingin kaupungin vesilaitoksen laboratoriossa saatuja kynnsarvoja. Vertailupohjan saamiseksi lähetettiin nimitäin yhden päivän näytteet Helsingin vesilaitokselle kynnsarvojen määrittämistä varten.

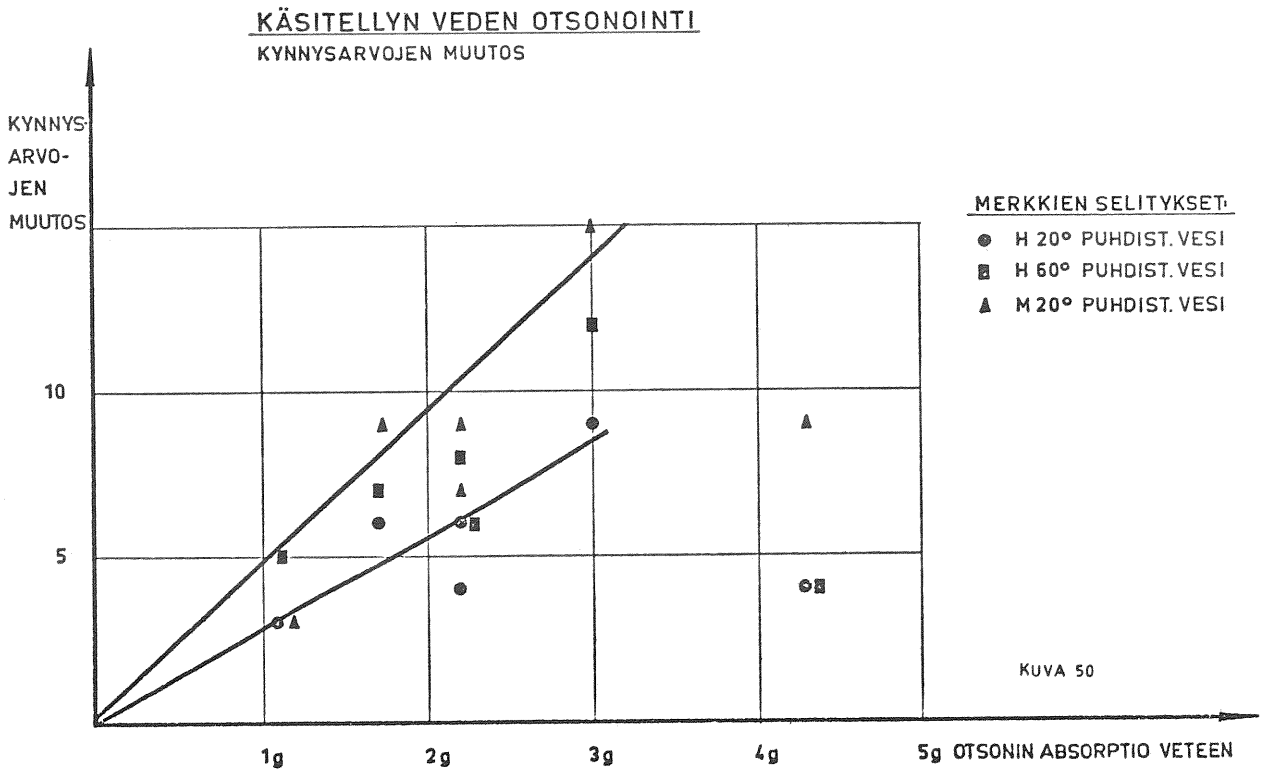
Hajutyypeistä sekä $20 \text{ }^\circ\text{C}$ että $60 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa yleisimmät olivat maatonut, makeahko ja hapan. Makutyypeistä voimakkain puolestaan oli karvas.

Selkeytetyn ja suodatetun veden otsonointi

Selkeytetyn veden otsonoinnissa vesi otettiin suodattimien päältä, jolloin se sisälsi vielä jonkin verran selkeytyksestä tulevaa jäänösflorkkia. Otsonoinnin jälkeen vesi suodatettiin koelaitteiston suodattimessa. Syötetyn kaasun otsonipitoisuus vaihteli $5,3-9,8 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Otsonin määrät vesikuutiometriä kohden olivat $1,3 \text{ g/m}^3$, $1,5 \text{ g/m}^3$ ja $1,8 \text{ g/m}^3$. Suodatettu vesi otettiin koelaitteistoon pumpulla erään suodattimen alta. Veteen ei siis oltu vielä lisätty jälkikalkkia eikä klooria. Syöttökaasun otsonipitoisuudet olivat



ESPOON KAUPUNKI



2,4-5,8 g O₃/m³. Otsonin määrä vedessä oli kokeissa 1,1 g/m³ ja 1,6 g/m³. Selkeytetyn ja suodatetun veden otsonointikokeissa saadut kynnsarvot on esitetty kuvissa 51 ja 52.

Molemmissa kokeissa havaitut haju- ja makutyypit olivat jokseenkin samanlaiset. 20 °C:ssa vallitsevin hajutyyppe oli hapahko samoin kuin myös 60 °C:ssa. Makutyypeistä voimakkain oli jälleen karvas.

Raakaveden otsonointi

Kokeissa käytetty raakavesi otettiin laitokselle tulevasta raakavesijohdosta, johon ei ole vielä lisätty mitään kemikaaleja. Otsonointi suoritettiin ensin pelkkänä otsonointina tarvittavan otsonimäärän selville saamiseksi. Tämän jälkeen suoritettiin esiotsonointikokeet, jolloin saostus suoritettiin koelaitteistolla alumiinisulfaattia ja soodaa käyttäen. Laitteistolla ei ollut mahdollista suorittaa selkeytystä, joten syntyvä sakka jäi kokonaisuudessaan suodattimelle. Syöttökaasun konsentraatio vaihteli 9,4-14,9 g O₃/m³ ja otsonin määrät vedessä olivat 1,4 g/m³, 1,9 g/m³ ja 2,6 g/m³.

Kokeissa saadut kynnsarvot on esitetty kuvissa 53 ja 54.

Raakaveden otsonoinnissa syntyneistä hajutyypeistä selvästi voimakkaimmat olivat hapan ja makea. Kun otsonoitu vesi suodatettiin, hapan hajutyyppe tuntui häviävän kokonaan ja samalla kynnsarvot laskivat pari yksikköä.

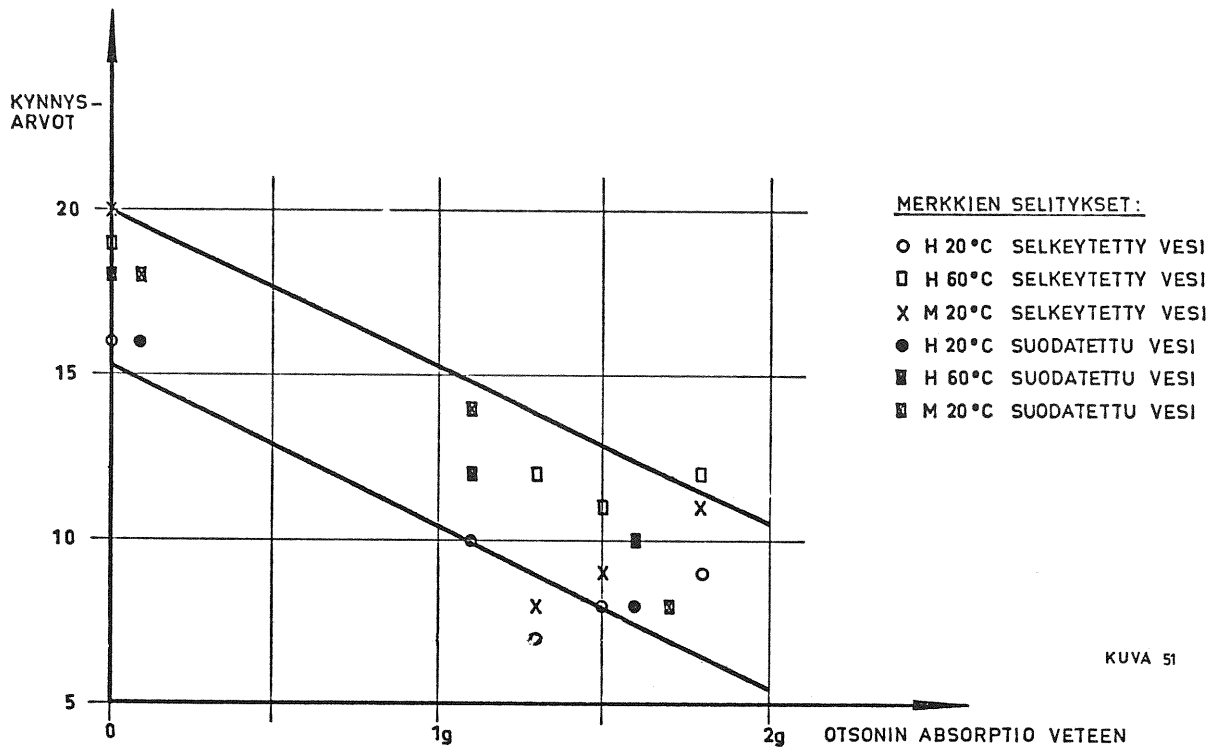
Otsonoinnin jälkeen suoritettu flokkaus alensi kynnsarvoja vielä huomattavasti, mutta hajutyypit pysyivät lähes samoina kuin pelkässä otsonoinnissa.

Suoritetuissa kokeissa optimiotsonimääräksi prosessin eri kohdissa saatiin likimääräisesti seuraavat arvot:

- puhtaan veden otsonointi 3,5 g/m³
- selkeytetyn tai suodatetun veden otsonointi 2,5 g/m³
- esiotsonointi 3,0 g/m³

ESPOON KAUPUNKI

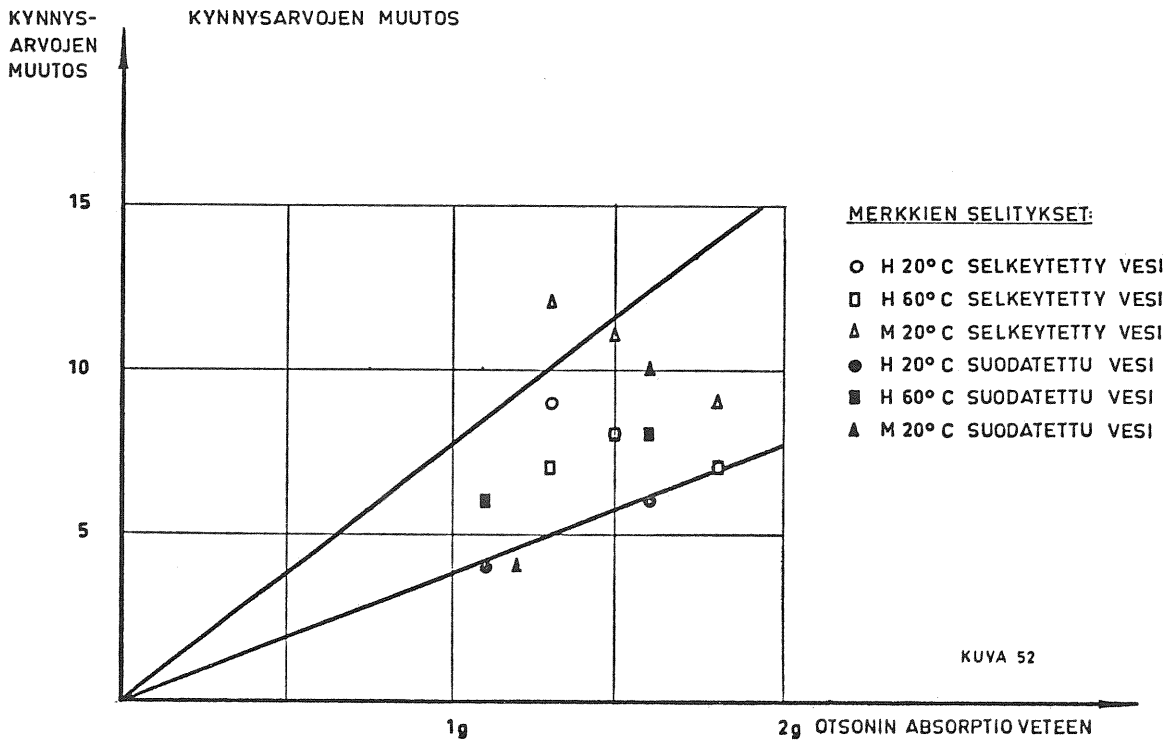
SELKEYTETYN JA SUODATETUN VEDEN OTSONOINTI
HAJU- JA MAKUKYNNYSARVOT



KUVA 51

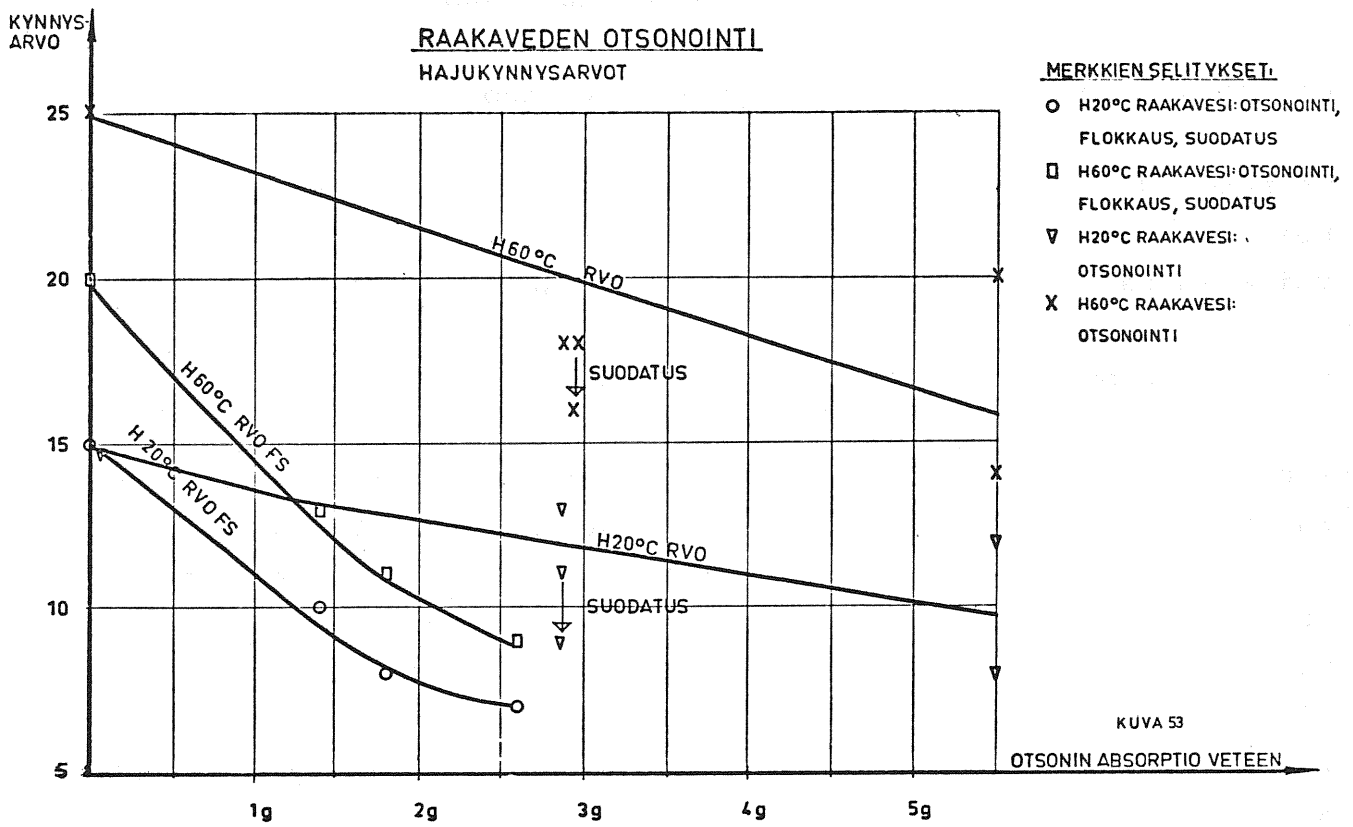
ESPOON KAUPUNKI

SELKEYTETYN JA SUODATETUN VEDEN OTSONOINTI
KYNYSARVOJEN MUUTOS

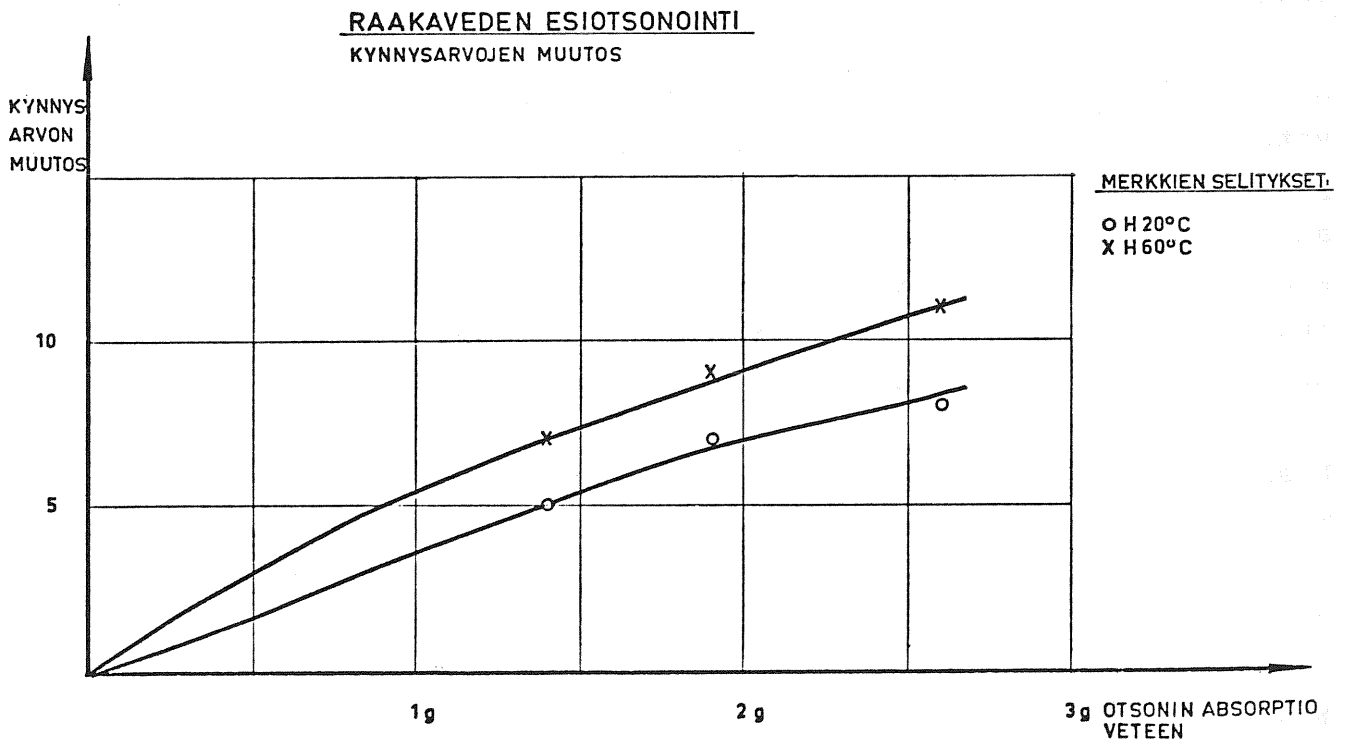


KUVA 52

ESPOON KAUPUNKI



ESPOON KAUPUNKI



Selkeytetyn ja suodatetun veden otsonointi suoritettiin ainoastaan koesarjan loppupuolella, jolloin raakaveden haju- ja makutyypit olivat alkaneet muuttua, joten esitetty annostelumäärä ei ole täysin vertailukelpoinen muiden esitettyjen arvojen kanssa. Koska voimakkaiden haju- ja makuhäiriöiden aikana otsonin tarve on ilmeisesti edellä esitettyä korkeampi, aiemmin mainittuja lukuja ei voida suoraan käyttää laitoksen mitoitukseen.

6.2.5 Kuopio

Kuopion kaupungin pintavesilaitos, Itkonniemi, ottaa raakavetensä Kallavedestä; laitoksen tuotto on 22 000 m³/vrk. Laitoksella on käytössä alumiinisulfaattisaostus--flotaatioselkeytys-suodatus-prosessi. Erikoispiirteenä mainittakoon, että tällä hetkellä Kuopio ainoana kuntana maassamme suorittaa vesijohtoveden fluorausta.

Laitoksen puhdistamassa vedessä on esiintynyt lähes joka vuosi syksyisin parin kuukauden ajan epämiellyttävää hajua ja makua, jota on luonnehdittu homemaiseksi, maatuneeksi, kloorifenolityyppiseksi sekä kalamaiseksi. Suoritetuissa vesistötutkimuksissa häiriöt on todettu pääasiassa levien aiheuttamiksi.

Laitoksella on suoritettu puhdistuskokeita, joissa esikloorattuun veteen on syötetty aktiivihiihtä. Tällä menetelmällä on saavutettu parempi tulos fenolityyppisten häiriöiden poistossa kuin pelkästään aktiivihiihtä käytettäessä. Laitokselle on hankittu aktiivihiihtensyöttökojeet, joita käytetään häiriöiden ilmaantuessa, mutta saatujen kokemusten perusteella aktiivihiihti ei poista levistä aiheuttavia haittoja täydellisesti.

Lisäksi laitoksella voidaan tarvittaessa valmistaa klooridioksidia. Tähän mennessä sitä on kuitenkin käytetty vain hyvin harvoin. Tulevaisuudessa on kuitenkin tarkoitus turvautua klooridioksidin suurempaan käyttöön ja mahdollisesti yliklooraukseen.

Kaupungin toimeksiannosta on myös suoritettu kokeiluja kaliumpermanganaatilla. Näissä kokeissa päätarkoituksena on ollut mangaanin

poisto. Saadut tulokset ovat olleet lupaavia.

Koska kaupunki suorittaa vesijohtoveden fluorausta, tehtiin vuonna 1970 tutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää fluorauksen vaikutusta juomaveden hajuun ja makuun. Kokeissa käytettiin vertailuvesinä aktiivihiehellä suodatettua vettä, joka sisälsi fluoridia 1,0 mg/l, tislattua vettä sekä vesilaitoksen suodatettua vettä ennen jälkikemikalointia. Näytevedet valmistettiin lisäämällä vertailuvesiin natriumfluoridijauhetta siten, että aktiivihiehellä suodatettua vettä käytettäessä näyteveden fluoripitoisuudeksi tuli 2,0 mg/l, muita vesiä käytettäessä 1,0 mg/l. Määritettäessä sekä vertailu- että näytevesien kynnyksarvot todettiin, ettei fluoridin lisäyksellä juomaveteen ole veden hajua ja makua muuttavaa vaikutusta ainakaan silloin, kun veden fluoridipitoisuus on 2,0 mg/l tai sitä vähäisempi.

6.2.6 Vaasa

Vaasan kaupungin vesilaitos käyttää raakavetenään Kyrönjoen vettä. Ennen käyttöönottoa vesi varastoidaan Pilvilammen tasausaltaaseen (2 000 000 m³). Allas on verrattain matala, keskisyvyys on noin kaksi metriä.

Vesilaitos on flotaatiolaitos, joka on hyvin pitkälle automatisoitu. Alkukemikaloinnissa syötetään raakaveteen pikasekoitustilassa alumiinisulfaatti, kloori, kaliumpermanganaatti sekä kalkki. Selkeytyksen jälkeen vesi johdetaan jälkihämmennyttimeen, jossa suoritetaan pH:n nostaminen kalkilla ja lipeällä mangaanin poistamiseksi. Tämän jälkeen vesi johdetaan hiekkapikasuodattimiin, joihin selkeytyksessä ja jälkihämmennyksessä saostuneet alumiini- ja mangaaniyhdisteet pidättyvät. Laitoksen nimellisteho on 60 000 m³/vrk.

Haju- ja makuhaittoja on esiintynyt talvisin jääpeitteen aikana sekä pitkien sateiden jälkeen, jolloin ympäröivistä soista huuhtoutuu vettä, mikä aiheuttaa suomaista hajua ja makua. Lisäksi on joinakin vuosina, lähinnä alku- ja loppukesästä, esiintynyt leväkasvustoa.

Talvella esiintyvien haju- ja makuhaittojen poistamiseksi on kevät-talvesta 1971 lähtien Pilvilampea ilmastettu jääpeitteen aikana. Toimenpiteen ansiosta haju- ja makuhäiriöt ovat hävinneet.

Levähaittojen poistamiseksi on Vaasan kaupunki saanut vesioikeudelta luvan kuparisulfaatin käyttöön levien torjunnassa. Kuparisulfaattiliuos levitetään moottoriveneeseen kiinnitetyn sprinklerputken avulla, konsentraatio on 0,4-0,5 mg/l. Myös tämän toimenpiteen tulokset ovat olleet myönteisiä.

Veden laadun tarkkailun tehostamiseksi on syksystä 1975 lähtien suoritettu laitoksella viitenä päivänä viikossa sekä raakaveden hajun että johtoveden hajun ja maun kynnsarvojen määrittämiä. Hajun kynnsarvot määritetään sekä 20 että 60 °C:ssa ja maun sekä keittämättömästä että keitetystä vedestä. Kuvassa 55 on esitetty kynnsarvomäärittämiä maaliskuussa 1976.

Laitoksella on ollut käytössä kaliumpermanganaatin syöttö, jonka pääasiallisena tarkoituksena on ollut mangaanin poisto, mutta samalla se on saattanut poistaa myös haju- ja makuhäiriöitä.

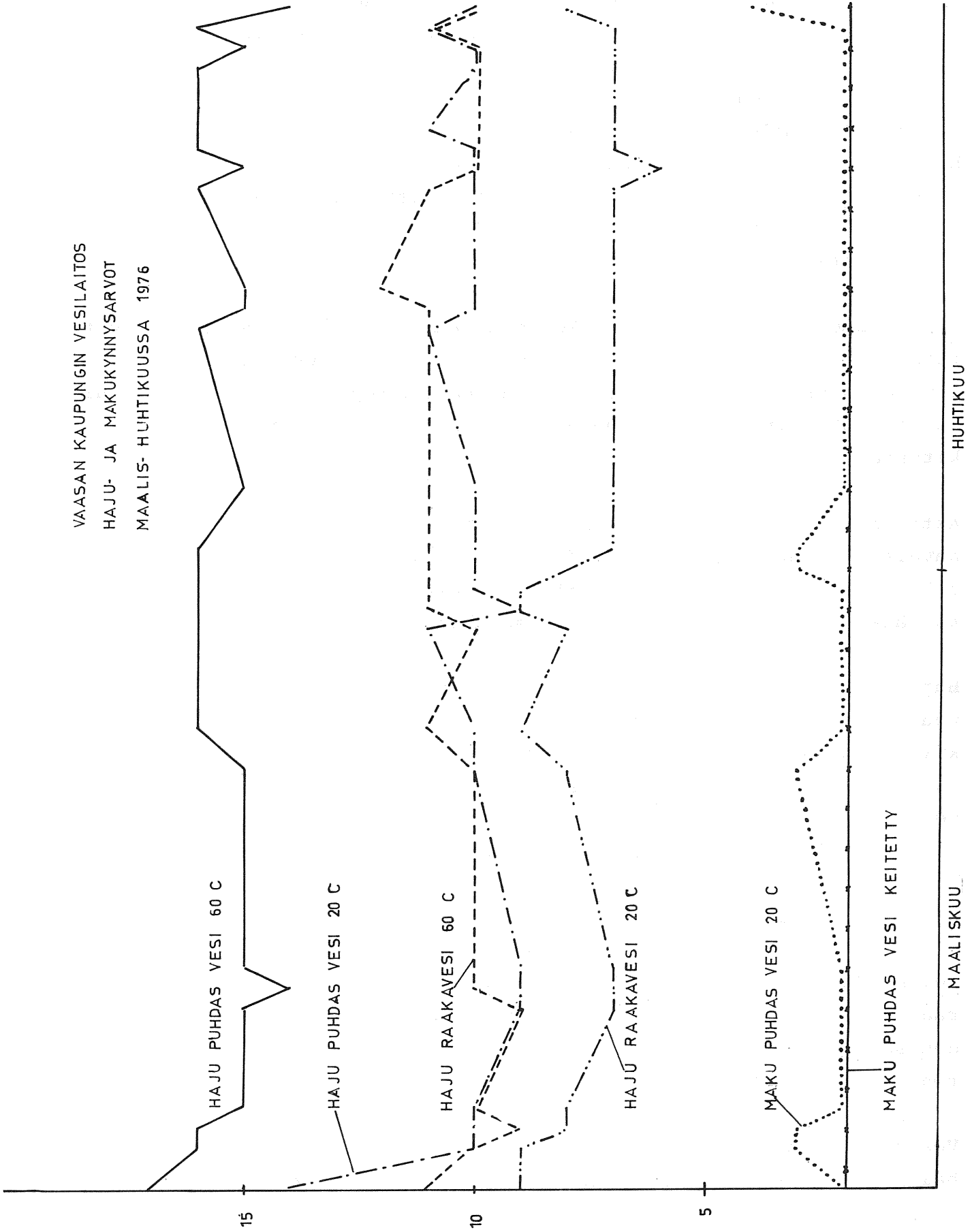
6.2.7 Rauma

Rauman kaupungin vesilaitos on pulsaattorilaitos, jonka teho on 9 300 m³/vrk.

Laitos käyttää raakavetenään Eurajoen vettä, jonka voidaan katsoa olevan tällä hetkellä voimakkaasti jätevesien vaikutuksen alaisena, mikä yhdessä pienen virtaaman kanssa on aiheuttanut ainepitoisuuksien huomattavaa kasvua. Jätevesien vaikutukseen viittaavat suuret ammoniakki- ja suolapitoisuudet.

Laitoksen puhdistamassa vedessä on esiintynyt toistuvasti haju- ja makuhaittoja, jotka ovat voimakkaimmillaan talvisin parin kuukauden ajan. Haju- ja makutyyppeinä on esiintynyt homemainen, maaton ja lääkemäinen.

VAASAN KAUPUNGIN VESILAITOS
HAJU- JA MAKUKYNNYSARVOT
MAALIS- HUHTIKUUSSA 1976



KUVA 55

Esiintyneiden haju- ja makuhäiriöiden johdosta tehtiin vuonna 1972 puhdistamolle tulevasta raakavedestä mikroskooppinen levätutkimus. Näytteissä havaittiin useita levälajeja, jotka runsaina esiintyessänsä voivat aiheuttaa veteen hajua ja makua. Kuitenkin näytteessä havaittu levämäärä oli niin vähäinen, ettei sillä ole merkitystä hajua ja makua antavana tekijänä. Näin ollen haju- ja makuhäiriöt aiheutuvat ilmeisesti hajoavasta orgaanisesta aineesta tai asumaja teollisuusjätevesissä olevista epäorgaanisista ja orgaanisista yhdisteistä.

Puhdistamolle on alunperin rakennettu KMnO_4 :n ja aktiivihiilen syöttömahdollisuus selkeyttämön ja suodattimien väliseen tilaan. Kaliumpermanganaattia on käytetty lähinnä mangaanin hapetuksessa. Haju- ja makuhäiriöiden torjunnassa sillä ei ole todettu olevan merkitystä.

Aktiivihiilen parantavaa vaikutusta haju- ja makuhäiriöihin ei ole havaittu alkuperäisessä syöttökohdassa. Tämän vuoksi aktiivihiilen syöttökohtia on vaihdeltu. Sitä on syötetty mm. raakaveteen, mutta tälläkään toimenpiteellä ei ole saatu aikaan parannusta.

Haju- ja makuvivahteet Rauman vesijohtovedessä vaihtelevat raakaveden koostumuksen mukaan. Häiriöitä sanotaan riittävän niin kauan kuin ottovesistön yläjuoksu on "viemäri". Lounais-Suomen vedenhankintasuunnitelmassa 1973 esitetään, että Rauman seudun "juomaveden" raakavesi erotetaan nykyisestä "teollisuusvesikanavasta" rakentamalla suora putkilinja Säkylän Pyhäjärvestä Raumalle.

6.2.8 Seinäjoki

Seinäjoen kaupungin vesilaitos, Jouppilanvuoren vesilaitos, käyttää raakavetenään Kyrönjoen vettä. Vedenkäsittelyprosessi on tavallinen saostus-selkeytys-suodatus-prosessi, laitoksen keskimääräinen teho on $12\,000\text{ m}^3/\text{vrk}$.

Vesijohtovedessä on esiintynyt vuosittain keväällä haju- ja makuhaittoja, jotka johtunevat lumen sulamistulvan aiheuttamasta maa-

perän huuhtoutumisesta. Häiriöitä on myös esiintynyt pitkäaikais-
ten sateitten jälkeen.

Haju- ja makuvirheiden poistamiseksi oli tarkoitus suorittaa kevääl-
lä 1975 laitoksella koeotsonointi, mutta koe keskeytettiin, koska
poikkeuksellisen vähälumisesta talvesta johtuen kevättulvien ai-
heuttamia haittoja ei esiintynyt. Tulevaisuudessa on tarkoitus
suorittaa koeotsonointi uudelleen, mutta tarkkaa ajankohtaa ei ole
tiedossa.

Kemiallisin analyysin on pyritty selvittämään hajun ja maun aiheut-
taja, mutta tulokset ovat olleet mitäänsanomattomia.

Myös aktiivihiiликokeita on tehty, mutta esiintyneisiin häiriöihin
aktiivihiiли ei ole tehonnut.

6.2.9 Lohja

Lohjan kaupungin Tytyrin pintavesilaitos käyttää raakavetenään Loh-
janjärven vettä. Puhdistuslaitos on flotaatiolaitos, jossa kemi-
kaalina käytetään alumiinisulfaattia, kalkkia ja klooria. Laitoksen
tuotto on 3 000 m³/vrk.

Vesijohtovedessä on esiintynyt säännöllisesti kesäkuukausina haju-
ja makuhaittoja, mistä johtuen vuonna 1970 suoritettiin raakaveden
mikroskooppinen tutkimus. Vedessä esiintyneen sammalmaisen ja sa-
vimaisen hajun ja maun ei voitu todeta johtuneen mistään määrätystä
levälajista, vaan esiintyneet haitat johtuivat ilmeisesti useiden
levien yhteisvaikutuksesta.

Elokuussa 1976 suoritettiin sekä raakaveden että puhdistetun veden
koeotsonointi Helsingin kaupungin Pitkälkosken koelaitoksella. Ot-
sonin soveltuvuus Lohjan järven veteen vaatii kokeiden tulosten pe-
rusteella lisäselvityksiä.

6.2.10 Kiuruvesi

Kiuruveden vesilaitoksella, jonka teho on 1 200 l/min ja jossa on

alumiinisulfaattisaostus-flotaatioselkeytys-suodatus-prosessi, on ilmennyt vuosittain loppukesästä voimakasta homemaista hajua ja makua. Tämä on tehnyt veden miltei juoma- ja ruokavedeksi kelpaamattomaksi. Vuonna 1966 suoritetuissa planktonitutkimuksissa homeinen haju ja maku on todettu lähinnä vesistöissä esiintyvien sädesientien aiheuttamaksi. Koska vedessä on humusta melko runsaasti, on maku muutenkin hieman multamainen, ja homeinen sivumaku vähentää veden nautittavuutta edelleen.

Haitallisen hajun ja maun poistamiseksi on kunnan vesilaitoksella suoritettu kokeita sekä aktiivihieillä kesällä 1971 että otsonilla kesällä 1972.

6.2.10.1 Aktiivihiekkikokeet

Vesilaitoksella syötettiin kuivasyöttölaitteilla jauhemaista aktiivihiekkä puhdistusprosessin alkuun yhdessä muiden kemikaalien kanssa. Syöttömäärinä käytettiin 10 ja 20 g/m³. Lisäksi suoritettiin koe, jossa aktiivihiekkä (10 g/m³) syötettiin suodattimien päälle, ja kloorausteho pidettiin normaalia suurempana.

Saaduista tuloksista voidaan todeta, että käytettäessä aktiivihiekkä 20 g/m³ korkea syöttömäärä häiritsi itse puhdistusprosessia ja vedessä esiintyi edelleen selvä haju ja maku. Syötettäessä 10 g/m³ joko prosessin alkuun tai suodattimien päälle saadut tulokset olivat keskenään jokseenkin samanlaiset. Käsittelyn jälkeen veteen jäävä haju ja maku oli erittäin lievä. Multamainen maku hävisi vedestä kokonaan, ja jäljelle jäi tuskin havaittava pistävä, homeainen maku.

Kokeiden perusteella voidaan todeta, että aktiivihiekkäadsorptiolla pystytään Kiuruveden vesilaitoksen vedestä poistamaan hajua ja makua aiheuttavat aineet niin hyvin, että vesi on nauttimiskelpoista. Aktiivihiekkä voidaan syöttää joko prosessin alkuun tai suodattimien päälle. Jälkimmäisessä tapauksessa tulee kuitenkin kloorin annostusta nostaa tavallista korkeammaksi, jolloin kloori hajottaa hajua ja makua aiheuttavia aineita. Aktiivihiekkien syöttömäärää ei

kummassakaan tapauksessa kannata nostaa suuremmaksi kuin 10 g/m^3 .

6.2.10.2 Otsonointikokeet

Vesilaitoksella suoritettiin kesällä 1972 otsonointikokeita, joissa syötettävät otsonimäärät vaihtelivat $2 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ - $5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Otsonointi suoritettiin jälkiotsonointina. Valitettavasti raakaveden laatu vaihteli kokeiden aikana niin, ettei tulosten perusteella saatu mitään selvää kuvaa otsonin vaikutuksesta. Haju- ja makukynnysarvot pienenevät jonkin verran, mutta eivät laskeneet yhdessäkään näytteessä alle kymmenen.

6.2.11 Kaarina

Kaarinan kunnan vesilaitoksen raakavesilähteenä toimii Littoisten järvi. Laitoksen prosessina on alumiinisulfaattisaostus ja suodatus ja sen teho on noin $1\,100 \text{ m}^3/\text{vrk}$.

Puhdistetussa vedessä on esiintynyt vuosittain keväällä jäiden sulassa ja syyskesällä haju- ja makuhaittoja. Esiintyneiden häiriöiden syyn selville saamiseksi suoritettiin keväällä 1975 raakaveden mikroskooppinen tutkimus. Tällöin ilmeni, että näytteessä esiintyi noin 30 kasviplanktonlajia, joiden määrät olivat kuitenkin niin pienet, että ne tuskin aiheuttivat haju- ja makuhaittoja.

Lisäksi näytteestä löytyi rautabakteereja, jotka esiintyivät järvien pohjalietteessä tai veden pinnalla. Ilmeistä on, että jäiden lähdön jälkeen tapahtuva vesimassan sekoittuminen irrottaa rautabakteereja pohjalietteestä. Rautabakteerit kehittyvät parhaiten veden ollessa viileätä, ja ne tarvitsevat yleensä kehittyäkseen ferromuodossa olevaa rautaa, happea sekä hiilidioksidia. Lisäksi ne suosivat vesiä, joissa on vähän orgaanista ainetta.

Rautabakteerit eivät yleensä aiheuta haju- ja makuhaittoja, joskin erityisesti massaesiintymisten jälkeen saattaa höytymäisen rautahydroksidisakan ympäröimien bakteerisolujen ja siihen kerääntyneen orgaanisen aineksen hajotessa syntyä tunkkaista epämiellyttävää

hajua. Eniten haittaa rautabakteerit aiheuttavat yleensä vesijohtoverkossa.

Littoisten järven raakavedessä keväällä 1975 esiintyneen epämiellyttävän hajun aiheuttajana on pidettävä juuri epätavallisen voimakkaana esiintynyttä rautabakteerikasvustoa ja siihen kiinnittyneitä orgaanisia aineita.

6.2.12 Hamina

Haminan kaupungin Vehkajoen flotaatiolaitos ottaa raakavetensä Vehkajärvestä. Kemikaalina käytetään alumiinisulfaattia. Laitoksen tuotto on 4 500 l/min.

Puhdistetussa vedessä on esiintynyt, varsinkin keskikesän lämpöisinä aikoina, voimakkaita haju- ja makuhäiriöitä, joiden pääasiallisiksi aiheuttajiksi epäillään raakavesilähteessä olevia mädäntyviä kasvinosia.

Heinäkuussa 1974 kokeiltiin, mitä mahdollisuuksia on parantaa veden laatua vesilaitoksella suoritettavin toimenpitein. Kokeet suoritettiin otsonilla, klooridioksidilla ja aktiivihielellä, kahdella jälkimmäisellä laitosmittakaavassa toisen puhdistuslinjan toimiessa vertailulinjana.

Tutkimuksessa määritettiin hajun ja maun laatu ja kynnyсарvot sekä 20 °C:ssa että 60 °C:ssa. Makukynnyсарvot määritettiin myös keitetystä vedestä. Määritystulokset ovat taulukossa 7.

Koska raakaveden laatu vaikuttaa eri menetelmien tehokkuuteen, seurattiin myös raakaveden hajuominaisuuksia kokeiden ajan. Kynnyсарvot vaihtelivat 35-45 (20 °C) ja 50-55 (60 °C) ja pieneneivät jonkin verran kokeiden aikana. Tyypillisin haju raakavedessä oli home. Muita usein esiintyneitä hajuja olivat pilaantuneet tai mädäntyneet vesikasvit, multa, muta, kala ja rikki.

Vesistöissä tapahtuvien hajuun ja makuun vaikuttavien ominaisuuksien

	11.7. ClO ₂ -käsittely		12.7. ClO ₂ -käsittely		15.7. ClO ₂ -käsittely		16.7. ClO ₂ -käsittely	
	vertai- luvesi	2 g/m ³ raakaveteen	vertai- luvesi	2 g/m ³ fokat.veteen	vertai- luvesi	4 g/m ³ fokat.veteen	vertai- luvesi	4 g/m ³ raakaveteen
Raakavesi								
haju 20°C			35 ^x					
haju 60°C			50 ^x					
Puhdistettu vesi								
haju 20°C	35 ^x	30 ^x	35 ^o	30 ^o	25 ^x	20 ^x	25 ^x	20 ^o
haju 60°C	45 ^x	50 ^o	50 ^x	45	35 ^o	25	40	25
maku 20°C	35 ^x	40 ^x	40 ^x	40	30 ^x	25	30 ^x	23 ^x
keit.maku 20°C	7	10			5	4		
Parantumis %								
haju 20°C	1	14		14		20		20
haju 60°C		-11		10		29		38
maku 20°C		-14		0		17		23
keit.maku 20°C		-43				20		

	4.7. Otsonointi		5.7. Otsonointi		8.7. Otsonointi		9.7. Aktiivih.käsit.		10.7. Aktiivih.käs	
	vertai- luvesi	6,5 g/m ³ O ₃ johtoveteen	vertai- luvesi	2,8 g/m ³ O ₃ johtoveteen	vertai- luvesi	3,0 g/m ³ O ₃ suod.veteen	vertai- luvesi	20 g/m ³ raakaveteen	vertai- luvesi	20 g/m ³ fokat. veteen
Raakavesi										
haju 20°C	45 ^x		40 ^x		40 ^x		35 ^x		35 ^x	
haju 60°C			55 ^x		55 ^x		50 ^x		50 ^x	
Puhdistettu vesi										
haju 20°C	40 ^x	5	40 ^x	6	35 ^x	5	35 ^x	35 ^x	35 ^x	40 ^x
haju 60°C			50 ^x	8	40 ^x	7	40 ^x	45 ^x	50 ^x	55 ^x
maku 20°C	40 ^x	5	40 ^x	6	40 ^x	6	40 ^x	40 ^x	35 ^x	40 ^x
keit.maku 20°C			6	2				8		8
Parantumis %										
haju 20°C		88		85		86		0		-14
haju 60°C				84		83		-12,5		-10
maku 20°C		88		85		85		0		-14
keit.maku 20°C				67						0

Taulukoihin on merkitty, milloin voimakkampaina hajuna tai makuna on ollut home tai sterilis/kloori, seuraavilla merkeillä:

home^x
sterilis, kloori^o

Taulukko 7. Haminan kaupungin vedenkäsittelykokeiden haju- ja maku-
kynnykset.

muuttumista tutkittiin kerran Vehkajärveen laskevista vesistöistä. Saadun tuloksen perusteella voidaan todeta, että home on vallitsevana hajutyypinä jo ennen Vehkajärveä.

Laitoksen normaali puhdistusprosessi ei alenna kynnsarvoja. Sen sijaan hajun ja maun tyypeissä tapahtuu muutoksia, jotka johtunevat kloorin ja vedessä olevan orgaanisen aineen välisistä reaktioista. Homeen haju ja maku säilyy kuitenkin voimakkaimpana.

6.2.12.1 Otsonointikokeet

Otsonointikokeet suoritettiin vain osassa laitosta, koska käytetty otsonaattori, jonka teho oli $20 \text{ g O}_3/\text{h}$, ei riittänyt koko laitosmittakaavassa suoritettaviin kokeisiin. Laitteisto käsitti otsonin valmistusyksikön, kaasun ja veden sekoitusyksikön sekä reaktiotornin.

Ensimmäinen otsonointikoe suoritettiin valmiiksi käsiteltyyn veteen kahdella eri otsonimäärällä, $6,5 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ ja $2,8 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Tuloksista voidaan todeta, että suuremmalla otsonimäärällä ei saavutettu paljonkaan parempia kynnsarvoja kuin pienemmällä määrällä. Kynnsarvojen parantumisprosentit olivat 88 % ja 85 %. Myös keitetyn veden makukynnsarvot paranivat.

Toinen otsonointikoe tehtiin ennen suodatusta, jolloin myöskään jälkikemikalointia (kalkin lisäys ja jälkiklooraus) ei oltu vielä suoritettu. Otsonoinnin kannalta tämä saattaisi olla edullisempi kohta prosessissa alemmasta pH-arvosta johtuen, mutta kahden kokeen perusteella asiaa ei voida varmistaa. Otsonin syöttö kokeessa oli $2,6 \text{ g O}_3/\text{m}^3$. Kynnsarvojen parantumisprosentti oli noin 85.

Otsonoiduissa vesissä voimakkainta hajua luonnehdittiin sanalla hapan. Johtovedessä esiintyneet epämiellyttävät makutyypit, kuten home, mädäntyneet vesikasvit, kloori ja sterisol vaihtuivat vähemmän epämiellyttäväiksi tai jopa miellyttäväiksi makutyypeiksi, kuten hapan, herneet ja makea.

Raakaveden otsonoinnissa suoritettiin yksi koe. Otsonia syötettiin $4,6 \text{ g/m}^3$. Raakaveden hajukynnysarvot pienenevät kokeen aikana keskimäärin 50 %, ja hajutyypit muuttuivat täysin. Epämiellyttävät homeen ja vesikasvien hajut hävisivät kokonaan, ja tilalle tuli hajutyyppejä, joita luonnehdittiin sanoilla otsoni ja olki.

6.2.12.2 Klooridioksidikokeet

Kokeissa käytettiin valmista 10 %-klooridioksidiliuosta, joka laimennettiin juuri ennen käyttöä 2 %-liuokseksi johtuen tarvittavan klooridioksidin pienestä määrästä ja käytössä olleen annostelupumpun suuresta koosta. Liuoksen annostelua kokeiltiin kahteen eri pisteeseen: kemikaloituun veteen ennen hämmennystä ja selkeytyksen jälkeen suodattimen päälle. Syöttömäärät olivat $2 \text{ g ClO}_2/\text{m}^3$ ja $4 \text{ g ClO}_2/\text{m}^3$.

Raakaveteen lisätty kemikaalimäärä 2 g/m^3 huononsi veden makua. Tämä johtunee liian pienestä annostuksesta, syntyneet klooriyhdisteet eivät tällöin hajonneet. Syötettäessä selkeytettyyn veteen sama määrä klooridioksidia syntyi vähemmän ko. klooriyhdisteitä pienemmästä orgaanisen aineen määrästä johtuen, ja syntyneet klooriyhdisteet hajosivat ainakin osittain, kuten hieman pienentyneistä kynnysarvoista voidaan päätellä. Syötettäessä 4 g/m^3 klooridioksidia joko raakaveteen tai selkeytettyyn veteen kynnysarvot selvästi pienenevät. Hajun ja maun tyypit muuttuivat myös jonkin verran. Homeen haju ja maku säilyi kaikissa näytteissä, mutta ei ollut enää yhtä voimakas.

6.2.12.3 Aktiivihiilikokeet

Aktiivihiilikokeissa käytettiin jauhemaista Norit W-20 hiiltä. Kokeen tarkoituksena oli selventää mahdollinen muutos puhdistetun veden laadussa eikä edullisinta syöttökonsentraatiota. Käytetty syöttömäärä oli melko suuri, 20 g/m^3 . Syöttökohdat olivat samat kuin klooridioksidikokeissa.

Haju- ja makukokeiden kynnysarvot eivät parantuneet, päinvastoin

ne nousivat jonkin verran. Myös haju- ja makutyypin muutokset olivat pienet.

6.2.12.4 Yhteenveto Haminasta

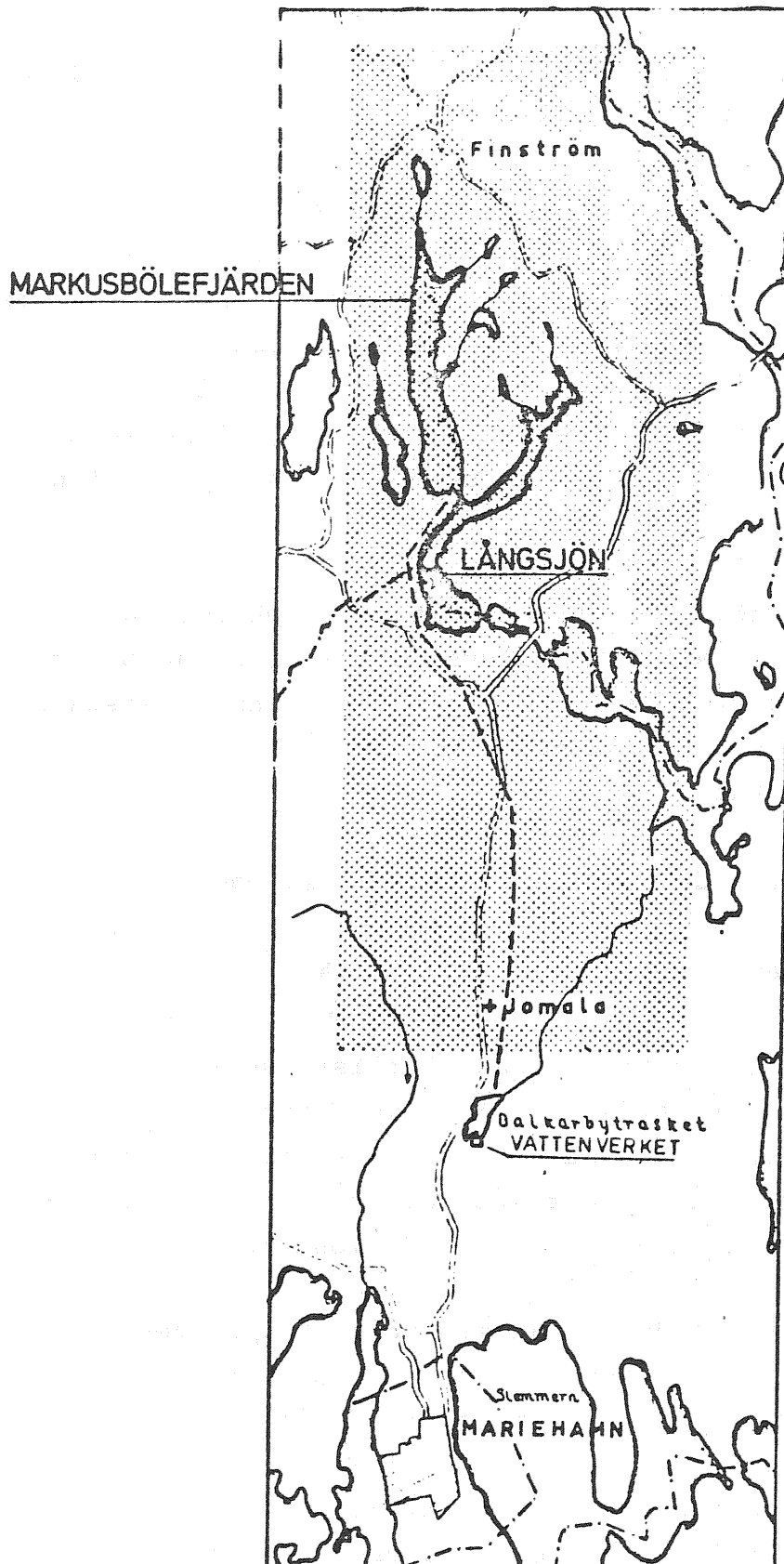
Suoritettujen kokeiden perusteella voidaan todeta seuraavaa: Laitoksen normaalissa puhdistusprosessissa hajuominaisuudet eivät parantuneet juuri ollenkaan. Aktiivihiihlä syötettäessä ei myöskään saavutettu mainittavaa parannusta. Klooridioksidia syötettäessä voitiin havaita lievää hajun ja maun parantumista vasta suurehkoilla annostuksilla, mutta homeen haju ja maku jäivät selvästi esiin. Ilmeisesti ainoastaan otsoni tulee kysymykseen hajun ja maun poistossa Haminan kaupungissa. Tämä voidaan suorittaa joko esi- tai jälkiotsonointina.

6.2.13 Ålands Vatten Ab, Ahvenanmaa

Maarianhaminan kaupungin ja Keski-Ahvenanmaan kuntien taaja-asutuksen vedentarpeen tyydyttämiseksi on vesioikeus vuoden 1974 alussa myöntänyt luvan Markusbölefjärden-Långsjön altaan patoamiseen (kuva 56). Toistensa yhteydessä olevien altaiden yhteinen pinta-ala on $3,5 \text{ km}^2$ ja kokonaistilavuus 19 milj. m^3 . Säännöstelykorkeus on $0,7 \text{ m}$ ja viipymä noin 2 vuotta. Veden nykyinen käyttö on noin $3\,500 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ja vesioikeuden myöntämän luvan mukaan saadaan altaista ottaa 50 l/s ($4\,300 \text{ m}^3/\text{vrk}$) keskimäärin kuukaudessa. Padotusta altaasta vesi pumpataan Dalkarbyträsket-nimiseen järveen, jonka rannalla Ålands Vatten Ab:n vedenpuhdistuslaitos, Dalkarby, sijaitsee. Maarianhaminan kaupunki sekä Ahvenanmaan eräät kunnat ostavat tarvitsemansa käyttöveden Ålands Vatten Ab:ltä.

Dalkarbyn vedenpuhdistuslaitos on pulsaattorilaitos, jossa kemikaaleina käytetään alumiinisulfaattia ja lipeää. Desinfioinnissa kloori on nykyään lähes kokonaan korvattu klooridioksidilla. Lisäksi laitoksella on mahdollisuus jauhemaisen aktiivihiihlen syöttöön.

Molemmat osa-altaat ovat suhteellisen reheviä. Lämpötilasta ja suolapitoisuudesta johtuvaa kerrostuneisuutta ei esiinny avovesi-



MARKUSBÖLEFJÄRDEN - LÅNGSJÖN ALLAS

Kuva 56.

kautena ylemmässä osa-altaassa eli Markusbölefjärdenissä, Långsjön altaassa kylläkin.

Ålands Vatten Ab:n puhdistamassa vesijohtovedessä on esiintynyt 1960-luvun loppupuolesta lähtien kesäisin parin kuukauden ajan niin voimakkaita haju- ja makuhäiriöitä, että paikallinen lehdistökin on kiinnittänyt asiaan huomiota. Vedessä esiintyvä haju- ja makutyyppi on homemainen. Häiriöiden pääasiallisena aiheuttajana pidetään voimakasta jätevesikuormitusta. Ilmeisesti myös rehevä vesikasvillisuus ja leväkasvusto ovat osasyynä esiintyneisiin haittoihin.

Haju- ja makuhäiriöiden syyn selville saamiseksi on useaan otteeseen suoritettu kemiallisia analyysyjä. Myös plankton tutkimuksia on tehty, mutta täyttää varmuutta haittojen aiheuttajista ei ole saatu. Suoritettuihin tutkimuksiin on mm. tänä vuonna käytetty noin 100 000 markkaa.

Haju- ja makuhäiriöiden poistamiseksi on osa padotuksen yhteydessä veden alle jääneestä puustosta poistettu. Vuonna 1976 pyrittiin ravinteita saostamaan vesistöissä levittämällä alumiinisulfaattia jäälle. Kuparisulfaatin käyttöä varten on vesioikeudellinen lupahakemus valmisteilla, mutta ainakaan toistaiseksi ei kuparisulfaattikäsittelyyn ole turvauduttu, sillä vesistöissä suoritettut muut toimenpiteet sekä klooridioksidin ja aktiivihiilen käyttöönotto laitoksella on parantanut tilannetta huomattavasti. Kesällä 1976 ei häiriöitä ollut, mikä johtune osaksi sääolosuhteista.

Mm. vesihallitukselta on saatu asiantuntija-apua vesistöissä suoritettavia toimenpiteitä varten. Näitä on tarkoitus tulevaisuudessa edelleen tehostaa. Laitoksella suoritettavien toimenpiteiden suunnittelussa ovat apuna olleet VAV:n (Svenska vatten- och avloppsverksföreningen) asiantuntijat, ja mikäli tilannetta ei muuten saada parannetuksi, tullaan laitoksella mahdollisesti kokeilemaan mikrosiivilöintiä ja otsonointia.

Tilanne Ahvenanmaalla on kaiken kaikkiaan vaikea. Suuret pohjavesi-

esiintymät puuttuvat kokonaan, ja lähes kaikki mahdolliset pinta-vesilähteet ovat ravinteiden voimakkaasti kuormittamia.

6.3 Vesihallituksen veden haju- ja makuprojekti

Vesihallituksen teknillisessä tutkimustoimistossa käynnistettiin v. 1973 tutkimusprojekti selvittämään hidassuodatusmenetelmän soveltuvuutta käyttöveden puhdistukseen Suomessa. Projektin konkreettisenä alkuna oli hidassuodatinkoelaitoksen pystyttäminen Ruskon vesilaitokselle Tampereelle kesällä 1973. Koelaitos käynnistettiin ja koesarjat jatkuivat kevääseen 1974. Koelaitos siirrettiin keväällä 1975 Dämmanin vesilaitokselle Espooseen, jossa koesarjat kestivät toukokuulle 1976 asti.

Kokeen tarkoituksena on ollut selvittää hidassuodattimen soveltuvuutta pintaveden käsittelyyn Suomen oloissa. Tarkoitus on kenttäkokeilla tutkia mm. suodatusnopeuden vaikutusta veden laatuun sekä suodatinmateriaalina käytettävälle hiekalle asetettavia rakeisuusvaatimuksia. Yhtenä hidassuodatuksen kilpailukykyyn vaikuttavana tekijänä tulee tutkittavaksi menetelmän tehokkuus korkeilla pinta-kuormituksen arvoilla. Huomiota kiinnitetään myös esikäsitteilyn tarpeellisuuteen.

Voidaan tässä jo todeta menetelmällä saatavan sopivissa oloissa fysikaalis-kemialliset laatuvaatimukset täyttävää käyttövettä. Toisaalta on todettava kloorauksen olevan hygieenisessä mielessä kuitenkin välttämätön hidassuodatuksenkin jälkeen. Vaikka bakteerireduktiot ovat kokeissa olleet erittäin suuria, bakteereita on esiintynyt pieniä määriä myös käsitellyssä vedessä. Osalla koeajasta esikäsitteilynä on käytetty mikrosiivilöintiä.

Tutkimustulokset käsitellään pääosin talvikautena 76-77, jonka jälkeen on varattu mahdollisuus täydentävien kokeiden tekemiseen. Kenttäkokeissa on tähän asti keskitytty menetelmän teknilliseen puoleen. Tästä syystä lisähavainnot ovat tarpeen varsinkin haju- ja makukynnsarvojen osalta. Projektissa vertaillaan hidassuodatus-

menetelmää muihin veden hajua ja makua parantaviin käsittelymenetelmiin, kuten otsonointiin, mikäli käytettävissä on riittävästi po. aineistoa tutkimusta tehtävän raportin valmistumiseen mennessä.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Lääkintöhallituksen yleiskirjeen n:o 1 501 mukaan talousveden terveydelliset laatuvaatimukset edellyttävät, että vedessä ei saa olla epämiellyttävää hajua tai makua. Edelleen käsitellään talousvedellä asetettavissa yleisissä laatuvaatimuksissa tiettyjä aineita, jotka liiallisesti esiintyessään vaikuttavat haitallisesti veden kelvollisuuteen talousvetenä. Myös ns. vaaralliset aineet vedessä voivat liiallisesti esiintyessään vaikuttaa veden organoleptiseen laatuun. Näitä laatuvaatimuksia ollaan muuttamassa, mutta esim. hajun ja maun kynnsarvojen sisällyttämistä uusiin ohjeisiin ei ole harkittu. Johtuen kynnsarvojen subjektiivisesta luonteesta ja eri maissa eri tavalla määritellystä kynnsarvokäsitteestä, ei ainakaan tässä vaiheessa tunnu tarpeelliselta kynnsarvojen sisällyttäminen veden laatuvaatimukseen. Myös mahdollisuudet kynnsarvojen määrittämiseen puuttuvat muutamia suurimpia vesilaitoksia lukuun ottamatta.

Vesilaitoksella normaalisti käytössä olevilla fysikaalis-kemiallisilla analyyseilla ei pystytä selvittämään haju- ja makuhäiriöiden kemiallista luonnetta. Kun lisäksi otetaan huomioon, ettei ulkomaisia tutkimustuloksia voida suoraan soveltaa Suomen olosuhteisiin johtuen maamme yleensä humuspitoisista vesistä, tulisi haju- ja makutekijöiden kemiallisen luonteen selville saamiseen tähtäävää tutkimustoimintaa laajentaa. On nimittäin hyvinkin oletettavaa, että jos aiheuttajien kemiallinen luonne pystyttäisiin selvittämään, olisi niiden poistaminen veden puhdistusprosessissa myös helpompaa. Tällaisen tutkimustoiminnan rahoittamista ei voida kuitenkaan vaatia yksittäisiltä kunnilta, vaan laitosten, joilla tällainen toiminta on mahdollista ja joiden saavuttamalla tutkimustuloksilla on yleishyödyllistä merkitystä, tulisi saada ulkopuolista tukea.

Helsingin kaupungin vesilaitoksen vedentutkimustoimiston kokeita lukuun ottamatta vesilaitoksilla suoritettut koepuhdistukset ovat olleet yleensä lyhytaikaisia, ja näin ollen niissä saavutettuja tuloksia voidaan pitää ainoastaan suuntaa-antavina. Luotettavam-

pien tulosten saamiseksi olisi järjestettävä pitempiaikaisia - mieluiten ympärivuotisia - koepuhdistuksia. Tällöin nähtäisiin, miten raakaveden laadun vaihtelut vaikuttavat kulloinkin kokeiltavan puhdistusmenetelmän tuloksiin.

Pitempiaikaisten puhdistuskokeiden järjestämiseksi tulisi vesilaitosten käytössä olla siirrettäviä koelaitteistoja sekä myös koulutettua henkilökuntaa. Tällä hetkellä on maassamme esim. koeotsonisaattoreita ainoastaan Helsingin kaupungin vesilaitoksella sekä eräällä yksityisellä insinööritoimistolla. Koepuhdistukseen kannattaisi lisäksi valita laitoksia, joiden raakavedessä esiintyviä häiriöitä voitaisiin pitää tietyn aiheuttajan tyyppiesimerkkinä. Tällöin saavutetuista tuloksista olisi laajempaakin hyötyä.

Vesilaitoksilla suoritettut raakavesilähteeseen kohdistuneet toimenpiteet ovat olleet toistaiseksi vähäisiä ja lähinnä kokeiluluonteisia. Kun otetaan kuitenkin huomioon, että raakavesilähteen rehevöitymisestä johtuvat häiriöt ovat hyvin yleisiä maassamme ja että vesistöissä suoritettavilla toimenpiteillä em. haittoja voidaan vähentää, olisi näihin menetelmiin kohdistuvaa tutkimustoimintaa ja tarvittavien laitteiden tuotekehittelyä tuettava ja tehostettava. Mm. seuraavat seikat vaatisivat lisäselvittelyä:

- vesikasvuston leikkaukseen käytettävien kotimaisten leikkureiden kehittäminen
- poistetun vesikasvuston mahdollinen hyväksikäyttäminen tai hävittäminen
- kuparisulfaatin levitykseen käytettävien laitteiden kehittäminen
- kotimaisten ilmastimien ja raakaveden laadun parantamiseen tähtäävien muiden menetelmien kehittäminen
- raakaveden ottolaitteiden kehittäminen

Veden organoleptisen laadun muuttumista vesijohtoverkossa ei ole kovin paljon tutkittu. Tämän työn yhteydessä on pyritty selvittämään kysymystä Helsingin osalta (ks. 6.2.1.4). Johtuen ehkä osittain Helsingin vesijohtoveden korkeasta klooripitoisuudesta, veden organoleptinen laatu ei näytä ainakaan kynnsarvojen perusteella

muuttuvan verkossa. Vastaava selvitys olisi tarpeen tehdä myös paikkakunnalla, jonka veden klooripitoisuus on huomattavasti pienempi.

Raakavesilähteessä suoritettulla mikrobiologisella ja organoleptisellä laaduntarkkailulla voidaan ennakoida mahdolliset haju- ja makuhäiriöt ja näin mahdollistaa torjuntatoimenpiteiden oikea ajoittaminen. Vesilaitoksilla käytössä olevat tarkkailumenetelmät vaihtelevat suuresti ja pienillä laitoksilla tarkkailun suorittamiseen ei ole ollenkaan mahdollisuuksia. Jonkinlainen tarkkailuohjeen laatiminen olisi perusteltua ja siinä tulisi selvittää mm. seuraavia seikkoja:

- kuinka etäälle vedenottamolta tarkkailu olisi ulotettava
- kuinka usein tarkkailua olisi suoritettava
- mitä määrityksiä tarkkailuun tulisi liittyä
- miten suuret leväkonsentraatiot voidaan sallia ennen torjuntatoimenpiteisiin ryhtymistä (torjunnan aloittamisen optimointi)

Myös prosessin käyttötarkkailuun ja vesijohtoveden laadun valvontaan tulisi laitoksella liittää hajun ja maun kynnsarvomääritykset. Tällöin voitaisiin kynnsarvojen vaihteluista mahdollisesti havaita veden laadun sellaisetkin muutokset, jotka eivät ilmene fyysikaalis-kemiallisissa analyysituloksissa.

Laajamittaiset toimenpiteet vesistöissä ja mahdolliset puhdistuskokeet laitoksilla vaativat koulutettua henkilökuntaa, jonka palkkaamiseen ainoastaan suurimmilla kunnilla on mahdollisuus. Näin ollen suurin osa vesilaitoksista joutuu turvautumaan ulkopuoliseen asiantuntija-apuun. Eräs mahdollisuus on kuntien välisen yhteistoiminnan kehittäminen. Lisäksi nykyiselle henkilökunnalle tulisi järjestää jatkokoulutusmahdollisuuksia. Esim. osa laitoksilla toimivista laboranteista voitaisiin perehdyttää organoleptiseen laaduntarkkailuun kynnsarvomäärityksineen. Samoin vesistöissä suoritettavien toimenpiteiden käyttötekniikkaa selventävä kurssi olisi tarpeen. Mikäli laitoksen henkilökunta olisi asianmukaisesti koulutettu ja mikäli käytettävissä olisi asiallista tietoa häiriöiden sattuessa kysymykseen tulevista toimenpiteistä, olisi mahdollista

ennakolta torjua osa häiriöistä ja tuottaa kuluttajille organoleptiseltä laadultaan parempaa vettä.

Kun suunnitellaan mahdollisten lisäpuhdistusmenetelmien käyttöönottoa veden laadun parantamiseksi, joudutaan aina harkitsemaan asiaa kustannus-hyöty-näkökannalta. Jos epäillään veden laadun terveellisyyttä, on usein pakko tehdä huomattaviakin investointeja tilanteen korjaamiseksi. Sen sijaan ratkaisu on vaikeampi, milloin kyseessä ovat verraten lyhytaikaiset veden organoleptistä laatua koskevat häiriöt. Jos näiden alkuperä tiedetään ja voidaan olla vakuuttuneita veden terveydellisestä laadusta, on vesilaitoksen ja terveyslautakunnan antama informaatio kuluttajille tarpeen. Ratkaisu lisäpuhdistukseen käytetyistä investoinneista on riippuvainen kunnan taloudesta, häiriöiden voimakkuudesta ja kestoajasta sekä myös kuntalaisten valmiudesta ja halusta maksaa paremmasta vedestä enemmän.

Veden organoleptisen laadun parantaminen liittyy olennaisena osana jo suoritettuihin ja valmisteilla oleviin vedenhankintaratkaisuihin. Tällaisia ovat mm. kaukovedenhankinta, tekopohjaveden muodostaminen, tasausaltaat ym. Tutkimuksia on myös käynnissä hidassuodatuksesta. Tärkeänä on näin ollen pidettävä tehokasta informaatiota ja kokemusten vaihtoa. Myös häiriöihin ja häiriöiden torjuntaan liittyvien tietojen rekisteröinti ja informaatio näistä on tärkeää.

LÄHDELUETTELO

1. International Water Supply Association (IWSA), Control of odour and taste, Special Subject Nr 1, Bruxelles, 1958
2. IWSA, Micropollution and treatment of water with special reference to the prevention of undesirable tastes and odours, General Report Nr 2, Wien 1969
3. IWSA, Progress in Removal of Taste and Odour, Special Subject Nr 1, New York 1971
4. IWSA, Deterioration of water quality in the distribution, International standing Committee on water quality and treatment, Subject 2, Brighton 1974
5. Water and Wastewater Engineering, Volume 2, Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal, 1968
6. Cox, R. C. Operation and Control of Water Treatment Processes, World Health Organization (WHO), Geneva 1964
7. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, julkaisu 23-70, Käyttöveden puhdistus, jatkokäsittely ja valvontatoimenpiteet, 1970
8. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, julkaisu 47-70, Öljyt ja vesiensuojelu, 1970
9. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 33, Vesilaitosten raakaveden laatuvaatimukset, 1970
10. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 35, Vesijohtoveden valmistuksessa käytettävät kemikaalit, 1970
11. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 37, Pohjaveden suoja-alueita koskevat ohjeet, 1970
12. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 39, Veden laadun käyttötarkkailuohjeet, 1971
13. Kaupunkiliiton toimiston julkaisu B 44, Yleisten vesijohtojen ja viemäreiden aines- ja työselitys, 1974
14. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisu, Vesihuolto, 1973
15. Seppänen P., Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet ja toteutusmahdollisuudet, Vesihallituksen julkaisu 3, 1973
16. Heinonen E., Juomaveden maun ja hajun aiheuttajat sekä niiden torjunta, Vesihuoltoliiton koulutuspäivät 1968
17. Heinonen E., Veden esteettisen laadun arviointi, Ammatitienedistämislaitos, Vesilaitoskurssi 1974

18. Helsingin kaupungin vesilaitos, Orgaaniset haitta-aineet vedenpuhdistuksen ongelmana, Kirjallisuustutkielma 1972
19. Liimatainen J., Veden haju- ja makukysymykset käytännön vesilaitostoiminnassa, Vesihuoltotekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1974
20. Liimatainen J., Öljyvahingot ja vesilaitostoiminta, Vesihuoltotekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1975
21. Hermalahti A., Järvien kunnostuksesta, Vesihuolto-tekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1975
22. Saarikoski K., Veden hygienisen laadun muuttuminen jakelujärjestelmässä, Vesihuoltotekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1976
23. Porttikivi R., Padottujen merenlahtien käyttökelpoi-suudesta vedenhankinnassa, Vesihuoltotekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1974
24. Kohtula E., Hidassuodatus, Vesihuoltotekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1973
25. Ärölä T., Otsonin käyttö vedenkäsittelyssä, Vesihuol-totekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1973
26. Häikiö E., Otsonointi vedenkäsittelyssä, Vesihuolto-tekniikan lisen-siaattiseminaari TKK:ssa 1975
27. Niinioja R., Levien aiheuttamat haju- ja makuhaitat, Limnologian laudaturseminaari HY:ssa 1974
28. Seppänen P., Jokinen S., Sädesienten merkityksestä sinilevien aiheuttamissa hajuilmiöissä, Limnologi-symposium 1968
29. Silvo O., Haitallisten vesikasvien torjunnasta, Suomen Kunnat 20/1973
30. New Soviet Standard for Drinking Water Quality, AQUA 4/1975
31. Seppänen P., Näkökohtia käytettäessä pintavettä raaka-vetenä, Vesitalous 4/1966.

Lisäksi työssä on käytetty hyväksi Helsingin kaupungin vesilai-toksen, Vesi-Hydro Oy:n, Maa ja Vesi Oy:n sekä Suunnittelukeskus Oy:n tekemiä tutkimusraportteja.

Kaupunkiliiton toimisto
HM-projekti

VASTAUSLOMAKE A
YLEISTÄ
1(6)

KÄYTTÖVEDEN HAJU- JA MAKUTUTKIMUS

1. Kunta: _____
2. Onko vesijohtovedessä esiintynyt havaittavia haju- ja makuhäiriöitä
 - on vuonna 1975
 - on aikaisemmin, milloin: _____
 - ei ole
3. Häiriöt ovat pääasiassa esiintyneet
 - pintavesilaitoksen vedessä (käsittelylaitoksen nimi): _____
 - pohjavedessä (käsittelylaitoksen nimi): _____
4. Häiriöt ovat esiintyneet
 - satunnaisesti liite
 - määrättyinä vuodenaikoina (milloin, kesto aika) _____
 - jatkuvasti
5. Häiriöiden voimakkuus
 - aiheuttanut valituksia kuluttajien taholta (millaisia?) _____
 - havaittu laitoksen henkilökunnan suorittamassa käyttötarkkailussa
6. Haju- ja makutyyppi
 - homemainen
 - metallimainen
 - maaton, multamainen
 - muu (mikä) _____
7. Mahdollisia huomautuksia
8. Yhteyshenkilö: _____
 Osoite: _____
 Puh.no: _____

1. Kunta: _____

2. Suoritetaanko laitoksella aistinvaraisia veden haju- ja makutestejä:

- säännöllisesti (päivittäin)
- aika ajoin (esim. häiriön sattuessa)
- ei ollenkaan

3. Ketkä näitä testejä suorittavat:

- tähän erityisesti koulutettu henkilökunta
- muu henkilökunta
- ulkopuolinen (kuka?) _____

4. Onko suoritettu tarkempia tutkimuksia häiriöiden luonteen selville-
saamiseksi (levätutkimukset, kemialliset analyysit yms.) ja missä
näitä on suoritettu

_____ liite

5. Onko suoritettu puhdistuskokeita laboratorio- tai pienoismallikokein
tai laitosmittakaavassa haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi (millaisia
kokeita ja millaisin tuloksin)

_____ liite

6. Arvioidut kustannukset suoritetuista tutkimuksista

- vuonna 1975 mk _____
- aikaisemmin mk _____ v. _____

7. Mahdollisia huomautuksia

1. Kunta: _____

2. Onko veden haju- ja makuhäiriöiden eliminoimiseksi suoritettu toimenpiteitä:

a) raakaveden kohdistuvia

haitallisten levien torjunta (menetelmät, lupaehdot ym.)

muita toimenpiteitä

tulokset

liite

b) erikoistoimenpiteet vedenpuhdistusprosessissa

aktiivihiihlen syöttö tai hiilisuodatus

hapettimien käyttö (otsoni, klooridioksidi, kaliumpermanganaatti yms.)

muu, mikä _____

tulokset _____

liite

c) jakelujärjestelmään kohdistuneet toimenpiteet

huuhtelut

mekaaninen puhdistus

klooraus

muu

tulokset _____

liite

3. Arvioidut kustannukset suoritetuista toimenpiteistä

1975: _____

Ennen: _____

liite

4. Mitä suunnitelmia on tehty tulevaisuudessa esiintyvien haju- ja makuvirheiden poistamiseksi

liite

5. Mahdollisia huomautuksia

Kaupunkiliiton toimisto

HM-projekti

Vastauslomakkeiden A, B ja C täyttöohjeet

Lomake A

- Kohta 1 Merkitään kunnan nimi
- Kohta 2 Selostetaan ne mahdolliset haju- ja makuhäiriöt, joita on tapahtunut vuonna 1975 sekä erikseen tätä ennen tapahtuneet. Mikäli haju- ja makuhaittoja vedessä ei ole todettu, pyydetään kaavakkeet kuitenkin palauttamaan.
- Kohta 3 Mainitaan se vedenkäsittelylaitos, jonka piirissä häiriöt on pääasiallisesti tapahtunut. Jos häiriötä on tapahtunut useammassa käsittelylaitoksessa, voidaan jokainen mainita (tarvittaessa liite).
- Kohta 4 Määritellään häiriöiden esiintymistiheys. Satunnaiset häiriöt voivat johtua esim. vieraiden aineiden pääsystä raakaveteen (öljyt, fenolit, jätevedet tms.), jolloin tavallisesti häiriön jälkeen tilanne palautuu ennalleen. Määrättyinä vuodenaikoina tapahtuvat häiriöt voivat johtua esim. kevät- ja syystulvista, leväkasvusta jne. Jatkuvat häiriöt voivat osoittaa, että raakavesi on siinä määrin huonolaatuista, ettei sen puhdistaminen onnistu ilman erikoiskäsittelyä. Toisaalta voi itse vedenkäsittelyprosessissa olla sellaisia pysyviä virheitä tai puutteita, jotka tulisi korjata veden laadun parantamiseksi.
- Kohta 5 Pyritään selvittämään häiriöiden voimakkuus ja vedenkäyttäjien reaktiot. Valitukset veden laadusta voivat olla puhelinsoittoja, lehtikirjoittelua, kääntymistä kunnan elinten puoleen jne. Lievempien haju- ja makuvirheiden ollessa kyseessä ainoastaan tarkka-aistiset henkilöt ne havaitsevat tai milloin erityisesti kohdistetaan huomio veden laatuun.
- Kohta 6 Tässä kohdassa pyritään mahdollisuuksien mukaan määrittelemään haju- ja makutyypin. Vaikkakin eri henkilöiden arvostelu tässä suhteessa saattaa hyvinkin paljon poiketa toisistaan, voi tyyppin määrittelyllä olla merkitystä häiriön syyn selvittämiseksi.
- Kohta 7 Tähän voidaan esittää selvityksiä paikallisista olosuhteista, mahdollisista vesistön tai pohjavesien saastuttajasta ja yleensä todettujen tai epäiltyjen häiriöiden aiheuttajia.
- Kohta 8 Ilmoitetaan henkilö tai henkilöt, joilta tarvittaessa voidaan saada lisätietoja esim. puhelimitse.

- B Kohta 1 Kunnan nimi .
- Kohta 2 Selvitetään, kuuluuko laitoksen käyttötarkkailuun veden hajun ja maun määrittäminen.
- Kohta 3 Ilmoitetaan kohdan 2 mukaiset haju- ja makutestien suorittajat.
- Kohdat 4 ja 5 Mikäli tarkempia tutkimuksia on suoritettu häiriöiden luonteen ym.

selvillesaamiseksi, esitetään tutkimuksen syyt, tutkimustapa, johtopäätökset, seuranneet toimenpiteet sekä tutkimuksen suorittaja (voidaan käyttää liitettä).

- Kohta 6 Mikäli kustannustietoja edes likimäärin on saatavissa, ilmoitetaan tässä vuoden 1975 haju- ja makututkimuksen menot sekä arvio aikaisemmista tutkimuskustannuksista (tarv. liite).
- C Kohta 1 Kunnan nimi
- Kohta 2 Tässä on kysely jaettu kolmeen osaan (a, b ja c), a-kohdassa selvitetään raakaveteen, b-kohdassa puhdistusprosessiin ja c-kohdassa vedenjakelujärjestelmään kohdistetut toimenpiteet ja selvitys siitä onko näistä ollut apua.
- Kohta 3 Veden hajun ja maun parantamiseen tähtäävät toimenpiteet voivat olla hyvinkin kalliita. Tässä pyritään selvittämään, kuinka paljon suunnilleen maassamme on tähän käytetty varoja (esim. aktiivihiili, kuparisulfaattikäsittely, työt jne.).
- Kohta 4 Jos nykyisin vedenpuhdistusmenetelmin vesijohtovettä ei ole saatu riittävän hyvälaatuisiksi hajun ja maun suhteen, onko tehty suunnitelmia ja mitä asian parantamiseksi (tarv. liite).

Yhteenvedo kunnista, joissa on esiintynyt haju- ja makuhaittoja	Häiriöiden esiintyminen	Häiriöiden säännöllisyys	Häiriöiden voimakkuus	Haju- ja makutyyppi	Aistinvaraiset haju- ja maku- testit	Haju- ja maku- testien suo- rittajat	Laitoksella suoritettut tut- kimukset	Raakaveteen kohdistuneet toimenpiteet	Puhd.prosessiin kohdistuneet toimenpiteet	Jakelujärjestel- mään kohdist. toim.piteet
Kunta										
Helsinki	1	2	2	1,4	1	1	1,2	1,2	1,2	1,3
Tampere, Kaupinoja	1	2	1	4	2	2	1,2	0	1,2	0
T:re, Rusko	1	2	1	1,3,4	2	2	1,2	0	1,3	0
Turku	1	2	1,2	3,4	2	2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3
Espoo	1	2	1,2	1,3	2	2	1,2	1,2	1,2	1,3
Vantaa	1	1	1		2	2	0	0	0	1
Oulu	1	1,2	1,2	3,4	2	2	1	0	1	0
Pori	1	1	1,2	3	1	2	1	0	0	1
Kuopio	1	2	1	1,3,4	3		1,2	0	1,2,3	1
Jyväskylä	1	2		3,4	2	3	1	0	0	1
Vaasa	1	2	2	4	1	1	0	1,2	3	1
Lappeenranta	1	1	1	3,4	1	2	1	0	0	1,3
Hämeenlinna	1	1	1	4	3		1	0	0	1
Kotka	1	3			1	2	0	0	1	1,3
Rauma	1	2	1,2	1,3,4	1	1,2	1,2	2	1,3	1,2,3
Savonlinna	1	3	1,2	2	3		0	0	0	1
Mikkeli	2	1	1,2	2	1	2	1	0	1	0
Riihimäki	1	1	1		2	2	1	0	0	1
Karhula	1	1	1,2		3		0	0	1	1,3
Jyväskylän mlk.	1	2	1,2	4	2	2	1,2	0	1,4	1
Valkeakoski	1	2	1,2	4	2	2	0	0	0	3
Seinäjoki	1	2	1	1,4	2		1,2	0	1	1
Iisalmi	1	2	1,2	4	2	2	0	0	0	3
Kajaani	1	1	1	2	2	3	0	0	0	1
Pietarsaari	1	2	1	1,3,4	3		0	0	2	1
Tornio	1	2	1,2	3	1	2	0	0	0	0
Salo	1	1	1,2	3	1	2	0	0	5	1
Porvoo	2	1	2	2	3		0	0	0	1
Kirkkonummi	1	2	1	4	2	2	0	0	0	3
Lohja	1	2	1,2	1,3,4	1	2	1	0	5	1
Laukaa	2	1	1	4	2	1	0	0	0	1
Kemijärvi	1	2	1	3,4	2	2	0	0	1	0
Kiuruvesi	1	2	1	1,3	2	2	1,2	0	0	0
Kaarina	1	2	1	3	1	2	1,2	0	1	1,3
Uusikaupunki	1	1	2	3	2	2	1	1	1,3	3
Hamina	1	2	1,2	3	1	2	1,2	2	1	0
Outokumpu	2	1	1	3	1	2	0	0	0	0
Saarijärvi	1	2	1,2	3	1	1	1	0	0	1,2,3
Maarianhamina	1	2	1,2	1	1	2	1	1,2	0	1
Juva	1	2	1	3,4	2	2	1	0	5	3
Uusikaarlepyy	1	1	1	3,4	2	3	0	0	1,3,5	3
Muhos	1	2	1	3,4	2	1	0	0	1	1
Nurmo	1	2	1,2	3	1	2	1,2	0	0	1
Ristiina	1	2	1	4	1	2	0	0	0	2

LIITTEEN 2 SELITYKSET

Häiriöiden esiintyminen	
Pintavesilaitoksella	1
Pohjavesilaitoksella	2
Häiriöiden säännöllisyys	
Satunnaisesti	1
Tiettyinä vuodenaikana	2
Jatkuvasti	3
Häiriöiden voimakkuus	
Valituksia kuluttajien taholta	1
Havaittu laitoksen käyttötarkkai- lussa	2
Haju- ja makutyyppi	
Homemainen	1
Metallimainen	2
Maatunut	3
Muu	4
Aistinvaraiset haju- ja makutestit	
Suoritetaan säännöllisesti	1
Suoritetaan aika-ajoin	2
Ei suoriteta ollenkaan	3
Haju- ja makutestien suorittajat	
Koulutettu henkilökunta	1
Muu henkilökunta	2
Ulkopuolinen	3
Suoritettut tutkimukset	
Laitoksella ei ole tehty mitään kokeita	0
Laitoksella suoritettu tarkempia tutkimuksia häiriöiden syyn sel- ville saamiseksi	1
Laitoksella suoritettu puhdistus- kokeita	2
Suoritettut toimenpiteet	
Raakaveteen kohdistuneet	
- ei ole suoritettu mitään	0
- suoritettu levien torjuntaa	1
- suoritettu muita toimen- piteitä	2
Puhdistusprosessiin kohdistuneet	
- ei mitään	0
- käytetty aktiivihiiltä	1
- käytetty ClO ₂	2
- käytetty KMnO ₄	3
- käytetty otsonia	4
- käytetty jotain muuta	5

Jakelujärjestelmään kohdistuneet

-	ei mitään	0
-	huuhtelut	1
-	mekaaninen puhdistus	2
-	klooraus	3
-	muu	4

YVY-julkaisusarja

1. Vesihuollon taloudellisuus
2. Vedenkulutuksen vaihtelut
3. Vesijohtoverkon toiminnan luotettavuus
4. Jätevedenpuhdistamojen allastilojen kattaminen
5. Ammoniakin poisto pohjavedestä
6. Teurastamojen ja lihanjalostuslaitosten jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
7. Maidonjalostusteollisuuden jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
8. Vesi- ja jätehuollon laitteiden julkinen testaus
9. Jätehuollon esimerkkisuunnitelman laatiminen keskisuurille kunnille
10. Yhdyskuntien jätehuollon nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät
11. Menetelmä taajamien vesihuollon toteuttamisasteen ja kehityksen arvioimiseksi
12. Kaatopalkat 1974
13. Viemärlaitoksen systeemianalyysi
14. Vesihuollon edellyttämä vesistötutkimus
15. Jäteveden puhdistamojen hydrauliiikan ja dynamiikan tutkiminen merkkialnetekniikalla
16. Vedenjakelujärjestelmän toiminnallinen suunnittelu
17. Vedenjakelujärjestelmän simulointimalli
18. Bandsedimentator
19. Sekaviemärintiverkoston tehonlisäys ja simulointimalli suunnittelumenetelmänä
20. Haja-asutuksen viemärinti ja jätehuolto
21. Jätevesilietteen hyödyntämisen perusteet
22. Patogeenisten mikro-organismien määrittäminen kalkkilietteestä
23. Kaatopaikan valinta ja kunnossapito
24. Maaseutuyhdyskunnan jätehuolto
25. Viemäriverkoston suunnittelumalli
 - A — Yleisosa
 - B — Käyttäjän ohjekirja
 - C — Mallin testaus
 - D — Ohjelman listaus
26. Juomaveden haju- ja makuhäiriöt ja niiden torjunta

ISBN 951-9250-75-1
ISSN 0355-1997

KYRIIRI OY 4703
Helsinki 1977