

ESKO LAKSO, SIRPA LINDROOS & KJELL WEPPLING

## NEUTRALOINTIOHJEET HAPPAMIEN SULFAATTIMOIDEN VALUMAVESILLE

Sammandrag: Neutraliseringsföreskrifter för sura sulfatvattnen  
English summary: Neutralisation recommendations for acid sulphate waters

ESKO LAKSO, SIRPA LINDROOS & KJELL WEPPLING

**NEUTRALOINTIOHJEET HAPPAMIEN  
SULFAATTIMOIDEN VALUMAVESILLE**

**Sammandrag: Neutraliseringsföreskrifter för sura sulfatvatten**  
**English summary: Neutralisation recommendations for acid sulphate waters**

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

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:  
Valtion painatuskeskus, PL 516, 00101 Helsinki  
puh. (90) 56 601/julkaisutilaukset

ISBN 951-47-2588-3  
ISSN 0783-327X

HELSINKI 1989

JulkaisijaJulkaisun päivämäärä

23.1.1989

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)

Esko Lakso, Sirpa Lindroos ja Kjell Weppling

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Neutralointiohjeet happamien sulfaattimaiden valumavesille

Julkaisun lajiToimeksiantajaToimielinen asettamispm

Ohjeita

Julkaisun osatTiivistelmä

Näissä ohjeissa käsitellään happamilta sulfaattimailta tulevien valumavesien neutralointia vesistöissä. Ohjeet on tehty yhteistyössä happamien sulfaattimaiden maankuivatusohjeiden kanssa (Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisu 21). Mikäli kuivatustoimenpiteiden yhteydessä käytettävissä olevin menetelmin ei voida estää happamoitumisen lisääntymistä, ja siitä on haitallisia vaikutuksia vesistön alaosalle, tulee kyseeseen suoraan vesistöön kohdistuva neutralointi. Vesistön neutralointikemikaalina käytetään kalkkikivijauhetta ( $\text{CaCO}_3$ ) tai teknisiä kalkkituotteita ( $\text{CaO}$  tai  $\text{Ca(OH)}_2$ ). Kalkkikiven ongelmana on hienoksi jauhattunakin hidaskuivatusveteen. Kalkki syötetään kuiva-annostelijalla ja siirretään annosteltavaan kohtaan huuhteluveden avulla. Kalkin liukenemisen kannalta hyviä annostelukohtia ovat pumppuasemat ja koskenniskat. Tarvittava kalkkimäärä voidaan parhaiten arvioida veden asiditeetin perusteella. Yleensä happamien sulfaattivesien neutraloinnissa tarvittava kalkkimäärä ( $\text{CaCO}_3$ ) on melko suuri, yli  $200 \text{ g m}^{-3}$ . Kun veden asiditeetti on korkea, yli  $2 - 3 \text{ mmol l}^{-1}$ , neutralointi on mahdollista suorittaa vain teknisiä kalkkituotteita ( $\text{CaO}$  ja  $\text{Ca(OH)}_2$ ) käyttäen.

Asiasanat (avainsanat)

\* Happamat sulfaattimaat, happamat sulfaattivedet, sulfaattivesien neutralointi

Muut tiedotSarjan nimi ja numeroISBNISSN\* Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja  
34

951-47-2588-3

0783-327X

KokonaissivumääräKieliHintaLuottamuksellisuus

\* 29

Suomi

Julkinen

JakajaKustantaja

\* Valtion painatuskeskus

Vesi- ja ympäristöhallitus

UtgivareUtgivningsdatum

23.1.1989

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)

Esko Lakso, Sirpa Lindroos och Kjell Weppling

Publikation (även den finska titeln)

Neutraliseringsföreskrifter för sura sulfatvattnen

Typ av publikationUppdragsgivareDatum för tillsättandet av organet\*  
AnvisningarPublikationens delarReferat

I dessa föreskrifter ges anvisningar för neutralisering av dräneringsvatten från sulfatjordsområden genom åtgärder i själva vattendraget. Föreskrifterna har uppgjorts i anknytning till torrlägningsföreskrifterna för sura sulfatjordar (Vatten- och miljöstyrelsens publikation 21). En neutralisering av vattnet bör vidtas ifall torrlägningsåtgärderna ger upphov till ökad försurning med risk för försurningsskador nerströms i vattendraget, och dessa skador inte kan förhindras med de metoder som är tillgängliga i samband med torrlägningsarbetena. De sura vattnen neutraliseras med kalkstensmjöl ( $\text{CaCO}_3$ ) eller olika tekniska kalkprodukter ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ). Kalkstensmjölets nackdel är dess långsamma upplösningförmåga. Kalken doseras med hjälp av torrdoserare och transporteras till doseringspunkten i form av kalkmjölk. Dosering vid pumpstationer och forsavsnitt ger en effektiv blandning och upplösning av kalken. Doseringsbehovet bestäms lämpligen på basen av vattnets aciditet och vattenföringen. Då vattnets aciditet överstiger 2-3 mmol  $\text{l}^{-1}$  uppnås en effektiv neutralisering endast med hjälp av tekniska kalkprodukter. I allmänhet är kalkbehovet relativt stort, över 200 g kalkstensmjöl per  $\text{m}^3$ .

Nyckelord\*  
Sura sulfatjordar, sura sulfatvattnen, neutralisering av sulfatvattnenÖvriga uppgifterSeriens namn och nummerISBNISSN\*  
Vatten- och miljöförvaltningens publikationer 34

951-47-2588-3

0783-327X

SideantalSpråkPrisSekretessgrad\*  
29

Finska

Publik

DistributionFörlag

Statens tryckericentral

Vatten- och miljöstyrelsen

Published byDate of publication

23.1.1989

Author(s)

Esko Lakso, Sirpa Lindroos and Kjell Weppling

Title of publication

Neutralisation recommendations for acid sulphate waters

Type of publicationCommissioned byParts of publication

Instructions

Abstract

Instructions are provided for the neutralisation of runoff water entering watercourses from areas with acid sulphate soils. These instructions were produced in conjunction with corresponding recommendations on the draining of such soils (National Board of Waters and Environment, publication n. 21). If the methods available at the time of draining do not succeed in preventing an increase in acidity, and if this acidity proves detrimental as far as the lower watercourse is concerned, neutralisation measures will have to be applied to the watercourse directly. The chemicals recommended for this purpose are limestone and various refined calcium products ( $\text{CaO}$  or  $\text{Ca(OH)}_2$ ). The problem with limestone ( $\text{CaCO}_3$ ) as such is that even when ground to a fine powder it is slow to dissolve in water. The liming agent is fed dry with a volumetric screw feeder and transported to site by means of flushing water. Pumping stations and heads of rapids or waterfalls are the most suitable places for dosing the liming agent considering the solubility problem. The appropriate dosage can best be estimated from the acidity of the water. The amounts needed for the neutralisation of sulphate waters are usually fairly high, over  $200 \text{ g m}^{-3}$  ( $\text{CaCO}_3$ ). With water of high acidity, in excess of  $2 - 3 \text{ mmol l}^{-1}$ , neutralisation can only be achieved using calcium products such as  $\text{CaO}$  or  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Keywords

Acid sulphate soils, acid sulphate waters, neutralisation of acid sulphate waters

Other informationSeries (key title and no.)

Publications of the Water and Environment Administration 34

ISBN

951-47-2588-3

ISSN

0783-327X

Pages

29

Language

Finnish

PriceConfidentiality

Public

Distributed by

Government Printing Centre

Publisher

The National Board of Waters and Environment, Finland

## A L K U S A N A T

Suomessa on happamia sulfaattimaita kaikkiaan 163 000 ha. Nämä maat muodostavat 55 % Pohjanlahden rannikon korkeustason 60 m mpy alapuolella olevista pelloista. Noin puolet näistä pelloista on täydennyskuivatuksen tarpeessa. Happamista sulfaattimaista johtuen Pohjanlahden rannikolla on kaikkiaan 20 - 30 jokivesistöä kriittisessä happamuustilassa.

Tämän johdosta vesi- ja ympäristöntutkimuslaitoksen aloitteesta päätettiin nykyisen tietämyksen pohjalta tehdä ohjeet maankuivatuksen suunnittelusta happamilla sulfaattimailla (Palko ym. 1988) sekä neutralointiohjeet happamille sulfaattivesille. Neutralointiohjeet on tehty ulkomailta, lähinnä Ruotsista ja Norjasta, saadun tietouden sekä vuodesta 1984 alkaen tehtyjen happamien alunavesien neutralointitutkimusten perusteella. Neutralointitutkimukset on tehty Vaasan vesi- ja ympäristöpiirissä, jonka alueella sijaitsevat laajimmat sulfaattimaa-alueet.

Näiden ohjeiden kirjoittamisesta ovat vastanneet vt.apul.prof. Esko Lakso Oulun yliopistosta, ins. Sirpa Lindroos Vaasan vesi- ja ympäristöpiiristä sekä fil.maist. Kjell Weppling Oy Partek Ab:stä. Näiden lisäksi työryhmän kokouksissa asian käsittelyyn ovat osallistuneet prof. Jussi Hooli Oulun yliopistosta, vesihuoltopäällikkö Ilkka Mikkola Vaasan kaupungista, fil.lis. Juhani Koivusaari Vaasan vesi- ja ympäristöpiiristä sekä dipl.ins. Kari Rekilä Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiristä.

Helsingissä 23.1.1989

Vesi- ja ympäristöhallitus

## S I S Ä L L Y S

	sivu
ALKUSANAT.....	6
1 HAPPAMIEN VALUMAVESIEN NEUTRALOINTI.....	8
1.1 Tausta.....	8
1.2 Ohjeiden laadinnan perusteet.....	8
2 NEUTRALOINNIN TARKOITUS.....	9
3 ARVIO VESISTÖKALKITUKSEN TULEVASTA LAAJUUDESTA...	10
4 NEUTRALOINTIAINEET JA NIIDEN VALINTAKRITEERIT....	11
4.1 Neutralointiaineet.....	11
4.2 Neutralointiaineen valintakriteerit.....	13
5 NEUTRALOINTIAINEEN ANNOSTELU.....	17
5.1 Yleiset näkökohdat.....	17
5.2 Kuiva-annostelu.....	18
5.3 Märkäannostelu.....	21
5.4 Neutralointiaineen annosteluun liittyvät ongelmat	23
6 LISÄTUTKIMUKSEN TARVE.....	24
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
KIRJALLISUUS.....	27



# 1 H A P P A M I E N V A L U M A V E S I E N N E U T R A L O I N T I

## 1.1 TAUSTA

Vesistöjä, virtaavia vesiä ja järviä, on kalkittu mm. Ruotsissa ja Norjassa 1970-luvulta alkaen. Useimmiten neutralointi on tehty kalkkikivipohjaisten tuotteiden avulla. Neutraloinnin tarkoituksena on useimmissa tapauksissa ollut rajoittaa happosateiden aiheuttamaa vesistöjen happamoitumista. Happosateiden aiheuttaman happamuuden neutraloinnissa kalkin ( $\text{CaCO}_3$ ) tarve on yleensä alle  $50 \text{ g m}^{-3}$  vettä. Aiheesta on ilmestynyt useita tieteellisiä julkaisuja ja tutkimusraportteja (esim. Bengtsson & Henriksson 1981, Eriksson ym. 1983, Baalsrud 1985, Sverdrup 1985, Hindar 1985 ja Bingman 1988).

Virtaavan veden neutralointikokeita on tehty Suomessa 1980-luvulla. Ne ovat kohdistuneet lähes yksinomaan sulfaattimaiden aiheuttaman happamuuden torjuntaan. Sulfaattimailta tulevan happamuuden neutralointi vaatii yleensä yli  $200 \text{ g m}^{-3}$  kalkkikivijauhetta. Huomattava osa kalkin neutralointitehosta kuluu metallien saostamiseen. Kun kalkkikivijauhetta syötetään vesistöön runsaasti, ongelmana on yleensä saada kalkki tehokkaasti liukenemaan veteen. Suomessa on käytetty vain kalsiumyhdisteitä vesistöjen neutraloinnissa.

## 1.2 OHJEIDEN LAADINNAN PERUSTEET

Happamilta sulfaattimailta tulevien valumavesien kalkituskokeita on toistaiseksi tehty pelkästään Vaasan vesi- ja ympäristöpiirissä. Nämä ohjeet perustuvat ulkomaisten tutkimusten sekä vesilaitoksilta saadun tietämyksen lisäksi seuraaviin tehtyihin tai tekeillä oleviin neutralointitutkimuksiin:

- Kyrönjoen suualueelle rakennetun Lakörenin pumppuaseman paikalla tehty tutkimus vuonna 1984 (Repo 1987).
- Kalkinsyöttö suoraan Kyrönjokeen vuonna 1984.
- Vassorinlahteen laskevan Larvbäckenin kalkitus vuonna 1985.
- Sundominlahteen laskevan Sulvanjoen kalkitus vuosina 1986 - 1988 (Rekilä 1988).
- Petsmon kalkitustutkimukset vuosina 1986 - 1988.

- Lapväärtinjokisuussa olevan Norrifjärdenin neutralointitutkimukset vuosina 1987 - 1988.
- Lakörenin pumppuaseman yhteyteen rakennetun kalkinsyöttölaitteiston koekäyttö vuonna 1987.
- Kyrönjoen alaosalla tehty akvaariotutkimus, joka käsitteli kalkituksen kemiallisten vaikutusten lisäksi kalkituksen vaikutuksia kaloihin. Tutkimus tehtiin kesällä vuonna 1985 (Björkqvist & Weppling 1987).

Pääosa kokeista on tehty joko aikaisemmin rakennetun tai tilapäisen pumppuaseman yhteydessä (Lakören 1984 ja 1987, Larvbäcken 1985, Petsmo 1987 - 1988 sekä Norrifjärden 1987 - 1988). Pumppuasema sekoittaa kalkin tehokkaasti veteen ja parantaa siten kalkin liukenemistä. Sulvanjoella sekä Petsmonjoella vuonna 1986 kalkki syötettiin suoraan jokeen. Kalkin liukenemisen parantamiseksi Sulvanjoella vuosina 1987 - 1988 käytettiin kalkkimaidon esisekoitusta jokiveteen.

Kokeissa käytetty kalkki on pääasiassa ollut kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ). Liukenemisen parantamiseksi on siirrytty yhä hienorakeisempiin kalkkilaatuihin. Kyrönjokeen suoraan syötetyn dolomiittikalkin hienous oli 50 % alle 0,15 mm raekokoa. Norrifjärdenin ja Lakörenin pumppuasemilla vuonna 1987 käytetty kalkki, Partekin Parfill P8, oli 90 %:sesti alle 0,01 mm:n raekokoa.

Petsmossa ja Sulvanjoella vuosina 1987 - 1988 on käytetty kalsiumoksidia ( $\text{CaO}$ ), joka on huomattavasti kalsiumkarbonaattia tehokkaampaa neutralointiainetta. Kalsiumoksidin liukoisuus veteen on hyvä.

Kyrönjoella vuonna 1984 suoritettua koetta lukuunottamatta kaikissa muissa tapauksissa kalkki on syötetty vesistöön käyttäen varastosii-  
loa, säädettävää ruuviannostelijaa sekä huuhteluvettä. Kyrönjoella vuonna 1984 kalkki kipattiin ja lapioitin suoraan vesistöön.

## 2 NEUTRALOINNIN TARKOITUS

Tämän ohjeen tarkoituksena on esittää ne nykyisin tiedossa olevat käytännön menetelmät, joilla ojien, purojen ja jokien veden happamuutta voidaan vähentää. Vesistöön kohdistuva neutralointi on happamuushaittojen estämisessä vaihtoehtoinen toimenpide happamuushaitat huomioivan maankuivatuksen ja maanpinnan kalkituksen kanssa tai niiden täydentäjä.

Kun neutralointitoimenpitein estetään happamien sulfaattimaiden kuivatuksista johtuva alapuolisen vesistön lisähappamoituminen, kyseessä on kuivatushankkeen yksi osa. Mikäli kuivatushankkeen yhteydessä veden laatu muutetaan vesistöön kohdistuvin neutralointitoimenpitein alkuperäistä tilannetta paremmaksi, kyseessä on vesistön kunnostus. Vesistön neutralointi saattaa tulla kyseeseen myös itsenäisenä kunnostushankkeena.

Vesistön lisähappamoitumisen estäminen tai vallitsevan happamuusasteen vähentäminen on tarpeen, mikäli veden happamuudesta ja siihen liittyvistä veden laadun seurannaisilmiöistä on olennaista haittaa alapuolisessa vesistössä. Haitta voi kohdistua esimerkiksi vedenhankintaan tai kalatalouteen. Mereen joutuessaan happamuudesta ei yleensä ole haittaa, koska merivedellä on korkea puskurikapasiteetti. Poikkeuksen tekevät jokien suistoalueet, joissa makea vesi voi ajoittain levitä sekoittumattomana kauaksi merelle, sekä lahdet, joissa veden vaihtuminen on hidasta.

Sulfaattimaiden valumavesistä johtuva vesistön happamoituminen ajoittuu kevätvalunnan loppuvaiheeseen sekä syyskesällä tai syksyllä kuivan kauden jälkeen esiintyvään valuntahuippuun. Maaperässä olevat sulfidiyhdisteet hapettuvat ja muuttuvat liukoisiksi sulfaateiksi kevättalvella ja kesällä kuivan kauden aikana. Kesällä maaperän lämpötila on korkeampi kuin talvella ja tämän seurauksena hapettuminen on nopeampaa. Lisäksi happamoitunutta maavettä kulkeutuu kesällä maanpinnalle kapillaari-ilmion johdosta. Kuivaa kautta seuraavan valunnan aikana happamoitunut maavesi sekä kesällä maan pintakerrokseen kapillaarisesti nousseet suolat kulkeutuvat vesistöön (Palko 1988). Keväällä tulvan alkuvaiheessa vesistöön purkautuva vesi on peräisin lumen sulamisesta ja maanpinta on samaan aikaan vielä roudassa. Kevätvalunnan loppuvaiheessa vedet kulkeutuvat vesistöön myös maaperän kautta suodattuen. Edellä esitetystä johtuen syksyllä, pitkän kuivan kauden jälkeen, valumavedet ovat happamampia kuin keväällä.

### 3 ARVIO VESISTÖKALKITUKSEN TULEVASTA LAAJUDESTA

Vesistön neutralointi tulee kyseeseen silloin, kun alapuolisella vesistöllä on merkitystä esimerkiksi vedenhankinnalle tai kalatalou-

delle ja happamilta sulfaattimailta tulevat vedet heikentävät vesistön veden laatua. Toisaalta on tapauskohtaisesti harkittava neutralointimahdollisuutta verrattuna muihin toimenpiteisiin happamuushaitan estämiseksi. Tällöin myös suljettujen merenlahtien perukkaan laskevien pienehköjen ojien veden laadulla on ainakin ajoittain merkittävä vaikutus lahden veden laatuun ja siten kalatalouteen, kuten esimerkiksi Vassorinlahdella, joka sijaitsee Pohjanlahden rannikolla Vaasan pohjoispuolella.

Happamien sulfaattimaiden kokonaismäärästä sekä niiden jakautumisesta vesistöalueittain Palko ym. (1988) ovat esittäneet arvion. Saman arvion mukaan happamia sulfaattimaita sisältävillä peltoalueilla on runsaasti täydennyskuivatuksien tarvetta.

Vesistön neutralointia tultaneen tarvitsemaan lähinnä seuraavilla alueilla:

- Sirppujoen alaosa, jossa neutralointivaatimus on asetettu perukauksen toteuttamisen ehdoksi vesioikeuden päätöksessä,
- Lapväärtinjoen alaosa,
- Kyrönjoen alaosa Seinäjoelta alaspäin,
- Luodon - Öjanjärven lähivaluma-alueet sekä
- Oulun kaupungin eteläpuoliset alavat alueet.

## 4 NEUTRALOINTIAINEET JA NIIDEN VALINTAKRITTEERIT

### 4.1 NEUTRALOINTIAINEET

Teoriassa happamien sulfaattivesien neutralointiin voidaan käyttää kaikkia vedenkäsittelyyn yleensä soveltuvia emäksiä. Hapanta vettä voidaan eräissä tapauksissa neutraloida myös merivedellä, jolloin meriveden korkea alkaliniteetti muodostaa neutraloinnin perustan. Käytännössä neutralointiaineen valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, kuten aineen käsittelyominaisuudet ja annosteltavuus, vesikemialliset ja biologiset vaikutukset sekä hinta saavutettavaan tulokseen nähden.

Happamien sulfaattivesien laatu poikkeaa selkeästi ilmaperäisesti happamoituneista vesistä. Muunmuassa sulfaattimaiden kuivatusvesien metallipitoisuudet ovat huomattavan korkeat. Veden laadun erilaisuuden vuoksi eri neutralointiaineiden käyttäytymistä näissä vesissä ei

voida verrata happosateista aiheutuvan happamuuden neutraloinnista saatuihin kokemuksiin.

Neutralointiin soveltuvat yhdisteet voidaan ryhmitellä liukenevuksiensa perusteella seuraavalla tavalla:

Dolomiitti ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	hidas
Kalsiitti ( $\text{CaCO}_3$ )	liukeneminen
Tekniset kalkkilaadut ( $\text{CaO}$ ja $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	↕
Sooda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	nopea
Lipeä ( $\text{NaOH}$ )	liukeneminen

**Dolomiitti** ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) on pääasiassa kalsium-magnesiumkarbonaatista koostuva hidasliukoinen emäs, jonka magnesiumpitoisuus ylittää 10 %. Raekooltaan erilaisia dolomiittituotteita käytetään maataloudessa.

**Kalsiitti** ( $\text{CaCO}_3$ ) eli kalkkikivi koostuu pääosin kalsiumkarbonaatista. Sen liukenemisnopeus on hieman suurempi kuin dolomiitin. Valmistus tapahtuu dolomiitin tapaan jauhamalla kalkkikiveä.

Kalsiitti, dolomiitti ja niiden välimuodot ovat yleisimmin vesistöjen neutraloinnissa käytetyt tuotteet. Annostelu tapahtuu yleensä ruviannostelijalla siilosta. Niiden yliannostelukaan ei voi aiheuttaa haitallisen korkeita pH-arvoja vesistöissä. Liuetessaan ne lisäävät puskuroivien yhdisteiden pitoisuuksia vedessä. Ongelmana on tuotteiden heikko liukeneminen.

Markkinoilla esiintyvien kalkkikivipohjaisten tuotteiden raekoot vaihtelevat rouhemaisista aina erikoishienoihin slurrususpensioihin. Tuotteiden hinnat vaihtelevat suuresti raekoosta riippuen ollen normaalisti 100 - 500 mk tonni.

**Tekniset kalkkituotteet** ( $\text{CaO}$  ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) valmistetaan kalkkikivestä polttamalla ja kalsiumhydroksidi edelleen sammuttamalla. Ne ovat vahvoja emäksiä, jotka reagoivat vedessä nopeasti pH-arvosta riippumatta. Yliannostelu aiheuttaa nopeasti korkeita pH-arvoja (pH 12-13) vesistöissä. Tuotteet toimitetaan jauhemaisessa tai rakeisessa muodossa. Annostelu tapahtuu yleensä erilaisilla ruviannostelijoilla. Aineiden reaktiivisuudesta johtuen käsittelyssä on noudatettava

varovaisuutta. Tuotteiden hinnat ovat noin 600 mk tonni.

**Sooda** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) on reaktiivinen ja nopeasti liukeneva emäs. Yliannostelu saattaa helposti aiheuttaa liian korkeita pH-arvoja vesistössä. Soodaa toimitetaan jauheena. Annostelua varten valmistetaan vesiliuos (esimerkiksi 10 %), jota annostellaan neutraloitavaan veteen pumppujen avulla. Soodan hinta on noin 650 mk tonni.

**Lipeä** (NaOH) on erittäin reaktiivinen emäs. Sen liukenemisnopeus on suuri ja veden pH-arvosta riippumaton. Veden neutralointitarpeen ylittävä annostelu johtaa soodan ja teknisten kalkkituotteiden tavoin haitallisen korkeisiin pH-arvoihin (pH 12-13). Lipeällä ei saavuteta puskuroivaa vaikutusta vesistössä. Lipeää myydään muun muassa 50 %:na liuoksena. Annostelu tapahtuu pumppujen avulla. Aineen hinta on noin 1 800 mk tonni (100 % NaOH bulkkituotteena ostajalla ilman liikevaihtoveroa).

Edellä esitetyt hinnat ovat vuoden 1988 tasossa. Hintaan tulee lisätä tuotteen kuljetuskustannus, ellei toisin ole mainittu.

Happamien sulfaattivesien neutralointikokemukset perustuvat tois-  
taiseksi kalsiumyhdisteiden käyttöön. Tämän johdosta jatkossa käsitellään ainoastaan näitä neutralointiaineita.

#### 4.2 NEUTRALOINTIAINEEN VALINTAKRITEERIT

Valittaessa happamien sulfaattivesien neutralointiainetta on syytä kiinnittää erityistä huomiota asetetun tavoitteen ja saavutettavissa olevan tuloksen väliseen suhteeseen. Määriteltä neutralointitavoite saattaa sinällään rajoittaa käytettävien kemikaalien valintamahdollisuuksia. Neutralointiaineen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat neutraloitavan veden laatu, käytössä olevien neutralointiaineiden ominaisuudet sekä kemikaalin annostelutapa vesistöön.

Neutraloitavan veden ominaisuuksista oleelliset ovat pH-arvo, asiditeetti ja metallipitoisuudet. Metalleista tärkeimmät ovat alumiinin, raudan ja mangaanin eri yhdisteet.

Neutraloitaessa metallit, erityisesti alumiini ja rauta, saostuvat

hydroksidimuodossa pH-arvon kohoamisen myötä. Samalla ne kuluttavat huomattavan osan lisätystä emäksestä.

Viime vuosina suoritettut tutkimukset ovat osoittaneet, että veden sulfaattivesien metallipitoisuuksien ja asiditeettiarvon välillä vallitsee selkeä positiivinen korrelaatio. Koska metallit toimivat puskuroivina yhdisteinä alhaisilla pH-arvoilla, veden asiditeettiarvoa on syytä pitää pH-arvoa parempana neutralointitarvetta kuvaavana parametrina. Mitä suurempi asiditeetti, sitä korkeammat metallipitoisuudet ja näin ollen myös suurempi emäskulutus neutraloinnin yhteydessä.

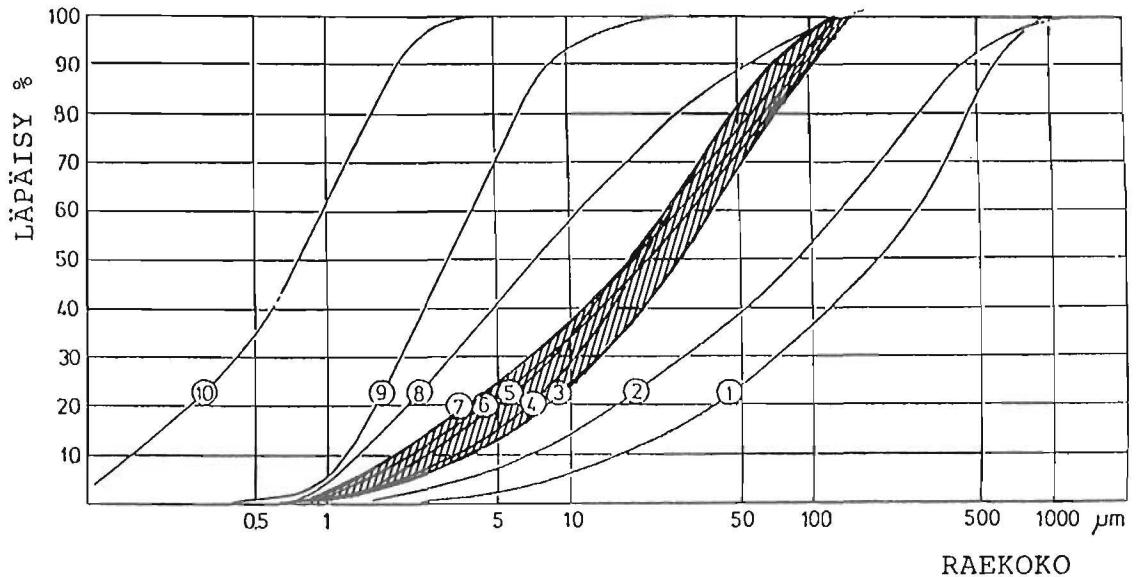
Kalkkikivipohjaisilla aineilla liukenemisnopeudesta ja -määrästä tulee näiden aineiden käyttömahdollisuuksia ja kannattavuutta rajoittava tekijä. Kalkkikivijauheet liukenevat hitaasti, jolloin myös veden laadulla ja kemikaalin annostelu- ja liuotustekniikalla on keskeinen rooli kyseisten aineiden käyttökelpoisuutta arvioitaessa. Esimerkiksi veden korkea metallipitoisuus, ja siten korkea asiditeettiarvo, heikentää kalkin liukenemistä metalliyhdisteiden saostuessa kalkkikivihiukkasten pinnoille. Vastaavasti erilaiset liuotusratkaisut, kuten pakkosekoitus, parantavat liukenemistehoa lisäten näin kalkkikivijauheiden käyttökelpoisuutta.

Kalkkikivipohjaisten neutralointiaineiden kohdalla paras mahdollinen tulos saavutetaan erikoishienoksi jauhetulla puhtaalla kalsiitilla eli slurryllä. Tämä tuote on niin hienorakeista, että sillä saavutetaan 90 - 100 %:n liukenemisteho. Asfalttifilleritasoa, 80 %:a hiukkasista pienempiä kuin 0,074 mm, karkeampia tuotteita ei heikon liukenemistehon takia yleensä kannata käyttää sulfaattivesien neutralointiin. Sulfaattivesien neutralointiin soveltuvien kalkkikivijauheiden raekokojakaumat on esitetty kuvassa 1, tuotteet nrot 3 - 10.

Kalkin raekoon pienetessä sen holvautumistaipumus kasvaa. Tämä tuli erityisesti esille vuonna 1987, kun Lakörenin ja Norrifjärdenin pumpuasemilla käytettiin Partekin Parfill P8 (kuva 1).

Happaman sulfaattivesien neutraloinnissa annosteltavat emäsmäärät riippuvat kalkkikivipohjaisten tuotteiden kohdalla veden laadun lisäksi muun muassa kalkitusaineen raakoosta, sen karbonaattipitoisuu-

desta, annostelutekniikasta sekä asetetusta tulostavoitteesta. Mitään yleispäteviä ohjearvoja ei tämän vuoksi voi esittää. Tarvittava neutralointiaineen määrä on yleensä selvitettävä tapauskohtaisesti laboratorionkokein. Joissain tapauksissa tarvittava neutralointiaineen määrä voidaan arvioida veden asiditeetin ja neutralointiaineen liukoisuustietojen perusteella.



Kuva 1: Erialaisten kalkkikivijauheiden raekokojakaumat. Tuotteet 3 - 10 soveltuvat alunavesien neutralointiin. Tuotteita 3 - 7 (viivoitettu alue) voidaan kutsua yhteisellä nimellä tavalliset kalkkikivifillerit.

Nro 1	Kalkkikivijauhe L 500, Lappeenranta
2	Tavalliset maanparannuskalkit
3	Kalkkifilleri L 100, Lappeenranta
4	Magnesiumipitoinen kalkkikivijauhe 2 H, Vimpeli
5	Magnesiumipitoinen kalkkikivijauhe 2 H, Vampula
6	Kalkkikivijauhe P 100, Parainen
7	Kalkkikivijauhe 2 H, Kalkkimaa
8	Kalkkikivifilleri G, Parainen
9	Parfill P 8, Parainen
10	Hydrocarb 90 L, Lappeenranta

Teknisten kalkkituotteiden annostelumäärä voidaan arvioida taulukon 1 avulla. Taulukko 1 on laadittu poltetulle kalkille, jonka CaO-pitoisuus on 90 %. Taulukon 1 mukaisella CaO-annostelulla veden pH-arvo nousee tasolle 5,5 - 6,0.

Kun neutraloitavan veden laatu, neutralointiaineen liukeneisuusominaisuudet sekä hankkeeseen suunnitellut tekniset ratkaisut tunnetaan, voidaan neutralointiin parhaiten sopiva tuote valita. Valinnan-



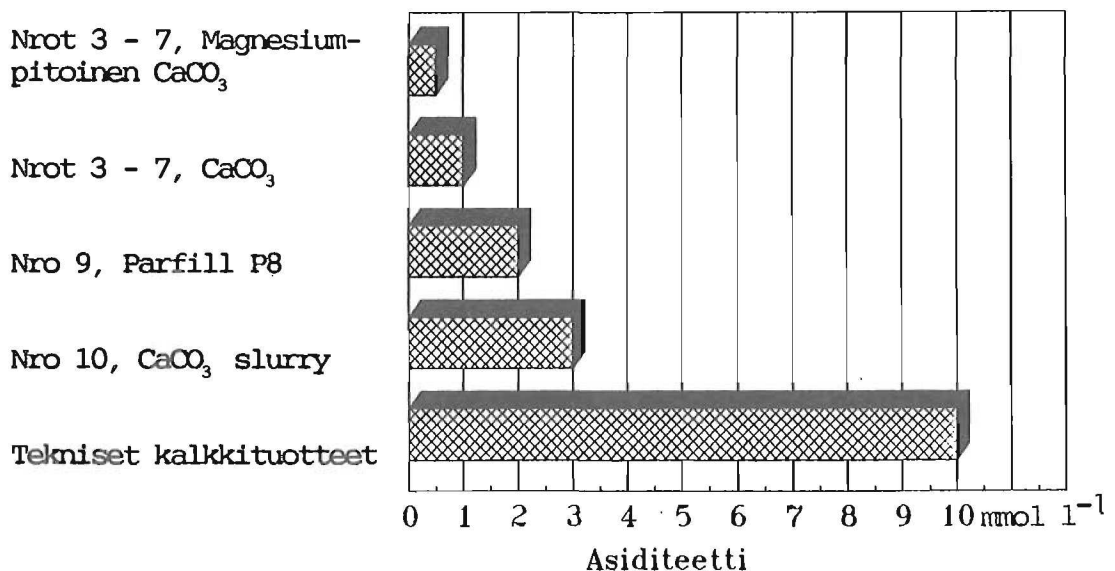
tukena voidaan käyttää kuvaa 2, joka perustuu tämän hetkisiin tietoihin.

Taulukko 1. Kalsiumoksidin tarve asiditeetin funktiona.

Neutraloitavan veden asiditeetti mmol l <sup>-1</sup>	CaO-annostelu g m <sup>-3</sup>
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
9	225
10	250

Veden asiditeettiä ylittäessä 2 mmol l<sup>-1</sup> ei kalkkikivipohjaisten tuotteiden käyttäminen enää ole taloudellisesti kannattavaa suurista annostelumääristä ja huonosta liukenemistehosta johtuen. Poikkeuksena on kalkkikivislurry. Liukenematon kalkki laskeutuu vesistön pohjalle, jolloin siitä ei ole nopean inaktivoitumisen takia neutraloinnissa hyötyä.

Teknisiä kalkkituotteita tai muita vahvoja emäksiä käytettäessä on syytä kiinnittää erityistä huomiota annostelulaitteiston toimintavarmuuteen sekä annostelun määrälliseen ohjattavuuteen ja valvontaan.



Kuva 2. Eri kalkkilaatujen käyttöalueet happamien sulfaattivesien neutraloinnissa. Tuotteiden numerointi on esitetty kuvassa 1.

## 5 NEUTRALOINTIAINEEN ANNOSTELU

### 5.1 YLEISET NÄKÖKOHDAT

Happamia sulfaattivesiä neutraloitaessa joudutaan yleensä käsittelemään virtaavia vesiä. Hyvän neutralointituloksen saavuttaminen edellyttää jatkuvatoimista annostelua halutun vaikutusjakson aikana. Suurellakaan kerta-annostuksella ei voida saavuttaa pitkäaikaista vaikutusta. Tämä koskee kaikkia neutralointiaineita ja erityisesti neutralointiominaisuuksiltaan hankalia happamia sulfaattivesiä. Näin ollen käytetyllä annostelutekniikalla on suora vaikutus neutraloinnin lopputulokseen.

Annostelutekniikka valitaan veden laadun ja neutralointiin valitun emäksen pohjalta. Laitteiston sijoitusvaihtoehdot määräytyvät vesistön virtausominaisuuksien ja virtaamatietojen sekä erilaisten käytännön tekijöiden, kuten sähkön saatavuuden ja tieyhteyksien perusteella.

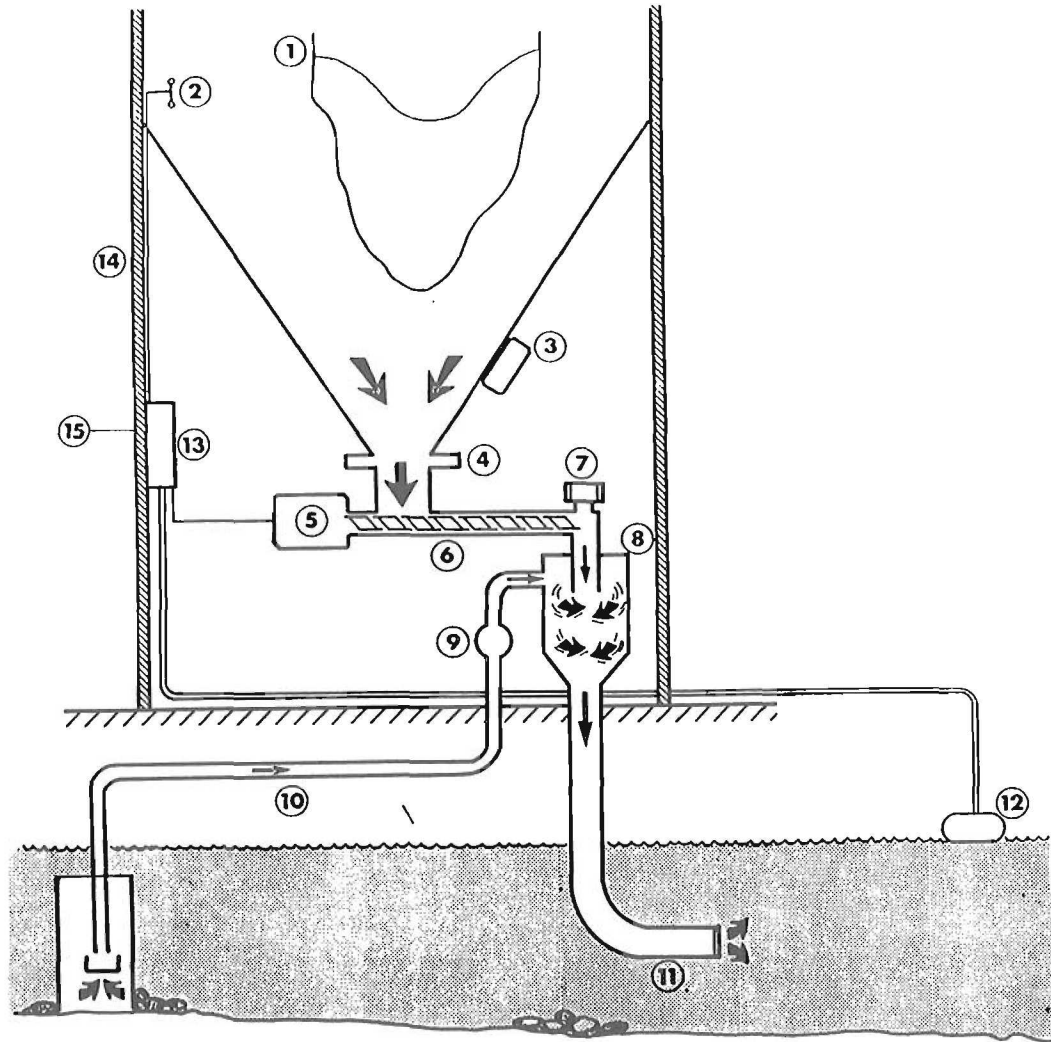
Neutralointilaitteisto tulisi sijoittaa niin, että annostelu kohdistuisi mahdollisimman nopeasti virtaavaan vesistönosaan. Sopivia sijoituspaikkoja ovat esimerkiksi koskenniskat ja pitkähköt koskiosuudet, voimalaitokset sekä pengerpumppaamot. Tällaisissa paikoissa neutralointiaine sekoittuu parhaiten neutraloitavaan veteen. Näin saavutetaan hyvä liukenemisteho ja kustannus-hyöty -suhde. Neutralointiaineen liukenemistehoa voidaan parantaa erilaisten liuotusaltaiden tai -säiliöiden avulla.

Neutralointiaineen annostelumäärä vaihtelee käsiteltävän veden laadun ja määrän perusteella. Tämän johdosta neutralointilaitteisto on varustettava säädettävällä annosteluyksiköllä. Säättö voi olla automaattinen tai käsisäätöinen. Säädön kannalta on tiedettävä säätöhetken vesistön neutralointitarve sekä virtaama. Annostelua voidaan säätää ja tarkkailla myös annostelupisteen alapuolella tapahtuvan pH-mittauksen avulla.

Happamien alunavesien neutralointiin soveltuvat annostelulaitteet voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: kuiva-annostelijat ja märkäannostelijat. Näiden laitteistojen perusversiot voidaan varustaa erilaisilla lisälaitteilla, jolloin niiden käyttövanuus paranee.

## 5.2 KUIVA-AINNOSTELU

Kuiva-annostelulla ymmärretään kuivan jauhemaisen neutralointiaineen annostelemista neutraloitavaan vesistöön joko sellaisenaan tai huuhteluveden avulla. Kuiva-annostelijan pääosat ovat varastosilo ja annosteluyksikkö. Lisäksi annostelijaan voidaan liittää useita annosteluvarmuuden ja huollon kannalta tärkeitä lisälaitteita (kuva 3).



- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1. Varastosilo       | 9. Sekoitusvesipumppu ja paineanturi                                    |
| 2. Pintailmaisin     | 10. Sekoitusvesiputki   |
| 3. Tärytinlaite      | 11. Annosteluputki  |
| 4. Sulkupelti        | 12. Annostelua ohjaavat anturit<br>(mikäli automaattiohjattu annostelu) |
| 5. Sähkömoottori     | 13. Ohjaus- ja säätöyksikkö sekä<br>valvontataulu                       |
| 6. Ruuviannostelija  | 14. Eristetty seinärakenne  |
| 7. Imuri, poistoilma | 15. Ulkoinen hälytysjärjestelmä<br>(esim. puhelinverkkoon)              |
| 8. Sekoitussäiliö    |   |

Kuva 3. Kuiva-annostelijan periaatteellinen rakenne.

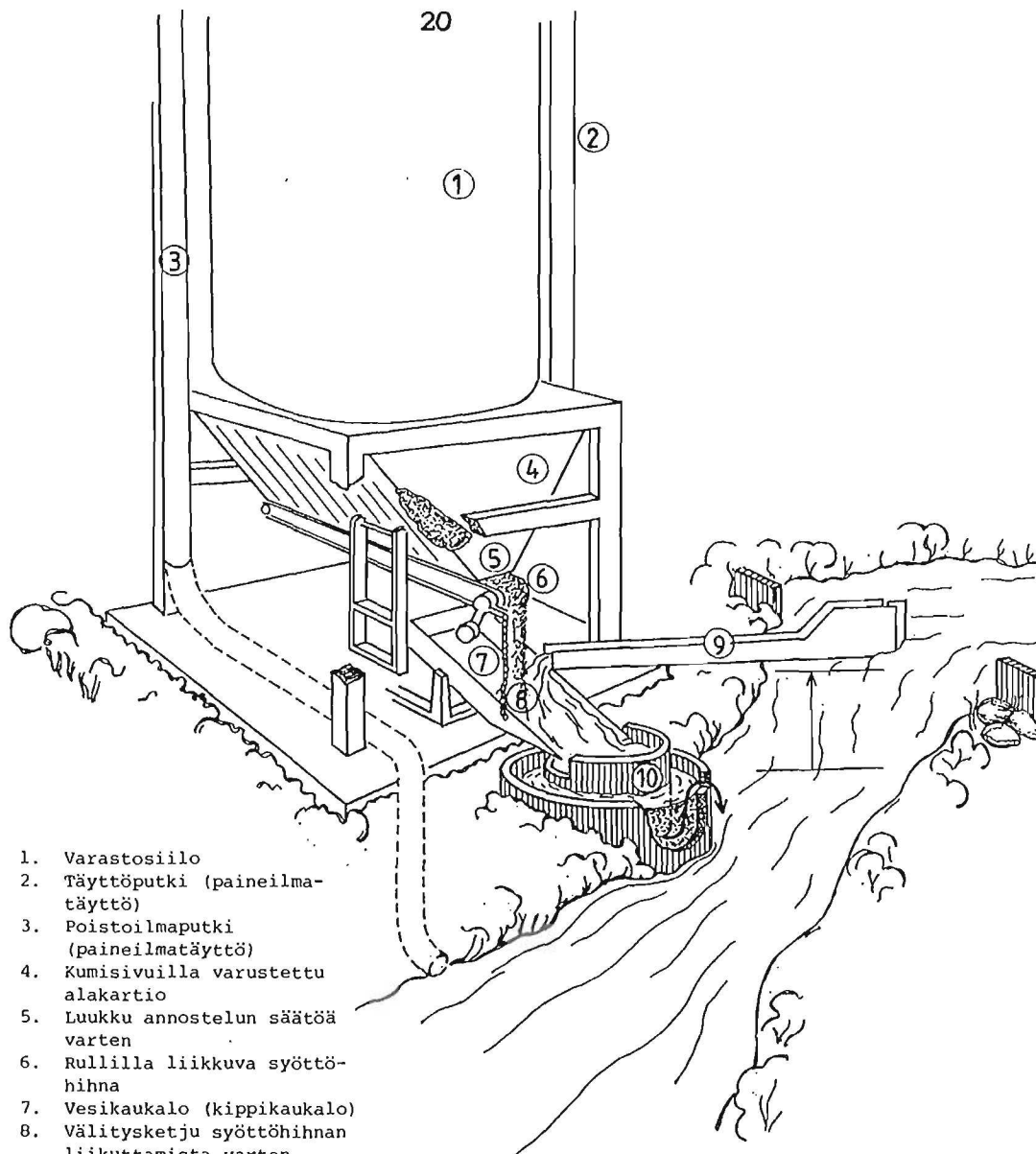
Varastosiilossa tulee kiinnittää erityistä huomiota:

- Siilon kokoon. Suurilla käyttömäärillä, yli 20 tn kuukaudessa, sopiva siilotilavuus on noin 130 % käytössä olevan neutralointiaineen kuljetuskaluston enimmäistilavuudesta.
- Siilon alakartion muotoon. Tarpeeksi jyrkkä alakartionkulma parantaa annosteltavuutta ja estää kalkin holvautumista.
- Siilon alakartion pintakäsittelyyn. Alakartion pintakäsittely pitää olla sellainen, että kaikki ei kiinnity siihen, vaan luistaa helposti alas.
- Siilon alaosan sulkupeltin olemassaoloon. Sulkupelti mahdollistaa annosteluyksikön korjaukset ja huollot siilon ollessa täysi.
- Siilon täyttöön ja poistoilman suodatukseen. Suurissa siiloissa täyttö tapahtuu paineilman avulla.
- Siilon eristykseen. Suuret siilot, joissa neutralointiainetta varastoidaan useita kuukausia, tulee ainakin alakartion osalta olla eristetty kosteutta ja nopeita lämpötilan vaihteluja vastaan.
- Tarpeellisten lisälaitteiden toimivuuteen, kuten erilaiset täryt, vasarat ja holvaantumisen estävät fluidisointijärjestelmät sekä pintaindikaattorit neutralointiaineen pinnankorkeuden ilmaise-  
miseksi.

Kuiva-annostelijan annosteluyksikkö koostuu useimmiten sähkömoottorilla toimivasta annosteluruuvista, joka annostelee neutralointiainetta varastosiilosta suoraan vesistöön tai sekoitussäiliöön. Annosteluruuveja voi olla myös useita rinnan, jolloin toimintavarmuus paranee. Ruuvien kierrosnopeus on säädettävissä esimerkiksi invertterin avulla, jolloin annostelumäärä vastaavasti muuttuu.

Ruviannostelijat ovat toiminnaltaan tilavuuteen perustuvia (volymetrisiä). Niiden annosteluvirhe on 2 - 7 %. Tämä tarkkuus riittää useimmissa neutralointitapauksissa.

Oman annostelijatyypinsä muodostavat erilaiset mekaaniset annostelijat. Ne ovat toimintaperiaatteeltaan kuiva-annostelijoita, jotka saavat tarvitsemansa energian virtaavasta vedestä. Ne ovat riippumattomia sähkövoimasta, mikäli neutraloitavassa vesistössä on tarpeeksi putouskorkeutta, 0,3 - 1,5 m laitteesta riippuen. Esimerkkejä tällaisista annostelijoista ovat kalkkikaivo ja Boxholm-annostelija (kuva 4). Kalkkikaivon käyttö sulfaattivesien neutralointiin vaatii esitutkimuksen, koska sen teho saattaa olla riittämätön. Boxholm-annostelijasta on toistaiseksi kokemuksia vain ilmaperäisen happamuuden neutraloinnissa.



1. Varastosiiilo
2. Täyttöputki (paineilmatäyttö)
3. Poistoilmaputki (paineilmatäyttö)
4. Kumisivuilla varustettu alakartio
5. Luukku annostelun säätöä varten
6. Rullilla liikkuva syöttöhihna
7. Vesikaukalo (kippikaukalo)
8. Välitysketju syöttöhihnan liikuttamista varten
9. Vesikouru, jonka yläosassa säädettävä luukku (putouskorkeus minimi 0,3 m)
10. Liotuskaivo (kalkkiloukku)

Kuva 4. Boxholm-annostelijan periaatteellinen rakenne.

Annosteluyksikön lisälaitteista kannattaa erikoisesti mainita:

- Imuri tai puhallin, jonka avulla sekoitussäiliöön muodostetaan lievä alipaine.
- Sekoitussäiliö pumppuineen ja putkineen on välttämätön, mikäli annostelulaitteisto sijoitetaan neutraloitavan vesistön vieneen.
- Painekytkin, joka sijoitetaan huuhteluvesiputkeen. Se katkaisee kemikaalin annostelun, jos huuhteluveden tulo pysähtyy.

Annostelulaitteiston mallista ja sijoituksesta riippumatta on syytä kiinnittää erityistä huomiota sen toiminnan ohjattavuuteen ja valvon-

taan. Pengerpumppaamojen yhteyteen sijoitetut annostelulaitteistot kannattaa kytkeä pumppaamojen toimintaan siten, että laitteisto toimii aina pumppaamon kanssa samanaikaisesti. Tällöin ohjaus ja säätö ovat helppoja neutraloitavien vesimäärien ollessa vakioita.

Vahvoja emäksiä käytettäessä annostelu on syytä kytkeä pH-ohjaukseen. Tämä koskee varsinkin vesistöjä, joissa yliannostelu voi aiheuttaa vesistön biologian kannalta haitallisen korkeita pH-arvoja. Annostelua säätelevä pH-arvon mittauspiste on sijoitettava tarpeeksi kauas alavirtaan annostelulaitteistosta, jotta kemikaali ehtii ennen pH-mittausta sekoittua koko vesimassaan.

Kuiva-annosteluun soveltuvien laitteistojen hinnat ovat annostelijamallista riippuen 50 000 - 300 000 mk vuoden 1988 hintatasossa.

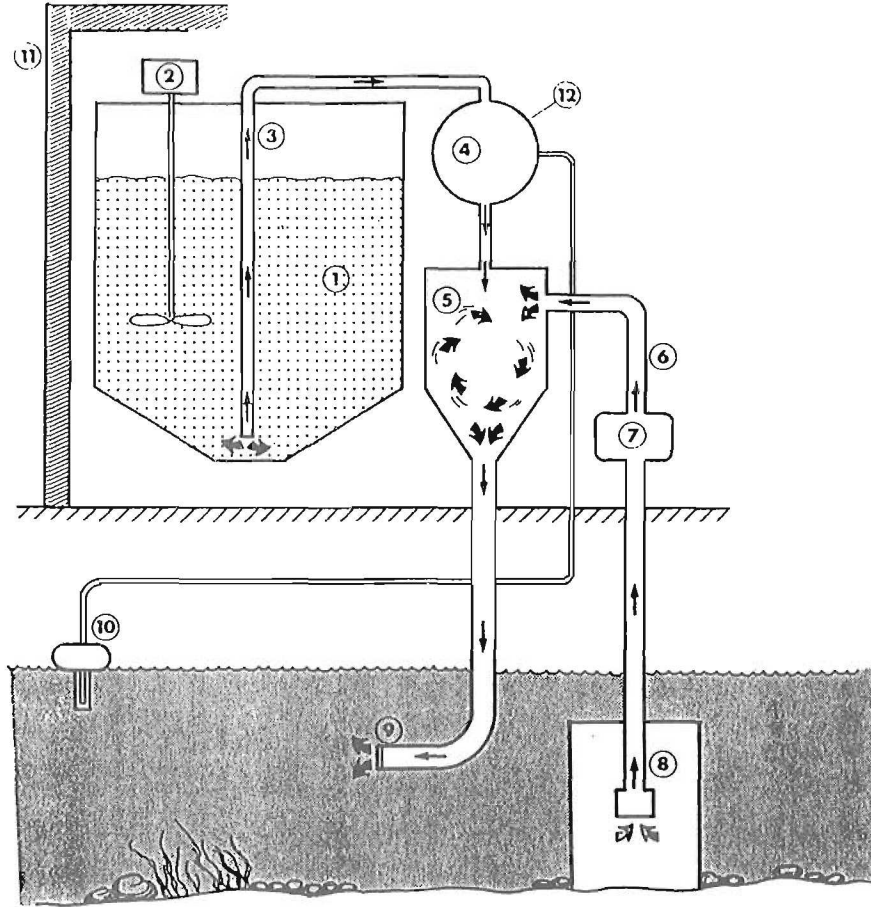
### 5.3 MÄRKÄANNOSTELU

Märkäannostelussa liuksena tai suspensiona oleva emäs annostellaan volymetrisesti erilaisten pumppujen, kuten kalvopumppujen tai letkupumppujen, avulla vesistöön. Annostelu tapahtuu joko huuhteluvedellä varustetun sekoitussäiliön kautta tai suoraan vesistöön. Tilavuuteen perustuva annostelu on erittäin tarkka, mikäli liuoksen tai suspension konsentraatio säilyy vakiona.

Märkäannostelussa käytetään tehdasvalmisteisia, juoksevassa muodossa olevia emäksiä, kuten kalkkikivi-slurria tai lipeää. Kyseiset tuotteet toimitetaan säiliöautolla, josta ne pumpataan annostelulaitteiston varastosäiliöön. Toinen mahdollisuus on kuljettaa tuote kontteissa, jolloin kontti toimii samalla annostelusäiliönä.

Märkäannostelu on kytkettävissä myös kuiva-annostelun loppupäähän. Tällöin neutralointiaine varastoidaan kuivana normaalissa varastosii-  
lossa. Täältä se siirretään altaaseen tai säiliöön, missä varsinainen syöttöliuos valmistetaan vettä lisäämällä. Valmis liuos tai suspensio annostellaan tämän jälkeen vesistöön. Annostelun tarkkuus määräytyy liuoksen valmistusvaiheessa.

Märkäannostelija koostuu sekoituslaitteella varustetusta varastosii-  
lostasta tai säiliöstä sekä annosteluyksiköstä. Sekoituslaite voi olla joko lapasekoitin tai kierrätyspumppu.



- |  |   |
|--|---|
| 1. Varastosiiilo                       | 7. Sekoitusvesipumppu                                       |
| 2. Lapasekoittaja +<br>kierrätyspumppu | 8. Sekoitusveden sisäänotto                                 |
| 3. Emäksen syöttöputki                 | 9. Annosteluputki   |
| 4. Annostelu- ja ohjausyksikkö         | 10. Annostelua ohjaavat anturit                             |
| 5. Huuhteluvesisuppilo                 | 11. Eristetyt seinät  |
| 6. Sekoitusvesiputki                   | 12. Kytentä hälytysjärjestelmään<br>(esim. puhelinverkkoon) |

Kuva 5. Märkäannostelijan periaatteellinen rakenne.

Mahdolliset lisälaitteet liittyvät useimmiten annostelun ohjaukseen ja laitteiston toiminnan valvontaan (kuva 5).

Märkäannosteluyksikön laitteet vaativat aina eristetyn ja lämmitetyn tilan, mikäli annostelun pitää toimia myös kylmänä vuodenaikana, koska neutralointikemikaalin ja veden seos voi jäätyä. Märkäannostelijat voivat olla pitkälle automatisoituja, jolloin pienoistietokone ohjaa annostelua esimerkiksi veden pH-arvon ja virtaaman perusteella.

Markkinoilla olevien märkäannostelijoiden hinta on 100 000 - 400 000 mk vuoden 1988 hintatasossa ohjaus- ja valvontajärjestelmästä sekä säiliön tilavuudesta riippuen.

#### 5.4 NEUTRALOINTIAINEEN ANNOSTELUUN LIITTYVÄT ONGELMAT

Annostelulaitteistojen suurimmat heikkoudet esiintyvät tavallisesti säilytyssiilon ja annosteluyksikön välillä, koska kalkkituotteet ovat ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia. Eroja esiintyy mm. holvaantumis-, paakkuuntumis-, kostumis- ja sähköistymisalttiudessa. Annostelulaitteisto, joka toimii luotettavasti jollakin tietyllä kalkkituotteella tai -laadulla ei välttämättä tee sitä toisella. Tärkeitä annostelun luotettavuuteen vaikuttavia syötettävän materiaalin ominaisuuksia ovat:

- raekoko,
- raemuoto ja
- kosteuspitoisuus.

Edellä mainittujen häiriötekijöiden poistamiseksi silloihin ja syöttökartioihin voidaan asentaa lisälaitteita, joista mainittakoon mm. erilaiset tärytinlaitteet sekä fluidisointi ilmaa käyttäen. Liian voimakas fluidisointi saattaa eräiden tuotteiden kohdalla aiheuttaa tulvimista, eli materiaali purkautuu syöttöruuvista ulos virtaamalla. Täryttimien käyttö annostelun ollessa pysähdyksissä voi aiheuttaa materiaalin tiivistymistä ja pakkaantumista ja tämän johdosta annosteluhäiriöitä.

Muita tärkeitä virhelähteitä ja epäkohtia ovat:

- Syöttölaitteiden nopea kuluminen, joka voi eräiden kalkkilaatujen kohdalla olla ongelma.
- Kalkkimaidon ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) syötön yhteydessä tapahtuva karbonatisoituminen. Ilman hiilidioksidin vaikutuksesta säiliöiden ja putkistojen pinnoille muodostuu kalkkikivikuori, joka aiheuttaa tukkeutumista ja syöttöhäiriöitä.
- Kalkin kostuminen ja paakkuuntuminen syöttöruuvissa syöttösäiliöstä tulevan kosteuden johdosta.
- Annostelijoiden huono pakkasensietokyky.
- Pölyongelmat varsinkin täyttöjen yhteydessä.

Hyvin toimivalle annostelulaitteistolle voidaan edellisen perusteella asettaa seuraavat vaatimukset:

- Laitteiston on oltava ehdottoman toimintavarma myös pitkäaikaisessa jatkuvassa käytössä.



- Annostelun on oltava tasaista ja tarkkaa mahdollisimman laajalla syöttöalueella.
- Laitteella on oltava erilaisten tuotteiden annostelumahdollisuus. Sekä karbonaattipohjaisia että teknisiä kalkkituotteita ja mahdollisimman laajaa raekokoskaalaa on voitava annostella samalla laitteistolla tai sen muunnelmalla.
- Annostelun säädön on oltava helppoa. Säättö-, näyttö- ja valvontalaitteiden on oltava selvät ja helposti käytettävät.
- Häiriön varalta laitteen tulee sisältää varmuudella toimiva hälytysjärjestelmä.
- Jauhemaisten tuotteiden annosteluun liittyvät pölyongelmat on kyettävä poistamaan täydellisesti.
- Laitteiden tulee olla helposti puhdistettavia ja huollettavia.
- Annostelulaitteen tulee olla hinnaltaan mahdollisimman edullinen toiminnallisesta tasosta kuitenkin tinkimättä.

## 6 LISÄTUTKIMUKSEN TARVE

Neutraloinnin vaikutuksesta kalastoon, kun kyseessä on happamien sulfaattimaiden valumavesien neutralointi, on käytettävissä tietoja vain lyhytaikaisista akvaariokokeista (Björkqvist & Weppling 1987). Tämän johdosta tulisi käyttöön otettavilla neutralointiasemilla jatkaa tutkimuksia kalkituksen vaikutuksista vesiekosysteemiin ja erityisesti kalojen elinolosuhteisiin. Samoin tulisi seurata ja tutkia neutraloinnin vaikutusta alapuolisen vesistön vesikasvustoon.

Vedenhankintavesistöissä tulisi selvittää vesistöalkituksen vaikutusta veden käsiteltävyyteen. Alhaisilla pH-arvoilla veteen liukeneva mangaani on osoittautunut ainakin Vaasan kaupungin vesilaitoksella vaikeaksi poistaa puhdistusprosesseissa.

Alunavesiä neutraloitaessa syntyy yleensä metallisakkaa, joka koostuu raudasta, alumiinista ja mangaanista. Tämän johdosta olisi tutkittava metallisakan kulkeutumista ja kerrostumista alapuolisessa vesistössä. Siten voidaan arvioida, missä olosuhteissa tarvitaan selkeytysallas neutralointikohdan alapuolelle.

Tähän mennessä saatujen kokemusten perusteella on neutralointilaitteiden käyttövarmuutta edelleen kehitettävä. Erityisesti hienosti jauhettua kalkkia käytettäessä ongelmaksi on muodostunut kalkin holvautu-

minen silloissa ja siten kalkin annostelun keskeytyminen. Ruotsalais-  
ten kokemusten mukaan kalkin syöttö lietteenä (slurry) on kuivasyöttöä  
yksinkertaisempi toimenpide. Lisäksi lietenäinen kalkki liukenee  
veteen helpommin kuin jauheena syötetty kalkki. Huolimatta kalkki-  
lietteen korkeammasta hinnasta jauhemaiseen kalkkiin verrattuna tulisi  
sen käyttöä kokeilla sellaisissa olosuhteissa, joissa kalkin sekoitus  
vesistöissä on hankala tehtävä ja kalkin syöttöä olisi säädettävä  
virtaaman mukaan.

Käytössä olevien neutralointiyksiköiden ja niiden yhteydessä tehtyjen  
tutkimuksien perusteella olisi hankittava tietoa suoraan vesistöön  
kohdistuvan neutraloinnin hyöty- ja haittavaikutuksista sekä kustan-  
nuksista. Tämän tietouden perusteella tulisi edelleen yksilöidä  
kohteita ja tilanteita, joissa suoraan vesistöön kohdistuva neutra-  
lointi on tarkoituksenmukaista.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoraan vesistöön kohdistuvan neutraloinnin tutkimustoiminta Suomessa  
alkoi vasta vuonna 1984, joten nämä ohjeet perustuvat lyhyeen tutki-  
mus- ja koejaksoon. Kun vesistön neutraloinnista saadaan lisätietout-  
ta, ohjeita tulee tarkistaa.

Neutralointi tulee kyseeseen kohteissa, joissa ojasta tai joesta tulee  
erittäin hapanta vettä pääjokeen tai merenlahteen sekä ojan tai joen  
alapuolisella vesistöllä on merkitystä vedenhankinnan tai kalastuksen  
kannalta ja veden happamoitumisesta on näille erityistä haittaa.  
Tällöin sivuojan tai -joen vesi tulee tarvittaessa neutraloida ennen  
sen purkautumista päävesistöön. Vaihtoehtoisesti myös pääjoen veden  
puskurikapasiteettia voidaan nostaa neutralointitoimenpitein. Myös  
isohkoissa joissa voidaan lyhytaikaista happamuuspiikkiä torjua neutra-  
lointitoimenpitein.

Nykyisen tietämyksen mukaan happamien sulfaattivesien neutralointike-  
mikaalina tulee kysymykseen kalkki joko kalsiumkarbonaattina ( $\text{CaCO}_3$ ),  
kun veden asiditeetti on alle 2-3, tai kalsiumoksidina ( $\text{CaO}$ ), kun  
veden asiditeetti on korkea. Kalsiumkarbonaatin hitaan liukenemisen  
johdosta tuotteen tulee olla erittäin hienoa, raekokoa 0 - 0,04 mm  
tai sitä hienompaa.

Happamia alunavesiä neutraloitaessa neutralointikemikaalin tarve on yleensä suuri; yli  $200 \text{ g m}^{-3}$  kalsiumkarbonaattia tai yli  $50 \text{ g m}^{-3}$  kalsiumoksidia. Kalkin tarve määritetään aina ennen neutralointitoimenpiteitä alustavasti laboratorioskokein tai veden asiditeetin perusteella.

Kalkin annostelu tapahtuu sillosta volymetriseen ruuviin tai ruuvien avulla. Annostelun jälkeen kalkki sekoitetaan säiliössä kalkkimaidoksi, joka kuljetetaan edelleen vesistöön. Kalkin liuotus veteen onnistuu parhaiten kuivatusvesien pumppuaseman yhteydessä tai koskessa. Myös varta vasten rakennetun liotusaltaan käyttö on mahdollinen. Kalkin holvautumisen estämiseksi sillo on syytä varustaa täryttimellä tai vastaavalla laitteella.

Lyhytaikaisesti kalkkia voidaan syöttää myös muilla toimenpiteillä, esimerkiksi suoraan autosta kippaamalla koskeen tai puhaltamalla autosta kosken yläpuolelle. Tällöin kuitenkin huomattava osa kalkista jää liukenematta.

Vesistöjä kalkittaessa tulee samanaikaisesti tutkia kalkinsyötön kustannuksia ja hyötyjä, vaikutuksia vesiekosysteemiin, raakaveden puhdistettavuuteen sekä kehittää syötön käyttövarmuutta. Lisäksi uusia kalkitusmenetelmiä tulisi kokeilla.

## K I R J A L L I S U U S

- Baalsrud, K. (toim.) 1985. Kalking av surt vann. Kalkingsprojektets faglige slutrapport. Miljøverndepartementet, Direktoratet for vilt og ferskvannfisk. 145 s. Oslo.
- Bengtsson, B. ja Henriksson, L. (toim.) 1981. Kalking av sjöar och vattendrag 1977 - 1981. Inf. Sötvattenlab. Drottningholm 4/1981.
- Bingman, I. (toim.) 1988. Kalking av sjöar och vattendrag. Statens naturvårdsverk, Allmänna råd 88:3. 74 s. Solna.
- Björkqvist, D. ja Weppling, K. 1987. Liming as a method to neutralize highly acidic drainage waters from sulphate basins in Western Finland. Proc.Int. Symp. on acidification and water pathways, Bolkesjø 4. - 5. May 1987, s. 365 - 374.
- Eriksson, F., Hömström, E., Mossberg, P. ja Nyberg, P. 1983. Ecological effects of lime treatment of acidified lakes and rivers in Sweden. Hydrobiologia 101:145 - 164.
- Heikkinen, K. ja Alasaarela, E. 1988. Happamoituneiden vesistöjen neutralointi. Kirjallisuuskatsaus. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 18. 93 s. Helsinki.
- Hindar, A. (toim.) 1985. Håndbok i kalking av surt vann. Miljøverndepartementet, Direktoratet for vilt og ferskvannfisk. 48 s. Oslo.
- Palko, J., Merilä, E. ja Soini H. 1988. Maankuivatuksen suunnittelu happamalla sulfaattimaililla. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 21. 38 s, 4 liitettä. Helsinki.
- Rekilä, K. 1988. Sundominlahden happamuushaitan vähentäminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 1988:116. 85 s, 2 liitettä. Helsinki.
- Repo, P. 1986. Neutralointikokeet Lakörenin pengerrysalueella. Oulu, Oulun yliopisto 103 s, 32 liitettä. Diplomityö, rakentamistekniikan osasto.
- Svedrup, H.U. 1985. Calcite dissolution kinetics and lake neutralization. Ph.D. dissertation, Dept.Chem.Eng., Lund. 169 s.
- Virkki, S. 1988. Sundominlahden neutralointiedellytyksistä. Oulu, Oulun yliopisto. 51 s, 7 liitettä. Diplomityö, rakentamistekniikan osasto.

## VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA

1. Melanen, Matti (toim.): Julkaiseminen vesi- ja ympäristöhallinnossa. Helsinki 1987.
2. Heikkilä, Raimo: Kyrönjoen deltan sedimenttitutkimus 1983 - 1985. Helsinki 1986.
3. Nyman, Kurt; Anttila, Marja-Eliisa; Lax, Hans-Göran & Sarvala, Jouko: Koskien pohjaeläimistö jokien laatuluokittelun perustana. Nyman, Kurt; Anttila, Marja-Eliisa & Lax, Hans-Göran: Pohjaeläinnäytteenotto käsihaavilla virtaavasta vedestä. Helsinki 1986.
4. Vesistöhankeiden vaikutusten arviointi. Helsinki 1986.
5. Talsi, Tuija: Porvoon edustan merialueen tila ja sen kehitys vuosina 1965 - 1984. Helsinki 1987.
6. Lax, Hans-Göran: Vattenkvalitet och longitudinell zonerings hos makrozoobentos i forsavsnitt i Malax å (västra Finland). Helsinki 1987.
7. Korhonen, Markku & Oikari, Aimo: Järvisimpukka (*Anodonta piscinalis*) kloorifenolien ilmentäjänä Etelä-Saimaalla. Helsinki 1987.
8. Pitkänen, Heikki; Kangas, Pentti; Miettinen, Veijo & Ekholm, Petri: The state of the Finnish coastal waters in 1979 - 1983. Helsinki 1987.
9. Forsius, Martin: Suomen järvien alueellinen happamuustilanne. Helsinki 1987.
10. Laikari, Hannu: Aktiivilietepuhdistamon pystyselkeyttimen lietepatjan simulointimalli. Helsinki 1987.
11. Palko, Jukka & Saari, Markus: Lapväärtin-Isojoen vesistöalueella sijaitsevan Storsjön järvi-kuivion happamat sulfaattimaat. Palko, Jukka & Myllymaa, Urpo: Happamien sulfaattimaiden vesistövaikutuksista, esimerkkinä Limingan Tupoksen täydennyskuivatusalue. Palko, Jukka; Räsänen, Matti & Alasaarela, Erkki: Luodon-Öjanjärven valuma-alueen maaperän ja vesistön happamuuskartoitus. Helsinki 1987.
12. Eloranta, Pertti: Hapro-projektin perifytonleviä koskevat tutkimukset vv. 1984 - 1985. Huttunen, Pertti; Hovi, Arto & Hämäläinen, Heikki: Virtaavien vesien pohjaeläimet ja happamoituminen. Kortelainen, Pirkko: Orgaanisen aineen vaikutus pintavesien happamuuteen - kirjallisuusselvitys. Helsinki 1987.
13. Nenonen, Marjaleena (toim.): Kemijärven tila ja kalatalous. Helsinki 1987.
14. Manninen, Pertti: *Gonyostomum semen* (Ehrenb.) Dies. Raphidophyceae kannan tiheys ja elinolosuhteet humuspitoisissa lammissa. Helsinki 1987.
15. Vesihuoltolaitokset 31.12.1986. Helsinki 1987.
16. Nybom, Carita: Vesikasvien poiston koetoiminta vuosina 1972 - 1986. Helsinki 1988.
17. Lax, Hans-Göran & Vainio, Taru: Återhämtning hos makrozoobentos i littoralen och på mjukbotten efter Eira olyckan. Lax, Hans-Göran & Vainio, Taru: Akvarietest av responsen på olja och dispergeringsmedel hos *Lymnaea peregra* (mollusca). Lax, Hans-Göran & Vainio, Taru: Raakaöljyn vaikutus *Lymnaea peregrina* käyttäytymiseen akvaariokokeen perusteella. Helsinki 1988.
18. Heikkinen, Kaisa & Alasaarela, Erkki: Happamoituneiden vesistöjen neutralointi - kirjallisuuskatsaus. Helsinki 1988.
19. Palko, Jukka: Happamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984 - 1987. Helsinki 1988.
20. Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. Helsinki 1988.

21. Palko, Jukka; Merilä, Eero & Heino, Soini: Maankuivatuksen suunnittelu happamilla sulfaattimailla. Helsinki 1988.
22. Pitkänen, Heikki; Puolanne, Juhani; Pietarila, Matti; Lääne, Ain; Loigu, Enn; Kuslap, Peep & Raia, Tiiu: Pollution load on the Gulf of Finland in 1982 - 1984. Helsinki 1988.
23. Airila, Jukka: Bishopin vakavuuslaskentamenetelmän integraaliratkaisu ja minimivarmuuskertoimen määrääminen gradienttimenetelmällä. Helsinki 1988.
24. Lätti, Mervi: Vesiensuojelu ja kansanliikkeet. Helsinki 1988.
25. Hynninen, Pekka: Veden laadun kehityksestä Kiiminkijoessa vuosina 1971 - 1985. Helsinki 1988.
26. Ruoppa, Marja & Ojala, Tiina: Ahventutkimukset Outokumpu Oy:n Kokkolan tehtaiden edustan merialueella vuosina 1984 ja 1985.  
Nakari, Tarja & Ruoppa, Marja: Tervakoski Oy:n jätevesien vaikutuksista seeprakalan mätiin ja kuoriutuneisiin poikasiin sekä kirjolohien elintoimintoihin.  
Rekolainen, Seppo & Kauppi, Lea: Arvio Maatalous 2000 -komitean esittämien toimenpiteiden vaikutuksista ympäristöön.  
Pitkänen, Heikki & Kettunen, Ilppo: Sorannoston vaikutukset rannikkovesialueen tilaan: itäisen Suomenlahden, erityisesti Pyhtään edustan vedenlaatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Helsinki 1988.
27. Heinonen, Pertti & Hongell, Harri: Oulun läänin Pyhäjärven rehevöityminen kesällä 1985.  
Ranta, Eeva: Kuorasjärven ja Iso-Allasjärven vesikasvillisuus vuonna 1984. Helsinki 1988.
28. Vesihuoltolaitokset 31.12.1987. Helsinki 1988.
29. Reinikainen, Asta: Bioroottorit ja biosuodin asumisjäteveden käsittelyssä. Helsinki 1988.
30. Nyroos, Hannele: Veden laadun arviointi vesiensuojelun suunnittelussa. Helsinki 1988.
31. Heitto, Lauri: Vesikasvit ja ilmaperäinen happamoituminen suomalaisissa metsäjärvissä.  
Huttunen, Pertti & Hämäläinen, Heikki: Purojen minimi-pH:n ennustaminen pohjaeläinten avulla.  
Meriläinen, Jarmo & Hynynen, Juhani: Happamien ja happamoitumiselle herkkien metsäjärvien pohjaeläimistö.  
Turkia, Jaana: Sedimentin piilevät ja järvien happamoituminen. Helsinki 1989.
32. Mononen, Paula: Enso-Gutzeit Oy:n Pankakosken kartonkitehtaan erityishaittavaikutukset Lieksanjoessa.  
Nakari, Tarja & Miettinen, Veijo: Enso-Gutzeit Oy:n Pankakosken kartonkitehtaan jätevesien vaikutuksista 2-kesäisten kirjolohien (*Salmo Gairdneri* R.) elintoimintoihin ja vesikirpun (*Daphnia Magna* L.) poikasten elinkykyyn. Helsinki 1989.
33. Lehtonen, Kari: Öljyn ja dispersantin vaikutuksista Merenkurkun sini-simpukoihin. Helsinki 1989.









