



Helsingin kaupungin

Ympäristökeskuksen julkaisu

5/96

Sedimentin kemikalioiden ja lisäveden johtamisen vaikutus Töölönlahden veden laatuun



Pekka Kansanen ja Tapio Norha

Helsinki 1996

Pekka Kansanen ja Tapio Norha

Sedimentin kemialioinnin ja
lisäveden johtamisen vaikutus
Töölönlahden veden laatuun

Tiivistelmä

Aikaisempi tutkimus Töölönlahden pohjan tilasta (Kansanen et al. 1994) osoitti, että sedimentin aiheuttama sisäinen kuormitus on varsin suuri ja että pohjan tilaa pitää parantaa ennen kuin muihin kunnostustoimenpiteisiin ryhdytään. Nyt suoritettut allaskokeet yhdessä aikaisemmin Töölönlahden ja Tuusulanjärven sedimenteillä tehtyjen laboratorikokeiden kanssa osoittavat, että pelkistyneen sulfidiliejusedimentin pinnan käsittelyllä fosforia sitovilla ja hapettavilla kemikaaleilla voidaan vähentää huomattavasti sedimentin aiheuttamaa sisäistä kuormitusta ainakin tilapäisesti.

Töölönlahdella kokeiluista käsittelyistä parhaaksi osoittautui ferrisulfaatti sekoitettuna 10-20 cm syvyyteen sedimentin pinnasta. Ferrisulfaatin sirottelu pintaan on selvästi em. käsittelyä huonompi vaihtoehto.

Kemikaalikäsittelyn onnistumisen edellytyksenä on vesimassan säilyminen hapellisena kautta vuoden, johon Töölönlahdella on hyvät mahdollisuudet. Nyt tehdyt tutkimukset ja laskelmat tukevat aikaisempia selvityksiä siitä, että perusedellytyksenä lahden elpymiselle on vedenvaihdon parantaminen. Pelkkä pohjan käsittely kemikaalein ei riitä leikkaamaan sisäistä kuormaa riittävästi. Aikaisemmat kokeet osoittivat myös, että pilaantuneen sedimentin pintakerroksen poistaminen ruoppaamalla ei sekään yksinään riitä. Alta paljastuva sedimentti on edelleen melko rehevää ja lahden syventäminen voi taas johtaa ilman lisäystä vähähappisen syvänteen syntyyn.

Laskelmat (M. Pekkarinen) osoittivat edelleen, että lisäveden johtaminen on mahdollista sekä merivesivaihtoehdon että vesijohtovesivaihtoehdon pohjalta. Kummallakin on selkeästi omat etunsa ja ongelmansa.

Sammandrag

Den tidigare undersökningen av tillståndet i Tölövikens (Kansanen et al. 1994) visade att den av sedimentet orsakade interna belastningen är stor och att tillståndet i botten bör förbättras innan man genomför bassängproven visar tillsammans med de tidigare utförda laboratorieproven på sedimentet i Tölövikens och Tusby träsk att den av sedimentet orsakade interna belastningen åtminstone tillfälligt kan minska betydligt genom att ytan av det reducerade sulfidgyttjesedimentet behandlas med kemikalier som binder och oxiderar fosfor.

Av de behandlingar som prövades i Tölövikens visade sig den effektivaste vara ferrisulfat som blandades i sedimentet ned till ett djup av 10-20 cm. Att strö ferrisulfat på ytan var ett klart sämre alternativ än föregående.

En förutsättning för att kemikaliebehandlingen skall lyckas är att vattenmassan är syrsatt hela året, för vilket förutsättningarna är goda i Tölövikens. De nu utförda undersökningarna och kalkylema stöder den tidigare uppfattningen att grundförutsättningen för Tölövikens återhämtning är att vattenomsättningen i viken förbättras. Att enbart behandla botten med kemikalier skär inte ned den interna belastningen tillräckligt. Tidigare prov visade också att det inte heller räcker enbart att avlägsna det skämda sedimentets ytskikt genom muddring. Också det underliggande sedimentet är fortfarande ganska eutrofierat, och en fördjupning av viken åter kan leda till uppkomsten av ett syrefattigt djupbäcken om inte extra vatten tillförs.

Kalkylema (M. Pekkarinen) visade dessutom att om extra vatten tillförs kan det vara både havsvatten och vattenledningsvatten. Vardera alternativet har sina klara fördelar och nackdelar.

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Koejärjestelyt	2
3	Tulokset ja niiden tarkastelu	4
	3.1. Suolapitoisuus	4
	3.2. Happipitoisuus	5
	3.3. Fosforipitoisuus	5
	3.4. Typpipitoisuus	7
	3.5. Rautapitoisuus	7
	3.6. Plankton ja klorofylli	9
	3.7. Makrolevät	9
4	Laskelmat laimennusveden määrästä ja laadusta	10
5	Johtopäätökset	11
6	Ehdotus jatkotoimenpiteiksi	13
Liitteet:		
1	Analyysitulokset	
2	Pekkarinen, M. 1996. Lausunto Töölönlahden lisävesivaihtoehtoista. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä. 7 s.	

Töölönlahti on aikaisemman raskaan jätevesikuormituksen jäljiltä edelleen voimakkaasti rehevöitynyt ja sen veden laatu on välttävä. Alueen tulevan käytön kannalta nykyisin erittäin rehevän lahden kunnostaminen onkin useissa yhteyksissä todettu tärkeäksi tavoitteeksi. Kaupunkisuunnitteluviraston laatiessa Kamppi - Töölönlahti osayleiskaavaa, se tilasi konsultilta Töölönlahden vedenlaadun parantamisvaihtojen teknisen selvityksen (Viitek 1989). Työn pohjalta kaupunkisuunnittelulautakunta (1989) teki kaupunginhallitukselle ehdotuksen veden laadun parantamiseen tähtäävistä toimenpidevaihtoehdoista.

Parhaana ratkaisuna lautakunta piti veden vaihtumisen tehostamista pumpaamalla lisävettä Seurasaarenselältä viemäriputkitunnelia pitkin Töölönlahteen. Toimenpiteen arvioitiin parantavan lahden veden laadun luokasta IV (välttävä)luokkaan II (hyvä - vaativa virkistyskäyttö). Huonokuntoiseen pohjasedimenttiin kohdistuvia kunnostustoimenpiteitä ei pidetty tarpeellisina.

Helsingin kaupungin vesilaitos teetti konsulttityönä Töölönlahden kuormitusselvityksen (Suunnittelukeskus Oy 1992). Selvityksessä arvioitiin lahteen kohdistuva kokonaiskuormitus ja mahdollisuudet eri lähteiden (hule- ja valumavedet, laskeuma ilmasta, sedimentin sisäinen kuormitus) aiheuttaman kuormituksen vähentämiseksi. Samalla arvioitiin mahdollisuudet parantaa Töölönlahden veden laatua kunnostustoimin.

Pohjasedimentin aiheuttama kuormitus arvioitiin lahden tilan kannalta ratkaisevan tärkeäksi. Kunnostusmenetelminä vertailtiin lähinnä kahta perusvaihtoehtoa, aikaisemmin esitettyä meriveden pumpausta Seurasaarenselältä ja uutta mahdollisuutta käyttää laimennusvetenä puhdistettua talousvettä. Tämän mahdollistaisi vedenkulutuksen voimakas vähentyminen ja siitä johtuva lisääntynyt tarve huuhdella vesijohtoverkoston. Teknis-taloudellisessa vertailussa pidettiin jälkimmäistä vaihtoehtoa toteuttamiskelpoisempänä ja myös halvempänä.

Yleisten töiden lautakunta (1992) asettui lausunnossaan puoltamaan kunnostusvaihtoehtoa, jossa laimennusvetenä käytetään talousvettä. Vaihtoehdon investointikustannuksiksi arvioitiin n. 500 000 mk ja kokonaisvuotuis-kustannuksiksi 850 000 mk (Vesi- ja viemärilaitos 1993). Vastaavasti merivesivaihtoehdon kustannuksiksi muodostuisi investointien osalta 7,5 milj. mk ja kokonaisvuotuis-kustannuksiksi n. 920 000 mk.

Töölönlahden kunnostus nousi kaupunginvaltuustossa keväällä 1994 uudelleen esille 14 valtuutetun aloitteessa, jossa ehdotettiin, että Töölönlahden vesi puhdistetaan siinä määrin, että lahdessa voidaan uida.

Töölönlahden kunnostushanke sisältyy myös valtuuston hyväksymään Helsingin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelmaan (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 1994). Helsingin kaupungin ympäristölautakunta on ohjelmaa käsitellessään erityisesti painottanut Töölönlahden kunnostustarvetta.

Helsingin ympäristökeskus tutki vuonna 1994 Töölönlahden pohjasedimentin laatua, sen sisältämiä ravinteita ja haitta-aineita sekä arvioi sedimentin aiheuttamaa sisäistä kuormitusta laboratorionkokein (Kansanen & al 1995)

Tulokset viittasivat siihen, että lisäveden johtaminen lahteen, ei yksinään riitä parantamaan riittävästi lahden tilaa. Kunnostuksen tulee perustua aluksi sedimentin käsittelyyn, joka sitoo tai poistaa pilaantuneen kerroksen ravinteita, ja sen jälkeen toteutettuun laimentamiseen, jota ilman ei saada aikaan pysyviä tuloksia.

Tutkimuksessa esitettiin suoritettavaksi kenttäkokeita sedimentin kemiallisen käsittelyn ja siihen yhdistetyn laimennusveden käytön selvittämiseksi.

Kaupunginhallitus on osoittanut rakennusviraston käyttöön Töölönlahden ja sen ympäristön suunnittelua varten määrärahaa, joka mahdollisti kesällä 1995 kaupunginpuutarhuri Pekka Jyrängön johdolla toimineen työryhmän suunnittelemat ja toteuttamat kenttäkokeet.

2

Koejärjestelyt

Tutkimukset tehtiin kesällä 1995 allaskokeina ja vertailuna otettiin näytteet myös Töölönlahdesta

Rakennusviraston konepaja rakensi neljä pohjatonta metallikehyksistä vaneriallasta, joiden koko oli 3 x 3 metriä ja syvyys 2,5 metriä. Altaat asennettiin Töölönlahden pohjoispäähän n 1,5 metrin syvyiseen veteen, siten, että altaiden seinät upposivat n 0,5 metriä syvälle pohjasedimenttiin (Kuvat 1 ja 2). Altaassa oleva vesimäärä oli keskimäärin 13 500 litraa. Merenpinnan korkeuden vaihdellussa seurasi altaiden vedenpinta vaihtelua, sillä altaiden saumat ja kulmat eivät olleet täysin vesitiiviitä.

Laimennusvedeksi valittiin teknisen toteutuksen helppouden vuoksi talousvesi. Veden syöttöä varten altaiden poikki oli kiinnitetty vaakasuora reiitetty metalliputki, joka asettui n 0,5 metriä pohjan yläpuolelle. Veden syöttöputket vedettiin rakennusviraston puisto-osaston rannalle rakentaman jakokaivon kautta. Jakokaivoon asennettiin veden syötön mittausta ja säätöä varten venttiilit ja määrämittarit.

Altaiden asennuksen jälkeen suoritettiin 6.6.1995 niiden pohjasedimentin kemiallinen käsittely ferrisulfaatilla, jota siroteltiin 330 g/m² mahdollisimman tasaisesti altaisiin 1, 2 ja 3. Altaaseen no 3 siroteltiin myös kalsiumnitraattia 455 g/m² pohjan happitilanteen parantamiseksi. Altaisiin 1, 2 ja 3 levitettiin myös kalkkia n 13 kg/allas pH:n alenemisen estämiseksi. Altaisiin 2 ja 3 sirotellut kemikaalit sekoitettiin pintasedimenttiin pitkäpiikkisen "haravan" avulla. Allas numero 4 toimi kontrollijäsenenä.



Kuva 1. Töölönlahden koealtainen sijainti.



Kuva 2 Töölönlahden koealtaat

Altaiden käsittely oli seuraava:

1. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ - lisäys pinnalle
2. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ - haravoitiin sedimenttiin
3. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - haravoitiin sedimenttiin
4. Kontrolli - ei kemikaalilisäystä

Kokeen alkuvaiheessa oli altaisiin syötettävän vesimäärän säädössä vaikeuksia alhaisen virtaaman vuoksi. Veden syöttö aloitettiin 13.6. 1995. Altaisiin 1 ja 3 syötettiin vettä 1 l/min, altaaseen 2 0,5 l/min. Altaaseen 4 ei ollut lainkaan syöttöä. Vasta 6.7.1995 asennettiin altaisiin venturimittarit, joiden avulla veden syöttö saatiin vakioitua alkuperäisen suunnitelman mukaisiksi: altaisiin 1, 3 ja 4 1 l/min ja altaaseen 2 0,5 l/min. Veden syöttö pysäytettiin 4.8.1995. Altaiden happipitilanteen heikennyttyä aloitettiin veden syöttö uudelleen 22.9.1995. Kaikkiin altaisiin syötettiin vettä 1 l/min kolmen päivän ajan ja 25.9.1995 virtaama pienennettiin 0,2 litraksi minuutissa. Koe lopetettiin 12.10.1995.

Altaista otettiin näytteet kerran viikossa ja analyysit tehtiin ympäristökeskuksen laboratoriossa. Vertailuna toimi lisäksi altaiden ulkopuolelta Töölönlahdesta otettu näyte, jolla on kuvissa ja taulukoissa numero 5. Kaikki analyysitulokset on esitetty liitteessä 1.

3

Tulokset ja niiden tarkastelu

Tulosten käsittelyä hankaloittavat kokeen alussa olleet vaikeudet syöttöveden määrien mittaamisessa. Myös altaiden erilainen tiiviys ja mahdollisesti myös sijainti aiheuttivat eroja tuloksiin. Töölönlahden pinnankorkeuden vaihtelut ja aallokko vaikuttivat epätasaisesti altaiden veden vaihtumiseen lahden veden kanssa. Selvimmin tämä on havaittavissa suolapitoisuuden vaihteluissa.

3.1

Suolapitoisuus

Töölönlahden veden suolapitoisuus oli alkukesällä sulamisvesien ja Vantaanjoen vaikutuksesta vain n 3 ‰ ja nousi kesän kuluessa n 5,5 ‰:een kun siihen sekoittui ulkomereltä Kruunuvuorenselän kautta suolaisempaa vettä.

Kokeen alussa suolapitoisuus koealtaissa laski nopeasti, kun vettä syötettiin niihin 1 litra minuutissa veden viipymän ollessa n 9 vuorokautta. Kun veden syöttö lopetettiin altaiden suolapitoisuus kohosi noin kolmessa viikossa Töölönlahden pitoisuuden veden vaihtuessa altaiden ja lahden välillä pinnankorkeuden muutosten vuoksi. Kun vettä jälleen 22.9. alettiin laskea altaisiin 1 l/min virtaamalla suolapitoisuus aleni nopeasti ja syöttömäärän ollessa 0,2 l/min se pysyi lähes tasaisena. Tällä syötöllä veden viipymä altaissa oli lähes n 47 vrk. Altaiden väliset erot johtunevat niiden erilaisesta tiiviyydestä. Harvarakenteiseen altaaseen vaikuttivat lyhytaikaisetkin meren pinnan vaihtelut enemmän kuin tiiviimpään altaaseen (Kuva 3).

3.2.

Happipitoisuus

Töölönlahdella runsas kasviplanktonbiomassa ja lahden mataluudesta johtuva vesimassan tehokas sekoittuminen ylläpitävät normaalina kesäkautena veden happipitoisuuden hyvin korkeana. Talvikautena sen sijaan hapen pitoisuus laskee ajoittain hyvinkin alhaiseksi ja pohjan välittömässä läheisyydessä saattaa esiintyä hapettomiakin jaksoja.

Koealtaiden happipitoisuudet olivat koejakson aikana yleensä alhaisemmat kuin Töölönlahden veden happipitoisuus. Altaiden pienen pinta-alan ja seinien vuoksi ei niihin päässyt muodostumaan aallokkoa, joka olisi hapettanut vettä. Kylmän happitoisen talousveden syöttö altaisiin nosti hitaasti niiden hapen pitoisuutta kokeen alkujaksolla. Kun vedensyöttö pysäytettiin alkoi hapen pitoisuus altaissa heiketä samalla kun niiden suolapitoisuus kohosi.

Altaan 2 happipitoisuus laski muita altaita hitaammin. Myös korrelaatiokerroin hapen ja suolaisuuden välillä oli tässä altaassa muita pienempi. Tämän perusteella voidaan olettaa, että sedimentin pintakerrokseen syötetty rauta on vähentänyt sedimentin hapenkulutusta.

Koeallas	Korrelaatiokerroin
1	-0,85
2	-0,55
3	-0,84
4	-0,79

Taulukko 1 Koealtaiden korrelaatiokertoimet hapen ja suolaisuuden välillä 6.6 -12.10.1995.

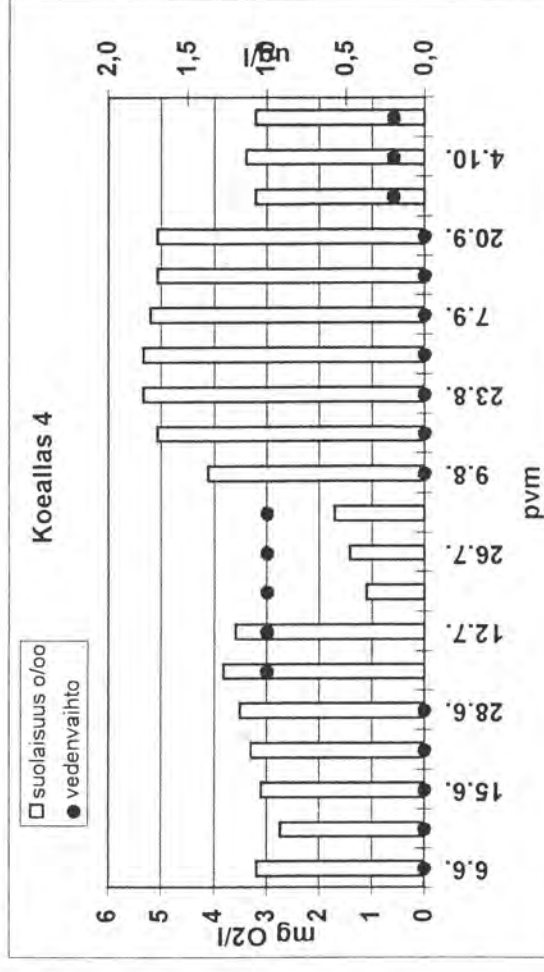
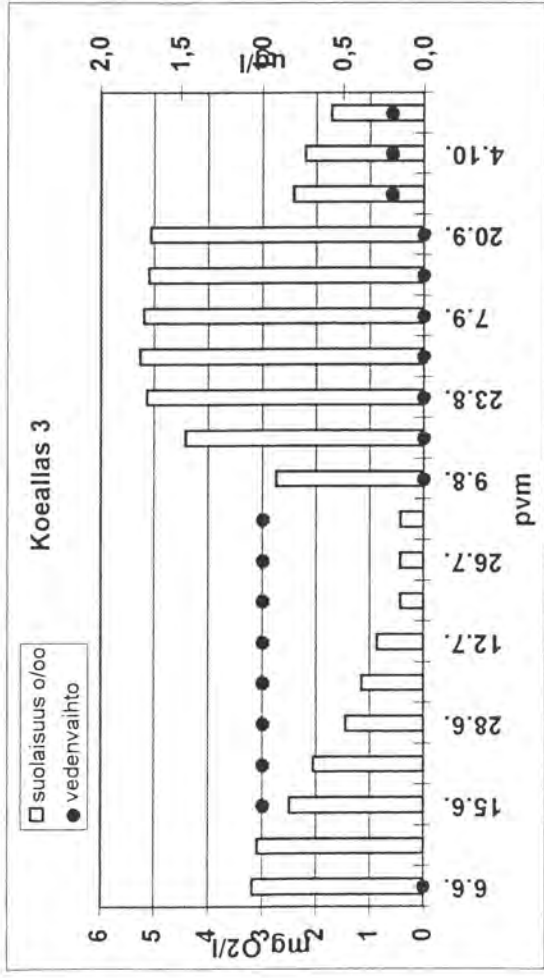
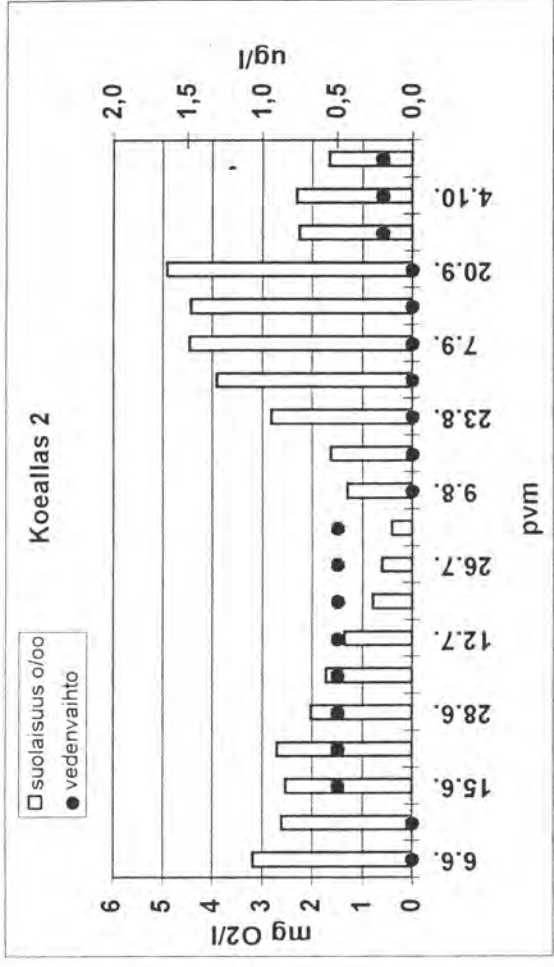
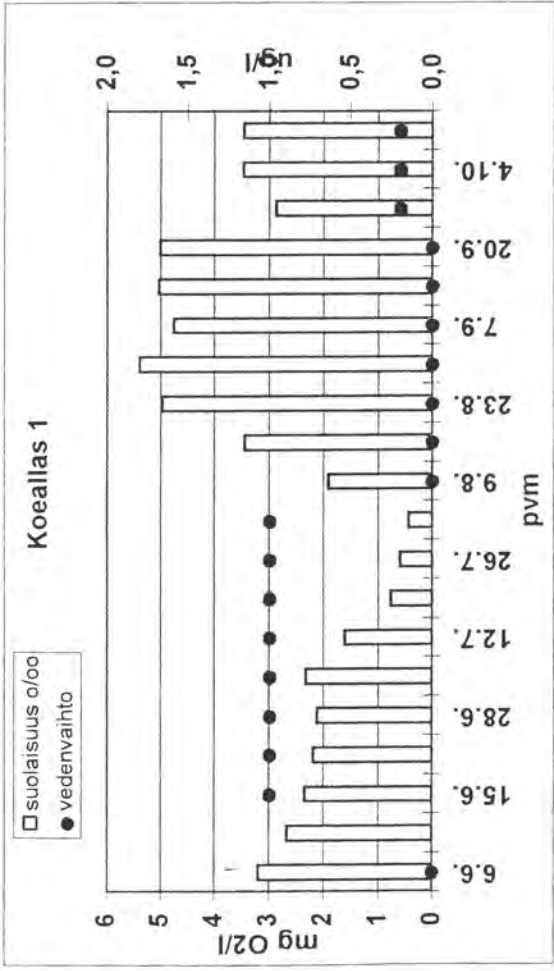
Altaaseen 3 syötetyn kalsiumnitraatin tarkoituksena oli sedimentin happitilanteen parantaminen, mutta tässä kokeessa ei voitu todeta sillä olleen selvää vaikutusta koealtaan happipitoisuuteen (Kuva 4).

3.3.

Fosforipitoisuus

Töölönlahden veden fosforipitoisuus on varsinkin kesällä ja alkusyksyllä hyvin korkea. Kokeen aikana lahden kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin 110 µg/l, josta liukoista fosforia oli keskimäärin 14 µg/l.

Kokeen alussa altaiden fosfaattipitoisuuksissa esiintyy kohonneita arvoja varsinkin altaissa 2 ja 3. Samaan aikaan ovat kaikkien altaiden rautapitoisuudet nousseet rautafosfaatin hajotessa hapen pitoisuuden alentuessa. Altaissa 1 ja 4 oli enemmän kasviplanktonbiomassaa, joka ilmeisesti käytti vapautuneen fosforin.



Kuva 3
Veden vaihto (makean veden lisäys, l/min) ja suolaisuus (o/oo) koealaitissa

Kun veden syöttö altaisiin lopetettiin 4.8. laskivat altaiden happipitoisuudet ja samalla sekä fosfaatti- että rautapitoisuudet jälleen kohosivat (Kuva 4).

Töölönlahden kokonaisfosforipitoisuudessa ei ollut koejakson aikana merkittäviä vaihteluita. Altaiden kokonaisfosforipitoisuuden vaihtelut johtuivat veden syötöstä, jolloin altaiden vesi laimentui. Syötön lakattua alkoivat pitoisuudet kohota, kun lahden vesi pinnankorkeusvaihteluiden myötä sekoittui altaisiin. Hapen pitoisuuksien alenemisesta johtuva fosforin vapautuminen sedimenteistä näkyy selvemmin fosfaattipitoisuuksissa.

Koealtaassa 2 kokonaisfosforipitoisuudet olivat muita alhaisempia ja ne myös nousivat muita hitaammin, kun laimennusveden syöttö lopetettiin. Tämä johtui ilmeisesti sedimenttiin syötetystä raudasta, joka vähensi pohjan hapenkulutusta.

3.4

Typpipitoisuus

Töölönlahden kokonaistyppipitoisuus on kesällä lähes 1000 µg N/l. Koejakson aikana siinä ei esiintynyt suuria vaihteluita. Koealtaiden typen määrään vaikutti lähinnä laimennusveden syöttö, joka alensi hieman typen pitoisuutta. Altaassa 3 oli kokeen alussa typpilisäyksen vuoksi hyvin korkea typpipitoisuus, joka johtui hapettamistarkoituksessa lisätystä kalsiumnitraatista.

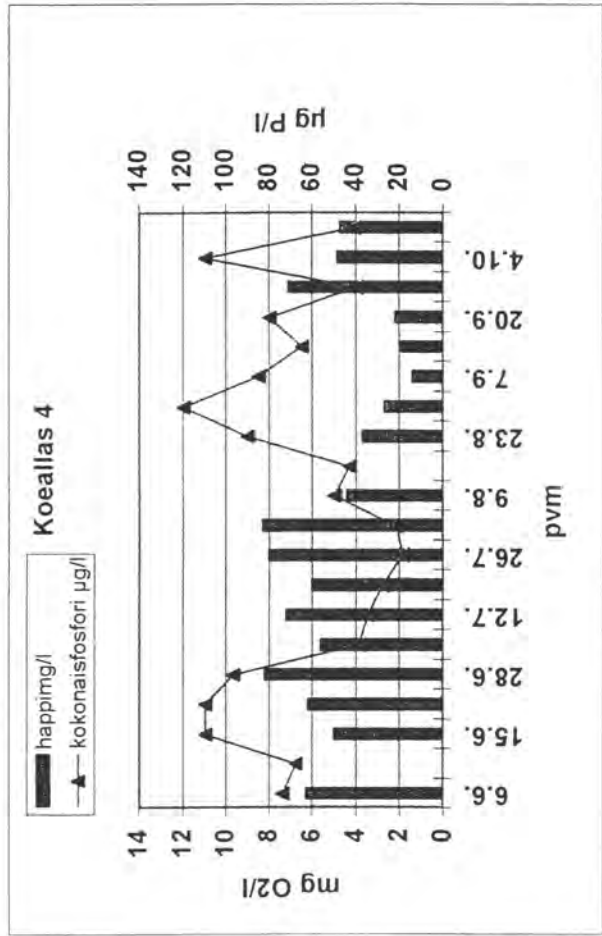
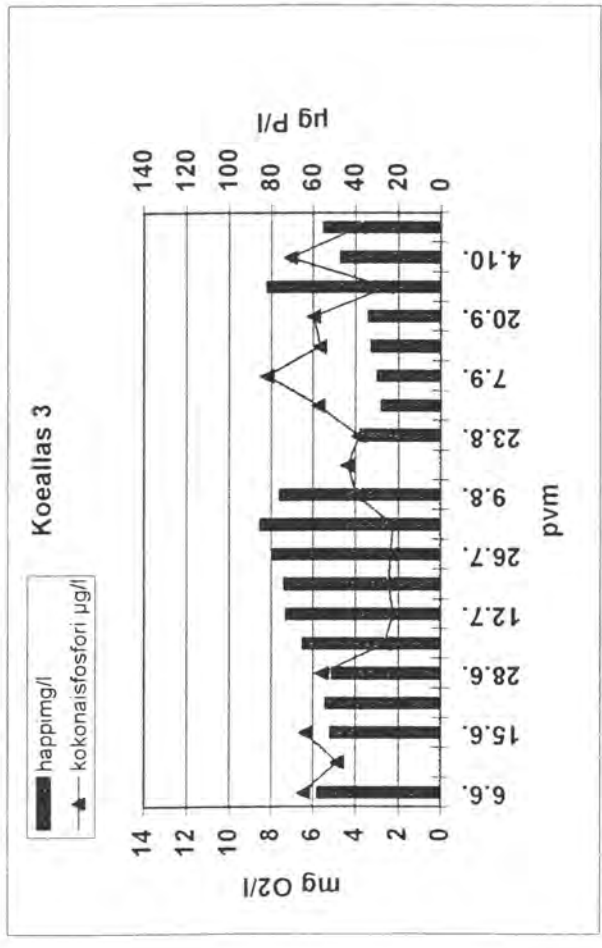
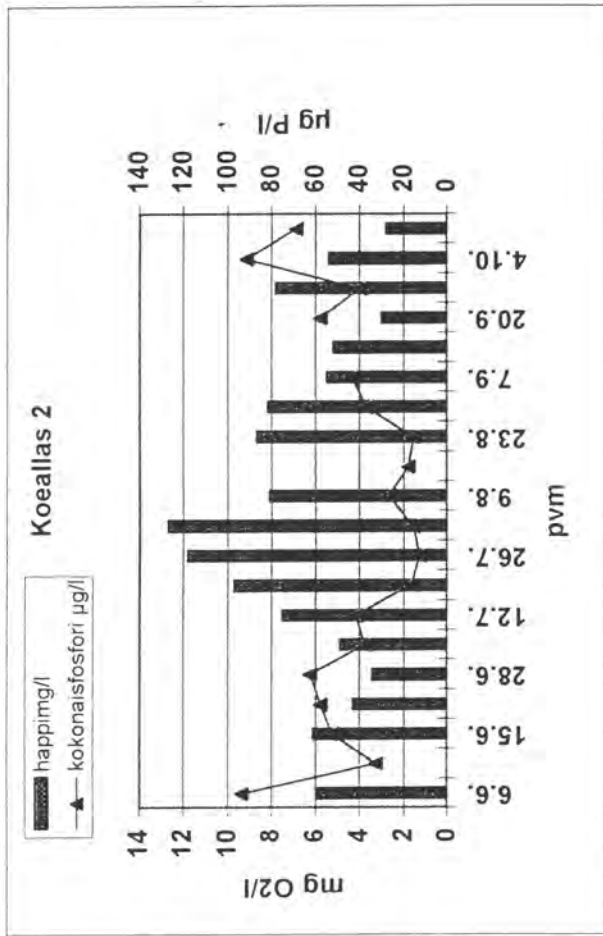
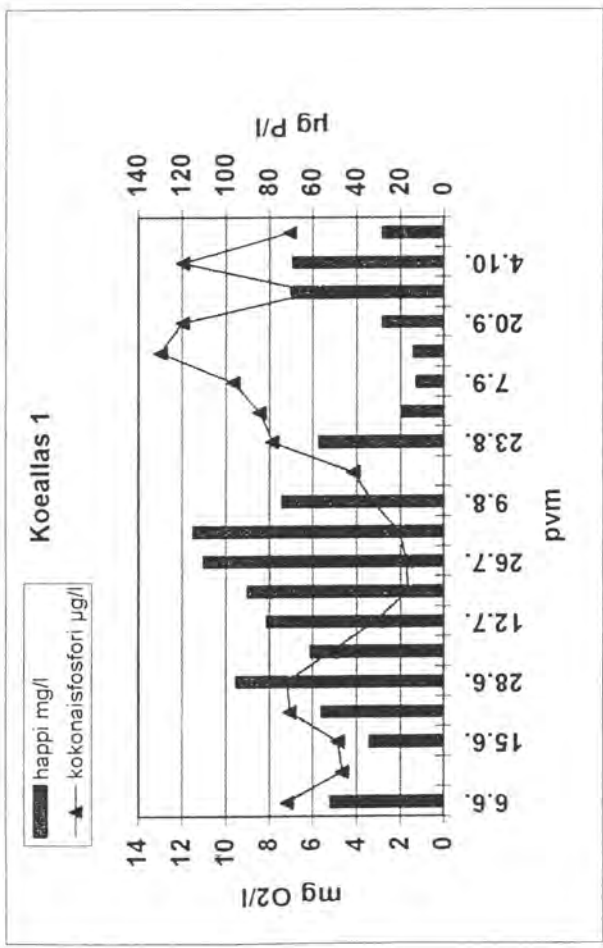
Ammoniumtypen määrät olivat koealtaissa koko kokeen ajan hieman Töölönlahden arvoa korkeammat ja kohosivat koealtaissa hapen pitoisuuden laskiessa, altaassa 1 jopa yli 600 µg N/l arvoon.

Nitraattityppeä esiintyi kaikissa koealtaissa n. 100 µg N/l kun niihin syötettiin vesijohtovettä, jonka nitraattipitoisuus on n. 250 µg N/l. Vedenjohtamisen lakattua nitraattipitoisuudet laskivat hyvin alhaisiksi.

3.5

Rautapitoisuus

Kokeen alussa olivat altaiden 1, 2 ja 3 rautapitoisuudet korkeat, sillä osa altaiden pohjalle syötetystä rautasulfaatista liukeni veteen. Viikossa pitoisuudet laskivat normaalille tasolle, kunnes vedensyötön lopettaminen laski happipitoisuuksia ja pohjassa olevat rautafosfaattisuolat (FePO_4) hajosivat. Varsinkin altaassa 1, jossa rauta oli siroteltu pohjan pinnalle, kohosivat sekä fosfaatti- että rautapitoisuudet jyrkästi. Altaassa 2 happipitoisuus säilyi parhaana ja rauta pysyi pisimpään sedimentissä.



Kuva 4. Hapen ja fosforin kokonaispitoisuuden vaihtelu koealaitissa

3.6.

Plankton ja klorofylli

Samanaikaisesti kemiallisten näytteiden kanssa otettiin myöskin planktonnäytteet, joista määritettiin valtalajit. Sekä kasvi- että eläinplanktonia luonnehti erittäin rehevöityneille vesille tyypillinen lajisto, jonka kaltainen on aiemminkin vallinnut Helsingin sisimmillä lahtialueilla.

Varsinaisen Töölönlahden näytteissä esiintyi läpi kasvukauden runsaasti silmäleviä (*Colacium sp.*, *Euglena tripteris* ja *E. subehrenbergii*). Silmälevien runsaus on yleensä suoraan verrannollinen vesistön ravinnepitoisuuteen. Syksyä kohti lisääntyi hieman sinilevien (mm *Anabaena spp.*) sekä myös viherlevien (mm. *Monoraphidium contortum* ja *Scenedesmus spp.*) osuus. Pieniä siimaeliöitä (*Chrysochromulina sp.* ja *Prymnesium sp.*) esiintyi näytteissä säännöllisesti. Syksyllä kasvoi pienten panssarisiimalevien osuus. Eläinplanktonissa olivat vallitsevina ripsieläimet (mm *Tintinnopsis*-lajit) ja rataseläimet (*Synchaeta*- ja *Keratella*-lajit). Kesällä ja varsinkin syksyllä lisääntyi hankajalkaisten (esim. *Acartia*-suku) osuus selvästi. Vesikirppuja tavattiin vain vähän.

Koealtaissa esiintyi silmäleviä, varsinkin *Euglena*-sukua vähemmän kuin Töölönlahdessa. Vähiten, lähes olemattomasti, niitä oli altaassa 2 ja eniten altaissa 3 ja 4. Sinilevien, etenkin *Anabaena*-rihmojen osuus oli altaissa pienempi kuin Töölönlahdessa. Kuitenkin altaissa 3 ja 4 esiintyi ajoittain syksyllä kohtalaisen runsaasti sinileviä. Piilevien osuus oli altaissa suurempi kuin Töölönlahdessa. Altaissa 3 ja 4 tavattiin ajoittain jopa hyvin runsaasti *Nitzschia longissima* piilevää.

Vertailtaessa eri altaita oli allas 4 runsain sekä määrältään että lajistoltaan. Kaikkein vähiten kasviplanktonia esiintyi altaassa 2, josta oli ajoittain hyvin vaikeata löytää yhtäkään lajia.

Kokeen alussa altaiden eläinplankton oli samanlaista kuin Töölönlahdessa. Myöhemmin varsinkin altaissa 1 ja 2 vesikirppuja oli huomattavan runsaasti. Heinäkuun alussa vallitsi *Scapholeberis mucronata* ja syksyllä *Bosmina longispina maritima*. *Bosminan* esiintyminen oli ajoittain voimakkaasti vallitseva, eikä näytteissä ollut muita lajeja.

Lisäveden syötöllä oli ratkaiseva merkitys altaiden klorofyllipitoisuuteen. Ravinnepitoisuuden aleneminen ja laimentaminen vähensivät altaiden klorofyllipitoisuutta. Laimennusveden syötön lakatessa nousi klorofyllipitoisuus Töölönlahden veden siirtyessä lahdesta altaisiin.

3.7.

Makrolevät

Kemikaalien lisäys ja laimennusveden johtaminen altaisiin vähensi altaiden sameutta ja niiden näkösyvyys kasvoi niin, että ajoittain voitiin nähdä altaiden pohjaan saakka. Veden kirkkaudesta johtuen luotiin altaisiin otolliset olosuhteet alustaan kiinnittyville rihamamaisille viherleville. Ne kasvoivat erittäin rehevinä altaiden seinämille ja myöskin vapaasti pinnalla kelluvina ryppäinä. Elokuun alussa (2.8.) poistettiin levät mahdollisimman tarkasti altaista, etteivät ne olisi kasvaneet täysin umpeen.

Laskelmat laimennusveden määrästä ja laadusta

Vesistöasiantuntija Mauri Pekkarinen on vuoden 1995 koesarjan tulosten ja Tuusulan Rusutjärvestä saatujen kokemusten pohjalta antanut lausunnon lisävesivaihtoehdoista ja arvion tarvittavista vesimääristä (Liite 2).

Lausunnossa todetaan mm. seuraavaa:

"Lausunto pohjautuu yksinkertaisella laimenemismallilla lyhyellä aikavälillä ennustettavaan fosforipitoisuuksien laimenemiseen eri vaihtoehdoissa. Käytetty laimenemis-malli ei ota huomioon pohjasedimentin käyttäytymistä, jota on arvioitava erikseen

Tarkastelussa on lähtökohtina pidetty lahden nykytilaa sekä sedimentin käsittelyä rautasulfaattilla. Vertailukriteeriksi on valittu, että kasvukauden aikana fosforipitoisuus on laimennettavissa tasolle 40 ug P/l kohtuullisen lyhyessä 30 vrk:n ajassa. Kriteeri täyttyy seuraavilla vaihtoehdoilla.

	nykytila	sedimentti kunnostettu
Merivesi	0,5 m ³ /s	0,5 m ³ /s
Vesijohtovesi	0,2 m ³ /s	0,1 m ³ /s

Merivesivaihtoehto. Aikaisemmissa selvityksissä on merivesivaihtoehdon mitoitussarvoksi esitetty 1 m³/s, mikä vaikuttaa tarpeettoman suurelta. Vesimäärä 0,5 m³/s on realistisempi lähtökohta, vaikka sedimentin kunnostusta ei välttämättä heti suoritettaisi. Tällä vesimäärällä Töölönlahden koko vesimassa vaihtuu kolme kertaa kuukaudessa. Samalla Eläintarhan- ja Kaisaniemenlahden vesi vaihtuu vähintään kuukausittain ja näidenkin lahtien veden laatu paranee.

Meriveden huomattavat pinnanvaihtelut voivat saada aikaan tilanteita, joissa jopa puolet Töölönlahden vedestä nopeasti korvautuu ulkopuolelta tulevalla vedellä. Näiden ja varsinkin pienempien useammin toistuvien vedenousujen varalle vesimäärään 0,5 m³/s sisältyy ylimääräistä varmuutta, jos sedimentti kunnostetaan.

Vesijohtovesi/lahti padottu. Lisävesivirtaama 0,2 m³/s voi olla ilman muita kunnostustoimia riittävä, kun lahti padotaan. Jos sedimentti kunnostetaan, riittänee puolta pienempi vesimäärä, jolloin koko lahden vesi vaihtuu kerran kahdessa kuukaudessa. Tämä vastaa Rusutjärveen verrattuna kaksinkertaista vaihtumisnopeutta, jolloin vesi todennäköisesti olisi uimakelpoista.

Tarvittavaksi ympärivuotiseksi keskivirtaamaksi vesijohtovedelle on esitetty 0,05 m³/s (Suunnittelukeskus Oy 1992), mikä vastaa lisäveden vaihtumisnopeutta Rusutjärvestä (Liite 2, kuva 4). Näin pienen vesimäärän käyttö kesällä edellyttää, että sisäisen kuormituksen vähentäminen muilla toimenpiteillä onnistuu hyvin. Lisäksi on hyväksyttävä, että vesi ei jatkuvasti täytä hyvän uimaveden vaatimuksia

Vesijohtovesi/lahti osittain padottu. Matalan Töölönlahden patoamisesta maakeavesialtaaksi aiheutuu happipitoisuuden aleneminen talvella. Ongelmia voi syntyä, vaikka lisävetä juoksettaisiin pieni määrä ympärivuotisesti. Rusutjärvellä on todettu, että kylmä lisävesi ei tiheyserojen takia talvella sekoitu pohjaa myöten pohjan lämmittävän vaikutuksen takia, vaan apuna tarvitaan ilmastusta. Toisaalta täysin patoamattomassa tilanteessa Töölönlahteen ajoittain työntyvän meriveden vaikutus olisi pienen lisävesimäärän takia suhteellisesti paljon suurempi kuin merivesivaihtoehdossa. Tällöin kesäjuoksutuksen teho selvästi heikkenee.

Molemmat em. ongelmat voidaan ratkaista, jos lahti padotaan vain osittain, jolloin lisävetä ei myöskään tarvitse johtaa ympärivuotisesti. Kesällä tuskin muodostuu suolapitoisuuskerrostuneisuutta lahden mataluuden ja tuulien takia. Happitilanteen kannalta hankala kerrostuneisuus voisi syntyä talvella, mutta silloin vesijohtoveden juoksutukseen ei olisi muuta tarvetta kuin suihkulähdekäyttö ja jääpeiteajan pidentäminen (Suunnittelukeskus Oy 1992). Toisaalta jääpeitteen aikaistaminen on selvästi ristiriidassa hyvän happitilanteen säilyttämisen kannalta.

Edellä mainitulla vesimäärän mitoituksella ratkaisuna voisi olla osittainen patoaminen siten, että sisäänvirtauksen määrää kuristetaan voimakkaasti kiinteällä rakenteella. Esimerkiksi sisääntulevalla virtaamalla n. 0,5 m³/s lyhytaikainen, pari päivää kestävä vedennousu, ei ehtisi oleellisesti vaikuttaa vedenlaatuun. Jos kuristus toteutetaan tasalevyisenä pystysuorana virtausrakona pohjaan saakka, muodostuu aukosta niin kapea (<20 cm), että veneellä kulku ei ole mahdollista ilman erityisjärjestelyjä. Myös ajoittainen korkeusero lahtien välillä haittaisi veneilyä.

Myös sellainen ratkaisu voisi tulla kyseeseen, jossa lahti suljettaisiin kokonaan kesäksi, mutta pato avattaisiin talveksi."

5. Johtopäätökset

5.1. Pohjan käsittely

- * Aikaisempi tutkimus Töölönlahden pohjan tilasta (Kansanen et al. 1994) osoitti, että sedimentin aiheuttama sisäinen kuormitus on varsin suuri ja että pohjan tilaa pitää parantaa ennen kuin muihin kunnostustoimenpiteisiin ryhdytään. Nyt suoritettut allaskokeet yhdessä aikaisemmin Töölönlahden ja Tuusulanjärven sedimenteillä tehtyjen laboratorioskokeiden kanssa osoittavat, että pelkistyneen sulfidiliejusedimentin pinnan käsittelyllä fosforia sitovilla ja hapettavilla kemikaaleilla voidaan vähentää huomattavasti sedimentin aiheuttamaa sisäistä kuormitusta ainakin tilapäisesti.
- * Töölönlahdella kokeilluista käsittelyistä parhaaksi osoittautui ferrisulfaatti sekoitettuna 10-20 cm syvyyteen sedimentin pinnasta. Ferrisulfaatin sirottelu pintaan on selvästi em. käsittelyä huonompi vaihtoehto. Nitraatti-ferrisulfaattikäsittelyllä, jota on Ruotsissa käytetty järven kunnostusmenetelmänä, ei saatu aikaan toivottua vaikutusta. Nitraatilla on Töölönlahdessa ravinteena myös rehevöittävä vaikutus, eikä sen käyttöä voida pitää perusteltuna.

- * Ferrisulfaattikäsittelyn tehon kestosta ei yhden kesän kokeiden perusteella voida sanoa varmaa. Kemikaalikäsittely on luonteeltaan muuta kunnostusta tukeva menetelmä, jolla voidaan nopeuttaa Töölönlahden elpymistä. Kustannuksiltaan menetelmä on suhteellisen edullinen. Töölönlahden koko pohjan käsittelyn kemikaalikustannus on arviolta 75 000 mk. Itse työ on tehtävissä muutamassa päivässä, joten kokonaiskustannukset jäävät alle 200 000 mk. Käsittelyn toistaminen tarvittaessa 1-2 vuoden päästä ei siten ole kovin huomattava investointi.
- * Kemikaalin lisääminen pohjan pintakerrokseen edellyttää jatkossa kokeiluja kenttäoloissa. Koska lahti on pinta-alaltaan pieni, ei tekniikan tarvitse välttämättä olla pitkälle kehittyntä. Työ on tehtävissä kaupungin omalla kalustolla.
- * Kemikaalikäsittelyn onnistumisen edellytyksenä on vesimassan säilyminen hapellisena kautta vuoden, johon Töölönlahdella on hyvät mahdollisuudet.

5.2.

Lisäveden johtaminen Töölönlahteen

- * Nyt tehdyt tutkimukset ja laskelmat tukevat aikaisempia selvityksiä siitä, että perusedellytyksenä lahden elpymiselle on vedenvaihdon parantaminen. Pelkkä pohjan käsittely kemikaalein ei riitä leikkaamaan sisäistä kuormaa riittävästi. Aikaisemmat kokeet osoittivat myös, että pilaantuneen sedimentin pintakerroksen poistaminen ruoppaamalla ei sekään yksinään riitä. Alta paljastuva sedimentti on edelleen melko rehevää ja lahden syventäminen voi taas johtaa ilman lisävettä vähähappisen syvänteen syntyyn.
- * Laskelmat (M. Pekkarinen) osoittivat edelleen, että lisäveden johtaminen on mahdollista sekä merivesivaihtoehdon että vesijohtovesivaihtoehdon pohjalta. Kummallakin on selkeästi omat etunsa ja ongelmansa. Merivesivaihtoehdon etuna ovat alhaiset käyttökustannukset, mutta suuremmat investointikustannukset. Aikaisemmin esitettyä mitoitusta on mahdollista pienentää noin puoleen tasosta 1 m³/s edellyttäen, että pohja onnistutaan edellä esitetyllä tavalla kunnostamaan. Menetelmän etuina on lisäksi lahden ekologisen luonteen säilyminen ennallaan ja mahdollisuus säilyttää vesiyhteys katkeamattomana Kaisaniemen suuntaan.
- * Makeavesivaihtoehdo edellyttää käytännössä em. vesiyhteyden patoamista, koska korkeiden käyttökustannusten vuoksi ei voida ajatella kovin suurta virtaamaa (0,1 m³/s). Lahti muuttuu tällöin makeaveden altaaksi. Kokeiden perusteella on tällöin myös pelättävissä, että näkösyvyyden liian voimakas kasvu käytettäessä kirkasta vesijohtovettä voi johtaa vesikasvien voimakkaaseen kasvuun ja lahden umpeutumiseen. Luonnollisen samea merivesi ei tässä mielessä ole yhtä riskialtis.
- * Em. syistä näyttää parhaimmalta vaihtoehdolta ottaa jatkosuunnittelun pohjaksi laadultaan tyydyttävän meriveden pumppaaminen rakennettavaa putkilinjaa pitkin Seurasaarenselän puolelta Töölönlahteen. Suunnittelun pohjana voi olla sen mitoittaminen vesimäärälle 0,5 m³/s. Yhdessä pohjan kunnostuksen kanssa voidaan saavuttaa Töölönlahdessa periaatteessa uimavesikäytön edellyttämä veden laatu.

5.3.

Ruoppaustarve

- * Tutkimusten mukaan Töölönlahti mataloituu melko nopeaa vauhtia voimakkaan sedimentaation ja toisaalta maankohoamisen takia (Kansanen et al. 1995, Tikkanen et al. 1996). Kymmenien vuosien tähtäimellä on siten perusteltua, että lahti tullaan jossain vaiheessa ruoppaamaan. Käytännön ongelmana ruoppauksessa ovat poistettavan sedimentin korkeat raskasmetallipitoisuudet, jonka vuoksi liete tulee sijoittaa kuivausta varten maalle. Tämä estää myös lietteen johtamisen viemäriin. Liette joudutaan mahdollisesti kuljettamaan melko kauas proomuilla ja pumppaamaan uudelleen sopivalle ranta-alueelle. Tämä nostaa ruoppauksen kustannuksia huomattavasti. Karkea arvio Töölönlahden ruoppauksenkustannuksista on n. 20 milj.mk.
- * Ruoppaus voi olla tarpeen jo tässä vaiheessa tietyillä ranta-alueilla rannan kunnostamiseksi. Samalla joudutaan huolehtimaan pohjan stabiloinnista. Laajamittaista lahden ruoppausta ei kannata tässä vaiheessa toteuttaa. Lisäveden johtamisjärjestelmän rakentaminen ja pohjan kemikalointi ovat joka tapauksessa tarpeen. Ruoppaus on siten toteutettavissa myöhemmin vuosina ilman, että mikään nyt esitetyistä investoinneista menee hukkaan.

6.

Ehdotus jatkotoimenpiteiksi

1. Käynnistetään yksityiskohtainen hankesuunnittelu merivesiputken ja -pumppaamon rakentamiseksi. Tarkennetaan Suunnittelukeskus Oy:n v. 1992 esittämiä alustavia suunnitelmia ja mitoitusta Pekkarisen (1996) esittämien laskelmien pohjalta, mikä merkitsisi tarvittavan vesimäärän pienentymistä tasolta 1 m³/s tasolle 0,5 m³/s. Vastaavasti tarkennetaan myös kustannusarviota.
2. Suunnitellaan tarkemmin keinot kontrolloida veden vaihtoa rautatie sillan ali Töölönlahden ja Kaisaniemenlahden välillä esim. kaventamalla uomaa.
3. Suunnitellaan pohjan kemikaloinnin tekninen suoritustapa ja mahdollisuudet käyttää tässä hyväksi kaupungin omaa kalustoa.
4. Selvitetään pidemmällä tähtäimellä mahdollisen ruoppauksen suoritustapa ja lietteen kuivausmahdollisuudet.

Kohdissa 2-4 esitetyt suunnittelutehtävät tulisi aloittaa välittömästi tavoitteena valmis toteutussuunnitelma v. 1996 aikana. Hankkeen käytännön toteutus voitaisiin siten aloittaa aikaisintaan keväällä 1997.

KIRJALLISUUS

Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnittelulautakunta 7 12 1989. Töölönlahden vedenlaadun parantaminen. 4 s.

Helsingin kaupunki, ympäristökeskus 1994. Helsingin kaupungin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelma.

Kansanen, P., Norha, T., Pesonen, L., & Riihelainen, T. 1995. Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus. Helsingin kaupunki, ympäristökeskus 1/95.

Pekkarinen, M. 1996. Lausunto Töölönlahden lisävesivaihtoehdoista. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä. 8 s.

Suunnittelukeskus Oy 1992. Töölönlahden kuormitusselvitys. Helsingin kaupunki, vesi- ja viemärilaitos. 35 s.

Tikkanen, P., Korhola, A., Seppä, H., & Virkanen, J. 1996. Töölönlahden ympäristöhistoria ja veden laadun muutokset pohjasedimenttien kuvastamana. Helsingin kaupunki, tietokeskus 1996:4.

Viatek Oy 1989. Töölönlahden vedenlaadun parantamisvaihtoehtojen tekninen selvitys. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto. Helsinki. 18 s.

Allas 2.																				
ferrisuola harattu sedimenttiin																				
pvm	6.6.	8.6.	15.6.	21.6.	28.6.	5.7.	12.7.	20.7.	26.7.	2.8.	9.8.	16.8.	23.8.	30.8.	7.9.	14.9.	20.9.	28.9.	4.10.	12.10.
näkösyvyys d	7	7	12	9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
lämpötila °C	20,2	19,9	24,5	19,0	18,6	15,8	16,5	18,8	17,4	20,3	16,2	17,9	18,2	15,8	15,0	13,0	12,0	10,8	10,6	9,2
pH	7,5	7,0	7,6	7,2	7,2	7,4	7,6	8,8	9,2	9,5	8,9	9,1	9,0	8,6	7,9	7,3	7,2	7,4	7,3	7,2
happi mg/l	5,9		6,1	4,3	3,4	4,9	7,5	9,7	11,8	12,7	8,1		8,7	8,2	5,5	5,2	3,0	7,8	5,4	2,8
suolaisuus o/oo	3,19	2,61	2,54	2,71	2,03	1,73	1,36	0,80	0,61	0,42	1,31	1,64	2,82	3,91	4,46	4,43	4,91	2,26	2,32	1,66
sameus Hach FTU	10,00		5,30	5,70	3,60	3,80	2,60	1,80	1,20	1,90	2,00	1,50	1,90	2,20	2,10	12,00	5,70	2,90	4,30	3,10
kiintoaine mg/l	15,0	11,0	6,5	5,3	3,8	3,3	3,2	1,8	1,2	1,6	2,0	1,0	1,8	8,4	8,8	24,0	9,6	3,0	6,8	3,6
alkaliteetti mmol/l	1,16	0,92	1,01	1,08	1,12	1,11	1,11	1,00	1,02	0,98	1,12	1,17	1,28	1,41	1,48	1,44	1,49	1,21	1,20	1,16
kokonaistyyppi µg/l	950	830	860	1000	1200	770	750	390	300	420	390	200	620	590	740	1400	860	640	1000	970
nitraattityppi µg/l	7	240	110	60	100	120	120	46	29	21	2	1	1	7	5	7	5	120	110	140
nitriittityppi µg/l	2	7	6	3	1	7	6	4	2	2	1	1	1	1	1	2	3	14	14	19
ammoniumtyppi µg/l			62	250	340	160	120	48	33	31	51	9	28	66	130	290	310	260	410	420
kokonaistofori µg/l	94	33	53	58	63	38	42	17	13	16	27	18	16	37	44	220	58	40	92	69
ortofosfaattifosfori µg/l	22	8	3	23	39	12	10	4	2	5	4	2	3	4	12	34	27	20	51	48
klorofylli a µg/l	19,8		13,6	1,5	2,3	2,1	1,5	0,7	0,1	2,3	12,9	0,1	0,4	3,0	1,6	1,8	3,7	0,4	2,6	0,4
rauta (Fe) µg/l	0,5	1,6	0,6	0,6	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,8	0,3	0,5	0,2

LAUSUNTO TÖÖLÖNLAHDEN LISÄVESIVAIHTOEHDOSTA

Vesistöasiantuntija (DI, MMM) Mauri Pekkarinen
Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä

1. Lisäveden vaikutusmekanismit

Vähäravinteisella lisävedellä laimentaminen on osoittautunut käyttökelpoiseksi menetelmäksi matalien rehevien vesistöjen kunnostuksessa, edellyttäen, että vettä on mahdollista johtaa suhteellisen suurii määrii. Tuloksia on useimmiten pidetty hyvinä silloin, kun järven vesi on vaihdettu 1-3 kertaa vuodessa, pääosin kasvukaudella. Menetelmän vaikutukset perustuvat ensisijaisesti minimiravinteeseen, yleensä **fosforin laimentamiseen**, jolloin kasviplanktonin biomassa ja *a*-klorofyllin pitoisuus alenevat. Muina vaikutusmekanismeina on kirjallisuudessa mainittu sinilevien kilpailukyvyyn heikkeneminen muihin leväryhmiin nähden eri tekijöiden vaikutuksesta. Esimerkiksi vesimassan tehostunut vertikaalinen sekoittuminen häiritsee sinileväkukintojen kehittymistä. Jos käytettävissä on vain melko runsasravinteista lisävetä, voidaan vaikutus- ja mitoitusperusteena ajatella käytettävän myös levien poishuhtoutumista. Tällöin pitäisi veden viipymän olla vain muutamien päivien, korkeintaan viikon luokkaa, jotta levien huuhtoutumisvaikutus vähentäisi tehokkaasti biomassaa.

2. Kokemukset muualta

Menetelmän tehokkuudesta huolimatta lisäveden juoksutusta tiedetään viime aikoina käytetyn vain harvoissa järvissä koko maailmassa, sillä hyvälaatuista lisävetä ei yleensä ole riittävästi käytettävissä kohtuulliseen hintaan (Pekkarinen 1987). Kokemuksia on lähinnä Pohjois-Amerikasta (*mm. Green Lake ja Moses Lake*), Ruotsista (*Trekanten-järvi*) ja Suomesta (*Rusutjärvi ja Ridasjärvi/Keravanjoki*). Näistä hyvin tutkittujen Trekanten-järven ja Rusutjärven kokemukset ovat huomionarvoisia arvioitaessa sovellusta Töölönlahden kannalta.

Trekanten-järvi (Lindgren 1986):

Tukholmassa asutuksen keskellä sijaitseva Trekanten on kerrostuva pikkujärvi (pinta-ala 13 ha, keskisyvyys 3,9 m, tilavuus 523 000 m³), johon jätevesien lasku lopetettiin v. 1961. Järven sisäinen fosforikuormitus on ulkoiseen kuormitukseen verrattuna erittäin suuri, minkä vuoksi suoritettiin pohjasedimentin hapetus kaliumnitraatilla v. 1980. Käsittely ei tuottanut toivottua tulosta, mihin pidettiin syynä mm. sitä, että rautaa ei samalla lisätty fosforin sitomiseen. Kesinä 1982-1985 järveen johdettiin vesijohtovettä 130 000 - 530 000 m³/a keskimäärin 3,5 kuukauden ajan, siten että vesimäärät suurenivat vuosi vuodelta (eniten v. 1985). Kesäaikana lisäveden virtaama vaihteli eri vuosina keskimäärin 15-55 l/s (=0,3-0,9 %/d järven tilavuudesta). Samanaikaisesti pumpattiin järvestä pois fosforipitoista alusvetä hieman järveen johdettua määrää enemmän. Vedenvaihdon seurauksena järven fosforipitoisuus aleni likimäärin 40 % kolmessa vuodessa. *a*-klorofylli-pitoisuus oli edelleen ylirehevälle järvelle tyypillinen (keskimäärin n. 50 µg/l v. 1982-85), mutta kuitenkin 50 % aikaisempaa alempi. Sisäinen kuormitus säilyi edelleen moninkertaisena ulkoiseen kuormitukseen verrattuna. Sisäinen (netto)kuormitus keskimäärin kesä-syyskuussa vaihteli 3-7 mg/m²/d (v. 1983-85). Jatkokunnostuksessa järven

tiheä särkikalakanta tuhottiin rotenonilla v. 1986. Lähteessä ei ole mainintaa lisäveden riittävydestä, mutta selvästi sitä olisi tarvittu suurempi määrä (n. 100 l/s), jotta tulokset olisivat olleet riittävän hyviä.

Rusutjärvi (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymän aineistot):

Tuusulan Rusutjärveen (pinta-ala 140 ha, keskisyvyys 2,0 m, tilavuus 2 700 000 m³) lisävedettä on johdettu Päijänne-tunnelista vuodesta 1992 lähtien. Vuosina 1993-95 vesimäärä on ollut lähes vakio, 3,0-3,2 milj. m³/a, josta likimain järven tilavuutta vastaava määrä on juoksutettu kasvukaudella touko-syyskuussa. Noin neljän kuukauden ajan vettä on pumpattu maksimituotolla, 240 l/s (0,8 %/d järven vesitilavuudesta).

Hajakuormituksen 1980-luvulla voimakkaasti likaaman Rusutjärven *erittäin rehevä* rehevyysluokka on pääosin lisäveden ansiosta palautunut normaalin *reheväksi* ja virkistyskäyttöluokka välttävistä tyydyttäväksi. Sinilevää tosin edelleen esiintyy loppukesällä vaihtelevia määriä, mikä voi vähentää uimisen nautittavuutta. Kasvukauden fosforikeskiarvo on päällysvedessä 1980-luvun lopun arvoihin (80-90 µg/l) verrattuna vähitellen alentunut tasolle 45-50 µg/l ja *α*-klorofyllin pitoisuus tasolta 50-60 µg/l tasolle 30-35 µg/l, mikä on selvästi alempi kuin Trekantenissa. Suhteellinen veden laadun paraneminen on molemmissa järvissä ollut samaa luokkaa, mutta Rusutjärven tila oli alunperin parempi. Rusutjärvestä lisävedettä edeltänyt ravintoketjukunnostus lienee osaltaan auttanut tilanteen paranemista.

Rusutjärven sisäinen kuormitus on toisaalta edelleen suuri. Fosforin bruttovapautuminen oli vielä v. 1993 (vuosi lisäveden juoksutuksen aloittamisesta) keskimäärin n. 10-14 mg/m²/d (julkaisematon tieto), mikä on samaa luokkaa kuin hyvin rehevässä Tuusulanjärvessä (11 mg/m²/d, Kansanen 1992), mutta selvästi pienempi kuin Töölönlahdella (n. 13-26 mg/m²/d, Kansanen ym 1995). Rusutjärven tilassa on vielä odotettavissa paranemista, sillä sisäinen kuormitus voi pienentyä, kun järvi vähitellen hakeutuu uuteen tasapainotilaan. Lisäveden vuotuiset käyttökustannukset ovat melko suuret, n. 200.000 mk, joten vesimäärän lisäys ei ole perusteltua. Mielekästä olisi edelleen vähentää ulkoista kuormitusta ja jatkaa ravintoketjukunnostusta.

3. Arviointitavoitteet Töölönlahdelle

Lisäveden johtamisen periaatteelliset ratkaisut ovat meriveden pumppaaminen Seurasaarenselältä ja vesijohtoveden käyttäminen. Vaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia on tarkasteltu melko kattavasti Töölönlahden kuormitus selvityksessä (Suunnittelukeskus Oy 1992). Merivesivaihtoehdon puutteena selvityksessä on kuitenkin vain hyvin suurelle vesimäärälle (1 m³/s) tehty vaikutusarvio. Lisäksi arvio perustuu yksinomaan tilastollisiin fosforimalleihin, jotka yleensä soveltuvat huonosti hyvin reheviin järviin. Mallin oletusarvot ovat myös muuttuneet, sillä Töölönlahden sisäisen (brutto)kuormituksen suuruusluokka on sittemmin arvioitu olevan jopa yli 10 kertaa mallissa sovellettua suurempi eli 1000-2000 kg P/vuosi (Kansanen ym. 1995), mikä vastaa 13-26 mg P/m²/d. Ulkoinen kuormitus (35 kg/vuosi) on tähän verrattuna lähes merkityksetön.

Tämä lausunto pohjautuu yksinkertaisella laimenemismallilla lyhyellä aikavälillä ennustettavaan fosforipitoisuuksien potentiaaliseen laimenemiseen eri vaihtoehtois-

sa. Tilastollinen malli puolestaan antaisi lopputulokseksi pitkän aikavälin - vuosien päässä olevan - tasapainoennusteen, jos sisäisen kuormituksen vaikutus mallissa kyettäisiin huomioimaan. Laimenemismalli ei millään tavoin ota huomioon sedimentin käyttäytymistä, joten sitä on tarkasteltava erikseen. Töölönlahden suuri sisäinen kuormitus on kuitenkin osaltaan vertailukelpoinen ainakin Rusutjärven esimerkkitapaukseen mahdollistaen suuntaa-antavan lisäveden mitoitusarvion.

Mitoitukseen vaikuttaa vedenlaadun parantamistavoite ja sisäisen kuormituksen vähentäminen myös muilla keinoin. Lisäkäsittelynä tulee ensisijaisesti kysymykseen sedimentin pintakerroksen rautasulfaattikäsittely (Sommarlund 1996), jonka onnistumismahdollisuudet ovat hyvät Töölönlahden hyvän happitilanteen takia. Pelkäämään lisäveettä johdettaessa fosfaattitasapainon muuttuminen sedimentin ja veden rajapinnalla voisi alkuvaiheessa jopa lisätä fosfaatin vapautumista ravinnepitoisesta sedimentistä (Kortelainen 1983), mikä aluksi edellyttäisi 'tarpeettoman' suureen vesimäärän johtamista. **Töölönlahden kokonaisfosforipitoisuuden** tarkastelussa laimenemismallilla on lähtökohtina pidetty **nykytilavaihtoehtoa** ja **sedimentin käsittelyvaihtoehtoa**.

4. Laimenemismallin soveltaminen

Lyhyellä aikavälillä tapahtuvaa, vaikutuksiltaan ohimenevää laimenemistä voidaan ennustaa yksinkertaisella jatkuvuusyhtälöllä eli konservatiivisen aineen massataspainomallilla (Frisk 1978):

$$C(t) = (C_0 - C_1)e^{-\rho(t-t_0)} + C_1$$

missä

$C(t)$ = aineen pitoisuus järvessä hetkellä t

C_0 = aineen pitoisuus järvessä hetkellä $t=0$

C_1 = aineen keskimääräinen pitoisuus järveen tulevassa vedessä eli alkupitoisuus

ρ = tulevan veden vaihtumiskerroin ($=Q/V$) eli menovirtaama/järven tilavuus

Yhtälöä sovellettaessa oletetaan, että:

- tulovirtaama = menovirtaama (Q) = vakio
- kuormitus on vakio
- järvi on täysin sekoittunut ja sekoittuminen tapahtuu välittömästi
- ainetta poistuu vain menovirtaaman mukana

Malli ei ota huomioon sedimentaatiota, mutta sitä voidaan soveltaa fosforipitoisuuden ennustamiseen, jos alkupitoisuus (C_1) on pieni (karut vesistöt). Puutteistaan huolimatta yhtälö on rehevissä vesistöissäkin suuntaa-antavaan tarkasteluun käyttökelpoinen, koska sillä voidaan arvioida tietynsuuruisen lisävesivirtaaman vaikutuksesta tapahtuva pitoisuuksien **potentiaalinen** laimeneminen ja siihen tarvittava aika.

Töölönlahdelle on tehty seuraavat oletukset:

- Kasvukaudella alkupitoisuus (C_0) juoksutuksen alussa ($t=0$) vastaa **nykytilavaihtoehdossa** Töölönlahdessa 1990-luvulla todettuja kasvukauden keskiarvoja 110 $\mu\text{g P/l}$. **Sedimentin käsittelyvaihtoehdossa** oletetaan, että

puolet sisäisestä fosforikuormasta voidaan pysyvästi leikata, jolloin kasvukauden keskiarvon arvioidaan asettuvan tasolle n. 60 µg P/l (sisäisen kuormituksen ollessa n. 500-1000 kg eli 7-13 g P/m²/d.

- C₁:n painotettua keskiarvoa laskettaessa valuma-alueen valunta on vuoden hulevesimäärästä (51 000 m³) vuoden päiville tasan jaettu vakioarvo, 0,002 m³/s. Valumaveden pitoisuus on Töölönlahden ulkoisen kuormituksen (35 kg P/a) ja em. hulevesimäärän osamäärä puolitettuna, ts. puolet kuormituksesta sedimentoituu välittömästi ja puolet sekoittuu lisäveden kanssa.
- Lisäveden fosforipitoisuus on merivesivaihtoehdossa 36 µg/l (Seurasaarenselän keskipitoisuus) ja vesijohtoveden pitoisuus 5 µg/l.
- Töölönlahden tilavuus on merivesivaihtoehdossa 400 000 m³ ja vesijohtovesivaihtoehdossa 500 000 m³/s, jolloin Töölönlahti oletetaan padotuksi Suunnittelukeskus Oy:n (1992) esityksen mukaisesti.

5. Laimenemismallin tulokset ja niiden tarkastelu

Laimenemismallilla saadut tulokset eri vaihtoehdoille ja lisävesimäärille on esitetty kuvissa 1-4.

Vertailukriteeriksi on valittu, että Töölönlahden kasvukauden keskipitoisuus on potentiaalisesti laimennettavissa `haitattomana` pidetylle tasolle, 40 µg P/l, kohtuullisen lyhyessä 30 vrk:n ajassa. Kriteeri täyttyy seuraavilla virtaamilla:

	nykytila	sedimentti kunnostettu
Merivesi	0,5 m ³ /s	0,5 m ³ /s
Vesijohtovesi	0,2	0,1

Merivesivaihtoehto. Aikaisemmissa selvityksissä esitetty mitoitusarvo, 1 m³/s, vaikuttaa tarpeettoman suurelta. Vesimäärä 0,5 m³/s on realistisempi lähtökohta, vaikka sedimentin kunnostusta ei välttämättä ainakaan heti suoritettaisi. Töölönlahden veden vaihtuvuus on tällöinkin riittävän suuri (11 %/d vesitilavuudesta). Koko vesimassa vaihtuu teoreettisesti kolme kertaa kuukaudessa. Samalla Eläintarhan- ja Kaisaniemenlahden vesi vaihtuu vähintään kuukausittain ja näidenkin lahtien vedenlaatu paranee.

Meriveden huomattavat pinnanvaihtelut voivat saada aikaan tilanteita, joissa jopa puolet Töölönlahden vedestä nopeasti korvautuu ulkopuolelta tulevalla vedellä. Näiden ja varsinkin pienempien useammin toistuvien vedennousujen varalle vesimäärään 0,5 m³/s sisältyy ylimääräistä varmuutta, jos sedimentti kunnostetaan. Osa sisään virtaavasta vedestä on peräisin Eläintarhanlahdelta, jonka vedenlaadun parantuminen on Töölönlahdenkin kannalta tärkeää.

Vesijohtovesi/lahti padottu. Lisävesivirtaama 0,2 m³/s voi olla ilman muita kunnostustoimia riittävä, kun lahti padotaan, aivan kuten Suunnittelukeskus Oy (1992) on arvioinut. Jos sedimentti kunnostetaan, riittänee puolta pienempi vesimäärä (0,1 m³/s), jolloin veden vaihtuvuus on 1,7 %/d vesitilavuudesta ja koko

lahden vesi vaihtuu kerran kahdessa kuukaudessa. Tämä vastaa Rusutjärveen verrattuna kaksinkertaista vaihtumisnopeutta, jolloin vesi todennäköisesti olisi uimakelpoista.

Tarvittavaksi pitkän aikavälin (ympäri vuotiseksi) keskivirtaamaksi vesijohtovedelle on esitetty $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (Suunnittelukeskus Oy 1992), mikä vastaa lisäveden vaihtumisnopeutta Rusutjärvestä (kuva 4). Näin pienen vesimäärän käyttö kesällä edellyttää, että sisäisen kuormituksen vähentäminen muilla toimenpiteillä onnistuu hyvin. Lisäksi on hyväksyttävä, että vesi ei jatkuvasti täytä hyvän uimaveden vaatimuksia.

Vesijohtovesi/lahti osittainen padottu. Matalan Töölönlahden patoamisesta makeavesialtaaksi aiheutuu happipitoisuuden aleneminen talvella. Ongelmia voi syntyä, vaikka lisävetä juoksutettaisiin pieni määrä ympärivuotisesti. Rusutjärvellä on todettu, että kylmä lisävesi ei tiheyserojen takia talvella sekoitu pohjaa myöten pohjan lämmittävän vaikutuksen takia, vaan apuna tarvitaan ilmastusta. Toisaalta täysin patoamattomassa tilanteessa Töölönlahteen ajoittain työntyvän meriveden vaikutus olisi pienen lisävesimäärän takia suhteellisesti paljon suurempi kuin merivesivaihtoehdossa. Tällöin kesäjuoksutuksen teho selvästi heikkenee.

Molemmat em. ongelmat voidaan ratkaista, jos lahti padotaan vain osittain, jolloin lisävetä ei myöskään tarvitse johtaa ympärivuotisesti. Kesällä tuskin muodostuu suolapitoisuuskerrostuneisuutta lahden mataluuden ja tuulten takia. Happitilanteen kannalta hankala kerrostuneisuus voisi syntyä talvella, mutta silloin vesijohtoveden juoksutukseen ei olisi muuta tarvetta kuin suihkulähdekäyttö ja jääpeiteajan pidentäminen (Suunnittelukeskus Oy 1992). Toisaalta jääpeitteen aikaistaminen on selvästi ristiriidassa hyvän happitilanteen säilyttämisen kannalta.

Edellä mainitulla vesimäärän mitoituksella ratkaisuna voisi olla osittainen patoaminen siten, että sisäänvirtauksen määrää kuristetaan voimakkaasti kiinteällä rakenteella. Esimerkiksi sisääntulevalla virtaamalla n. $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ lyhytaikainen, pari päivää kestävä vedennousu ei ehtisi oleellisesti vaikuttaa vedenlaatuun. Jos kuristus toteutetaan tasalevyisenä pystysuorana virtausrakona pohjaan saakka, muodostuu aukosta niin kapea ($<20 \text{ cm}$), että veneellä kulku ei ole mahdollista ilman erityisjärjestelyjä. Myös ajoittainen korkeusero lahtien välillä haittaisi veneilyä.

Myös sellainen ratkaisu voisi tulla kyseeseen, jossa lahti suljettaisiin kokonaan kesäksi, mutta pato avattaisiin talveksi.

6. Merivesivaihtoehdon kustannusvaikutukset

Merivesivaihtoehdossa kustannusarvioiden tekeminen on nykyisillä lähtötiedoilla hyvin ongelmallista. Perusongelma on harvinaisen pieni ($2 \times 2 \text{ m}$) Rajasaari-Savilayhdystunneli, jossa olevan jätevesiviemärin (NS 700, pituus 900 m) toimivuus on kyettävä turvaamaan. Ahtaaseen tunneliin ei ilmeisesti ole mahdollista asentaa erillistä putkea kohtuullisin kustannuksin edes suhteellisen pienelle lisävesimäärälle, joten ratkaisu joudutaan perustamaan tunnelin täyttämiseen merivedellä. Huonokuntoinen viemäri on tällöin uusittava, mikä on teknisesti erittäin hankala ja kallis toimenpide. Uusiminen maksaa karkeasti arvioiden useita miljoonia markkoja. Työn toteutusedellytykset ja tarkempi kustannustaso voidaan varmistaa vain tekemällä yksityiskohtainen rakennussuunnitelma.

Lisäveden pumppaamo sijaitsisi aiempien selvitysten perusteella joko Savilassa tai entisellä Rajasaaren vedenpuhdistamolla. Jatkosuunnittelu on tarpeen edullisimman sijaintipaikan selvittämiseksi. Lisäkustannuksia aiheuttava vedenottoon liittyvä 'vedenalitusputki' ei ole välttämättä tarpeellinen.

Arvio eri mitoitusvaihtoehtojen käyttökustannuksista on seuraava:

1,0 m ³ /s	0,3 mmk/v
0,5 "	0,2 "
0,25 "	0,1 "

7. Johtopäätökset

Tässä lausunnossa ei ole perusteita rajata kumpaakaan lisävesivaihtoehtoa (merivesi, vesijohtovesi) jatkoselvitysten ulkopuolelle, sillä molemmilla on selkeästi hyvät puolensa, mutta molempiin sisältyy myös ongelmia. Kumpikin vaihtoehto mahdollistaa Töölönlahden vedenlaadun paranemisen huomattavasti nykyisestäään.

Merivesivaihtoehdon etuina ovat alhaiset käyttökustannukset (n. 0,2 mmk) sekä lahden ekologisen luonteen säilyminen entisellään. Meriveden virtaamalla 0,5 m³/s voidaan myös saavuttaa kohtuullisen hyvä, parhaassa tapauksessa uintikäytön mahdollistava vedenlaatu. Vaihtoehdon huonona puolena ovat korkeat rakennuskustannukset, jos Rajasaari-Savila viemäriyhteyden uusiminen sisällytetään kokonaan hankkeen kustannuksiin. Kustannukset ovat kuitenkin kohtuulliset, jos joka tapauksessa katsotaan olevan tarpeen uusien huonokuntoinen viemäri lähivuosina ja työhön liittyvät tekniset ongelmat saadaan ratkaistua.

Vesijohtovesivaihtoehdon merkittävänä etuna ovat alhaiset rakennuskustannukset (0,5 mmk), jotka aiheutuvat Töölönlahden patoamisjärjestelyistä (täydellisesti tai osittain). Käyttökustannukset ovat kuitenkin kaksinkertaiset (n. 0,4 mmk) meriveden käyttöön verrattuna, jos veden hintana lisäkustannusperiaatteella käytetään 30 p/m³ (Suunnittelukeskus Oy 1992). Lisäksi on oletettu, että vettä juoksetetaan vuosittain keskimäärin viisi kuukautta (touko-syyskuu) 0,1 m³/s eli yhteensä 1,3 milj. m³. Vaihtoehto mahdollistaa hyvän uimaveden laadun. Melko pieni veden vaihtuvuus on toisaalta sisäisen kuormituksen takia epävarmuustekijä, jolloin veden määrää voidaan joutua ajoittain kasvattamaan, jos uimakelpoisuus halutaan kaikissa tilanteissa varmistaa.

Vesijohtoveden käyttöön voi sisältyä merivettä suurempi riski vesikasvillisuuden haitallisen voimakkaasta lisääntymisestä, jos vesi huomattavasti kirkastuu. Lisävesimäärää säätelemällä riski voidaan luonnollisesti minimoida, mutta uimaveden laadusta voidaan joutua samalla tinkimään. On lisäksi huomattava, että Töölönlahden vesieliöstössä voi suolapitoisuuden vähentymisen takia tapahtua muutoksia. Osittaisella Töölönlahden patoamisella uhkana olevat talviaikaiset happiongelmat voidaan välttää.

Keravalla 28.3.1996


Mauri Pekkarinen

LÄHDEKIRJALLISUUS:

Frisk, T. 1978. Järvien fosforimallit. Vesihallituksen tied. 146. Helsinki. 114 s.

Kansanen, P. 1992. Tuusulanjärven sedimentin kunto ja kunnostusmahdollisuudet. Sedimenttitutkimuksen 1989-1991 loppuraportti. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto. Kerava. 87 s.

Kansanen, P., Norha, T., Pesonen, L. ja Riiheläinen, T. 1995. Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 1/95. 22 s.

Kortelainen, P. 1993. Ravinteiden vapautuminen Tuusulanjärven sedimentistä. Pro gradu -työ. Helsingin yliopiston limnologian ja laitos. 76 s., 33 liit.

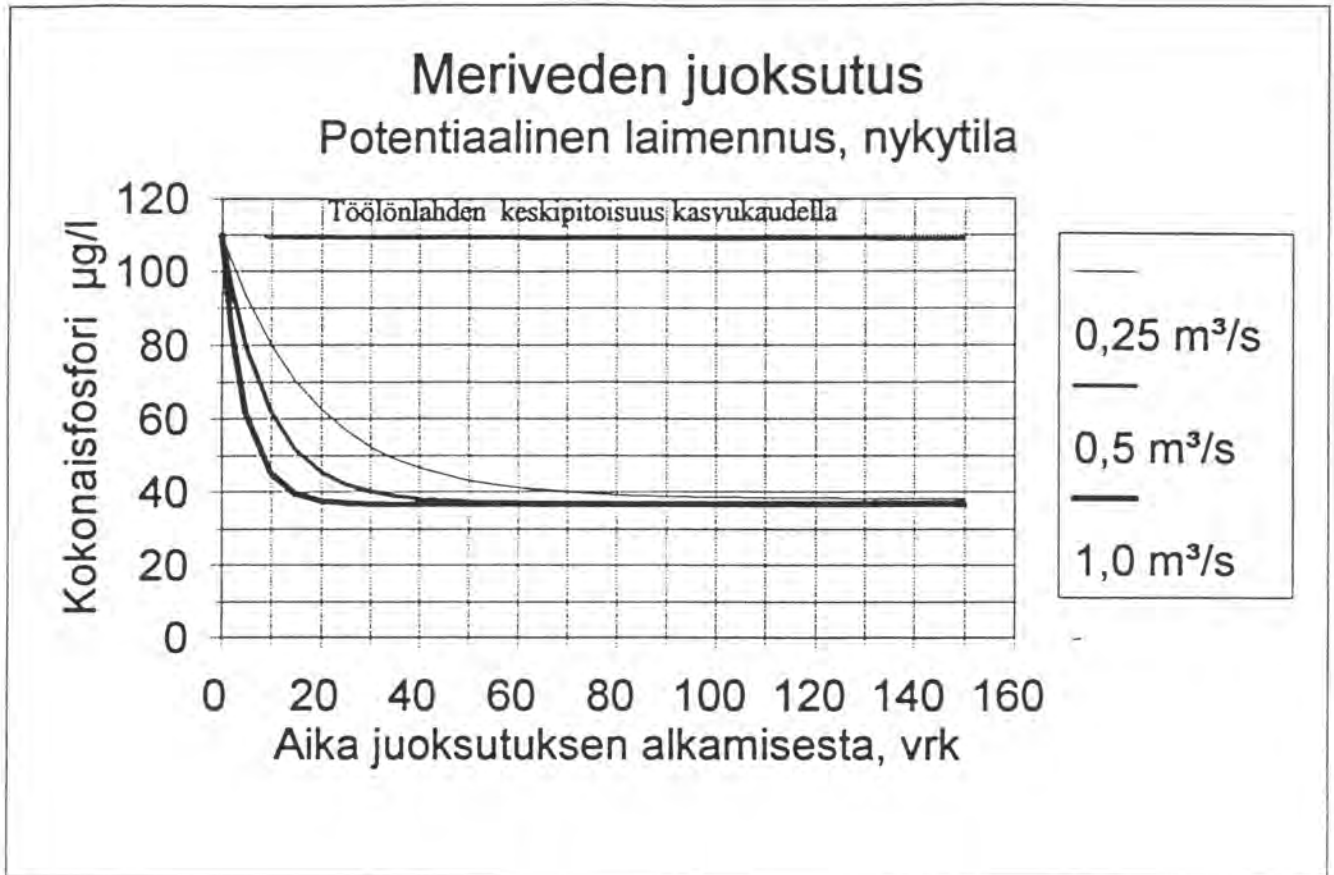
Lindgren, G. 1986. Sjön Trekanten efter restaurering. Vatten 42: 159-165.

Pekkarinen, M. 1987. Tuusulanjärven ja Rusutjärven hoito- ja kunnostusmahdollisuudet. Pro gradu -työ. Helsingin yliopiston limnologian laitos. 144 s.

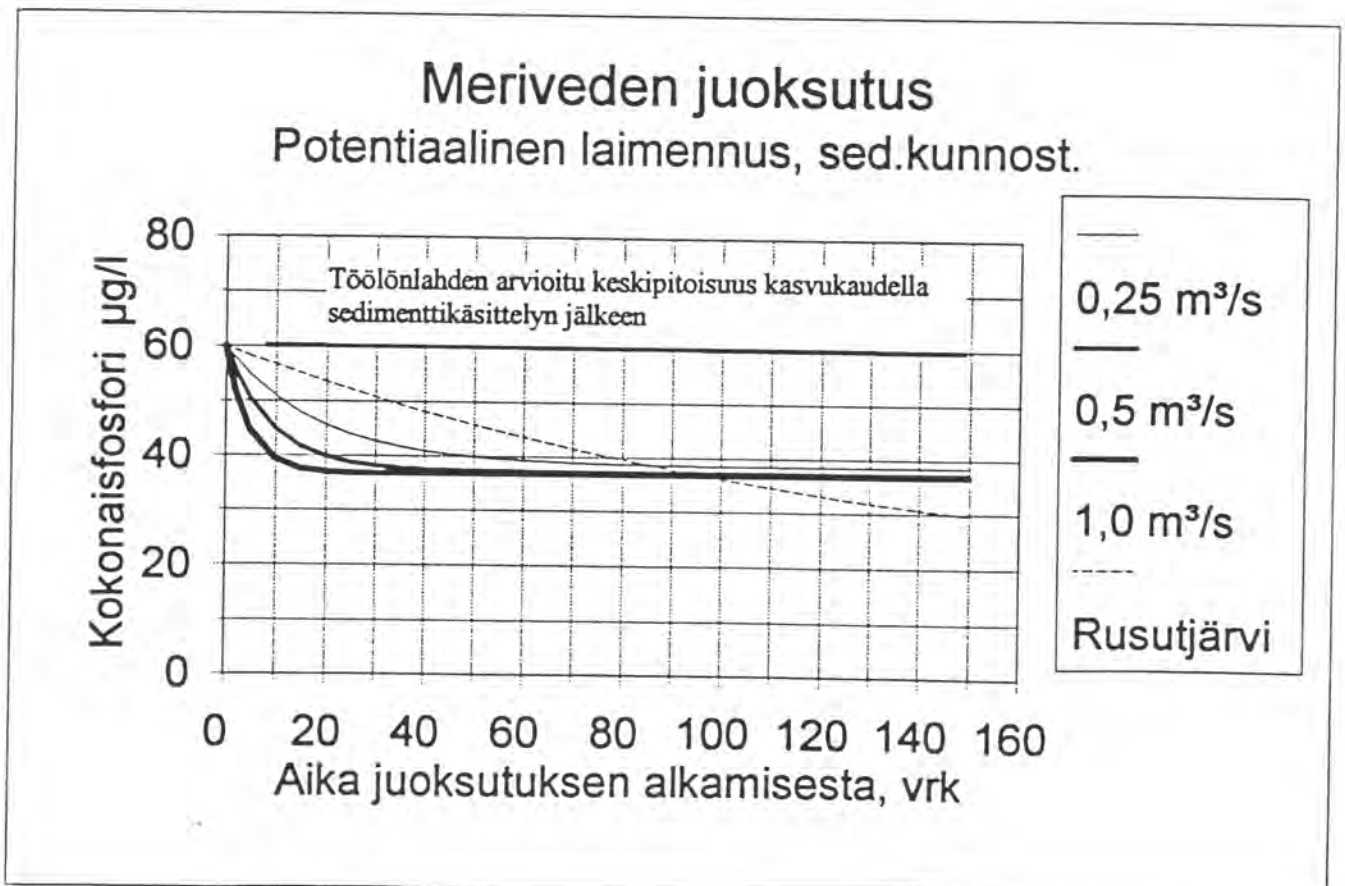
Sommarlund, H. 1996. Sedimentin käsittely kemikaaleilla ja niiden vaikutus sedimentin kaasuntuotantoon ja fosforin vapautumiseen - kohteena Töölönlahti ja Tuusulanjärvi. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, prosessi- ja materiaalitekniikan osasto, kemiantekniikan laitos. 86 s + 3 liit.

Suunnittelukeskus Oy 1992. Töölönlahden kuormitusselvitys. Helsingin kaupungin vesi- ja viemärilaitos. Toukokuu 1992.

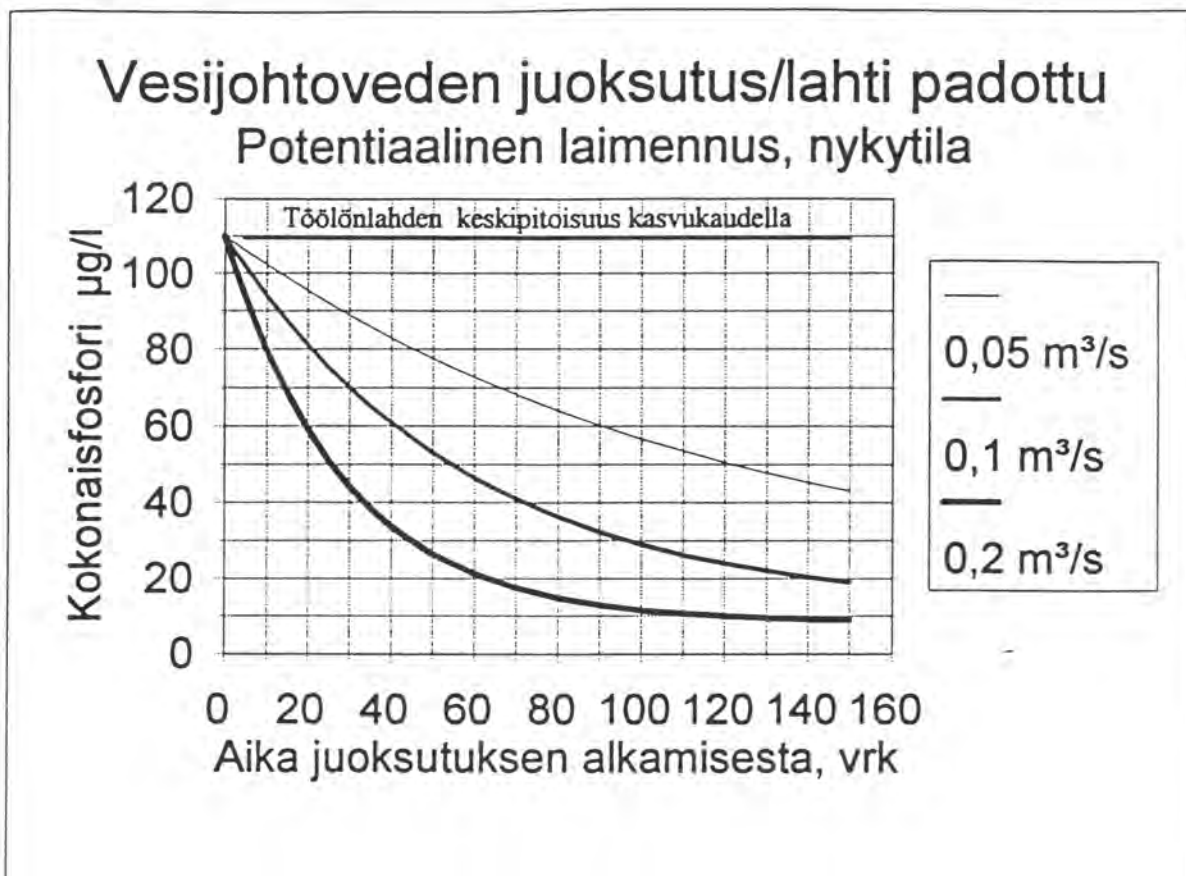
Kuva 1



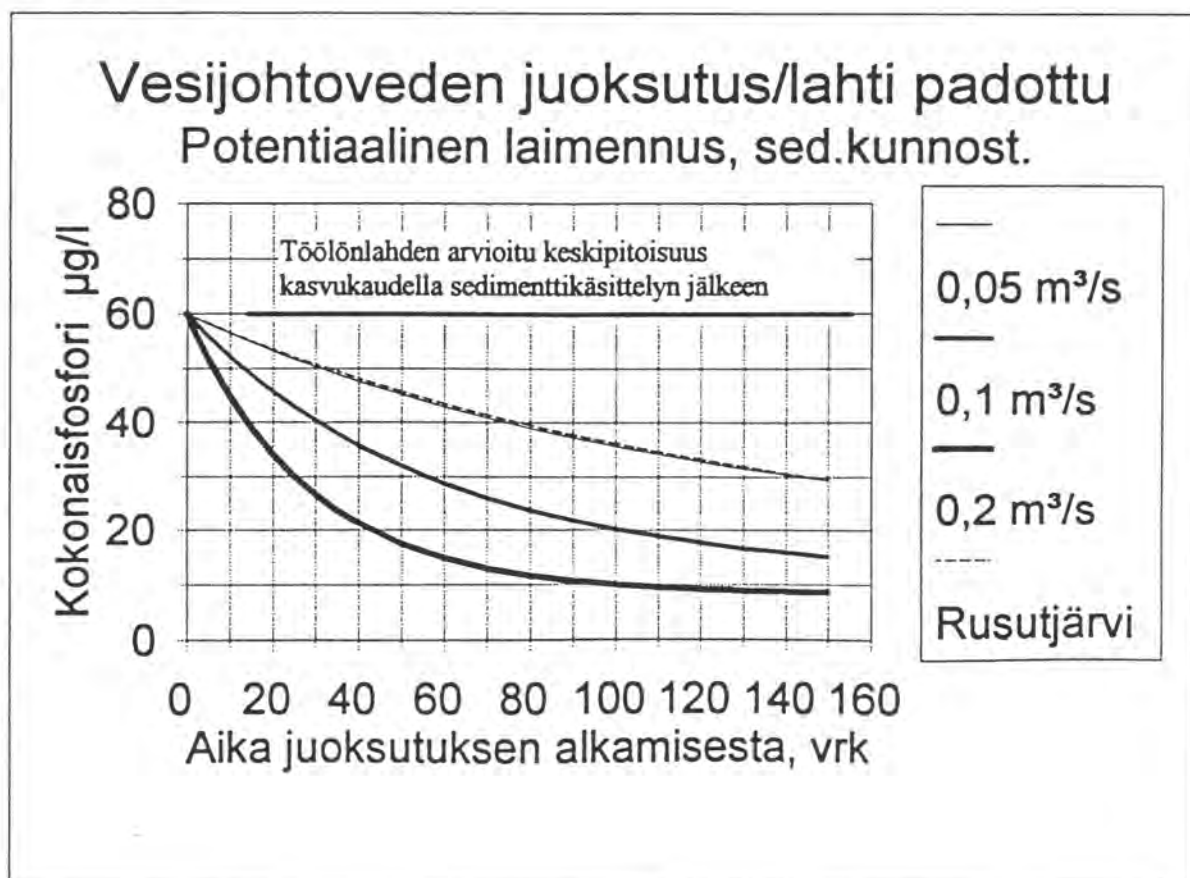
Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4



HELSINGIN KAUPUNGIN
YMPÄRISTÖKESKUS
Helsinginkatu 24
00530 HELSINKI

KUVAILULEHTI

Tekijä(t) Pekka Kansanen ja Tapio Norha			
Nimike Sedimentin kemikalioidinnin ja lisäveden johtamisen vaikutus Töölönlahden veden laatuun			
Julkaisija	Julkaisuaika	Sivumäärä	Liitteet
Helsingin kaupungin ympäristökeskus	1996	14	2
Sarjan nimike		Osanumero	
Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja		5/96	
ISSN-numero 1235-9718	Kieli		
ISBN-numero 951-772-853-0	Koko teos	Tiivistelmä	Taulukot
	fin	fin, swe	Kuvatekstit
Avainsanat vesistöjen kunnostus, sedimentti, veden laatu, Töölönlahti, Helsinki			
UDK			
Lisätietoja: Pekka Kansanen, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinginkatu 24 00530 Helsinki puh. 73121*			

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1995

1. Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus
2. Huokoskaasu maaperän ja pohjaveden saastuneisuuden kuvaajana
3. Kosteus- ja homevaurioista helsinkiläisissä päiväkodeissa
4. Leivosten laatu ja myyntiolosuhteet myymälöissä
5. Koululounaan ravintosisältö ja laatu Helsingissä 1989 - 1993
6. Ryömintätilaisten alapohjien kosteus- ja homevauriot
7. Terveystieteiden toimipisteiden jätehuolto, 2. uudistettu painos
8. Sairauksien esiintyvyys homeille altistuneilla koululaisilla

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1996

1. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet ulkoilmassa Helsingissä
2. Öljy-yhdisteiden biologinen hajoaminen ja saastuneen maan biosaneeraus
3. Helsingin ja Espoon merialueiden veloitettarkkailu vuonna 1995
4. Altistuminen typpidioksidille, hiilimonoksidille ja bentseenille Helsingin jäähallissa
5. Sedimentin kemikalioinnin ja lisäveden johtamisen vaikutus Töölönlahden veden laatuun

Julkaisujen tilaus:

ympäristökeskuksen neuvonta

Helsinginkatu 24, 00530 HELSINKI

puh. 7312 2730, fax 7312 2235

ISSN 1235-9718

ISBN 951-772-853-0
