



Helsingin kaupungin

ympäristökeskuksen julkaisuja

1/95

# Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus



Pekka Kansanen, Tapio Norha, Lauri Pesonen ja Tapio Riiheläinen  
Helsinki 1995

Kannen kuva: ympäristökeskuksen kuva-arkisto  
Julkaisu on painettu sataprosenttiselle uusiopaperille.

Pekka Kansanen, Tapio Norha, Lauri Pesonen ja Tapio Riiheläinen

# Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus

## SISÄLLYSLUETTELO

	Tiivistelmä	1
	Sammandrag	2
1.	Johdanto	3
2.	Tutkimusalue	4
3.	Menetelmät ja aineisto	8
	3.1. Sedimenttinäytteenotto	8
	3.2. Sedimentaatiomittaukset	9
	3.3. Ravinteiden uuttumiskokeet	9
4.	Tulokset	11
	4.1. Luotaushavainnot ja profiilien ulkonäkö	11
	4.2. Sedimenttien analyysitulokset	14
	4.3. Sedimentaatiotulokset	16
	4.4. Uuttumiskokeen tulokset	18
5.	Arvio Töölönlahden sisäisestä kuormituksesta	19
6.	Johtopäätökset	20
7.	Esitys jatkotoimenpiteiksi	21
8.	Kirjallisuus	22

## *Tiivistelmä*

Töölönlahden kunnostus on ollut pitkään esillä eri hallintokuntien teettämässä suunnitelmassa ja valtuustoaloitteissa. Töölönlahden kunnostaminen nykyisestä käyttökelpoisuusluokasta välttävä luokkaan hyvä tai vähintään tyydyttävä, mikä mahdollistaisi nykyistä vaativamman virkistyskäytön, on nähty yleisesti tärkeäksi tavoitteeksi.

Ympäristökeskuksen tutkimuksissa selvitettiin kesällä 1994 laboratorio- ja kenttäkokein Töölönlahden pilaantuneen pohjasedimentin kuntoa lahden eri osissa ja eri kerroksissa. Pohjan aiheuttamaa ns. sisäistä kuormitusta veteen arvioitiin perustuen kenttämittauksina tehtyyn pohjaan laskeutuvan kiintoaineen määrään ja laboratoriokokein määritettyyn pohjasta liukenevan fosforin vapautumisnopeuteen. Sedimentin merkitystä Töölönlahden tilaan on selvitetty puutteellisesti aikaisemmissa tutkimuksissa.

Tulokset osoittivat, että Töölönlahden pohja on 1 m vesisyvyyden alapuolella pehmeätä saviliejua, jonka pintakerroksessa näkyy selvästi n. 1 m paksuudelta ihmisen toiminnan pilaava vaikutus mustana värityksenä, korkeina liukoisen fosforin pitoisuuksina ja rikkivedyn hajuna. Pintaosiltaan kerrostuma on jonkin verran parempikuntoinen kuin tason -0,5 m alapuolella. Tämä osoittaa tilanteen jonkin verran parantuneen pahimman jätevesikuormituksen jälkeen .

Töölönlahden sedimenteistä vapautuu runsaasti ravinteita myös veden ollessa hapellinen . Karkeasti voitiin arvioida tämän sisäisen kuormituksen suuruudeksi n. 2200 kg fosforia vuodessa. Verrattuna ulkoiseen kuormitukseen (n. 35 kg P/a) tämä on täysin hallitseva.

Töölönlahti mataloituu sedimentaation johdosta syvännealueella (maksimisyvyys 2,5 m) melko nopeasti 0,75 cm vuosivauhdilla. Sadassa vuodessa lahti madaltuu siten 75 cm ottamatta edes huomioon maan kohoamista.

Tulokset viittaavat vahvasti siihen, että aikaisemmin esitetyt kunnostusmenetelmät, meriveden johtaminen Helsingin länsipuolelta viemäritunnelia pitkin tai vesijohtoveden johtaminen lahteen, eivät yksinään riitä parantamaan lahden tilaa riittävän nopeasti ja riittävälle tasolle ainakaan silloin, kun tavoitteena on vaativa virkistyskäyttö. Pilaantunut sedimentti jarruttaa tilan paranemista vuosikausia. Sen vaikutus on erityisen selvä kesällä, jolloin toisaalta virkistyskäyttötarve on suurin.

Kunnostuksen tulee perustua aluksi sedimentin käsittelyyn, joka sitoo tai poistaa pilaantuneen kerroksen ravinteita, ja sen jälkeen toteutettuun vedenvaihtoon, jota ilman ei missään tapauksessa saada aikaan pysyviä tuloksia. Myös veden vaihto Töölönlahden ja Kaisaniemenlahden välillä on tällöin syytä estää.

Tutkimuksessa esitetään suoritettavaksi käytännön kenttäkokeet soveltuvan sedimentin käsittelymenetelmän (kemiallinen käsittely, ruoppaus) ja siihen yhdistetyn laimennusveden käytön valitsemiseksi.

### *Sammandrag*

Restaureringen av Tölöviken har redan länge varit aktuell i planer som uppgjorts av olika förvaltningar och i fullmäktigemotioner. Om man utgår från brukbarheten klassas Tölöviken i dag som försvarlig. Ett allmänt omfattat mål är att viken skall restaureras och komma upp i klassen god, som gör krävande rekreation möjlig.

Miljöcentralen utredde sommaren 1994 genom laboratorie- och fältundersökningar i hurdant skick det förorenade bottensedimentet i Tölöviken är. Prover togs i olika delar av viken och från sedimentets olika skikt. Den s.k. interna belastning på vattnet som botten förorsakar bedömdes genom mätningar av mängden fasta ämnen som sjunker till botten och genom laboratorieanalyser av hur snabbt de i botten förekommande näringsämnen, fosfor och kväve, löser sig. Sedimentets betydelse har i tidigare undersökningar utretts bristfälligt.

Vid undersökningen framkom att Tölövikens botten 1 m under vattendjupet består av mjukt lerslam. Cirka 1 m av det översta slamskiktet uppvisar tydliga spår av mänsklig förorenande påverkan. Detta tar sig uttryck i svartfärgning, höga halter av löslig fosfor och svavelvätelukt. Ytskiktet är i något bättre skick än den del av skiktet som ligger under nivån -0,5 meter. Detta visar att situationen förbättrats något efter den värsta avloppsvattenbelastningen.

Rikliga mängder näringsämnen frigörs ur Tölövikens sediment också då vattnet är syrerikt. Grovt beräknat uppgår denna interna belastning till ca 2 200 kg fosfor om året. Den interna belastningen är helt dominerande om man beaktar att belastningen utifrån utgör endast ca 35 kg P/år.

Vattendjupet inom det djupaste området (maximidjup 2,5 m) minskar snabbt med en takt av 0,75 cm om året. Utan att räkna med landhöjningen uppgrundas viken därmed med 75 cm på hundra år.

Resultaten talar tydligt för att de tidigare föreslagna restaureringsmetoderna, som gick ut på att man längs en avloppstunnel skulle leda in havsvatten från området väster om Helsingfors eller att man skulle tillföra viken vattenledningsvatten, ensamma inte räcker till för att förbättra tillståndet tillräckligt snabbt och till en tillräcklig hög nivå, i synnerhet om målet är krävande rekreativ bruk. Det förorenade sedimentet bromsar upp reningsprocessen under årtal framåt. Effekterna är påtagliga i synnerhet på sommaren, då behovet att få använda området för rekreation är som störst.

Restaureringen bör börja med en behandling av sedimentet, där näringsämnen i det förorenade skiktet binds eller helt och hållet avlägsnas. Därefter blir det aktuellt med vattentillförsel, en åtgärd utan vilken bestående resultat överhuvudtaget inte kan nås. I samband därmed är det också skäl att förhindra vattenbyte mellan Tölöviken och Kajsaniemiviken.

I utredningen föreslås att praktiska fältundersökningar utförs för att man skall kunna finna en lämplig metod för behandling av sedimentet (kemisk behandling, muddring) och kunna välja vattentillförselform.

## 1 Johdanto

Ydinkeskustassa sijaitsevaa Töölönlahtea voidaan sanoa hyvällä syyllä Helsingin keskeisimmäksi vesialueeksi. Nykyisin lahti on aikaisemman raskaan jätevesikuormituksen jäljiltä edelleen voimakkaasti rehevöitynyt ja sen veden laatu on välttävä. Töölönlahden vesiympäristö parantaisi kunnostettuna oleellisesti kaupunkikuvaa ja Töölönlahti voisi muodostua Helsingin hyvän kaupunkiympäristön symboliksi, jolla olisi myös tärkeä merkitys luotaessa kansainvälisesti Helsinki-kuvaa.

Töölönlahden alueen tulevan käytön kannalta nykyisin erittäin rehevän lahden kunnostaminen on useissa yhteyksissä todettu tärkeäksi tavoitteeksi. Kaupunkisuunnitteluviraston laatiessa Kamppi - Töölönlahti osayleiskaavaa, se tilasi konsultilta Töölönlahden vedenlaadun parantamisvaihtojen teknisen selvityksen (Viatek 1989). Työn pohjalta kaupunkisuunnittelulautakunta (1989) teki kaupunginhallitukselle ehdotuksen veden laadun parantamiseen tähtäävistä toimenpidevaihtoehdoista.

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

Kaupunginhallitus pyysi asiasta lausuntoa hallintokunnilta. Terveyslautakunnan valvontajaosto (1990) sekä ympäristönsuojelulautakunta (1990) antoivat asiaa puoltavan lausunnon. Viimeksimainittu piti tarpeellisena myös lahden pohjaa peittävän huonokuntoisen sulfidiliejukerroksen peittämistä hiekkakerroksella rehevöittävän liejun eristämiseksi vesimassasta. Sedimentin ruoppausta pidettiin kalliina ja teknisesti hankalana toteuttaa.

Helsingin vesi- ja viemärilaitos (nykyisin vesilaitos) teetti konsulttityönä toukuussa 1992 valmistuneen Töölönlahden kuormitusselvityksen (Suunnittelukeskus Oy 1992). Selvityksessä arvioitiin lahteen kohdistuva kokonaiskuormitus ja mahdollisuudet eri lähteiden (hule- ja valumavedet, laskeuma ilmasta, pohjan aiheuttama 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 pumppausta Seurasaarenselältä ja uutta mahdollisuutta käyttää laimennusvetenä puhdistettua vesijohtovettä, joka on peräisin Päijänteestä. Tämän mahdollistaisi vedenkulutuksen voimakas vähentyminen ja siitä johtuva tarve huuhdella vesijohtoverkostoa. Teknis-taloudellisessa vertailussa pidettiin jälkimmäistä vaihtoehtoa toteuttamiskelpoisempänä ja myös halvempänä.

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

Töölönlahden kunnostus nousi kaupunginvaltuustossa keväällä 1994 uudelleen esille 14 valtuutetun aloitteessa, jossa ehdotetaan, 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.

Pohjasedimentin laadusta on tietoja vain vähän (Varmo 1991, Suunnittelukeskus Oy 1992) eikä sedimentin vaikutusta veden tilaan ole tutkittu. Esitetyt arviot perustuvat Rekolaisen (1982) Laajalahden ja Vartiokylänlahden sedimenteillä tekemiin laboratoriotutkimuksiin. Tämän vuoksi ympäristökeskus teki vuonna 1994 lisätutkimuksia Töölönlahden sedimentin laadusta, sen sisältämistä ravinteista ja haitta-aineista sekä arvioi sedimentin aiheuttamaa sisäistä kuormitusta mittaamalla sedimentaatiota ja laboratoriotutkimuksia. Tässä raportissa esitetään suoritettujen tutkimusten tulokset ja tehdään esitys tarvittavista jatkotoimenpiteistä lahden kunnostamiseksi.

## 2

### Tutkimusalue

Töölönlahti sijaitsee keskellä kantakaupunkia asutuksen ympäröimänä. Se on ollut 1800-luvun alkupuolelta sokeritehtaan ja asumajätevesien kuormittama. Jo 1800-luvun lopulta on mainintoja lahden pahanhajuisuudesta ja vuonna 1908 vertasi professori Bergman sinilevien värjäämää vettä raparperikiisseliin.

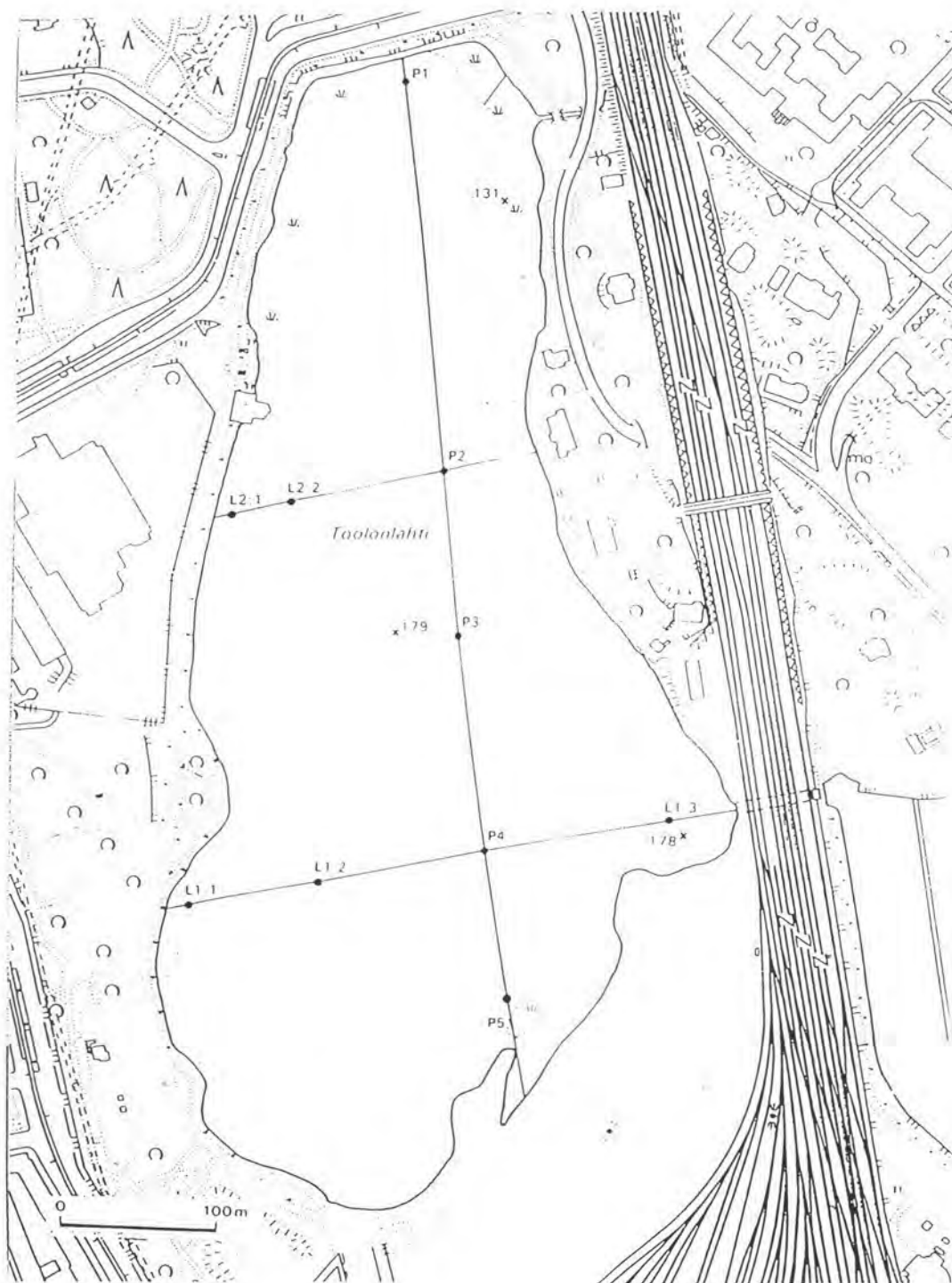
Lahden muodostaa syvä kalliopainauma, jonka pohja on täyttynyt moreenilla ja lajituneilla maalajeilla. Sen rannat ovat loivia lukuunottamatta Linnunlaulun kalliorantoja, jotka syvenevät nopeasti. Lahti on kokonaisuudessaan hyvin matala, syvimmilläänkin paikoilla vettä on vain noin 2,5 metriä. Aivan rannan tuntumassa on kiinteätä sorapohjaa, mutta noin metrin syvyydestä alkaa pehmeä sedimentti. Pohjan ylin kerros on savensekaista liejua, jonka paksuus on lahden pohjoispäässä 1 - 2,5 metriä ja lahden keskiosassa noin 8 metriä.

Lahden pinta-ala on 20,8 hehtaaria ja sen vesitilavuus on noin 380 000 m<sup>3</sup>. Veden vaihtuminen lahdessa on vähäistä. Valuma-alueen pinta-ala on noin 39 ha, kun otetaan huomioon hulevesien viemäröintialueet. Kolmen sadevesiviemärin kautta purkautuvien hulevesien ja putkistojen ulkopuolelta tulevien vesien yhteismääräksi on arvioitu 51 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Pääasiallinen vedenvaihto tapahtuu kuitenkin meren pinnankorkeuden vaihteluiden mukaan Eläintarhanlahdelle noin 6 metriä leveän ja 66 metriä pitkän rautatien alitustunnelin kautta ja sieltä edelleen Kaisaniemenlahden kautta Kruunuvuoren selälle. Töölönlahteen tuleva vesi ei oleellisesti muuta lahden veden laatua, koska suuri osa vedestä liikkuu edestakaisin lahtien sisällä. Koko lahtialueen veden laatu on vesi- ja ympäristöhallituksen luokituksen mukaan arvioitu välttäväksi.

Lahdessa ei ole varsinaisia vesikasveja, mutta matalissa rannoissa varsinkin lahden pohjois- ja kaakkoisosassa kasvaa järviuokoa.



Töölönlahden veden laatua on tarkkailtu pisimpään lahden pohjoisperukassa, jossa oli ns. rantahavaintopaikka. Siinä veden laatuun vaikutti vahvasti mm. Eläintarhan suunnasta tuleva puro. Havaintoja tehtiin vuoteen 1991 asti yleensä kuusi kertaa vuodessa. Vuodesta 1990 lähtien on havaintoja tehty lahden suulla ja lahden keskiosassa (kuva 1). Vuosina 1990-93 havaintoja tehtiin näillä paikoilla 2-6 kertaa vuodessa. Vuonna 1994 näytteenottoa tihennettiin kesä- lokakuussa (yhteensä 17 havaintokertaa).

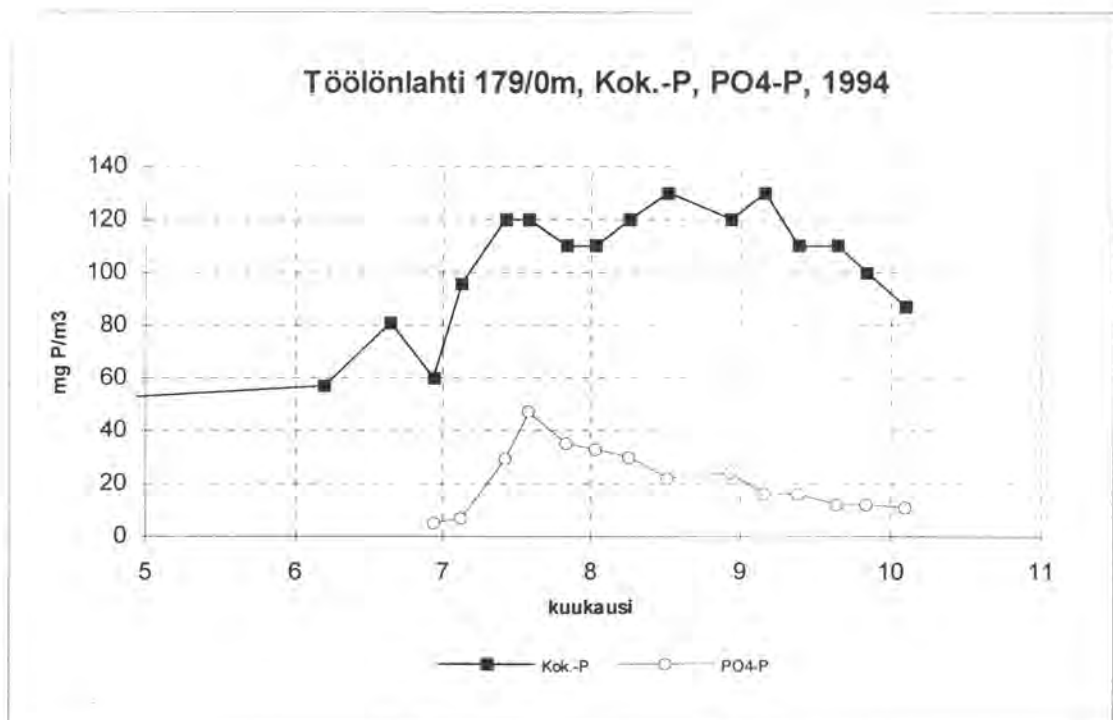


Kuva 1.    x    vesinäyte- ja sedimentaatiohavaintopaikka  
           •    sedimenttinäytepiste  
           —    kaikuluotauslinja

Töölönlahden vesi on murtovettä. Suolapitoisuus oli vuosina 1990-94 lahden keskiosan pintavedessä keskimäärin 4,59 ‰, pohjan lähellä 4,63 ‰, sekä lahden suuosassa 4,62 ‰. Alimmillaankin saliniteetti on ollut vähintään 3 ‰. Vesi ei yleensä ole mainittavasti kerrostunut. Valuma-alueelta tuleva makean veden määrä on liian vähäinen aiheuttaakseen suolaisuuskerrostuneisuutta ja lahden mataluus estää lämpötilakerrostuneisuuden muodostumisen.

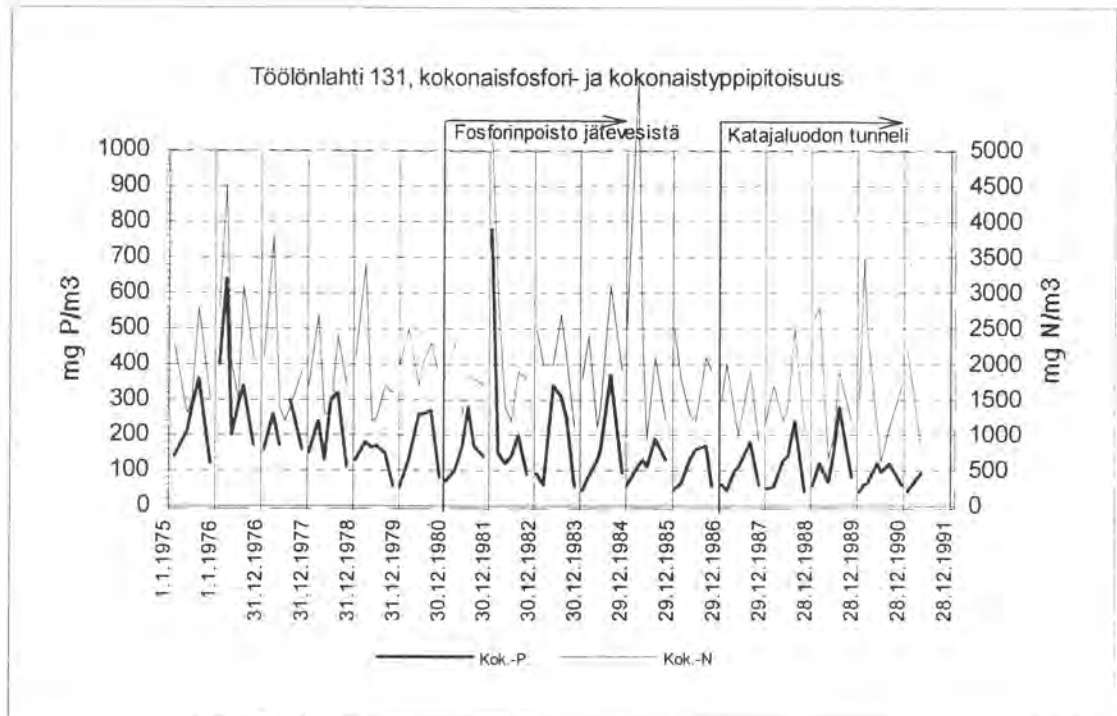
Töölönlahden veden sameus johtuu pohjalietteen sekoittumisesta veteen aallokon vaikutuksesta, suuresta kasviplanktonbiomassasta avovesikautena ja maalta huuhtoutuvasta aineksesta. Vantaanjoen mukanaan tuoma savisamennus vaikuttaa ajoittain voimakkaasti koko lahtialueen veteen. Lahden vesi on sameimmillaan kesäkuusta syyskuuhun (10-25 sameusyksikköä, FTU). Talvella sameus laskee alle 5 yksikön. Tilanne ei ole muuttunut ainakaan 70-luvun puolivälin jälkeen.

Töölönlahden veden fosforipitoisuus on korkea ja vaihtelee hyvin paljon vuodenajasta riippuen. Pitoisuus on yleensä korkeimmillaan kesällä ja alkusyksyllä. Lahden keskiosan pintavedessä kokonaisfosforipitoisuus on vv. 1990-94 ollut keskimäärin noin 90 mg P/m<sup>3</sup> (vaihteluväli 32-130 mg P/m<sup>3</sup>) ja pohjanläheisessä vedessä keskimäärin noin 98 mg P/m<sup>3</sup> (vaihteluväli 33-140 mg P/m<sup>3</sup>). Ortofosfaattipitoisuus oli korkeimmillaan (1994) keskikesällä (noin 50 mg P/m<sup>3</sup>) ja laski lokakuuhun mennessä noin 10 mg/an P/m<sup>3</sup> (kuva 2).



Kuva 2.  
Fosforipitoisuus havaintopaikan 179 pintavedessä kesällä 1994.

Fosforipitoisuus ei ole mainittavasti muuttunut 90-luvulla. Lahden perukassa tehtyjen mittausten mukaan on fosforipitoisuus kuitenkin selvästi alentunut 70- ja 80-lukujen tilanteeseen verrattuna johtuen mm. jäteveden kemiallisesta fosforinpoistosta (kuva 3).



Kuva 3.  
Fosfori- ja typpipitoisuus havaintopaikalla 131 vuosina 1975 - 1991

Myös kokonaistyyppipitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu on suuri. Pitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu (1994) oli noin 600 - 1200 mg N/m<sup>3</sup>. Liukoisia typpisuoloja on vedessä niukasti. Satunnaisten päästöjen yhteydessä saattaa ammoniumpitoisuus olla korkea. Nitraattipitoisuus oli keskikesästä alkaen 15 - 40 mg NO<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>. Kokonaistyyppipitoisuus on jonkin verran alentunut sen jälkeen, kun jätevesien johtaminen ulkosaaristoon aloitettiin vuonna 1986..

Töölönlahti on erittäin rehevöitynyt. Klorofylli a:n pitoisuus oli vuoden 1994 kesälokakuussa keskimäärin noin 45 mg/m<sup>3</sup> (minimi kesäkuussa 22 mg/m<sup>3</sup>, maksimi syyskuun lopussa 69 mg/m<sup>3</sup>). Keskikesästä syyskuun johtuu Töölönlahden veden sameus pääasiassa kasviplanktonin suuresta määrästä.

Töölönlahden vesi on hygieenisessä mielessä laadultaan välttävää (fekaalisten kolimuotoisten bakteerien tiheys heinä-syyskuussa useimmiten yli 100 kpl/100 ml). Bakteeripitoisuuden on arveltu johtuvan suuresta vesilintukannasta.

## 3

## Menetelmät ja aineisto

## 3.1

## Sedimenttinäytteenotto ja -analyysit

Kenttätutkimus aloitettiin 5.7.1994 luotaamalla Töölönlahti Furuno FE-881 II kaikuluotaimella kuvassa 1 esitettyjä yhtä pitkittäistä ja kahta poikittaista luotauslinjaa pitkin. Luotaimen lähettämä matalataajuinen ääniaalto tunkeutuu yleensä pehmeisiin lieju- ja savikerrokseen, jolloin voidaan saada käsitys pohjan kerrostumapaksuudesta ja laadusta. Mikäli pohjassa on kovia aineksia tai esim. metaanikäymisen aiheuttamaa kaasunmuodostusta, kaiku ei pääse tunkeutumaan pintaa syvemmälle. Tällöinkin luotaus auttaa erottamaan erityyppiset pohjat toisistaan. Ajettaessa linjoja vakionopeudella kulkevalla moottoriveneellä, merkittiin poijuin lahden eri osiin ja syvyysvyöhykkeisiin kaikkiaan 9 näytepistettä (kuva 1).

Kustakin näytepisteestä otettiin Limnos-merkkisellä sedimenttinäytteenottimella sedimenttiprofiilit, joiden pituus vaihteli pohjan kovuudesta riippuen 10-50 cm välillä. Yhdestä pisteestä ei saatu näytettä lainkaan pohjan kovuuden vuoksi.

Koska pohjassa näytti olevan mustaa sulfidiliejua paikoitellen huomattavasti paksumalti kuin mihin Limnos-noudin yltää (max. 60 cm), otettiin useimmista pisteistä lisänäytteet pleksiputkella (läpimitta 50 mm), joka painettiin pohjaan käsivoimin. Tavoitteena oli ottaa kustakin pisteestä osanäyte mustan liejuserroksen alapuolelta vanhasta kerroksesta, joka edustaisi teollista toimintaa edeltävää aikaa.

Profiileista viipaloitiin kentällä osanäytteet siten, että kaikista tallennettiin 3 cm paksuinen pintakerros. Pehmeistä profiileista otettiin talteen 5 cm paksuinen osanäyte sulfidiliejuserroksen keskiosista, missä väritys oli voimakkaimmillaan. Lisäksi pyrittiin saamaan "taustanäyte" mustan kerroksen alapuolisesta kerrostumasta, jonka väritys oli yleensä harmaanruskea. Kaikki osanäytteet säilöttiin Minigrip-pusseihin ja pakastettiin välittömästi laboratoriossa.

Koska sulatetuista sedimenttinäytteistä ei saatu edustavia osanäytteitä, ne siirrettiin kvantitatiivisesti posliinimaljoihin haihdutusjäännöksen (TS) määrittämistä varten. Kuivatut näytteet homogenisoitiin kuulamylyllä. Homogenisoiduista näytteistä otettiin osanäytteitä muita määrittämiä varten.

Haihdutusjäännös määritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti.

Hehkutushäviö määritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti.

BOD<sub>7</sub> määritettiin standardia SFS 3019 mukailleen. Punnittiin 200, 400 ja 600 mg näytettä 295 ml:n inkubointiastiaan. Lisättiin astiaan ravinnepitoinen laimennusvesi ja siirros mutta ei ATU-liuosta ja jatkettiin standardin mukaisesti. Tuloslaskentaan valittiin näytteet, joiden happipitoisuus inkuboinnin jälkeen oli 3 - 6 mg/l.

Kokonaistyyppi määritettiin laboratorion käyttämällä sedimentti- ja lietemenetelmällä. Siinä punnitaan 500 mg näytettä Kjeldahlpoltoon ja käsitellään se polton jälkeen autoklaavissa peroksidisulfaatin läsnäollessa. Määrittäminen tehdään automaattisella analyyttorilla nk. kadmiumkolonnimenetelmää käyttäen.

Kokonaisfosfori määritettiin laboratorion käyttämällä sedimentti- ja lietemenetelmällä. Siinä punnitaan 100 mg näytettä ja käsitellään se autoklaavissa peroksidisulfaatin läsnäollessa. Määrittäminen tehdään fotometrisesti ammoniumfosfomolybdaattimenetelmällä.

Vesiliukoinen ortofosfaattifosfori määritettiin punnitsemalla sekoitusastiaan 1000 mg näytettä ja lisäämällä 100 ml vettä. Astioita sekoitettiin 1 tunti koneellisesti ja suodatettiin paperisuodattimella (Schleicher & Schuell mustanauha). Suodoksista määritettiin ortofosfaattifosfori standardin SFS 3025 mukaisesti.

Oksalaattiin uuttuva rauta, mangaani ja alumiini määritettiin punnitsemalla sekoitusastiaan 1000 mg näytettä ja lisäämällä 50 ml oksalaattiliuosta (0,026 mol/l ammoniumoksaalattia + 0,024 mol/l oksaalihappoa, pH n. 2,9). Näytteitä sekoitettiin 1 tunti koneellisesti ja suodatettiin paperisuodattimella (Schleicher & Schuell mustanauha). Suodoksista määritettiin metallit liekki-AAS-tekniikalla standardien SFS 3044, SFS 3046 ja SFS 3047 mukaisesti.

Lisäksi otettiin yhteistyössä Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen tutkijaryhmän kanssa pisteestä P3 lahden keskeltä venäläisellä suokairalla pitkä sedimenttiprofiili, josta saatiin puolen metrin osanäytteet kerroksittain aina 3,5 m syvyyteen saakka sedimentin pinnasta. Maantieteen laitos käyttää profiilia tarkempiin paleoekologisiin tutkimuksiin lahden historiasta. Tähän raporttiin saatiin tietoja sedimenttiprofiilin fosforipitoisuuksista ja raskasmetallipitoisuuksista. Sedimentaationopeuden arvioimiseksi analysoitiin ympäristökeskuksessa myös samasta pisteestä aikaisemmin otetun profiilin cesium-137 pitoisuudet ja tehtiin lyijy-210-menetelmällä ajoitus Eestin tiedeakatemian ekologian instituutissa.

### 3.2

#### Sedimentaatiomittaukset

Vesistössä syntyvä plankton, valumavesien mukanaan tuoma sekä jo pohjalle laskeutunut ja uudelleen veteen suspendoitunut kiintoainekesä muodostavat pohjaan laskeutuvan aineksen. Sedimentaatiomittauksia varten pidettiin kahdella havaintopaikalla Limnos-sedimentaatiokeräimiä 20.6. - 3.10.1994 välisenä aikana. Keräimessä on telineeseen kiinnitetty kaksi pleksilieriötä, joiden halkaisija on 62 mm ja pituus 400 mm. Lieriöt on painotettu alapäästään ja kiinnitetty telineeseen siten, että ne ovat aina pystysuorassa. Telineessä on kellukkeet, jotka pitävät sen koholla pohjaan asetusta ankkurista. Töölönlahdella telineet olivat metrin pohjan yläpuolella hieman alle 2 metriä syvissä näytepisteissä (kuva 1). Näytteitä kerättiin kahden viikon jaksossa paitsi 26.9. -3.10.1994 välisenä aikana.

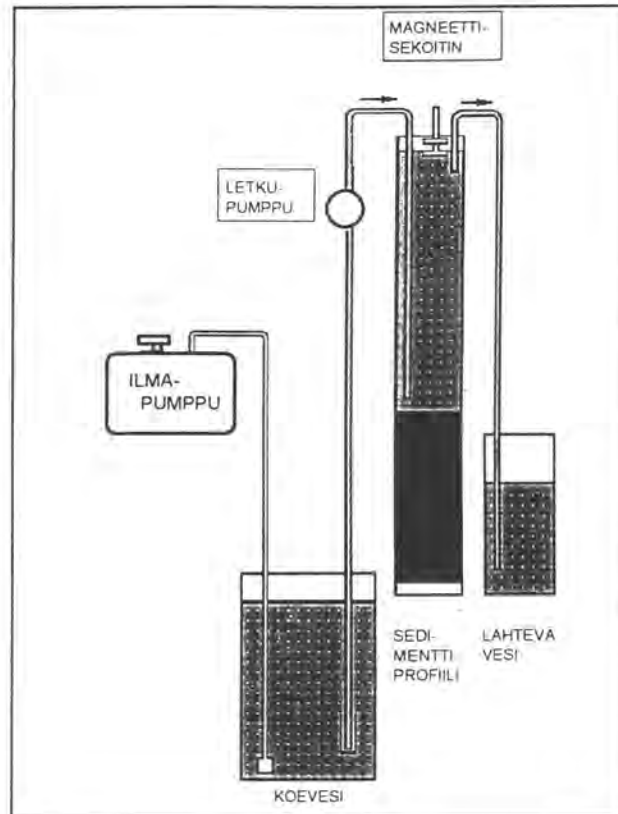
### 3.3

#### Ravinteiden uuttumiskoe

Töölönlahden sedimentistä vapautuvien ravinteiden määrän selvittämiseksi tehtiin laboratoriossa koesarja tarkoitusta varten rakennetulla laitteistolla (kuva 4).

Näytteet otettiin 17.8.1994 keskeltä lahtea sokeritehtaan vanhan viemärin kohdalta Limnos- näyteenottimella siten, että läpinäkyvään 66 senttimetrin pituiseen plek-

siputkeen tuli noin 30 senttimetrin mittainen pintasedimenttikerros. Sedimentin syvemmistä kerroksista (-150 cm ja -300 cm) otettiin näytteet suokairalla, josta ne siirrettiin Limnos-noutimen putkiin. Putket suljettiin välittömästi muovikansilla ja kuljetettiin koehuoneeseen varoen sedimentin sekoittumista. Niiden kansien läpi asetettiin veden syöttöletku siten että se ulottui lähelle sedimentin pintaa. Poistuvaa vettä varten letku asennettiin hieman kannen alapuolelle. Kannen ylä- ja alapuolelle asetettiin magneettisauvat siten, että moottorin pyörittäessä ylempää magneettia sekoitti kannen alla oleva sauva hitaasti putkessa olevaa vettä. Sekoittimet olivat käynnissä koko kokeen ajan.



Kuva 4.  
Laboratoriokokeissa käytetty laitteisto

Kokeessa käytettiin jokaisesta sedimentistä kahta rinnakkaista putkiparia. Yhteen putkipariin syötettiin letkupumpulla ulkomereltä haettua merivettä ja muihin kolmeen putkipariin tavallista vesijohtovettä noin 0,5 litraa vuorokaudessa. Meriveden pH oli 8,0 - 8,3 ja vesijohtoveden 8,0 - 8,5. Kokeessa käytetyn veden hapen pitoisuus oli kokeen alkuosassa lähes aina yli 8 mgO<sub>2</sub>/l. Viimeisten 14 koevuorokauden aikana yritettiin syöttövedestä poistaa happi, mutta se onnistuttiin laskemaan vain noin 2 - 4 mg O<sub>2</sub>/l. Koehuoneen lämpötila oli +20 °C. Koe kesti 56 vuorokautta.

Laitteiston läpi kulkenut vesi analysoitiin kahdesti viikossa. Näytteistä tehtiin seuraavat määritykset:

pH määritettiin standardin SFS 3021 mukaisesti

Kokonaisfosfori määritettiin hapettamalla näytteen sisältämät fosforiyhdisteet ortofosfaatiksi kaliumpersulfaatilla autoklaavissa (yhteishapetus kokonaistypen kanssa) ja määrittämällä ortofosfaatti sen jälkeen fotometrisesti ammoniummolybdaattimenetelmää käyttäen (vastaa standardimenetelmää SFS 3026).

Kokonaistyyppi määritettiin hapettamalla näytteen sisältämät typpiyhdisteet nitraatiksi kaliumpersulfaatilla autoklaavissa (yhteishapetus kokonaisfosforin kanssa), pelkistämällä sen jälkeen nitraatti nitriitiksi kadmium-kuparikolonnissa ja määrittämällä nitriitti fotometrisesti atsovärireaktiolla SFS 3029 standardimenetelmää vastaten.

Kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi määritettiin yhteismäärityksenä automaattisella analysaattorilla.

Syöttövedestä määritettiin näiden lisäksi liuenneen hapen pitoisuus elektrodimittauksena.

#### 4

#### Tulokset

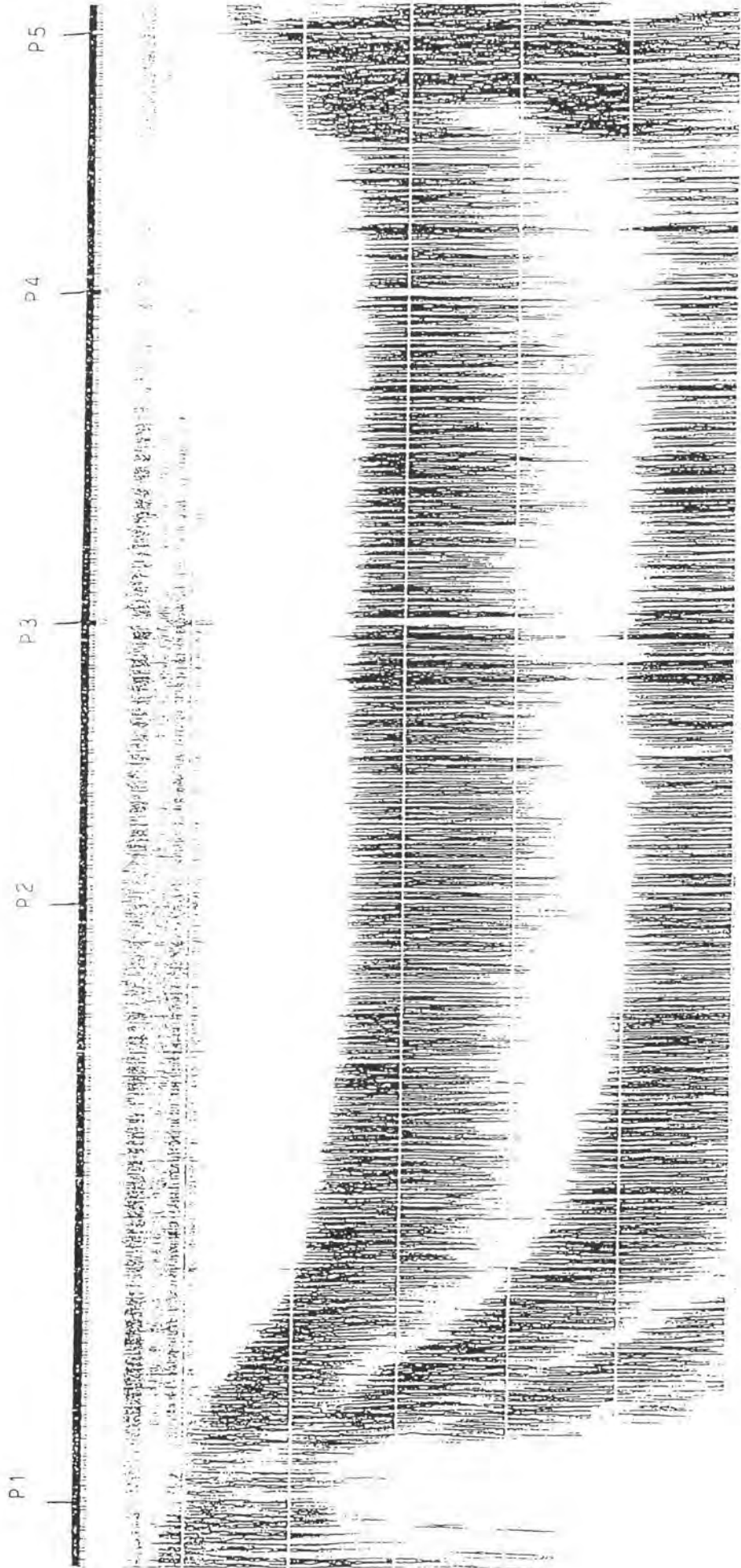
##### 4.1

##### Luotaushavainnot ja profiilien ulkonäkö

Kaikuluotaushavainnot (kuva 5) ja otetut profiilit (kuva 6) yhdessä osoittavat selvästi sen, että Töölönlahdessa esiintyy rantavyöhykkeessä melko kovia hiekkapitoisia savipohjia hieman runsaan metrin vesisyvyydelle saakka. Laskennallinen kriittinen syvyys, joka erottaa eroosiopohjat pehmeistä kulkeutumis- tai kerrostumis- pohjista on lahdessa n. 1 m (Häkanson & Jansson 1983). Rantavyöhykkeen eroosio johtuu pääosin tuulen vaikutuksesta. Kovaa pohjaa tavattiin myös pisteessä L1:3, joka sijaitsee 2,5 m syvyydessä Kaisaniemenlahdelle johtavan tunnelin edustalla, missä edestakainen veden virtaus kuluttaa pohjaa myös syvemmältä.

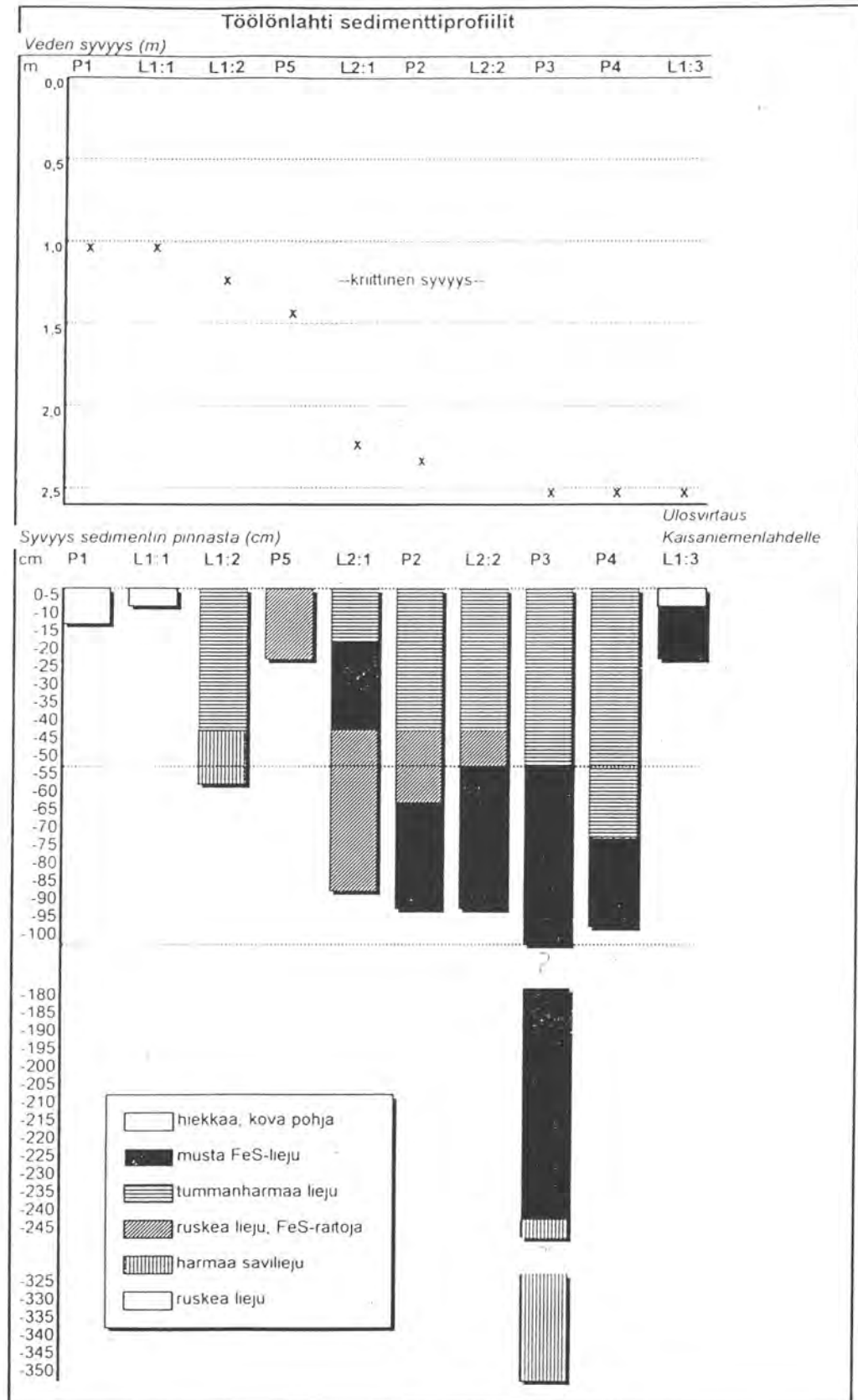
Lahden "syväne" (1,5-2,5 m) on pohjakerrostumiltaan varsin yhtenäinen. Pohjan pintakerroksessa on sulfidiväritteistä harmaanmustaa liejua usean kymmenen senttimetrin paksuudelta. Musta sulfidiväritys, joka ilmentää kerrostuma-aikana vallinnutta hapen puutetta, vahvistuu n. 1/2 m syvyydellä sedimentin pinnasta (kuva 6). Mustan kerrostuman paksuus onnistuttiin mittaamaan vain pisteestä P3, jossa harmaampaa saviliejua alkoi esiintyä vasta n. 2,5 m syvyydeltä alkaen. Kaiku ei ilmeisesti sedimentin kaasunmuodostuksesta johtuen pystynyt tunkeutumaan missään pintaa syvemmälle.

Tulokset osoittavat, että jätevesien vaikutus on ollut lahdessa varsin pitkään erittäin voimakas. Sulfidiliejua on kerrostunut hapenpuutteen vallitessa orgaanisen aineksen kulutettua hapen vedestä ja sedimentin pintakerroksesta. Jätevesivaikutuksen vähentyminen viime aikoina näkyy myös selvästi tumman väriytyksen vaalentumisena sedimentin pintakerroksessa. Sedimentin pinnasta puuttuu kuitenkin terveelle sedimentille tyypillinen ruskea hapettunut kerros.



Kuva 5.  
Töölönlahden pitkittäinen kaikuluotauskuva





Kuva 6.  
Näytepisteiden vesisyvyudet ja sedimentin profiilikuvaukset

## 4.2

## Sedimenttien analyysitulokset

Sedimenttianalyyseiden tulokset on esitetty taulukossa 1. Tulosten tilastollinen käsittely osoitti, että tässä tutkimuksessa tarkasteltu 95 cm paksuinen pintasedimenttikerros on Töölönlahdessa ominaisuuksiltaan varsin yhtenäinen, vaikka hajontaa on melko runsaasti. Selvää sedimentin fysikaalis-kemiallisen laadun muuttumista vesisyvyyden suhteen ei havaittu, ei myöskään sedimenttisyvyyden suhteen. Taulukkoon 2 on koottu sedimentin pintakerroksen (0-3 cm) ja syvemmältä sedimentistä otettujen osanäytteiden keskiarvot.

## Taulukko 1.

## Töölönlahden sedimenttianalyyseiden tulokset

- 1) Haihdutusjäännös (TS), %
- 2) Hehkutushäviö, % TS
- 3) BOD, mg O/kg TS
- 4) Kokonaistyyppi, mg N/kg TS
- 5) Kokonaisfosfori, mg P/kg TS
- 6) Vesiliukoinen ortofosfaattifosfori, mg P/kg TS
- 7) Oksalaattiin uuttuva rauta, mg Fe/kg TS
- 8) Oksalaattiin uuttuva mangaani, mg Mn/kg TS
- 9) Oksalaattiin uuttuva alumiini, mg Al/kg TS

Näyte / määrittäminen	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)
L 12 / 0 - 3	20,2	15,6	6200	8200	1500	33	7100	39	4200
L 12 / 25 - 30	21	14,1	3800	7800	2200	131	2100	32	3800
L 12 / 80 - 85	32,2	11,9	3800	7200	900	24	5000	89	4900
L 21 / 0 - 3	31,8	10,9	3100	6800	1400	35	5300	38	2700
L 21 / 40 - 43	44,3	5,8	1400	3700	1100	65	2500	43	2700
L 22 / 0 - 3	12,4	15,5	6000	7800	1800	30	7900	48	4100
L 22 / 45 - 50	30,5	9,8	5800	6500	1000	17	1390	52	5000
L 22 / 85 - 90	28,8	11,8	5200	6800	1100	28	1260	63	6700
L 13 / 0 - 3	41,2	8	4700	5600	1000	21	1320	47	4800
L 13 / 15 - 20	35,4	11,7	6100	5600	1200	28	1410	65	5000
P 1 / 0 - 3	59,8	5,8	1800	3400	800	37	2400	24	1600
P 2 / 0 - 3	29,3	16,9	7000	8600	1800	27	8800	44	3900
P 2 / 45 - 50	16,4	12,4	3400	7000	1500	44	9200	58	5600
P 2 / 85 - 90	29,4	12,1	6500	6000	1100	17	1460	52	4800
P 3 / 0 - 3	16,4	16,9	7900	7700	1800	37	9000	42	4100
P 3 / 40 - 45	29,4	12	6800	5900	1200	13	1540	56	5300
P 3 / 85 - 90	28,7	11,6	8000	6300	1300	38	1700	63	5200
P 4 / 0 - 5	18,6	16,6	6800	8300	1400	36	7300	39	4400
P 4 / 40 - 45	23	14,3	4400	7900	1300	54	6400	60	6000
P 4 / 90 - 95	28,2	11,4	7500	5900	1300	12	1660	62	4800
P 5 / 0 - 3	20	13,7	5500	6500	1500	49	9500	52	3800

Sedimentin kuiva-ainepitoisuus vaihteli 12-44 % välillä tuorepainosta, mikä viittaa matalalle vesialueelle tyypilliseen karkeamman minerogeenisen aineksen suhteellisen suureen osuuteen sedimentissä. Hyvin hienojakoisen syvänesedimentin kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti sedimentin pinnassa 5-10 %.

Sedimentin hehkutushäviö kuvaa orgaanisen aineen pitoisuutta sedimentissä. Töölönlahdessa taso on melko alhainen, 12-13 % kuiva-aineesta. Vaihtelu oli melko suurta. Pienimmät arvot (5-6 %) analysoitiin hyvin savipitoisesta näytteestä, suurimmat (16-17 %) pintasedimentistä, missä karkean orgaanisen detrituksen osuus oli selvästi havaittavissa.

Kunnostuksen kannalta on oleellista tietää sedimentin hapenkulutuspotentialiaali. Sitä voidaan mitata sekä välittömän hapenkulutuksen avulla, joka ilmentää lähinnä pelkistyneiden kemiallisten yhdisteiden aiheuttamaa hapen kulumista, että biologisen hapenkulutuksen (BOD) avulla, joka pääosin kuvaa mikrobiologisten prosessien aiheuttamaa hapenkulutusta pidemmän ajan kuluessa. Töölönlahdessa BOD oli sedimentissä varsin korkea, keskimäärin yli 5000 mg happea/kg kuiva-ainetta. Korkeimmat arvot olivat lähes 8000 mg/kg. Tässäkään ei havaittu selvää eroa pinnan ja syvempien kerrosten välillä. Lappalaisen & Matinveden (1990) mukaan hyväkuntoisissa järvissä BOD<sub>7</sub> on korkeintaan muutamia satoja mg/kg. Erittäin rehevässä Tuusulanjärvessä mitattiin pintasedimentistä 4000-5000 mg/kg BOD-arvoja (Kansanen 1992). Töölönlahdessa taso näyttäisi olevan siten vielä korkeampi. Sedimentin korkea hapenkulutus aiheuttaa sen, että sedimentin pintaan ei pääse muodostumaan vesimassan hyväntäyttävää happitilanteen aikana eristävää hapettunutta kerrosta, vaan pelkistyneet olosuhteet vallitsevat koko pintakerroksessa. Tällöin ravinteita pääsee vapautumaan tehokkaasti sedimentistä vesimassaan.

Sedimentin kokonaistypen pitoisuustaso oli pintakerroksessa hieman korkeampi (7 g/kg) kuin syvemmillä (6,4 g/kg), joskin hajonta oli melko suurta. Pitoisuustaso on tyypillinen rehevöityneelle savipitoiselle sedimentille.

Toisen rehevöitymisen kannalta tärkeän ravinteen, fosforin, suhteen tilanne on niinkään melko tyypillinen. Kokonaisfosfori, joka kuvaa itse asiassa varsin huonosti sedimentin kykyä kuormittaa sisäisesti vesistöä, vaihteli keskimäärin tasolla 1,3-1,4 g/kg. Tuusulanjärvessä kokonaisfosforipitoisuus on pintakerroksessa 1,6 g/kg, Lahden Vesijärvessä 2-3 g/kg. Myös puhtaana säilyneissä oligotrofisissa järvissä voi pitoisuus olla vastaavaa tasoa. Ratkaisevaa fosforin vapautumisen kannalta on tietää fosforin jakautuminen liukoisuudeltaan erilaisiin fraktioihin. Esim. Tuusulanjärvessä rehevöitymisvaiheen pintakerroksissa helppoliukoisen fosforin osuus oli selvästi kasvanut tausta-arvoihin verrattuna (Kansanen 1992).

Töölönlahdessa pyrittiin mittaamaan helppoliukoisen fosforin osuutta kokonaisfosforista analysoimalla vesiutuinen ortofosfaattifosfori. Keskimäärin sen osuus oli pintakerroksessa n. 2,3 % ja syvemmillä n. 3,1 % kokonaisfosforista. Tuusulanjärvessä oli vastaava osuus pintakerroksessa vain 0,1-0,4 % (Kansanen 1992). Töölönlahden pitoisuustaso oli 30-40 mg P/kg, kun Tuusulanjärvessä analysoitiin keskimäärin 2,4 mg/kg. Mahdolliset erot uutoissa voivat vaikuttaa tuloksiin ja tarkemman kuvan saaminen fosforin helppoliukoisuudesta vaatisi fraktiointianalyysiä. Näyttää kuitenkin siltä, että Töölönlahden sedimentin fosforista huomattavan suuri osa on alusveteen helposti siirtyvää fosfaattifosforia.

Fosforin liukoisuuden kannalta keskeisessä asemassa ovat rauta-, mangaani- ja alumiiniyhdisteet. Sedimentin hapetus-pelkistystila vaikuttaa merkittävästi fosforin sitoutumiseen yhdessä näiden metallien kanssa. Oksalaattiuuton tarkoituksena on analysoida se osa näistä metalleista, jotka osallistuvat aktiivisesti fosforin sitoutumiseen vaikuttaviin reaktioihin.

Oksalaattiuuttoisen raudan pitoisuustaso oli Töölönlahdessa pintakerroksessa keskimäärin 7800 mg/kg, Tuusulanjärvessä 7000-9000 mg/kg. Tuusulanjärvessä syvempien kerrosten pitoisuustaso laski selvästi. Töölönlahdella näyttää käyvän päinvastoin. Korkeimmat pitoisuudet esiintyvät pitkälle pelkistyneessä mustassa liejussa. Mangaanin kohdalla tilanne on vesistöjen suhteen samansuuntainen. Tosin mangaanin pitoisuustaso on Tuusulanjärvessä jonkin verran korkeampi. Oksalaattiuuttoista alumiinia on Töölönlahdessa selvästi suurempina pitoisuuksina kuin Tuusulanjärvessä (pinnan keskiarvot: Töölönlahti 3700 mg/kg, Tuusulanjärvi 1800 mg/kg).

#### 4.3

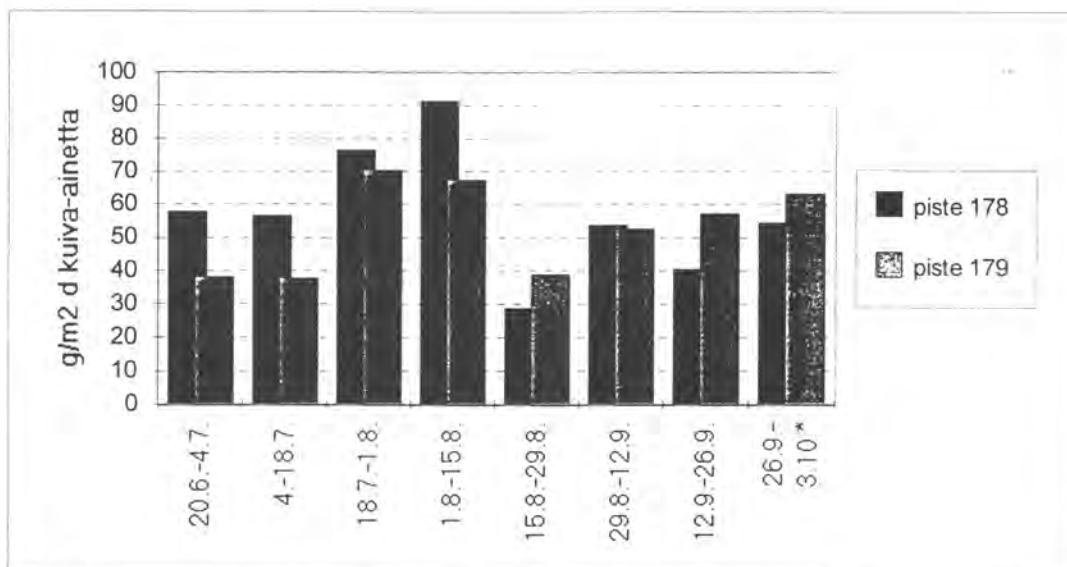
##### Sedimentaatiotulokset

Vajoavan orgaanisen aineen määrä riippuu vesialueen kasviplanktonituotannosta. Varsinkin matalissa vesissä aallokon vaikutuksesta veteen sekoittuu pohjalta aikaisemmin sedimentoitunutta ainetta.

Töölönlahdella suoritetuissa mittauksissa oli sedimentoituvan aineen määrä koejakson (20.6.-3.10.) aikana keskiarvona laskettuna n 55 g/m<sup>2</sup>/d. Tämän mukaan laskettuna on sedimentoituvan aineen määrä lahdella avovesikautena lähes 6 000 kg päivässä. Tällöin on kysymys ns. bruttosedimentaatiosta, jonka suuruus selittyy sillä, että rehevässä matalassa merenlahdessa pohjan resuspendoituminen on erityisen voimakasta. Arvioitaessa bruttosedimentaation määrää vuositasolla on otettava huomioon, että jääpeitteisen ajan arvot ovat oleellisesti avovesikautta pienemmät. Kun oletetaan Lappalaisen (1994) mukaan jääpeitteisen ajan tason olevan 10 % avovesikauden arvoista, päästään vuosikeskiarvoon 11,9 kg/m<sup>2</sup>/a. Tämä on samaa tasoa kuin erittäin rehevässä Tuusulanjärvessä (10-13 kg/m<sup>2</sup>/a, Kansanen 1992). Jos oletetaan sedimentoituvan aineen fosforipitoisuudeksi sama kuin pintasedimentin, em. kuiva-ainesedimentaation määrä vastaa fosforin bruttosedimentaatiota 15,8 g/m<sup>2</sup>/a.

Bruttosedimentaation määrä eri jaksoina on esitetty kuvassa 7. Sedimentaatiomaksimi näyttää olevan heinä-elokuun taitteessa, jonka jälkeen taso putoaa. Havainto sopii hyvin yhteen Tuusulanjärvellä havaitun kanssa. Rehevissä vesissä bruttosedimentaatio kiihtyy korkean lämpötilan ja hapenvajauksen vallitessa sedimentin pinnassa. Todennäköisenä syynä on mikrobiologisen toiminnan kiihtymisen aiheuttama kaasunmuodostus, joka aiheuttaa nosteen sedimentin kiintoaineelle. Tällöin tuuli pääsee helposti resuspendoimaan sedimenttiä. Muutoin tuulen vaikutus on ratkaiseva matalissa vesissä kuten Töölönlahti.

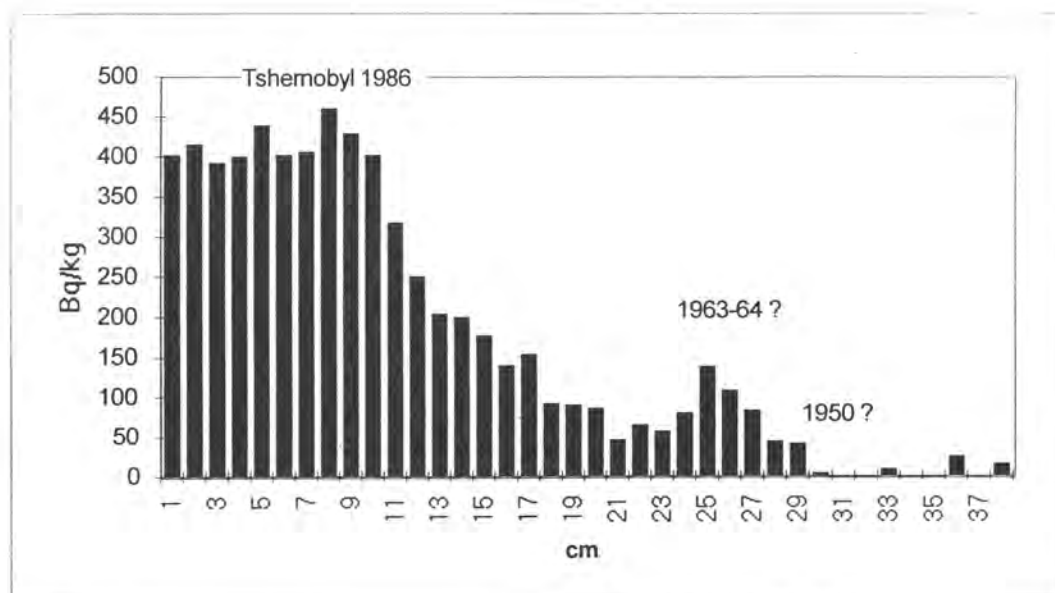
Sitä osaa bruttosedimentaatiosta, joka jää pysyvästi sedimenttiin sanotaan nettosedimentaatioksi. Sen suuruutta pyrittiin arvioimaan pisteestä P3 tehdyillä iänmääritysanalyysillä. Tehty Pb-210 analyysi osoitti, että lahdella ei ole edellytyksiä käyttää tätä menetelmää luotettavaan iänmääritykseen. Menetelmä perustuu oletukseen, jonka mukaan sedimentissä ei esiinny juurikaan vertikaalista sekoittumista. Tämä oletus ei pidä paikkaansa Töölönlahdessa.



Kuva 7.

Kuiva-aineen bruttosedimentaation vaihtelu Töölönlahdella kahden viikon jaksoina (viimeinen jakso 1 vko) avovesikaudella 1994 kahdessa näytepisteessä.

Ydinkokeista ja viimeksi Tshernobyl-onnettomuuden seurauksena myös Helsingin alueelle tuli radioaktiivista laskeumaa, jonka ajallinen jakauma tunnetaan. Kuva 8 osoittaa, että cesium-137 nuklidia esiintyy profiilissa P3 ylimmän 30 cm matkalla. Tasolla -25 cm esiintyy lievä huippu, joka voi olla peräisin 1960-luvun alun ydinkokeista. Pinnan voimakas kohoaminen johtuu Tsernoby-laskeumasta. Profiili viittaa samalla melko voimakkaaseen kerrosten sekoittumiseen. Olettamalla taso -25 cm n. 30 vuotta vanhaksi, voidaan viime vuosikymmenten nettosedimentaatioksi arvioida  $4,3 \text{ g/m}^2\text{d}$  kuiva-ainetta, mikä vuositasolla merkitsee  $1,6 \text{ kg/m}^2\text{a}$  (n.  $15,8 \text{ g kok.-P/m}^2\text{ a}$ ). Nettosedimentaation taso on siten vain kymmenesosa bruttosedimentaatiosta. Tuusulanjärven vastaava osuus oli suurempi, n. 40 %. Matalassa Töölönlahdessa on pohjan sekoittuminen veteen siten erittäin voimakasta.



Kuva 8.

Cesium-137 nuklidin pitoisuus profiilissa P3

Em. nettosedimentaatio merkitsee sedimentin paksuuskasvuna n. 0,75 cm/a. Töölönlahti madaltuisi siten tällä vauhdilla sadassa vuodessa 75 cm ottamatta huomioon maan kohoamista.

Lisätukea em. laskelmille saadaan myös maantieteen laitoksen paleolimnologisista tuloksista (Tikkanen, suull.ilm.) profiilista P3. Ihmistoiminnasta peräisin olevien raskasmetallien kuten kuparin, lyijyn ja kadmiumin pitoisuustaso alkaa kohota ylimmän 0,8 m matkalla. Kokonaisfosforin taso kohoaa nopeasti taustasta (n. 600 mg/kg) tasolle 800 mg/kg ka tasolla -80 cm. Siten voidaan päätellä Töölönlahden ihmistoiminnan selvästi pilaaman sedimenttikerroksen vahvuudeksi n. 80 cm. Tämän kerroksen iäksi voidaan sedimentin kokoonpuristuminen huomioon ottaen arvioida karkeasti 100-150 vuotta. Havainto sopii hyvin yhteen historiallisten tietojen kanssa. Sokeritehdas aloitti toimintansa Töölössä 182 vuotta sitten ja ensimmäinen kunnallinen viemäri rakennettiin n. 120 vuotta sitten.

#### 4.4

##### Uuttumiskokeen tulokset

Koejakson alussa irtosi fosforia vesijohtovedellä käsitellystä pintasedimentistä hitaammin kuin merivedellä käsitellystä, mutta kokeen aikana irronneet fosforin kokonaismäärät olivat hyvin lähellä toisiaan (kuva 9). Syöttöveden hapen pitoisuuden aleneminen nosti merivesikokeessa irronneen fosforin määrää. Koejakson aikana irtosi vesijohtovesikokeessa yhteensä 730 mg fosforia laskettuna neliometriä kohden ja merivesikokeessa 770 milligrammaa. Keskimäärin vuorokaudessa irtosi vesijohtokokeessa 13 milligrammaa ja merivesikokeessa 13,7 milligrammaa neliometriä kohti.

Samassa koesarjassa tutkittiin myös eri sedimenttikerrosten kykyä vapauttaa fosforia (kuva 9). Tarkasteltaessa koko koejaksoa vapautui fosforia eniten häiriintymättömästä vertailuprofiilista. Parhaan tuloksen antoi -150 cm tasolle saakka "ruopattu" profiili, jonka vapauttama fosforimäärä on koejakson aikana vain n 10 % käsittelemättömästä. Vapautumisnopeus säilyi myös hyvin vakaana koko kokeen ajan. Tasolle -300 cm ruopattu profiili antoi sensijaan ristiriitaisia tuloksia. Ensimmäisen kolmen viikon aikana siitä vapautui selvästi eniten fosforia. Tämän jälkeen tapahtui selvä hidastuminen, mutta kuitenkin ero -150 cm profiiliin säilyi koko ajan.

Em. tulos ei yksiselitteisesti tue käsitystä siitä, että pilaantuneen pintakerroksen ruoppaus välttämättä johtaa nykyistä oleellisesti parempaan tilanteeseen. Asian luotettavampi selvittäminen edellyttäisi kenttäolosuhteissa toteutettua pidempiaikaista koetta.

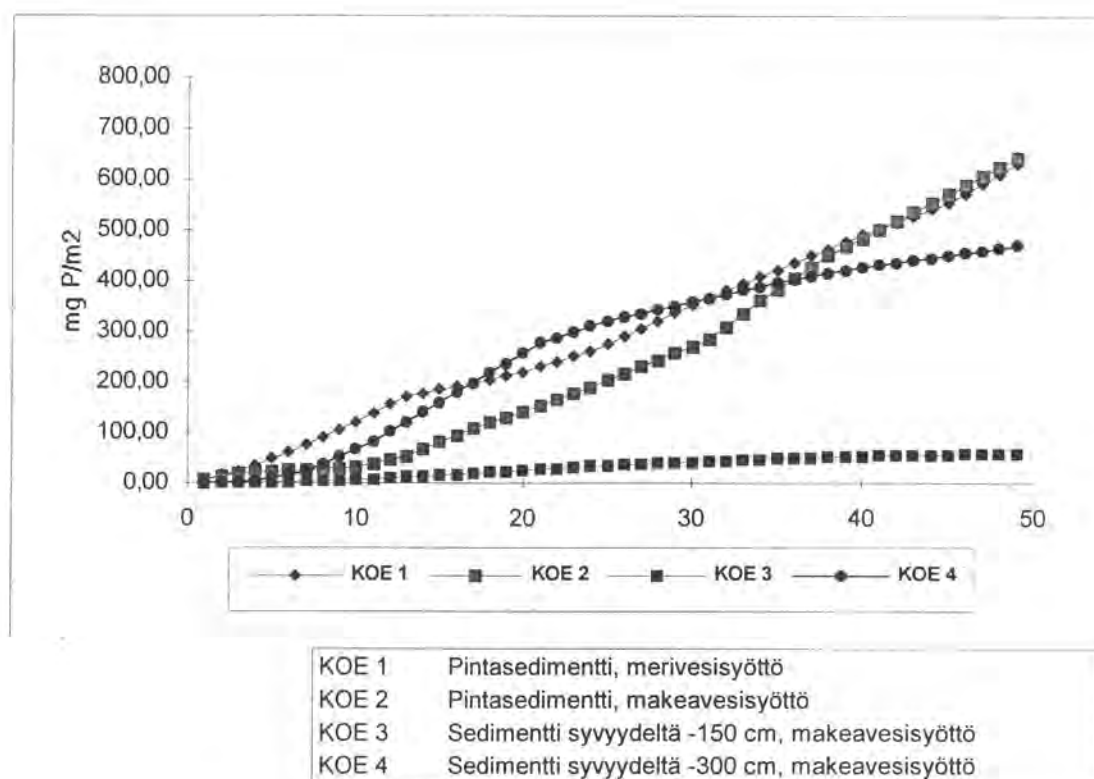
Sedimenttikokeiden vertaaminen keskenään on hyvin epävarmaa, sillä erilaiset koejärjestelyt ja olosuhteet voivat vaikuttaa saataviin tuloksiin. Tuusulanjärvellä suoritettavat kokeet (Pilke 1992, Kansanen 1994) on kuitenkin tehty samankaltaisella laitteistolla ja erittäin rehevänä pidetyn järven pohjasedimentistä vapautuvat fosforimäärät ovat samaa suuruusluokkaa kuin tässä kokeessa saadut tulokset. Sedimentin paksuudesta ja sen ravinnepitoisuuksista riippuu, kuinka kauan ravinteita irtoaa sedimentistä ja kuinka syvältä niitä siirtyy pinnan läheisiin kerroksiin. Ilman pidempiaikaisia kokeita on hyvin vaikea lähteä ennustamaan, miten eri toimenpiteet vaikuttavat fosforin vapautumiseen pitkällä aikavälillä.

5

Arvio Töölönlahden sisäisestä kuormituksesta

Töölönlahden typpi- ja fosforikuormitukseksi arvioitiin aikaisemmin 1120-2480 kg N/a ja 145-875 kg P/a (Suunnittelukeskus Oy 1992). Sisäisen kuormituksen arvio perustui Rekolaisen (1982) Laajalahdella ja Vartiokylänlahdella tekemiin kokeisiin. Riippuen happitilanteesta typpikuormitukseksi arvioitiin 740 (hapellinen) tai 2100 kg/a (hapeton). Vastaavat luvut fosforin osalta olivat 110 ja 840 kg/a. Siten sisäinen kuormitus arvioitiin täysin määrääväksi lahden tilan kannalta.

Nyt koottu aineisto antaa mahdollisuuden arvioida edellistä tarkemmin Töölönlahden sisäistä kuormitusta kahta tietä, sedimenttikokeen ja ravinnetasearvion avulla.



Kuva 8.  
Fosforin vapautuminen sedimenttikokeissa.

Ravinnetasetarkastelu on tässä tehty Lappalaisen (1994) esittämällä tavalla vuositasolla suuresti yksinkertaistaen. Havainnot eivät anna mahdollisuutta tarkempaan kuukausittaiseen tai edes vuodenajoittaiseen tarkasteluun. Laskennassa käytetyt lähtöoletukset on esitetty taulukossa 3. Sisäisen kuormituksen suuruusluokaksi voidaan arvioida taseen perusteella karkeasti 2200 kg fosforia Töölönlahteen vuodessa. Vertailun vuoksi todettakoon, että Tuusulanjärvessä sisäisen kuormituksen arvioitiin olevan 11 mg P/m<sup>2</sup>/d (Töölönlahti 43 mg P/m<sup>2</sup>/d).

Toinen tapa arvioida sisäinen kuormitus on olettaa laboratoriokokeessa saadut tulokset soveltuviksi myös luonnonolosuhteisiin. Syvänteen sedimentti vapautti kokeessa fosforia keskimäärin 13 mg/m<sup>2</sup>/d. Kun oletetaan Töölönlahden pehmeiden pohjien 1 m vesisyvyyden alapuolella vapauttavan fosforia läpi vuoden vastaavalla

nopeudella, saadaan sisäisen kuormituksen arvioksi n. 1000 kg/a. Tällöin on kysessä liukoinen fosfori, kun bruttosedimentaation avulla saadussa 2200 kg arviossa on mukana myös kiintoaineeseen sitoutunut fosfori. Jos biologisesti käyttökelpoisen fosforin osuudeksi arvioidaan edellämainitusta 30-70 % saadaan vastaavasti arvioksi 660-1540 kg/a.

## 6

### Johtopäätökset

Tutkimus osoitti selvästi, että Töölönlahden tilan kannalta ratkaisevassa asemassa ovat sedimentin aiheuttama suuri sisäinen kuormitus ja lahden heikko veden vaihtuminen. Sisäisen kuormituksen arviota voitiin tarkentaa aikaisemmasta. Tulokset osoittavat, että sisäisen kuormituksen osuus on aikaisemmassa selvityksessä aliarvioitu. Fosforin kuormitus sedimentistä Töölönlahden vesimassaan on suuruusluokkaa 1000-2000 kg P/a. Verrattuna ulkoiseen kuormitukseen (35 kg P/a) sedimentin kuormitus on täysin hallitseva.

Tulokset viittaavat myös siihen, että aikaisemmissa selvityksissä esitetyt kunnostusmenetelmät (merivesivaihto, vesijohtovesivaihto) eivät yksinään riitä parantamaan lahden veden laatua nykyisestä välttävällä luokalla hyvä. Pilaantunut sedimentti hidastaa elpymistä vuosikautia. Laboratoriokokeissa vedenvaihto vastasi aikaisemmissa suunnitelmissa esitettyä. Ilman sedimenttiin kohdistuvia toimenpiteitä ei ole toiveita lahden tilan nopeasta kohentumisesta. Varsinkin kesäaikaan sedimentin suuri hapenkulutus ja siitä johtuva kiintoaineen ja ravinteiden sekoittuminen veteen heikentävät voimakkaasti veden laatua. Toisaalta juuri kesällä vaatimustaso veden laadun suhteen esim. uimakäyttöä ajatellen on korkeimmillaan.

Sedimentin kunnostusmenetelminä voivat periaatteessa tulla kyseeseen ruoppauksen ohella sen hapettaminen kemiallisesti tai eristäminen vesimassasta. Lahden mataluudesta johtuen Tuusulanjärven savipeittokokeiden tapainen menetelmä ei tule kyseeseen. Myös hiekkakerroksella peittäminen ei onnistu teknisesti eroosion ja alla olevan sedimentin pehmeiden vuoksi. Täysin tiiviin eristeen käyttö ei ole mahdollista sedimentin biologisen aktiivisuuden vuoksi.

Ainakin teoriassa pilaantuneen sedimentin poisto ruoppauksella voi vaikuttaa edullisesti sisäisen kuormituksen pienenemisenä. Tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että alla olevasta sedimentistä ei välttämättä löydy tasoa, jossa fosforin vapautuminen olisi riittävän alhainen. Töölönlahti näyttää olleen jo kauan ennen ihmisen vaikutusta rehevä. Ruoppaus voi tietysti tulla kyseeseen silloin, jos halutaan kasvat-  
taa Töölönlahden nopeasti madaltuvaa vesisyvyyttä. Ruoppaus- ja vedenvaihtotekniikoita on käsitelty tarkemmin aikaisemmissa selvityksissä (Suunnittelukeskus Oy 1992).

Käsittelymenetelmänä lupaavimmalta näyttää viimeaikaisten mm. ruotsalaisten kokemusten perusteella pelkistyneen sedimentin pintakerroksen kemiallinen hapettaminen siten, että hapettava ja ravinteita sitova kemikaali sekoitetaan usean kymmenen sentin paksuudelta sedimentin pintakerrokseen. Oikean käsittelytavan löytäminen edellyttää kentällä tehtyjä riittävän pitkäaikaisia kokeita.

Töölönlahden kunnostuksen tulee edellä esitetyn perusteella perustua sedimentin ravinteiden sitomiseen ja sen jälkeen vedenvaihdon parantamiseen. On selvää, että



ilman veden vaihtoa joko pumppaamalla lahteen puhtaampaa merivettä tai Päijännetunnelin vettä, ei Töölönlahtea voida kunnostaa. Tämä johtuu heikosta luontaisesta vedenvaihdosta Kaisaniemenlahden suuntaan. Koska vedenlaatu myös Kaisaniemenlahdella on välttävä, on tarpeen huolehtia myös siitä, että Kaisaniemenlahden veden tunkeutuminen kunnostettuun Töölönlahteen estetään.

## 7

## Esitys jatkotoimenpiteiksi

Ilman kenttämittakaavassa toteutettuja kokeita ei ole mahdollista saada vastausta sedimentin käsittelymenetelmän ja siihen yhdistetyn laimennusveden käytön vaikutuksesta Töölönlahden tilaan. Hyppäys laboratoriomittakaavasta ja mallilaskelmista suoraan käytännön mittakaavaan on yksinkertaisesti liian suuri. Tämän vuoksi esitetään, että Töölönlahdella toteutetaan avovesikaudella 1995 kenttäkokeita asian selvittämiseksi.

Tuusulanjärvellä kesällä 1994 toteutettujen kenttäkokeiden mukaisesti rakennetaan neljä esim. 5 x 5 m laajuista allasta Töölönlahden "syväne" alueelle. Vastaavia koealtaita on käytetty myös Lahden Vesijärvellä. Altaat rakennetaan puomien varaan käyttäen materiaalina lujaa vesitiivistä muovikangasta ja ne ankkuroidaan lujasti pohjaan. Altaat ovat paikoillaan koko avovesikauden ja ne otetaan pois ennen jäätymistä. Tarvittaessa kokeita jatketaan vuonna 1996.

Koejäsenet olisivat seuraavat:

1. Käsittelemätön sedimentti, vedenvaihto.
2. Pohjan käsittely kemikaaleilla (yhdistelmä 1), vedenvaihto.
3. Pohjan käsittely kemikaaleilla (yhdistelmä 2), vedenvaihto.
4. Pohjan ruoppaus tasoon-1,5 m, vedenvaihto. Allas sijoitetaan siten, että kokonaisvesitilavuus on sama kuin muissa altaissa.

Kemikaaliyhdistelmät selvitetään ennen kenttäkokeita laboratoriokokeiden avulla. Vaihtovetenä käytetään käytännön syistä vesijohtovettä, jota johdetaan altaisiin nopeudella, joka vastaa käytännössä Vollenweiderin mallilla arvioitua vaihtonopeutta (Suunnittelukeskus Oy 1992). Saatua tuloksia voidaan tästä huolimatta soveltaa myös merivesivaihtoehdon suhteen.

Kokeiden toteuttaminen edellyttää eri hallintokuntien yhteistyötä (rakennusvirasto, vesilaitos, ympäristökeskus). Olisi myös selvitetävä ulkopuolisen rahoituksen saantimahdollisuudet tämänkaltaiseen kehitysohjelmaan, josta on hyötyä monessa muussa vesistöissä.

## KIRJALLISUUS

Bergman, G. 1908. Studier öfver inverkan af Helsingfors affallsvatten på vattnen kring staden sommaren 1908. Hälsovårdsnämndens årsberättelse.

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

Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnittelulautakunta 7.12.1989. Töölönlahden vedenlaadun parantaminen. 4 s.

Helsingin kaupunki, terveyslautakunnan valvontajaosto 4.5.1990. Lausunto kaupunkisuunnittelulautakunnan esityksestä Töölönlahden veden laadun parantamiseksi.

Helsingin kaupunki, vesi- ja viemärilaitos. 1992. Töölönlahden kuormitus selvitys. Suunnittelukeskus OY. 35 s. Helsinki

Helsingin kaupunki, vesi- ja viemärilaitos. 1993. Tarkennus yleisten töiden lautakunnan lausuntoon Töölönlahden vedenlaadun parantamiseksi.

Helsingin kaupunki, yleisten töiden lautakunta. 15.10.1992. Lausunnon antaminen kaupunkisuunnittelulautakunnan esityksestä Töölönlahden veden laadun parantamiseksi.

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

Helsingin kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta 29.5.1990. Lausunto kaupunginhallitukselle Töölönlahden veden laadun parantamisesta.

Håkansson, L. & Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Lontoo, 316 s.

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

Lappalainen, K. M. & Matinvesi, J. 1990. Järven fysikaalis-kemialliset prosessit ja ainetaseet. Julkaisussa: Ilmavirta, V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Yliopistopaino, ss 54-84.

Lappalainen, K. M. 1994. Vesistön ainetaseet kunnostustarpeen määrittelyssä. INSKO luentomoniste. 18 s.

Pilke, A. 1992. Tuusulanjärven sedimenttikokeet. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto. Moniste 11 s.

Rekolainen, S. 1982. Ravinteiden siirtyminen sedimentistä veteen Helsingin merialueen sisälähdissä. HKR, Vesilaboratorion tiedonantoja 14:1. 70 s. Helsinki

Varmo, R. 1991. Töölönlahden veden ja pohjan tilan selvitys vuodelta 1990. Helsingin kaupunki kiinteistövirasto. 5 s.

HELSINGIN KAUPUNGIN  
YMPÄRISTÖKESKUS  
Sturenkatu 25  
00510 HELSINKI

KUVAILULEHTI

Tekijä(t)			
Pekka Kansanen, Tapio Norha, Lauri Pesonen & Tapio Riiheläinen			
Nimike			
TÖÖLÖNLAHDEN SEDIMENTIN KUNTO JA SISÄINEN KUORMITUS			
Julkaisija	Julkaisuaika	Sivumäärä	Litteet
Helsingin kaupungin ympäristökeskus	1995	22	
Sarjan nimike		Osanumero	
Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja		1/95	
ISSN-numero 1235-9718	Kieli		
ISBN-numero 951-772-614-7	Koko teos	Tiivistelmä	Taulukot
	fin	fin, swe	Kuvatestit
Avainsanat			
Vesistöjen kunnostus, sedimentti, veden laatu, Töölölahti, Helsinki			
UDK			
Lisätietoja:			
Pekka Kansanen Helsingin kaupungin ympäristökeskus Sturenkatu 25 00510 Helsinki puh. 70991*			



---

## HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1994

1. Lasten sairastuvuus päiväkodeissa ja ryhmäperhepäiväkodeissa Helsingissä ja Mäntsälässä
2. Jauhelihan laatu Helsingissä vuosina 1990 - 1993
3. Helsingin kaupungin ympäristönsuojelun tavoite- ja toimenpideohjelma vuosille 1994 - 98
4. Terveystenhuollon toimipisteiden jätehuolto
5. Review of the state of the environment in Helsinki
6. Helsingin ja Espoon merialueiden veloitettarkkailu vuonna 1993
7. Saastuneiden maa-alueiden kunnostusmenetelmät Helsingissä
8. Ääneneristävyys helsinkiläisissä kerrostaloissa
9. Miljövärden i Helsingfors stad  
Målsättnings- och åtgärdsprogram för åren 1994 - 1998
10. Pohjaeläimistö ja pohjasedimentti Helsingin ja Espoon merialueilla vuonna 1991
11. Korujen nikkelpitoisuuden valvonta
12. Ilmansaasteet, iskeemiset sydänsairaudet ja aivoverenkiertohäiriöt Helsingissä
13. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmassa
14. Helsingin herkkien väestöryhmien toimipisteiden pihapiirin ilmanlaatu ja melutasot
15. Pikkulapsille tarkoitettujen leikkikalujen mekaaninen ja fysikaalinen turvallisuus
16. Ilmansaasteiden vaikutus poissaoloihin ja hengitystieinfektioihin Helsingissä 1987 - 1991

## HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1995

1. Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus

### Julkaisujen tilaus:

ympäristökeskuksen tiedotus  
Sturenkatu 25, 00510 HELSINKI  
puh. 7099 2815, fax 7099 2842

ISSN 1235-9718  
ISBN 951-772-614 - 7

---