



Töölönlahden kunnostushanke

Töölönlahden nykytila ja meriveden
juoksutuksen vaikutus ensimmäisten
seitsemän vuoden aikana

Jani Helminen ja Emil Vahtera

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 5/2014

Jani Helminen ja Emil Vahtera

Töölönlahden kunnostushanke

Töölönlahden nykytila ja meriveden juoksutuksen vaikutus ensimmäisten seitsemän vuoden aikana

Helsingin kaupungin ympäristökeskus
Helsinki 2014

Kannen kuva: Töölönlahden kuutamouinti 2013 / Lotta Henriksson
ISSN 1235-9718
ISBN 978-952-272-666-7
ISBN (PDF) 978-952-272-667-4

Painopaikka: Kopio Niini Oy
Helsinki 2014

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Sammandrag	3
1 Johdanto	4
1.1 Töölönlahden erityispiirteet	5
1.2 Veden juoksutus.....	6
2 Aineisto ja menetelmät	7
2.1 Vesinäytteenotto ja näytteiden analysointi	8
2.2 Aineiston käsittely ja tilastolliset menetelmät	9
3 Tulokset	11
3.1 Veden fysikaalis-kemiallinen laatu	11
3.2 Veden hygieeninen laatu.....	15
4 Tulosten tarkastelu	16
4.1 Juoksutuksen vaikutus veden vaihtuvuuteen suolapitoisuuden ja lämpötilan perusteella	16
4.2 Ravinnepitoisuudet vuosina 2009–2012 ja lahden sisäinen ravinnekuormitus.....	17
4.3 Levämäärä ja veden sameus	18
4.4 Kunnostushankkeelle asetettujen tavoitteiden täyttyminen vuosien 2009–2012 tulosten perusteella	19
5 Johtopäätökset	20
6 Kirjallisuus.....	22
Liite 1. Tilastolliset testit	

Tiivistelmä

Helsingissä keskeisellä paikalla sijaitseva Töölönlahti on aikoinaan raskaan jätevesikuormituksen jäljiltä edelleen voimakkaasti rehevöitynyt. Vuoden 2005 lopulla alettiin Töölönlahdelle johtaa vettä Humallahdelta tarkoituksena parantaa veden laatua. Vettä on johdettu avovesiaikaan $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, jolloin veden vaihtuvuutta on saatu tehostettua huomattavasti.

Veden juoksutuksen suurimmat vaikutukset havaittiin juoksutuksen alettua heti ensimmäisinä vuosina, kun ravinnepitoisuudet ja veden sameus sekä levien määrä vähentyivät huomattavasti. Ensimmäisten vuosien jälkeen veden laatu on pysytellyt uudella lähtötilannetta paremmalla tasolla ja muutokset ovat olleet pieniä. Nykyisin Töölönlahden veden laatu on lähempänä ympäröivien merialueiden tilaa ja viimeaikaiset muutokset veden laadussa ovat selitettävissä paremmin muilla ympäristömuutoksilla kuin juoksutuksella.

Parantunut veden virtaus lahdelta pois päin on lisännyt ravinteiden huuhtoutumista ja vähentänyt sisäisen kuormituksen aiheuttamaa rehevöitymistä. Sisäinen kuormitus vaikuttaa kuitenkin edelleen suurelta, sillä veden laatu juoksutusputken alkupäässä Humallahdella on edelleen Töölönlahtea parempi.

Töölönlahden kunnostukselle asetetut tavoitteet ovat täyttyneet vain osittain. Hygieeninen laatu on parantunut juoksutuksen jälkeen tavoitteiden vaatimalle tasolle ja levähaittoja esiintyy nykyään vain harvoin. Sen sijaan näkösyvyyden ja fosforipitoisuuden osalta on jääty tavoitteista, vaikka niissäkin on tapahtunut paranusta edeltävään tilaan verrattuna.

Töölönlahden parempaa tilaa ylläpitävää juoksutusta on edelleen syytä jatkaa yhdessä jatkuvan tarkkailun kanssa. Näyttäisi kuitenkin siltä, että jos kunnostukselle asetetut tavoitteet halutaan täyttää, tulisi pohtia muita toimenpiteitä juoksutuksen ohelle.

Sammandrag

Tölövikens är beläget i det centrala Helsingfors och har historiskt utsatts för kraftig avloppsvattens belastning, p.g.a. detta är viken ännu kraftigt övergödd. Under slutet av 2005 påbörjades de första försöken att leda renare havsvatten till viken med syftet att förbättra vattenkvaliteten. Under den isfria perioden pumpas $0,5 \text{ m}^3$ havsvatten s^{-1} , vilket har lett till att vattenutbytet i viken har blivit effektivare.

Den tydligaste effekten av att leda havsvatten till viken observerades genast under de första åren av projektet. Näringsämneshalterna, vattnets grumlighet samt algmängderna minskade märkvärt. Efter de första åren har vattenkvaliteten varit någotsånär stabil på en ny bättre nivå. Den nuvarande vattenkvaliteten är mer lik det omgivande havsområdets och förändringarna på senare år förklaras bättre med andra faktorer ökad av vattenutbytet i viken.

Det ökade vattenutbytet har också ökat utflödet av näringsämnen från viken, vilket lindrar den övergödande effekten av intern belastning i viken. Den interna belastningen verkar dock ännu stor för vattnet som leds till Tölövikens har ännu bättre kvalitet än vikens vatten i genomsnitt.

De mål som uppsattes för restaurationen av Tölövikens har delvis uppnåtts. Den hygieniska kvaliteten har förbättrats till den målsatta nivån och märkvärda algblomningar förekommer mer sällan. Däremot har man inte uppnått målen som uppsattes för halten av totalfosfor eller vattnets siktdjup, fastän förbättring har även skett för dessa parametrar.

Ledandet av renare havsvatten till Tölövikens uppehåller en bättre vattenkvalitet i viken och det rekommenderas att man försätter med det. Det visar sig dock att ifall man skall uppnå de uppsatta målen måste man även överväga andra åtgärder, förutom ledandet av renare havsvatten till Tölövikens.

1 Johdanto

Töölönlahti on Helsingissä keskeisellä paikalla sijaitseva matala ja pieni merenlahti, joka on viime vuosisadan puoleenväliin jatkuneen raskaan jätevesikuormituksen jäljiltä edelleen voimakkaasti rehevöitynyt. Lahden kunnostuksesta alettiin keskustella jo yli sata vuotta sitten erilaisia menetelmiä pohtien, ja ensimmäisinä toimenpiteinä 1900-luvun alussa alettiin puhdistaa jätevesiä (mm. Laakkonen 2001). Nykyään ulkoinen kuormitus lahteen on hyvin pientä, sillä jätevedet ohjataan pääosin muualle. Lahden tilan paraneminen on kuitenkin ollut hidasta, mikä on seurausta pohjasedimentistä liukenevien ravinteiden suuresta määrästä ja heikosta veden vaihtuvuudesta (Laakkonen 2001). Vuoden 2005 lopulla alettiin Töölönlahdelle johtaa merivettä tarkoituksena lisätä veden vaihtuvuutta ja siten parantaa veden laatua.

Kunnostustoimien tavoitteena on Töölönlahden muuttuminen enemmän luonnontilaista merenlahtea muistuttavaksi lahdeksi, jolloin lahden rehevyystaso, kasviplanktonin määrä ja veden sameus pienenisivät (Kajaste 2003). Käytännössä tämä tarkoittaisi lievästi rehevöitynyttä merenlahtea, jonka vesi on jossain määrin sameaa, mutta hapettomuutta tai massiivisia leväkukintoja ei esiintyisi.

Töölönlahden kunnostukselle on asetettu seuraavat vedenlaatutavoitteet (Rakennusvirasto 2000):

- Veden näkösyvyys ei saa olla alle 1 m.
- Suurta hapen ylikyllästystä tai hapen vajausta ei saa esiintyä.
- Fosforipitoisuus ei saa ylittää kolmen vuoden keskiarvona $50 \mu\text{g l}^{-1}$. Alueen keskeisen sijainnin vuoksi fosforipitoisuus ei saisi hetkellisestikään ylittää em. arvoa avovesikaudella.
- Hygieenisen laadun tulee täyttää uimavedelle asetetut laatuvaatimukset.
- Alueella voi esiintyä levähaittoja poikkeuksellisesti, ei kuitenkaan merkittäviä eikä pitkäaikaisia.

Juoksutukseen liittyen on lahden tilasta luotu katsaus ennen toimenpiteiden alkua (Kajaste 2003) ja kolme vuotta juoksutuksen aloittamisen jälkeen (Munne ym. 2008). Tässä raportissa tarkastellaan Töölönlahden tilaa ja lisäveden johtamisen vaikutuksia suhteessa esitettyihin tavoitteisiin juoksutuksen jatkuttua seitsemän vuoden ajan.

1.1 Töölönlahden erityispiirteet

Pienen (n. 21 ha) ja lähes tasapohjaisen merenlahden keskisyvyys on 1,8 m, maksimisyvyys reilut 2,5 metriä ja vesitilavuus n. 380 000 m³. Vielä 1800-luvulla Töölönlahdella oli selvästi nykyistä laajempi yhteys merelle, mutta meriyhteys on kaventunut rakentamisen ja etenkin junaliikenteen kasvun myötä. Nykyään lahti on yhteydessä muuhun Itämereen ainoastaan 6 metriä leveän ja 66 metriä pitkän 1800-luvun lopulla rakennetun rautatiesilta-aukon kautta (kuva 1). Aiemmin noin 4,5 km²:n kokoinen Töölönlahden valuma-alue on sekin supistunut kantakaupungin viemäröinnin seurauksena ja lahteen valuu nykyisin sadevesiä vain 39 hehtaarin alueelta (Tikkanen ym. 1996).



Kuva 1. Töölönlahden luonnollinen vedenvaihto tapahtuu kapean rautatiesilta-aukon kautta. Kuva Eläntarhanlahdelta Töölönlahdelle päin.

Mallinnustutkimusten mukaan veden luonnollinen vaihtuvuus on pääosin merenpinnan korkeusvaihteluiden määräämää, eli sopivissa olosuhteissa merivettä tulee Töölönlahteen pulsseina (Kövessi 2005). Kaisaniemenlahdelta työntyvän meriveden on todettu liikkuvan suureksi osaksi edestakaisin merivedenpinnan korkeusvaihteluiden mukaan Töölönlahden suulla, mutta Töölönlahdelle päätynyt merivesi kuitenkin pysyy lahdella suhteellisen kauan. Tulevan veden suolaisuuden määrää pitkälti Vantaanjoen virtaama, joka vaikuttaa Kruunuvuorenselän, Kaisaniemenlahden ja Eläntarhanlahden veden suolaisuuteen (Kövessi 2005, Munne ym. 2008).

Ulkoinen kuormitus Töölönlahteen on nykyään erittäin vähäistä, vain noin 35 kg P v⁻¹ (Rakennusvirasto 1997). Tämä on seurausta viemäröinnistä, joka on vähentänyt huomattavasti lahteen päätyviä hulevesiä ja siten myös maalta tulevan kuormituksen määrää. Rehevyytystasoa ylläpitää kuitenkin edelleen sedimen-

tistä veteen kohdistuva voimakas sisäinen fosforikuormitus, jonka on ennen juok-
sutusta arvioitu olevan noin 1 000–2 000 kg v⁻¹ (Kansanen ym. 1995).

Töölönlahteen päätyvän luonnollisen kokonaistulovirtaaman määrän on arvioitu
olevan noin 51 000 m³ v⁻¹ ja veden vaihtuvuuden Kaisaniemenlahdelta noin 2,3
milj. m³ v⁻¹. Ennen juoksutuksen aloittamista teoreettinen vedenvaihtuvuus lah-
dessa oli noin kaksi kuukautta (Rakennusvirasto 1997).

Töölönlahden vesi on melko tasalaatuista. Syksyllä 2008 tehdyssä useamman
havaintopaikan seurannassa todettiin, ettei veden laadussa ole merkittäviä eroja
lahden eri osissa (Munne ym. 2008). Matala Töölönlahti sekoittuu tehokkaasti
tuulen vaikutuksesta myös pystysuuntaisesti, mikä johtaa siihen, että lahti ei tyy-
pillisesti kerrostu kesäaikaan (esim. Kajaste 2003).

1.2 Veden juoksutus

Töölönlahden veden vaihtuvuuden nopeuttamiseksi ja lahden tilan parantamiseksi
alettiin 18.8.2005 johtaa merivettä käytöstä poistetun viemäritunnelin kautta
Helsingin länsiosassa sijaitsevalta Humallahdelta (Rakennusvirasto 2000). Vettä
pumpataan 2–3 metrin syvyydestä Rajasaaren sillan eteläpuolelta (kuva 2) ja sitä
juoksutetaan avovesikauden aikana noin 0,5 m³ s⁻¹. Töölönlahden veden lasken-
nallinen vaihtuvuus tehostuu juoksutuksen vaikutuksesta noin viisinkertaiseksi
normaalitilaan nähden. Kun maalta tuleva kokonaisvaluma ja meriyhteyden aihe-
uttama maksimaalinen potentiaalinen veden vaihtuvuus otetaan huomioon, vaih-
tuu Töölönlahden koko vesimassa noin kahdentoista päivän välein (Kansanen ja
Norha 1996). Veden vaihtuvuuden lisääminen on osoittautunut käyttökelpoiseksi
menetelmäksi rehevien vesistöjen kunnostuksessa edellyttäen, että johdettavat
vesimäärät ovat suuria (Kansanen ja Norha 1996).



Kuva 2. Meriveden juoksutusreitti Humallahdelta Töölönlahteen. Kuva: Rakennusvirasto (2000).

Vuonna 2005 veden juoksutus alkoi vasta loppukesästä ja sen toimivuus oli katkonaista, joten kunnostustoimenpiteiden katsotaan alkaneen vuonna 2006. Vuonna 2006 juoksutus aloitettiin vasta kesäkuussa (Munne ym. 2008), mutta sen jälkeen vuosina 2007–2012 vettä on juoksutettu melko tasaisesti huhtikuusta joulukuulle (Muilu 2014, suullinen tiedonanto).

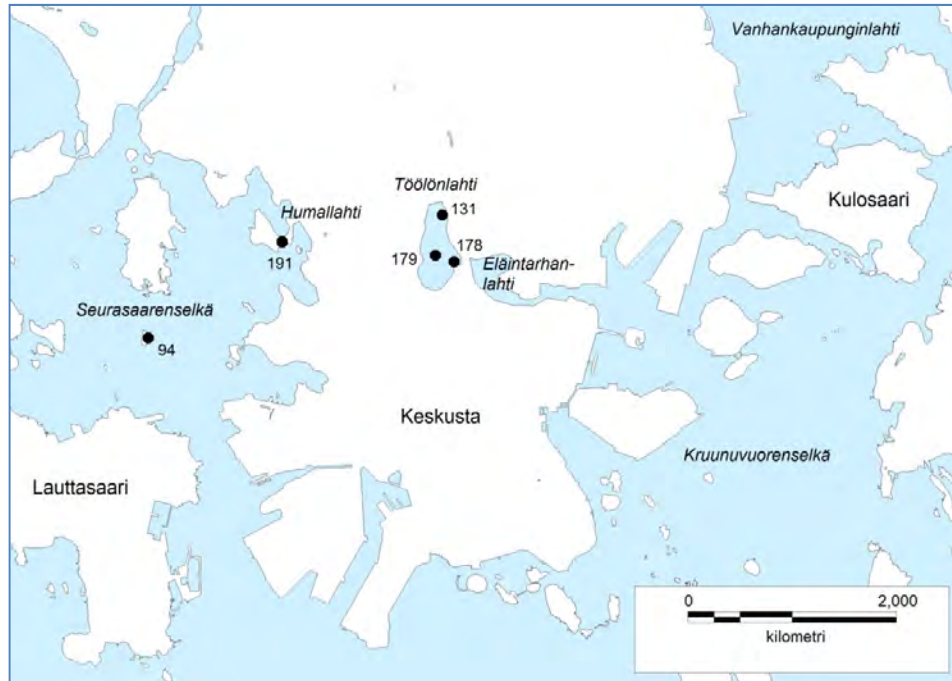
2 Aineisto ja menetelmät

Töölönlahden tilassa tapahtuneiden muutosten kuvaamiseen käytetään alueelta kerättyjä veden fysikaalis-kemiallisia mittaustuloksia. Töölönlahdelta on saatavilla vesianalyysituloksia vuodesta 1967 alkaen. Vuosina 1967–1990 havaintopaikka (131) sijaitsi lahden pohjoispäässä, kun taas vuosien 1990–2008 mittaukset on tehty lahden keskiosassa (havaintopaikat 179 ja 178) (kuva 3). Havaintopaikkojen veden laadussa ei ole ollut juurikaan eroa (Munne ym. 2008).

Tuloksia tarkasteltaessa tulee kuitenkin huomioida havaintopaikan vaihto, analyysimenetelmien muutokset (klorofylli-*a* ja ravinneanalytiikka) sekä vuosien 1967–1990 melko hajanainen aineisto. Näytteenottojen määrät ovat vaihdelleet vuosien välillä runsaasti, joten joinain vuosina laskettuihin keskiarvoihin voi vaikuttaa myös näytteiden lukumäärä. 2000-luvun ensimmäisinä vuosina näytteitä otettiin intensiivisesti, mutta sittemmin näytteenottojen määrä on jälleen vähentynyt.

Vertailualueena käytetään viime vuosien osalta Humallahden näytepistettä (191), josta on otettu vesinäytteitä samaan aikaan Töölönlahden kanssa vuodesta 2005

lähtien. Näytepisteeltä on kuitenkin saatavilla kunnollista aineistoa vasta vuodesta 2008 alkaen. Lisäksi pidempiaikaisia muutoksia on verrattu Seurasaarenselällä sijaitsevaan pisteeseen (94), joka kuitenkin syvyytensä ja sijaintinsa puolesta eroaa selvästi Töölönlahdesta.



Kuva 3. Töölönlahden sijainti sekä Töölönlahden, Humallahden ja Seurasaarenselän havaintopaikat vuosina 1967–2012.

2.1 Vesinäytteenotto ja näytteiden analysointi

Ennen vuotta 2000 vesinäytteet on otettu kahden metrin syvyydeltä Ruttner-näytteenottimella. 2000-luvulla näytteenottosyvyys vaihdettiin metrin syvyyteen. Vedensyvyydeltään matalan Töölönlahden vesimassa ei kerrostu kesällä lämpötilan eikä suolaisuuden suhteen, joten näytteenottosyvyyden vaihtumisella ei oleteta olevan suurta merkitystä havaittuun vaihteluun. Klorofylli-*a*-näytteet on otettu läheltä pintaa 0–1 metrin syvyydestä. Määritysmenetelmät on esitetty taulukossa 1.

Näytteet analysoitiin Helsingin kaupungin ympäristölaboratoriossa sekä vuoden 2008 alusta lähtien Metropolilabissa. Veden klorofylli-*a*-pitoisuus analysoitiin vuoteen 1994 saakka Stricklandin ja Parsonin (1968) menetelmällä, jonka jälkeen siirryttiin nykyiseen standardiin ja uuttoliuos vaihtui asetonista etanoliksi. Suolaisuus mitattiin salinometrillä vuoteen 1992 saakka. Ammoniumtyppi analysoitiin vuoteen 2005 saakka standardin SFS 3032 mukaisesti ja nitriittityppi vuoteen 1997 saakka standardin SFS 3029 mukaisesti. Fosfaattifosfori analysoitiin ammoniummolybdaattimenetelmällä ja 1.4.1986 alkaen standardin SFS 3025 mukaisesti.

Taulukko 1. Töölönlahden vesinäytteistä tehdyt fysikaalis-kemialliset ja hygieeniset analyysit.

Määrittäminen	Menetelmä	Määrittämiss raja	Mittausepävarmuus
Näkösyvyys	Valkolevynä Ruttner-noutimen kansi		
Lämpötila	Ruttner-noutimen lämpömittari		
Suolaisuus	Johtokykymittaus		1 %
Sameus	SFS-EN ISO 7027	0,5 FTU	10 %
pH	SFS 3021		0,2 pH-yksikköä
Happi	SFS 3040		10 %
Hapen kyllästysaste	SFS-EN 25813		
NH ₄ -tyypin pitoisuus	SFS-EN 11732	4 µg/l	15 %
NO ₂ +NO ₃ -tyypin pitoisuus	SFS-EN ISO 13395	4 µg/l	15 %
Tyypin kokonaispitoisuus	SFS-EN ISO 11905-1	50 µg/l	15 %
PO ₄ -fosforin pitoisuus	SFS 3025	4 µg/l	15 %
PO ₄ -fosforin pitoisuus (liukonen)		4 µg/l	15 %
Fosforin kokonaispitoisuus		5 µg/l	15 %
Klorofylli-a	SFS 5572	0,5 µg/l	10 %
<i>Escherichia coli</i>	Coilert Quanti-Tray (pikatesti)	< 1	

2.2 Aineiston käsittely ja tilastolliset menetelmät

Tulokset esitetään kesäkuukausien (kesä-elokuu) pitkänajan trendeinä vuosilta 1967–2012 sekä vuosittaisina kesäajan (kesä-elokuu) keskiarvoina ja -hajontoina ajanjaksolla 2003–2012. Pitkän aikajakson tarkastelun tarkoituksena on havainnoida pitkäaikaisten muutosten vaikutusta mitattuihin parametreihin suhteessa lyhyen aikavälin muutoksiin ja lyhyen aikajakson avulla tarkastellaan juoksutuksen vaikutusta. Analysoinneissa käytettiin kesä-elokuun aikaisia havaintoja, jotta näytteenoton aikaiset muutokset vaikuttaisivat tuloksiin mahdollisimman vähän. Talvi- ja keväänäytteenotto on ollut Töölönlahdella satunnaista vaihtelevien jääolosuhteiden takia. Ympäristöolosuhteet ovat myös tyypillisesti tasaisia kesäkuukausien aikana.

Aineisto analysoitiin R-tilasto-ohjelmalla (R Core Team 2013). Pitkänajan trendien selvittämiseen käytettiin loess-lokaaliregressiofunktiota, jolla havainnolliste-

taan pitkän ajan muutoksia ja pyritään löytämään tilastolliset trendit. Juoksutuksen vaikutusta analysoitiin Kruskal-Wallisin ei-parametrisellä testillä jokaiselle vedenlaatuominaisuudelle erikseen. Nollahypoteesinä oli, etteivät kolme eri ajanjaksoa eroa toisistaan mittaustulosten perusteella. Testi kertoo, jos vähintään joku ajanjakso eroaa toisesta ajanjaksosta. Lisäksi selvitettiin R:n pgirmess-paketin (Giraudoux 2013) avulla, mitkä ajanjaksot erosivat tilastollisesti ($p < 0,05$) toisistaan ja mitkä eivät. Testattavina ajanjaksoina käytettiin Munne ym. (2008) tapaan vuosia 2003–2005 (ennen juoksutusta) ja 2006–2008 (juoksutuksen alkuvaihe), joiden kanssa testattiin nyt kolmatta ajanjaksoa 2009–2012 (pidempään jatkunut juoksutus). Tulosten perusteelta arvioitiin, ovatko asetetut vedenlaatukriteerit täyttyneet juoksutuksen aloittamisen jälkeen.

Fosforin kesänäikaista kertymistä arvioitiin kokonaisfosforin elo- ja huhtikuun keskiarvojen erotuksina ajanjaksoilla ennen juoksutusta (2000–2005) ja juoksutuksen alkamisen jälkeen (2006–2012). Mittaustulokset suhteutettiin Töölönlahden tilavuuteen (380 000 m³).

Töölönlahden kunnostukselle asetetun tavoitteen mukaan veden hygieenisen laadun tulee täyttää uimavedelle asetetut laatuvaatimukset. Veden hygieeninen laatu määritettiin otettujen näytteiden *Escherichia coli* -bakteerien määrästä yleisten uimarantojen laatua ja valvontaa koskevan asetuksen (177/2008) liitteessä 2 mainitun 95. prosenttipisteen laskukaavan mukaisesti. Asetuksen mukaan laatua arvioidaan neljän edellisen uimakauden seurantajaksoissa, ellei jonkin muutoksen vuoksi ole aiheutta lyhyempään aikaväliin. Tässä raportissa on tarkasteltu touko-elokuun kolibakteerimääriä ja mittaustuloksia on saatavilla vuodesta 2004 alkaen. Vertailtavina ajanjaksoina on käytetty kahta kautta ennen juoksutusta (2004–2005), kolmea kautta juoksutuksen alusta (2006–2008) sekä aineiston neljää viimeistä kautta (2009–2012). Asetuksen vaatima näytemäärä ($n > 16$) täyttyi kaikissa jaksoissa.

3 Tulokset

3.1 Veden fysikaalis-kemiallinen laatu

Töölönlahden kesänaikainen lämpötila on noussut 1970-luvulta tasaisesti lukuun ottamatta pientä laskua 2000-luvun taitteessa (kuva 4). Juoksutuksen alettua ei lämpötilassa kuitenkaan ole tapahtunut merkitsevää muutosta (kuva 4, liite 1).

Suolapitoisuus on laskenut tasaisesti 60-luvun puolivälistä aina 2000-luvun alkuun saakka, jolloin se on lähtenyt selvään nousuun (kuva 4). Myös juoksutuksen aloittamisen jälkeen suolapitoisuus on noussut jonkin verran ja muutos on tilastollisesti merkitsevä (kuva 4, liite 1), vaikka pitoisuus on ajoittain ollut samalla tasolla jo ennen juoksutustakin. Suolapitoisuus on tarkasteltuna ajanjaksona vaihdellut Töölönlahdella voimakkaasti vuodenajasta riippuen alle 1 ‰:sta jopa 6,5 ‰:een.

Juoksutuksen alettua Töölönlahden kesänaikainen suolapitoisuus on ollut hieman alhaisempi kuin juoksutustunnelin alkupäässä Humallahdella (kuva 4). Humallahden aineistossa ei ole vertailutietoa juoksutusta edeltävältä ajalta, mutta Töölönlahden ja Seurasaarenselän pinnanläheisen veden suolapitoisuuksien ero vaikuttaisi hieman kaventuneen juoksutuksen alettua.

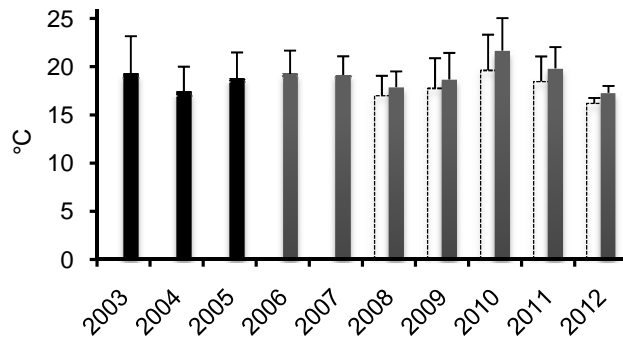
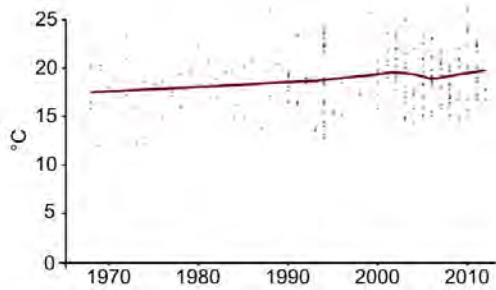
Hapen kyllästysaste on saanut tarkastelujakson alussa korkeita lukemia, mutta 1990- ja 2000-luvuilla hapen ylikyllästymistä on havaittu aiempaa vähemmän. Juoksutuksen alussa kyllästysaste vaikuttaa laskeneen hieman juoksutusta edeltävästä ajasta, mutta taas juoksutuksen alkuvaiheen (2006–2008) ja vuosien 2009–2012 välillä hapen kyllästysaste on noussut (kuva 4). Jälkimmäisten ajanjaksojen välillä happipitoisuuden ero on tilastollisesti merkitsevä (liite 1). Seurasaarenselällä ja Humallahdella hapen vuosienvälinen kyllästysasteen keskiarvo näyttäisi kehittyvän samantapaisesti kuin Töölönlahdella (kuva 4). Vähähappisuuden esiintymistä pohjanläheisessä vedessä ei voida luotettavasti tarkastella riittävän näytemäärän puutteesta johtuen, mutta ainakaan hapettomuutta ei ole 2000-luvun näytteissä esiintynyt.

Sameuden havaintoja on ennen 1990-luvun alkua kerätty vain harvakseltaan ja klorofylli-*a*-näytteitä on alettu kerätä vasta vuonna 1990. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että sameus on kasvanut 1970-luvulta 2000-luvun alkupuolelle saakka, jonka jälkeen vesi on ollut kirkkaampaa (kuva 5). Klorofylli-*a*-pitoisuudet näyttävät kehittyvän kesäaikaan samansuuntaisesti sameuden kanssa ja molemmissa on havaittavissa voimakasta laskua koko 2000-luvun. Korkeita klorofyllihuippuja on viime vuosina havaittu aiempaa selvästi harvemmin. Sekä klorofylli-*a*:n että sameuden väheneminen juoksutuksen alettua on tilastollisesti merkitsevää, mutta jälkimmäisten ajanjaksojen 2006–2008 ja 2009–2012 välillä ei enää havaita merkitsevää muutosta (liite 1).

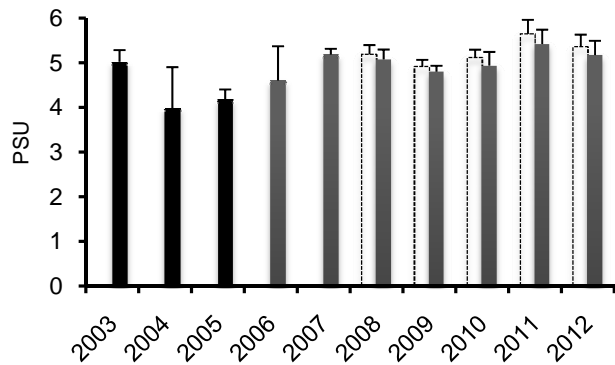
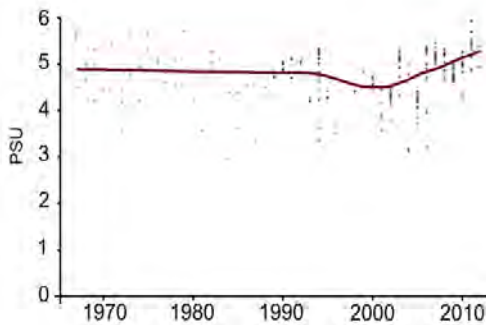
Näkösyvyys on parantunut lähes koko tarkastelujakson ajan, mutta Töölönlahden kesäaikainen näkösyvyys on edelleen varsin pieni (kuva 5). Aivan viime vuosina näkösyvyys on pysytellyt suunnilleen samalla tasolla ja juoksutuksen alkamisen jälkeen tapahtunut muutos on aineistossa esiintyvään vaihteluun nähden melko pientä. Kuitenkin ajanjaksojen 2003–2005 ($0,55 \pm 0,06$ m) ja 2009–2012 ($0,69 \pm 0,11$ m) välillä näkösyvyys on kasvanut tilastollisesti merkitsevästi (liite 1).

Viime vuosien melko tasaisesta kehityksestä on havaittavissa erilaisena vuosi 2010, jolloin huomataan nousua klorofylli-a:n, sameuden ja hapen kyllästysasteen arvoissa sekä laskua näkösyvydessä.

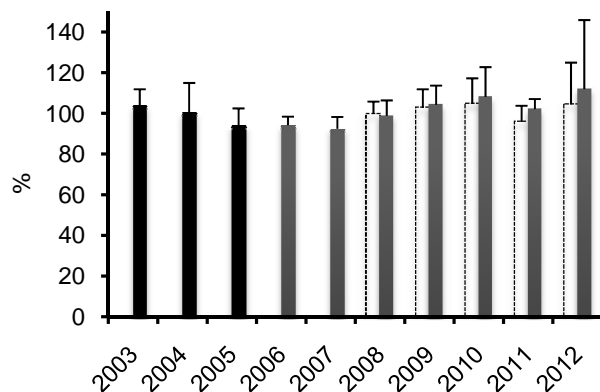
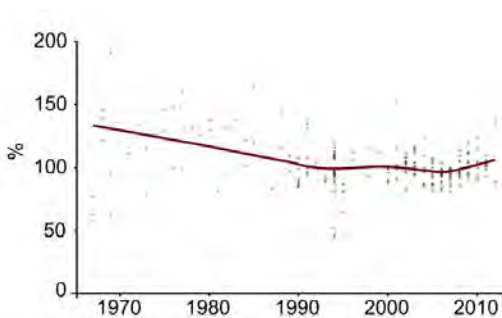
Lämpötila



Suolapitoisuus

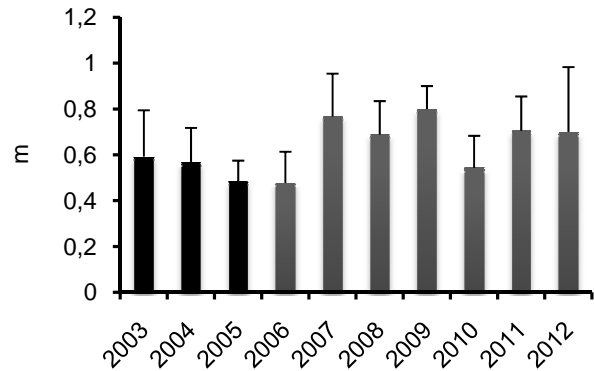
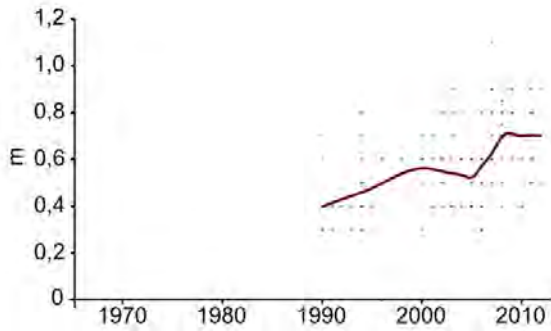


Hapen kyllästysaste

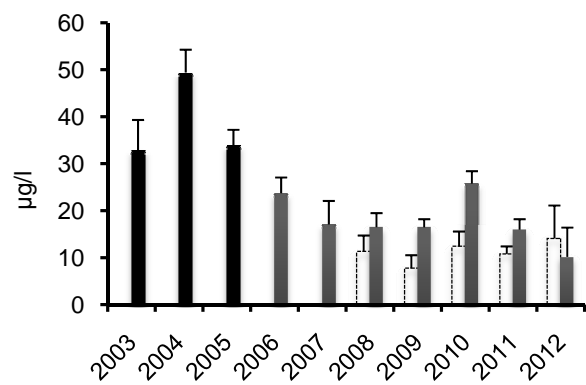
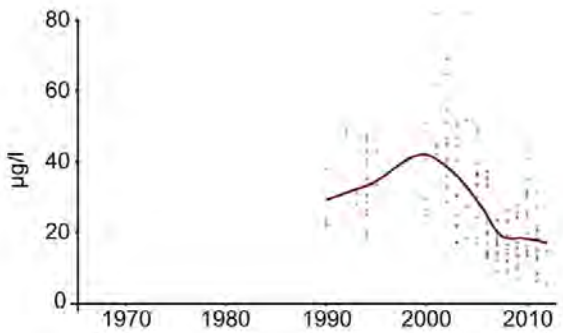


Kuva 4. Vasemmalla Töölönlahden lämpötilan (1967–2012), suolapitoisuuden (1968–2012) ja hapen kyllästysasteen (1967–2012) kesä-elokuun aikaiset mittaustulokset ja niiden perusteella lasketut lokaaliregressio (Loess) -käyrät eri vuosina. Oikealla vuosien 2003–2012 kesäaikaiset keskiarvot ja keskihajonnat samoilta muuttujilta Töölönlahdelta ennen juoksutusta (mustat pylväät) ja juoksutuksen aikana (harmaat pylväät) sekä Hu-mallahdelta vuosilta 2008–2012 (valkoiset pylväät).

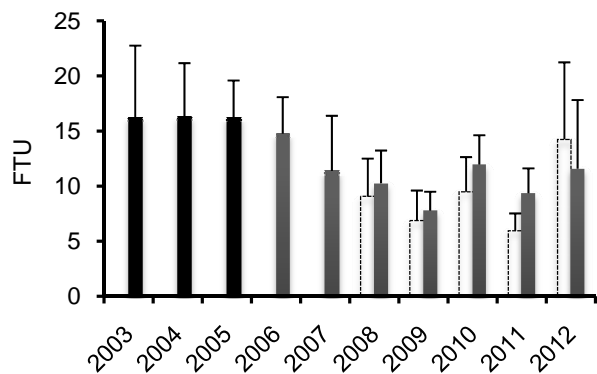
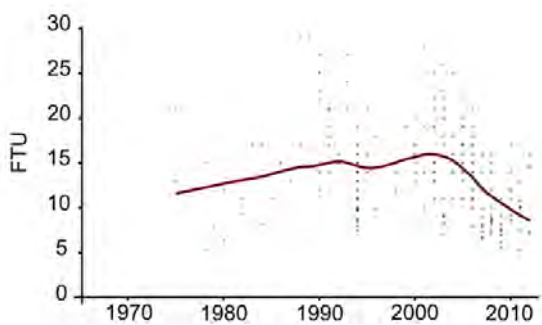
Näkösyyvyys



Klorofylli-a



Sameus

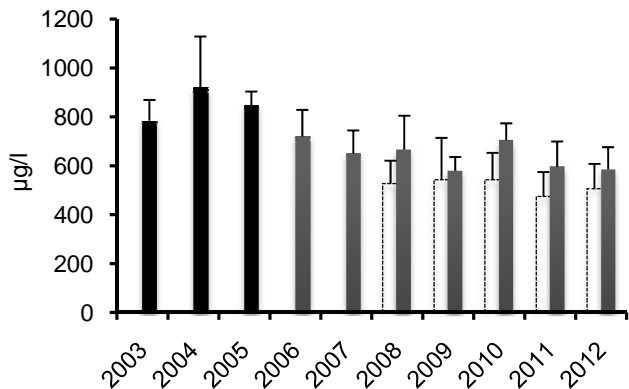
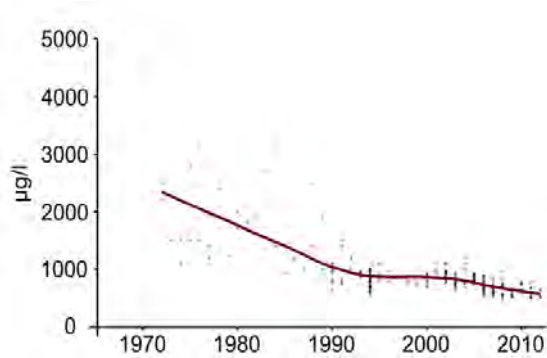


Kuva 5. Vasemmalla Töölönlahden näkösyvyyden (1990–2012), klorofylli-a:n (1990–2012) ja sameuden (1975–2012) kesä-elokuun aikaiset mittaustulokset ja niiden perusteella lasketut lokaaliregressio (Loess) -käyrät eri vuosina. Oikealla vuosien 2003–2012 kesäaikaiset keskiarvot ja keskihajonnat samoilta muuttujilta Töölönlahdella ennen juokсутusta (mustat pylväät) ja juokсутuksen aikana (harmaat pylväät) sekä Humallahdella vuosilta 2008–2012 (valkoiset pylväät, vain klorofylli-a ja sameus).

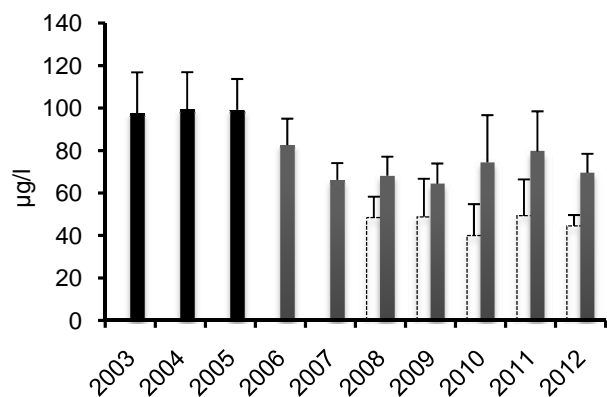
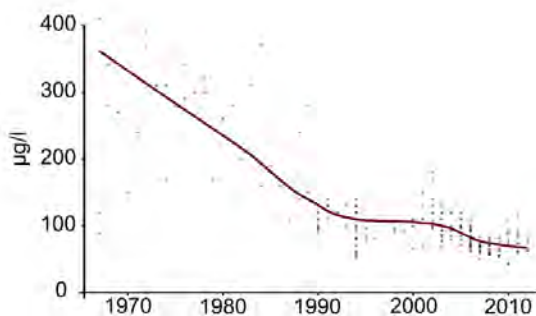
Kesäaikaiset fosforin ja typen määrät ovat Töölönlahdella laskeneet vuodesta 1970 selvästi. Ravinnemäärien pitkäaikainen väheneminen tasoittui 1990-luvulla, kunnes se kääntyi uudelleen laskuun vuoden 2005 jälkeen (kuva 6). Juoksutuksen alettua sekä typen että fosforin määrät ovat laskeneet tilastollisesti merkitsevästi (liite 1). Ajanjaksojen 2006–2008 ja 2009–2012 välillä ei ole enää tapahtunut merkitsevää kehitystä (liite 1), vaan pitoisuudet ovat pysytelleet uudella paremmalla tasolla. Humallahden typpi- ja fosforipitoisuuksien kesäaikaiset keskiarvot ovat vuosittain olleet pienempiä kuin Töölönlahdella. Ero lahtien ravinnepitoisuuksissa on ollut vuosittain samaa suuruusluokkaa, mutta vuosina 2010 ja 2011 se on ollut suurimmillaan.

Kokonaisfosforin kesäaikainen (huhti-elokuu) kertyminen on ennen juoksutusta ollut n. kaksi kertaa suurempaa (n. 20 kg 5 kk⁻¹) kuin juoksutuksen aloittamisen jälkeen (n. 10 kg 5 kk⁻¹).

Kokonaistyppi



Kokonaisfosfori



Kuva 6. Vasemmalla Töölönlahden kokonaistypen (1972–2012) ja kokonaisfosforin (1967–2012) kesä-elokuun aikaiset mittaustulokset ja niiden perusteella lasketut lokaaliregressio (Loess) -käyrät eri vuosina. Oikealla vuosien 2003–2012 kesäaikaiset keskiarvot ja keskihajonnat samoilta muuttujilta Töölönlahdella ennen juoksutusta (mustat pylväät) ja juoksutuksen aikana (harmaat pylväät) sekä Humallahdella vuosilta 2008–2012 (valkoiset pylväät).

Vuosien 2010–2012 kaikkien näytteenottojen fosforipitoisuuksien keskiarvo on $63,9 \pm 17,2 \mu\text{g l}^{-1}$ ja saman ajan kesäaikainen keskiarvo $76,2 \pm 19,1 \mu\text{g l}^{-1}$. Tavoiteltava $50 \mu\text{g l}^{-1}$ pitoisuus on alittunut viime vuosina vain yksittäisissä näytteissä ja useammin talvi- kuin kesäaikaan.

3.2 Veden hygieeninen laatu

Yleisten uimarantojen laatua ja valvontaa koskevan asetuksen (177/2008) liitteessä 1 mainittujen raja-arvojen mukaan Töölönlahden veden hygieeninen laatu on erinomainen ja se alittaa raja-arvon selvästi. Ennen juoksutuksen aloittamista (2005–2006) hygieeninen laatu oli vielä luokassa hyvä, josta se on noussut erinomaiseen luokkaan heti juoksutuksen aloittamisen jälkeen (2006–2008).

Vuosina 2009–2012 pitoisuudet ovat pysytelleet alhaisina, jopa alhaisempina kuin vuosina 2006–2008 (keskimäärin $16 \text{ pmy}/100 \text{ ml}$) lukuun ottamatta yhtä näytteenottoa vuonna 2010, jolloin näytteessä havaittiin korkea $1400 \text{ pmy}/100 \text{ ml}$ pitoisuus. Samaan aikaan myös Humallahdella havaittiin lähes yhtä korkea pitoisuus ja Seurasaarenselälläkin normaalia korkeampi pitoisuus.

Taulukko 2. Töölönlahden veden hygieeninen laatu kolmena ajanjaksona vuosina 2004–2012. Asetuksen mukaan erinomaisen laadun 95. prosenttipistearvo on oltava alle 250.

Ajanjakso	95. prosenttipiste	Hygieeninen laatu
2004–2005 (ennen juoksutusta)	436	Hyvä
2006–2008 (juoksutuksen alkuvaihe)	174	Erinomainen
2009–2012 (Töölönlahden nykytila)	116	Erinomainen

4 Tulosten tarkastelu

Veden fysikaalis-kemialliset muuttujat kuvaavat sekä pitkäaikaisia että veden vaihtuvuuden parantumisesta aiheutuvia muutoksia Töölönlahden tilassa. Edellisessä Töölönlahden tilan tarkastelussa vuosilta 2006–2008 (Munne ym. 2008) havaittiin juoksutuksen parantaneen Töölönlahden tilaa. Pumppaamisen jatkuttua on veden laatu pysytellyt tällä uudella paremmalla tasolla myös vuosina 2009–2012, vaikka vuosien välinen vaihtelu on ollut hieman suurempaa.

Syyt vuosien 2009–2012 vuosienvälisiin vaihteluihin vaikuttaisivat liittyvän muihin tekijöihin kuin juoksutukseen. Tuloksista erottuu vahvimmin vuosi 2010, jonka lämpimän kesän vaikutukset näkyvät mittaustuloksissa laajalti korkeamman vedenlämmön lisäksi mm. voimistuneena perustuotantona ja sen vaikutuksina. Samana vuonna myrskyisä loppukesän sää on lisännyt valuma-alueelta tulevaa kuormitusta, mikä on ilmeisesti heikentänyt veden hygieenistä laatua ja lisännyt ravinteiden määrää vedessä. Lisäksi vesinäytteitä on viime vuosina otettu aiempaa harvemmin, jolloin yksittäisen näytteenoton vaikutus voi korostua keskiarvoja laskettaessa.

4.1 Juoksutuksen vaikutus veden vaihtuvuuteen suolapitoisuuden ja lämpötilan perusteella

Suolapitoisuus vaikuttaa nousseen juoksutuksen seurauksena jonkin verran. Juoksutus vähentää Vantaanjoelta ja Kruunuvuorenselältä virtaavan veden vaikutuksia Töölönlahden tilaan ja on lisännyt veden vaihtuvuutta (Munne ym. 2008). Juoksutusta edeltävältä ajalta vuosi 2003 on ollut suolapitoisuudeltaan poikkeuksellisen korkea (Kajaste 2003) mm. vähäsateisen talven takia (Pellikka ym. 2004), mikä vaikuttaa tulosten vertailtavuuteen. Suolapitoisuuden kesänai-kainen keskiarvo on Humallahdella hiukan suurempi kuin Töölönlahdella, mikä viittaa Kruunuvuorenselältä Kaisaniemenlahden ja Eläintarhanlahden kautta Töölönlahdelle työntyvän Vantaanjoen makean veden vaikutukseen. Kövessin (2005) mittausten mukaan veden virtaussuunta on juoksutuksen aikana pääasiassa Eläintarhanlahdelle päin, mutta vesi liikkuu myös toiseen suuntaan.

Myös veden lämpötilan avulla voidaan havainnoida veden vaihtuvuutta, mutta se ei ole yhtä stabiili muuttuja kuin suolapitoisuus, koska veden sekoittumisen lisäksi esimerkiksi ilman lämpötila vaikuttaa siihen enemmän. Lämpötilassa ei havaittu merkitsevää eroa minkään ajanjakson välillä. Muutoksia ei havaittu, vaikka vettä pumpataan Humallahdelta n. 2–3 metriä syvyydestä ja vaikka veden vaihtuvuus on aiempaa nopeampaa sekä Humallahden 0–2 metriä syvyydestä mitattu lämpötila on yleisesti ollut Töölönlahtea alhaisempi. Veden lämpötilan vaihtelu lie-neekin enemmän riippuvaista ilman lämpötilasta ja erot Humallahden ja Töölönlahden veden lämpötiloissa aiheutuvat pääosin Töölönlahden mataluudesta. Matala lahti lämpenee nopeasti, eikä veden vaihtuvuus kuitenkaan ole niin nopeaa, että se pitäisi veden viileänä.

4.2 Ravinnepitoisuudet vuosina 2009–2012 ja lahden sisäinen ravinnekuormitus

Kokonaisravinteiden määrä on laskenut Töölönlahdella 1970-luvulta lähtien. Ulkoinen kuormitus on vähentynyt pääosin tehostetun jätevedenpuhdistuksen, puhdistettujen jätevesien johtamisen ulkomerelle sekä kantakaupungin viemäröinnin seurauksena (Munne ym. 2008). Voimakkaasta ulkoisen kuormituksen vähenemisestä huolimatta Töölönlahden tila on parantunut hitaasti. Tämä on seurausta sedimenttiin varastoituneiden ravinteiden vapautumisen aiheuttamasta sisäisestä kuormituksesta (Kansanen ym. 1995), joka kuitenkin tuoreemman arvioon mukaan (Thouvenot-Korppoo ym. 2012) on laskenut 90-luvun arvoista huomattavasti. Kun sisäisen kuormituksen arvioitiin aiemmin olevan noin 1 000–2 000 kg, on se 2000-luvun loppupuolelle tultaessa laskenut 100–300 kg v⁻¹ tasolle. Ero saattaa osittain johtua menetelmällisistä eroista sekä lahden pohjalle laskeutuvan leväbiomassan määrän vähenemisestä, joka johtaa paikalla mineralisoituvan aineksen määrän ja täten myös vapautuvan fosforin määrän vähenemiseen.

Fosforin ja typen osalta havaitaan Töölönlahden ja Humallahden näytteissä vuosittain lähes samansuuruinen ero, mikä viittaisi Töölönlahden suureen sisäiseen kuormitukseen sekä Kaisaniemenlahden kautta työntyvän Vantaanjoen ravinteikkaan veden vaikutukseen. Mikäli Töölönlahden fosforin sisäinen kuormitus arvioidaan kokonaisfosforin määrän lisääntymisellä huhtikuulta elokuulle, on se tulosten perusteella vähentynyt noin puoleen juoksutuksen alettua.

Juoksutus on laskenut ravinnepitoisuuksia voimakkaasti, mutta vuosina 2009–2012 kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuudet ovat pysytelleet melko samalla tasolla kuin 2006–2008. Vuosittainen vaihtelu on samantyyppistä kuin muillakin mitattavilla ominaisuuksilla.

Vaikka fosforin pitoisuus on laskenut huomattavasti, ei kunnostukselle asetettua kolmen vuoden keskiarvon tavoitetta (alle 50 µg l⁻¹) ole saavutettu. Vuosien 2010–2012 kaikkien näytteenottojen keskiarvo (63,9 ± 17,2 µg l⁻¹) ylittää tavoitteen selvästi ja saman ajan kesänaikainen keskiarvo (76,2 ± 19,1 µg l⁻¹) on vieläkin suurempi. Tavoiteltu pitoisuus on alittunut viime vuosina vain yksittäisissä näytteissä ja useammin talvi- kuin kesäaikaan.

4.3 Levämäärä ja veden sameus

Tavoitteiden mukaan Töölönlahdessa ei saisi esiintyä suurta hapen ylikyllästystä tai vajausta. Hapen ylikyllästystä aiheutuu yleensä runsaasta kasviplanktonin perustuotannosta, kun levät tuottavat veteen happea yhteyttäessään. Vastaavasti niiden hajoaminen aiheuttaa hapen vajausta yleensä pohjanläheisissä kerroksissa. Juoksutuksen aloittamisen jälkeen ensimmäisinä vuosina happitilanne pysyi aluksi vakaana ja tavoite näytti täyttyvän.

Vuosien 2009–2012 aikana hapen kyllästysasteessa on ollut suurempaa vaihtelua ja joidenkin vuosien keskiarvot ovat ylittäneet jopa juoksutusta edeltäneen ajan. Hapen kyllästysasteen kesänaikaiset keskiarvot ovat vaihdelleet lähes samalla tavalla myös Humallahdella ja Seurasaarenselällä, joten kyse ei ilmeisesti ole ainoastaan Töölönlahdella tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi lämpimän kesän 2010 perustuotannon kasvu on havaittavissa myös korkeampana hapen kyllästysasteena. Vaihtelu selittyy osittain myös näytteenottomäärien vuosittaisella vaihtelulla, sillä pieni näytteenottomäärä voi voimistaa yksittäisen näytteenoton vaikutusta keskiarvoon. Hapen kyllästysasteen nousu lieneekin poikkeuksellista, mutta asian varmistamiseksi tarvittaisiin lisää näytteenottoja.

Töölönlahden näkösyvyys on parantunut juoksutuksen myötä samalla kun klorofylli-a:n pitoisuudet ja sameus ovat laskeneet lähes puoleen. Tavoite yli metrin näkösyvyydestä on kuitenkin täyttynyt vain yksittäisissä näytteenotoissa lähinnä loppusyksyllä ja talvella. Kaikkien tarkasteluvuosien kesänaikaiset keskiarvot ovat selvästi alle metrin. Metrin näkösyvyys on ylittynyt ajoittain jo ennen juoksutustakin jääpeitteisenä aikana, mikä on seurausta leväsamennuksen vähentymisestä talvella. Vuosina 2009–2012 vaihtelu on ollut suurta, mutta selkeää kehitystä ei ole tapahtunut suuntaan tai toiseen.

Klorofylli-a:n pitoisuus ja veden sameus ovat vähentyneet tilastollisesti merkitsevästi (liite 1) heti juoksutuksen alettua. Ajanjaksojen 2006–2008 ja 2009–2012 välillä merkitsevää eroa ei ole enää syntynyt, vaikka vaihtelua molemmissa muutujissa on ollut eri vuosien välillä. Klorofylli-a:n pitoisuus saattaa edelleen kasvaa suureksi joinain vuosina etenkin loppukesällä ns. kasviplanktonin syyskukinnan vaikutuksesta. Klorofyllin määrä ja sameus kehittyvät Töölönlahdella keskenään samantapaisesti, joten sameutta aiheutuu Töölönlahdella etenkin leväkukinnoista. Sameuteen ja kiintoainemääriin vaikuttavat myös lahteen sisään virtaavan veden laatu ja veden vaihtuvuus. Myös Töölönlahden veden tehokas pystysuuntainen sekoittuminen lisää veden sameutta ja kiintoainemääriä resuspension kautta.

4.4 Kunnostushankkeelle asetettujen tavoitteiden täyttyminen vuosien 2009–2012 tulosten perusteella

Töölönlahdelle asetetut tavoitteet (Rakennusvirasto 2000) ja niiden toteutuminen on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Töölönlahden kunnostustavoitteet ja niiden toteutuminen vuosien 2009–2012 tulosten perusteella.

Tavoite	Toteutuminen
Veden näkösyvyys > 1 m	Ei ole toteutunut. Kesäaikainen keskimääräinen näkösyvyys on eri vuosina ollut 0,5–0,8 m. Neljän viime vuoden kaikkien mittausten keskiarvo on ollut $0,8 \pm 0,2$ m
Ei suurta hapen ylikyllästystä tai vajausta	Lähes toteutunut. Suurta ylikyllästystä havaittu harvoin. Suurta vajausta ei ole havaittu.
Fosforipitoisuus ei saisi hetkellisesti yllittää $50 \mu\text{g l}^{-1}$ pitoisuutta	Ei ole toteutunut. Pitoisuus on ylittynyt suurimmassa osassa mittauksia. Vuosien 2010–2012 kesäaikainen keskiarvo on $76,2 \pm 19,1 \mu\text{g l}^{-1}$.
Hygieeninen soveltuvuus uima-vedelle	Toteutunut. Lahden vesi kuuluu uimaveden laatuluokkaan erinomainen (95. prosenttipiste-arvo 116) ja kolibakteeripitoisuudet ovat olleet alhaisia. Viime vuosien aikana vain yhdessä näytteenotossa on havaittu selvästi korkeampia pitoisuuksia.
Ei merkittäviä levähaittoja	Toteutunut (varauksella). Havaitut levähaitat vaikuttaisivat olleen lyhytaikaisia, mutta niitä tulee edelleen pitää silmällä.

5 Johtopäätökset

Veden juoksutus on parantanut Töölönlahden veden laatua. Suurimmat muutokset veden laadussa tapahtuivat pian juoksutuksen alettua, ja sittemmin tila on pysynyt pääosin samantyyppisenä säilyttäen aiempaa paremman tason. Viimeisten vuosien aikana havaittava vaihtelu veden laadussa selittyi enemmän muilla ympäristötekijöillä kuin juoksutuksen aiheuttamilla muutoksilla. Juoksutus ei siten enää merkittävästi näytä parantavan lahden tilaa, mutta ylläpitää aiempaa parempaa veden laatua.

Kaikkia kunnostukselle asetettuja tavoitteita ei ole saavutettu, mutta monilta osin on edetty parempaan suuntaan. Hygieeninen laatu on parantunut juoksutuksen aloittamisen jälkeen tavoitteiden vaatimalle tasolle ja levähaittoja esiintyy nykyään vain harvoin. Myös hapen kyllästysasteen osalta tavoite täyttyi suurimmaksi osaksi. Sen sijaan näkösyvyys ja fosforipitoisuus ovat vielä jääneet tavoitteista, vaikka niissäkin on tapahtunut parannusta juoksutusta edeltävään tilaan verrattuna.

Töölönlahden veden laatu ei ole aivan samalla tasolla kuin juoksutustunnelin alkupäässä Humallahdella. Humallahden veden laatu näyttää kehittyvän eri ympäristötekijöiden vaikutuksesta samalla tavalla Töölönlahden kanssa, mutta pitoisuudet ovat Töölönlahdella jatkuvasti hieman korkeampia. Ilmeisesti Töölönlahden sisäinen kuormitus ja mahdollisesti Eläintarhanlahden kautta tuleva ravinteikas vesi ylläpitävät edelleen Humallahtea korkeampia ravinnetasoja, vaikka Töölönlahden sisäinen kuormitus onkin huomattavasti vähentynyt juoksutusta edeltävästä ajasta. Mikäli kunnostukselle asetetut tavoitteet halutaan täyttää, tulisi pohtia muita toimenpiteitä juoksutuksen ohelle.

Töölönlahden kunnostamisessa vahvasti esillä ollut sedimentin käsittely yhdessä juoksutuksen kanssa on pohdittu useaan otteeseen jo ennen juoksutuksen aloittamistakin ja sillä on esitetty olevan positiivisia vaikutuksia (Kansanen ja Norha 1996). Ennen kemialliseen käsittelyyn ryhtymistä päätettiin kuitenkin tarkkailla lisäveden johtamisen vaikutusta Töölönlahden veden laatuun (Kajaste 2003). Toinen vaihtoehto on pyrkiä vaikuttamaan tuloveden laatuun. Töölönlahden kunnostamisen hankesuunnitelmassa (Rakennusvirasto 2000) todetaan, että kauempaa Seurasaarenselältä olisi mahdollista johtaa vieläkin parempilaatuista vettä Töölönlahdelle. Linjan mitoituksessa on varauduttu vedenottoputken siirtämiseen aina keskiselle Seurasaarenselälle saakka, mutta tämä lisäisi kustannuksia ja pienentäisi johdettavan veden suurinta mahdollista määrää.

Töölönlahden tilan kehittymistä pidemmällä aikavälillä tarkasteltaessa on huomioitava, että veden laatu on muuttunut voimakkaasti jo 60-luvun lopulta alkaen ja kaikkein suurin muutos on saatu aikaan poistamalla lahteen tuleva ulkoinen kuormitus. Veden laadun parantamiseen tähtäävissä toimenpiteissä ulkoisen kuormituksen poistaminen onkin tyypillisesti ensimmäinen ja tärkein toimenpide ennen muihin kunnostustoimenpiteisiin ryhtymistä ja muiden toimenpiteiden vai-

kutus voi jäädä vähäiseksi tai olemattomaksi, jos ulkoiseen kuormitukseen ei puututa (Saarijärvi ja Sammalkorpi 2005).

Juoksutusta on syytä jatkaa Töölönlahden paremman tilan ylläpitämiseksi ja edelleen on tarpeellista tarkkailla Töölönlahden tilan kehittymistä ja juoksutuksen vaikutusta siihen.

6 Kirjallisuus

Giraudoux, P. (2013) *ggirmess: Data analysis in ecology*. R package version 1.5.8.

Kajaste, I. (2003) Töölönlahden kunnostushanke ja veden laatu ennen toimenpiteitä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 13/2003.

Kansanen, P. & Norha, T. (1996) Sedimentin kemialioinnin ja lisäveden johtamisen vaikutus Töölönlahden veden laatuun. Ympäristökeskuksen julkaisuja 5/96.

Kansanen, P., Norha, T., Pesonen, L. & Riiheläinen, T. (1995) Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 1/1995.

Kövessi, P. (2005) Investigation of flow and water exchange mechanisms in Töölönlahti, Helsinki. Master's thesis, Budapest University of Technology and Economics.

Laakkonen, S. (2001) *Vesiensuojelun synty. Helsingin ja sen merialueen ympäristöhistoriaa 1878–1928*. Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd. Tampere.

Muilu, A-P. (2004) Rakennusvirasto, ylläpitotoimisto. Puhelinkeskustelu 7.1.2014.

Munne, P., Tiensuu, M. & Vahtera, E. (2008) Töölönlahden kunnostushanke. Töölönlahden nykytila ja meriveden juoksutuksen vaikutus ensimmäisen kolmen vuoden aikana. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 19/2008.

Pellikka, K., Autio, L., Kajaste, I., Munne, P., Pesonen, L. & Räsänen, M. (2004) Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 2003. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen monisteita 1/2004.

R Core Team (2013) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Wien, Itävalta. Versio 3.0.2.

Rakennusvirasto (1997) *Vesijohtoveden johtaminen Töölönlahteen*. Helsingin kaupunki, Rakennusvirasto, Puisto-osasto. Maa ja vesi. Jaakko Pöyry Group. Yleissuunnitelma. Joulukuu 1997.

Rakennusvirasto (2000) Töölönlahden kunnostaminen johtamalla merivettä Seurasaaarenselältä. SCC Viatek Oy. Helsingin kaupungin rakennusviraston viherosaston selvityksiä 2000/9.

Saarijärvi, E. & Sammalkorpi, I. (2005) *Kunnostustarpeen määrittäminen*. Teoksessa *Järvien kunnostus* (Toim. Ulvi, T. & Lakso, E.) Helsinki. Edita Prima Oy.

Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1968) A practical handbook for sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167: 185–206.

Thouvenot-Korppoo, M., Lukkari, K., Järvelä, J., Leivuori, M., Karvonen, T. & Stipa, T. (2012) Phosphorus release and sediment geochemistry in a low-salinity water bay of the Gulf of Finland. Boreal Environment Research 17:237–251.

Tikkanen, M., Korhola, A., Seppä, H. & Virkanen, J. (1996) Töölönlahden ympäristöhistoria ja veden laadun muutokset pohjasedimenttien kuvastamana. Helsingin kaupungin tietokeskuksen tutkimuksia 1996/4.

Liite 1. Tilastolliset testit

Kruskal-Wallis ei-parametrisen testin tulokset jokaiselle mitatulle ominaisuudelle. H0: Kolmen eri ajanjakson kesänaikaiset mittaustulokset eivät eroa toisistaan.

	Kruskal-Wallis chi-squared	Vapausasteet	p-arvo
Lämpötila	3,79	2	0,15
Näkösyvyys	12,66	2	0,0018
Hapen kyllästysaste	14,28	2	<0,001
Suolapitoisuus	20,78	2	<0,001
Sameus	25,47	2	<0,001
Klorofylli-a	34,35	2	<0,001
Kokonaisfosfori	36,69	2	<0,001
Kokonaistyyppi	39,63	2	<0,001

Kruskal-Wallis testi kertoo, jos vähintään joku ajanjakso eroaa toisesta ajanjaksosta. Jatkotestin avulla selvitetään, mitkä ajanjaksot eroavat toisistaan. Testi ilmoittaa, jos ajanjaksojen välillä on tilastollisesti ($p < 0,05$) merkitsevä ero. Havaittu tilastollisesti merkitsevä ero on ilmoitettu taulukossa X:llä.

	2003 – 2005 & 2006 – 2008	2003 – 2005 & 2009 – 2012	2006 – 2008 & 2009 – 2012
Lämpötila			
Näkösyvyys		X	
Hapen kyllästysaste			X
Suolapitoisuus	X	X	
Sameus	X	X	
Klorofylli-a	X	X	
Kokonaisfosfori	X	X	
Kokonaistyyppi	X	X	

KUVAILULEHTI / PRESENTATIONSBLAD / DOCUMENTATION PAGE

Julkaisija Utgivare Publisher	Helsingin kaupungin ympäristökeskus Helsingfors stads miljöcentral City of Helsinki Environment Centre	Julkaisuaika/Utgivningstid/ Publication time Toukokuu 2014 / Maj 2014 / May 2014	
Tekijä(t)/Författare/Author(s)	Jani Helminen ja Emil Vahtera		
Julkaisun nimi Publikationens title Title of publication	Töölönlahden kunnostushanke. Töölönlahden nykytila ja meriveden juoksutuksen vaikutus ensimmäisten seitsemän vuoden aikana. Tolovikens instandsättning. Tolovikens nuvarande tillstånd och effekterna av havsvattenspumpning under de sju första åren. Restoration of the Toolonlahti bay. The current state of the bay and the effects sea water flushing during the first seven years.		
Sarja Serie Series	Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja Helsingfors stads miljöcentrals publikationer Publications by City of Helsinki Environment Centre	Numero/Nummer/No. 5/2014	
ISSN 1235-9718	ISBN 978-952-272-666-7	ISBN (PDF) 978-952-272-667-4	
Kieli Språk Language	Koko teos / Hela verket / The work in full Yhteenveto/Sammandrag/Summary Taulukot/Tabeller/Tables Kuvatekstit/Bildtexter/Captions	fin fin, sve fin fin	
Asiasanat Nyckelord Keywords	Töölönlahti, meriveden juoksutus, kunnostus, ravinteet, klorofylli-a, pohjaeläimet, haitta-aineet Tölövikens, pumpning av havsvatten, istandsättning, näringsämnen, klorofyll-a, bottenfauna, skadliga ämnen Toolonlahti bay, sea water flushing, restoration, nutrients, chlorophyll-a, benthos, harmful substances		
Lisätietoja Närmare upplysningar Further information	Emil Vahtera Puh./tel. 09 310 64546 Sähköposti/e-post/e-mail: emil.vahtera@hel.fi		
Tilaukset Beställningar Distribution	Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Asiakaspalvelu PL 500, 00099 Helsingin kaupunki Helsingfors stads miljöcentral, Kundtjänst PB 500, 00099 Helsingfors stad City of Helsinki Environment Centre, Customer Service P.O. Box 500, FIN-00099 CITY OF HELSINKI Puh./tel. +358-9-310 1635 Sähköposti/e-post/e-mail: ymk@hel.fi		

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2013

1. Hämäläinen, A. Jäähdytettyjen ruokien hygieeninen laatu 2012
2. Öjst, H. Sushin mikrobiologinen laatu vuonna 2012
3. Saarijärvi, P., Riska, T., Mäkelä, H.-K., Laine, S. Voileipätäytteiden mikrobiologinen laatu Helsingissä 2011
4. Summanen, E. Ympäristönsuojelumääräysten noudattaminen rakennustyömailla Helsingin kaupungin alueella
5. Borgström, O. Myymälöiden palvelumyynnissä olevien sellaisenaan syötävien elintarvikkeiden mikrobiologinen laatu Helsingissä vuosina 2010 ja 2011
6. Kupiainen, K., Ritola, R. Nastarengas ja hengitettävä pöly. Katsaus tutkimuskirjallisuuteen.
7. Männikkö, J. - P., Salmi, J. Ympäristövyöhyke Helsingissä ja eräissä Euroopan kaupungeissa vuonna 2012
8. Vahtera, E., Hällfors, H., Muurinen J., Pääkkönen J.-P., Räsänen, M. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2012. Jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu
9. Meriläinen, M.-K. Ravintoloiden riisin ja lihan hygieeninen laatu Helsingissä 2011
10. Pakarinen, R. Helsinkiläisten kattolokit ja valkoposkihanhet
11. Harjuntausta, A., Kinnunen, R., Koskenpato, K., Lehikoinen, P., Leppänen, M., Nousiainen, I. Valkoposkihanhasta aiheutuvien haittojen lieventäminen
12. Espoon seudun ympäristöterveys, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Keski-Uudenmaan ympäristökeskus, Vantaan ympäristökeskus ja Metropolilab Oy. Elintarvikehuoneistoissa käytettävän jään hygieeninen laatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2012
13. Pynnönen, P. Vanhankaupunginlahden sudenkorentoselvitys 2012
14. Mattero, E. Selvitys Helsingin kaupungin ympäristöpolitiikan toimeenpanosta
15. Salminen, P. Helsingin, Lahden ja Turun kaupunkien vertaisarvio ilmastopolitiikasta ja hulevesien hallinnasta
16. Natural Interest Oy. Palmian catering-palvelujen hiilijalanjälki
17. Pellikka, K. Helsingin lähteet
18. Pahkala, E., Viiru, J. Pizzatäytteiden hygieeninen laatu Helsingissä 2012–2013
19. Mattila, J., Rastas, T. Yleisten uimarantojen hygienia, uimavesiluokitus ja kuluttajaturvallisuus Helsingissä vuonna 2013
20. Mikkola-Roos, M., Rusanen, P., Haapanen E., Lehikoinen A., Pynnönen P., Sarvanne, H. Helsingin Vanhankaupunginlahden linnustonseuranta 2012. Vuosien 2000–2012 yhteenveto
21. Pitkänen, E., Haahla A., Määttä A., Kokkonen J., Kontkanen, O. Helsingin kaupungin meluntorjunnan toimintasuunnitelman tarkistus 2013

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2014

1. Reko, T. Tapahtuman hiilijalanjäljen laskennan rajausta
2. Airola, J. Helsingin I-luokan pohjavesialueiden vedenlaatu 2008
3. Pahkala, E., Rautio, M. Vihersalaattien ja raasteiden hygieeninen laatu Helsingissä 2010 ja 2013
4. Tornainen, H.-M. Siirtoasiakirjamenettelyn toimivuus käytännössä. Selvitys jätelain 121 §:n mukaisen siirtoasiakirjan käytöstä
5. Helminen, J., Vahtera, E. Töölönlahden kunnostushanke. Töölönlahden nykytila ja meriveden juoksutuksen vaikutus ensimmäisten seitsemän vuoden aikana