

Keski-Uudenmaan ympäristökeskuksen julkaisuja 3/2022

Tuusulanjärven tilan kehitys 1974–2021 ja kunnostuksen toimintasuunnitelma 2022–2027

Jaana Hietala, Janne Heikkinen ja Ilkka Sammalkorpi



Keski-Uudenmaan ympäristökeskuksen julkaisu 3/2022

Tuusulanjärven tilan kehitys 1974–2022 ja kunnostuksen toimintasuunnitelma 2022–2027

Tekijät: Jaana Hietala, Janne Heikkinen ja Ilkka Sammalkorpi

Valokuvat: Keski-Uudenmaan ympäristökeskus ja Keski-Uudenmaan vesiensuojelun lky, jos ei toisin mainittu.

Keski-Uudenmaan ympäristökeskus

Järvenpää, Kerava, Mäntsälä, Nurmijärvi, Tuusula

www.keskiuudenmaanymparistokeskus.fi

Julkaisun nimi	Tuusulanjärven tilan kehitys 1974–2021 ja kunnostuksen toiminta-suunnitelma 2022–2027		
Tekijät	Jaana Hietala, Janne Heikkinen ja Ilkka Sammalkorpi		
Sarja	Julkaisu 3/2022		63 sivua + 3 liitettä

Rehevöityneen Tuusulanjärven kuntoa on viime vuosikymmeninä kohennettu monin keinoin. Ensimmäiset edellytykset luotiin, kun taajamien jätevesien johtaminen Viikinmäen puhdistamoon toteutettiin vuonna 1979. Vaikka ulkoinen ravinnekuormitus on vielä liian suurta verrattuna järven sietokykyyn, on järven tila parantunut. Hapetus ja hoitokalastus ovat vähentäneet järven sisäistä ravinteiden kiertoa, mikä näkyy järven kesäajan fosforipitoisuuden ja levämäärän merkittävänä vähenemisenä. Joinakin 2000-luvun kesinä sinilevää ei ole havaittu lainkaan.

Vuoden 2019 ekologisessa luokittelussa järven tila parani välttävästä tyydyttäväksi. Vaikka tulokset ovat olleet varsin hyviä, tekemistä riittää tuleville vuosillekin. Järven tilan pysyvä paraneminen vaatii ulkoisen, erityisesti maataloudesta aiheutuvan kiintoaine- ja ravinnekuormituksen voimakasta pienentämistä. Maatalousvaltaisten valuma-alueiden toimenpiteet painottuvat viljelytoimenpiteisiin. Savimaille sopivista maanparannusaineista on saatu hyvä kokemuksia ja peltojen kasvipeitteisyys vähentää eroosiota. Myös keinolannoitteiden käyttöä on vähennetty. Lähes kaikki valuma-alueen maatilat ovat sitoutuneet ympäristötukiehtoihin ja viljelijät kiinnittävät huomiota viljelyn ympäristöystävällisyyteen. Pannostus näkyy fosforin hajakuormituksen vähentymisenä EU-tukikausien aikana.

Taajama-alueilla keskitytään hulevesikuormituksen vähentämiseen. Pääkaupunkiseudun kasvu heijastuu Keski-Uudenmaan alueella, missä asukasmäärä tulee kasvamaan lähivuosina ja uusia alueita kaavoitetaan ja vanhoille alueille suunnitellaan täydennysrakentamista. Aluesuunnittelussa tulee ottaa huomioon hulevesien hallinta ja ravinnekuormituksen vähentäminen. Myös jätevesiverkoston kunnan ylläpitäminen on tärkeää.

Kalatutkimusten mukaan järven kalasto on särkikalavaltainen. Erityisesti lahnojen aiheuttama ravinteiden kierrätys (sisäinen kuormitus) voi olla hyvin suurta ja yhdessä suotuisien sääolojen kanssa ne ovat todennäköisesti aiheuttaneet sinilevien runsastumisen lämpiminä 2010-luvun kesinä. Vuosittainen hoitokalastus on tarpeen, koska niin voi vähentää Tuusulanjärven ravintoketjuun sitoutuneita ravinteita, jotka ilman hoitokalastusta jäisivät kiertämään ekosysteemiin.

Kunnostustyöt jatkuvat ainakin vuoteen 2027, jolloin Tuusulanjärven ekologisen tilan olisi määrä olla hyvällä tasolla. Mahdollisen uhkan kunnostustöiden onnistumiselle aiheuttaa ilmastonmuutos, sillä leudot ja sateiset talvet lisäävät eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista vesiin.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	6
2	Perustietoa Tuusulanjärvestä	7
3	Tuusulanjärven historia ja rehevöityminen	9
4	Tuusulanjärven kunnostustoimet	11
4.1	Ulkoisen kuormituksen vähentäminen	11
4.2	Sisäisen ravinnekuormituksen vähentäminen	12
4.3	Rantojen hoito.....	13
5	Tuusulanjärven tilan kehitys	15
5.1	Seurannan toteuttaminen.....	15
5.2	Sääolosuhteet.....	15
5.3	Ulkoinen ravinnekuormitus.....	17
5.4	Fysikaalis-kemiallinen tila.....	19
5.5	Kasviplankton	22
5.6	Kalasto	25
5.7	Eläinplankton.....	27
5.8	Tuusulanjärvi lintuvetenä.....	28
5.9	Vesikasvikartoitukset	29
5.10	Pohjaeläintutkimukset	30
5.11	Ekologinen ja kemiallinen luokittelu	31
6	Sisäisen kuormituksen vähentäminen	33
6.1	Kierrätysrapetus	33
6.1.1	Happipitoisuus.....	33
6.1.2	Kaasun muodostus syvänealueella	35
6.2	Hoitokalastus.....	36
6.3	Vaikutusten arviointi	38
7	Kunnostustoimet vuosille 2022–2026	41
7.1	Hajakuormituksen vähentäminen.....	41
7.1.1	Maatalouden vesiensuojelu	42
7.1.2	Hulevesikuormituksen vähentäminen	46
7.1.3	Kosteikkorakentaminen ja uomakunnostukset.....	48
7.2	Jätevesikuormituksen vähentäminen	49
7.3	Sisäisen kuormituksen vähentäminen	50
7.3.1	Hoitokalastus.....	50
7.3.2	Petokalakantojen hoito	51
7.3.3	Alusveden kierrätysrapetus	52
7.4	Rantojen hoito.....	54
7.5	Seuranta	54
7.6	Säännöstelykäytännön tarkistus	55

Lähdeluettelo	56
Liitteet	64
Liite 1. Tuusulanjärven kasviplanktonin pääryhmien biomassa kuukausittain vuosina 1974–2021.	64
Liite 2. Tuusulanjärven vesikasvillisuuskartoitus kesällä 2020	65
Liite 3. Järvenpään hulevesiryhmän toimintamalli	66

1 Johdanto

Uudenmaan maakuntajärvi, Tuusulanjärvi on luonnostaan keskiravinteinen, mesotrofinen järvi (Tolonen ym. 1990). Asutuksen lisääntyminen ja keinolannoitteiden käytön voimistuminen Tuusulanjärven ympäristössä merkitsivät ravinnekuormituksen lisääntymistä ja järvi rehevöityi. Järven tila huononi nopeasti 1960-luvulla jätevesi- ja hajakuormituksen vaikutuksesta (Anttila 1968; Harjula 1971). Tuusulanjärven kunnostus aloitettiin 1970-luvulla hapetuksella (Keto & Seppänen 1973; Numminen & Lemmelä 1976). Kun taajamien jätevedet 1979 ohjattiin Keski-Uudenmaan meriviemäriin, ravinnekuormitus väheni puoleen. Jäljelle jäi vielä suuri hajakuormitus, huonokuntoisesta pohjasedimentistä aiheutuva suuri sisäinen kuormitus ja tiheä särkikala-valtainen kalasto (Pekkarinen 1990). Niistä johtuen järvi pysyi erittäin rehevänä ja sinilevävaltaisena.

Ensimmäinen laaja kunnostussuunnitelma valmistui 1984 (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto 1984). Sedimenttitutkimukset (Kansanen 1992) toivat tietoa järven sisäisen kuormituksen määrästä. Pohjasedimentin kunnostamista kemiallisella käsittelyllä ja savipeitolla tutkittiin ja suunniteltiin 1990-luvulla (Sommarlund ym. 1998). Savipeitosta luovuttiin ja se korvattiin mm. Lahden Vesijärven (Sammalkorpi ym. 1995) hyvien kokemusten rohkaisemina hoitokalastuksella, joka aloitettiin syksyllä 1997 ja tehostetulla kierrätyshapetuksella, joka aloitettiin keuhalla 1998 (Lappalainen 1998).

Tuusulanjärven kunnostuksen keskeisin tavoite on valuma-alueen ravinnekuormituksen vähentäminen. Järveen laskevien purojen varsille on rakennettu kosteikkoja ja laskeutusaltaita. Tuusulanjärven sisäistä kuormitusta vähennetään ravintoketjukunnostuksella ja hapettamalla. Kunnostustoimien ansiosta järven tila on parantunut ja Tuusulanjärven ekologinen tilaluokka parantui välttäväästä tyydyttäväksi vuoden 2019 luokittelussa (Uudenmaan ELY-keskus 2020).

Sinileväkukinnat ovat vähentyneet, mutta lämpimien kesien sinileväkukinnat muistuttavat, että järven tila ei ole pysyvästi parantunut. Uudenmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen vesienhoitosuunnitelman mukaan järvi olisi mahdollista saada runsasravinteisen järven (Rr) hyvää ekologista luokkaa vastaavaan tilaan vuoteen 2027 mennessä (Ahokas ym. 2021). Tämän saavuttaminen vaatii vielä määrätietoista ja tehokkaita hajakuormituksen vähentämistoimia etenkin peltoviljelyn suhteen sekä sisäisen kuormituksen vähentämistä. Ilmastonmuutos aiheuttaa erityisiä paineita sekä valuma-alueen vesiensuojelutoimien että sisäisen kuormituksen vähentämisen tehostamiselle.

Laajamittaista ja pitkäjänteistä seurantaan tarvitaan järviökosysteemin monimutkaisen kokonaiskuvan luomisessa. Vesiekosysteemin vuorovaikutussuhteiden ymmärtäminen mahdollistaa kunnostustoimien suunnittelun. Tuusulanjärvestä on olemassa paljon tutkimustietoa, jonka avulla voidaan arvioida, ovatko kunnostustoimet oikein mitoitettuja ja niiden vaikutukset oikean suuntaisia. Tämä raportti on yhteenveto Tuusulanjärven rehevöitymiskehityksestä, kunnostushistoriasta ja vedenlaadun kehittymisestä. Seurantatietojen perusteella hahmotellaan kunnostussuunnitelma vuosille 2022–2026.

Kirjoittajat kiittävät Lauri Arvolaa, Liisa Garciaa ja Tommi Malista arvokkaista kommentteista käsikirjoitukseen.

2 Perustietoa Tuusulanjärvestä

Keski-Uudellamaalla, Tuusulan kunnan ja Järvenpään kaupungin alueilla, sijaitsevan Tuusulanjärven pinta-ala on 6,0 km², keskisyvyys 3,2 metriä ja tilavuus 19 milj. m³ (Taulukko 3.1). Järven syvin kohta, 9,8 metriä, sijaitsee Pekka Halosen taitelijakodin, Halosenniemen edustalla. Etelä- ja pohjoispää ovat matalia ja keskisyvänteen (syvyys > 6 m) pinta-ala on n. 80 ha (SYKE, avoin tieto).

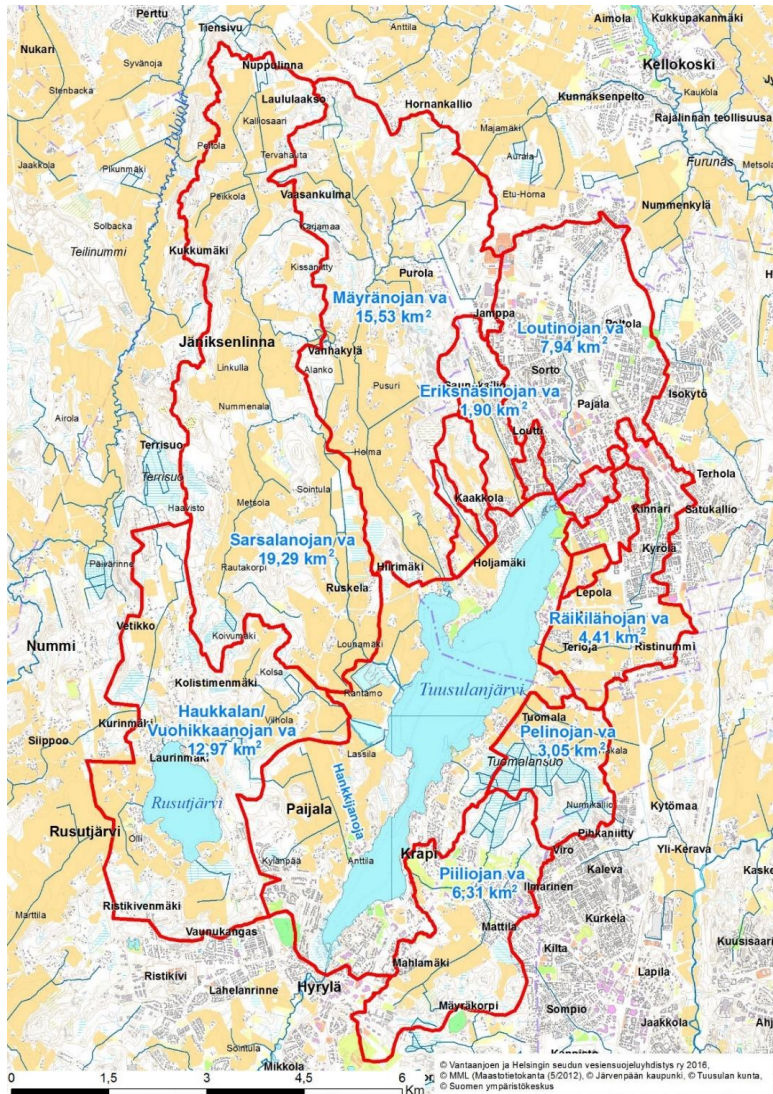
Taulukko 2.1. Tuusulanjärven hydrologiset ja morfologiset ominaisuudet.

Muuttuja		
Järven pinta-ala (A)	5,93 km ²	
Suurin syvyys (D _{max})	9,8 m	
Keskisyvyys (D)	3,2 m	
Vesitilavuus (V)	19 milj. m ³	
Teoreettinen viipymä	225 vrk	
Valuma-alueen pinta-ala	92 km ²	
	Peltoa	28 %
	Metsää	34 %
	Rakennettua	26 %

Tuusulanjärvi on luontaisesti rehevä savialueen järvi ja valuma-alueen pinta-ala on n. 92 km² (Kuva 2.1). Valuma-alueesta savikoita on 52 %. Moreenia esiintyy jonkin verran kaikilla osavaluma-alueilla. Liejua ja turvemaata löytyy Sarsalanojan, Mäyränojan ja Pelinojan osavaluma-alueilta (Lahti ym. 2016). Maatalousmaan osuus koko valuma-alueen pinta-alasta on 28 %, metsien 34 % ja rakennettujen alueiden 26 % (Taulukko 2.2). Osavaluma-alueista suurimmat ovat Sarsalanojan ja Mäyränojan alueet, jotka ovat maatalousvaltaisia ja alajuoksultaan tulvaherkkiä. Järvenpään kaupungissa sijaitsevien Loutinojan ja Räikilänojan alueet ovat pääosin rakennettuja. Myös lähivaluma-alueen itäisillä ranta-alueilla on paljon rakennettua aluetta. Muut laskuojat ovat Haukkalanoja / Vuohikkaanoja, Piilioja, Pelinoja, Hankkijanoja ja Eriksnäsiänoja (Kuva 2.1, Taulukko 2.2). Haukkalanojan valuma-alueella sijaitsee pienempi Rusutjärvi (1,4 km²).

Tuusulanjärvellä on Natura-alue, joka koostuu kolmesta erillisestä vesi- ja rantakosteikkoalueesta (Tuusulanjärven lintuvesi FI0100046). Pohjoispohjukan osa-alue kuuluu Järvenpäähän, kun taas länsirannan ja eteläpään osa-alueet sijaitsevat Tuusulassa. Natura-alueella rannat ovat pääosin rakentamattomia, vesi- ja rantakasvillisuudeltaan runsaita lahtia, jotka ovat tärkeitä linnustolle. Luontotyyppit ovat rehevöityneelle järvelle tavanomaisia kosteita niittyjä ja rantaluhtia.

Tuusulanjärveä säännöstellään vuonna 1959 rakennetun padon avulla. Säännöstelystä vastaa Keski-Uudenmaan vesiensuojelun lky (KUVES) Länsi-Suomen vesioikeuden päätöksen mukaan (no 65/1989/1, 14.9.1989).



Kuva 2.1. Tuusulanjärvi ja osa-
valuma-alueet.

Taulukko 2.2. Tuusulanjärven osavaluma-alueiden pinta-alat (km²) sekä metsämaan, maatalousmaan ja rakennetun alueen osuudet valuma-alueiden pinta-alasta (%) (Lahti ym. 2016, Räikilänojan tiedot Hietala 2021).

Osavaluma-alue	Pinta-ala (km ²)	Metsämaa (%)	Maatalousmaa (%)	Rakennettu (%)
Lähivaluma-alue	13,0	34	21	39
Sarsalanoja	19,3	50	41	7
Mäyränoja	15,5	55	38	13
Vuohikkaanoja	13,0	49	25	16
Loutinoja	7,9	30	0	70
Piilioja	6,3	28	16	37
Räikilänoja	4,4	9	17	74
Hankkijanoja	3,1	39	46	15
Pelinoja	3,1	66	22	11
Eriksnäsiönoja	1,9	38	16	45

3 Tuusulanjärven historia ja rehevöityminen

Tuusulanjärven vanha nimi on Kaukjärvi. Aikaisemmin nimen ajateltiin merkitsevän järveä, jonka sijainti on kaukainen. Nykytutkimuksen mukaan järvi sai nimensä pitkänomaisesta muodostaan, sillä kauka-sanana vanha merkitys suomenkielessä on ”pitkä”. Kaukjärvi säilyi nimenä 1600-luvun loppupuolelle saakka. Tuusulan seurakunnan itsenäistyessä järveä alettiin kutsua Tuusulan kylän mukaan Tuusulanjärveksi (Syrjämäki 1997).

Ihminen tulee Kaukjärvelle

Tuusulanjärven allas sijaitsee lounais-koillisuuntaisessa kallioperän murroslaaksossa, joka ulottuu Kirkkonummelta Espoon, Vantaan, Tuusulan ja Mäntsälän kautta Lahteen saakka. Espoon Pitkäjärvi on lounaasta alkaen ketjun ensimmäinen järvi, ja Espoonjoki sen laskujokena virtaa samassa laaksossa. Myös Vantaanjoki ja Tuusulanjoki sijaitsevat tässä ikivanhassa uomassa. Noin 9000 vuotta sitten Tuusulanjärvi alkoi kuroutua irti järveen asti ulottuneesta pitkästä vuonosta. Ihminen seurasi perääntyvää jäätä. Ancyclusjärven ja Litorinameren vaiheilta on löytöjä, jotka todistavat varhaiskivikautisen ihmisen asuttaneen Etelä-Suomea. Tuusulanjärven ympäristön arkeologiset löydöt kertovat hylkeenpyytäjien liikkuneen alueella yli 9000 vuotta sitten ja 4000 vuotta myöhemmin on löytynyt merkkejä paimentolaisista (Syrjämäki 1997). Vuoden 1000 tienoilla sarasti rautakautinen erä- ja kaskikulttuuri, josta ovat merkinä järven pohjasedimentin viljelykasvien siitepölyjäänteet (Tolonen ym. 1990).

Rehevöitymiskehitys ja jätevesikuormituksen lopettaminen

Tuusulanjärvellä on tehty kaksi järven rehevöitymiskehitystä jäljittävää paleoekologista tutkimusta, jotka kattavat vuodet n. 500–1986 (Harjula 1972; Tolonen ym. 1990). Sedimentin piileväjäänteiden perusteella Tuusulanjärvi on alun perin ollut keskiravinteinen, mesotrofinen järvi. Ihmisvaikutus valuma-alueen maankäyttöön näkyy n. 1000 vuotta vanhassa sedimenttikerroksessa, jossa on kaskiviljelyn aloittamiseen liittyviä siitepölyjäänteitä. Maan muokkaus ja viljelyn aloittaminen lisäsivät kiintoaineksen ja ravinteiden määrää valumavesissä ja kertymistä pohjalle: se oli 1980-luvun lopulla 10-kertaa luonnontilaa suurempi (Tolonen ym. 1990).

Tuusulanjärvi muuttui lievästi reheväksi jo 1800-luvun puolivälissä (Harjula 1972; Tolonen ym. 1990). Suurin muutos ravinnepitoisuuksissa tapahtui 1900-luvulla, jolloin rehevöityminen nopeutui (Järnefelt 1937). Järvenpään kauppala kasvoi nopeasti 1940-luvun jälkeen ja asutuksen jätevedet johdettiin järveen joko suoraan tai aktiivilietepuhdistamon kautta. Samaan aikaan myös väkilannoitteiden käyttö yleistyi (Anttila 1968). Lisääntynyt ravinnekuormitus kiihdytti järven rehevöitymistä. 1970-luvulla järvi oli ylirehevä ja vesi oli hapetonta jopa parin metrin syvyydestä alkaen (Harjula 1971). Hapettomuus lisäsi ravinteiden liukenemistä pohjasta, jolloin järvi alkoi kuormittaa itse itseään (sisäinen kuormitus). Vuonna 1972 aloitettu järven ilmastus piti veden happitilanteen tyydyttävänä ja esti kalojen verkkokuolemat (Numminen & Lemmelä 1976).

Ravinnekuormitus puoliintui vuonna 1979, jolloin Järvenpään kaupungin jätevedet ohjattiin Keski-Uudenmaan meriviemäriin. Jäljelle jäivät vielä suuri hajakuormitus, huonokuntoisesta pohjasedimentistä aiheutuva suuri sisäinen kuormitus ja tiheä särkikalavaltainen kalasto. Niistä johtuen järvi pysyi erittäin rehevänä ja sinilevävaltaisena (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun

kuntainliitto 1984, Pekkarinen 1990). Järvellä toteutettiin laaja sedimentin kunnostustutkimushanke, jonka tavoitteena oli selvittää sisäisen kuormituksen määrää ja vähentämiskeinoja (Kansanen 1992; Sommarlund ym. 1998).

Järven tehokas kunnostus alkaa

Kesällä 1997 sinilevämäärä oli yhtä suuri kuin pahimpina 1970-luvun vuosina. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä käynnisti tehostetut kunnostustoimenpiteet niitä rajoittamaan; hoitokalastuksen syksyllä 1997 ja kierrätysahpetuksen kesällä 1998. Kuntalaisten perustama Pro Tuusulanjärvi keräsi vuonna 1998 lähes 9 000 nimeä adressiin järven pelastamiseksi. Kantaa järven puolesta ottivat myös useat tunnetut taiteilijat sekä elinkeinoelämän ja yhteiskunnalliset vaikuttajat (Reinikainen 2002). Valtiolta saatiin Tuusulanjärven kunnostukseen 2 milj. mk (noin 335 000 €). Tuusulan ja Järvenpään päättäjät sekä Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä sopivat myös yhteisestä yli 3 milj. euron kunnostuspaketista seuraavalle viidelle vuodelle. Näin vuonna 1999 käynnistyi Tuusulanjärven kunnostushanke, joka jatkuu edelleen.

4 Tuusulanjärven kunnostustoimet

4.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Valuma-alueella tehtävien kunnostustoimenpiteiden tarkoituksena on vähentää järveen kulkeutuvaa rehevöittävää kuormitusta. Ravinteita, erityisesti fosforia, joka on tärkein sisävesien perustuotantoa rajoittava ravinne (esim. Wetzel 1983; Eloranta 2005; Schindler ym. 2016) huuhtoutuu järveen edelleen lähes kaksinkertainen määrä verrattuna siihen, mitä järvi voi sietää (Marttila 2004; Ahokas ym. 2021). Noin puolet Tuusulanjärven ulkoisesta kuormituksesta on peräisin maanviljelystä ja siksi maatalouden vesiensuojelu on ensiarvoisen tärkeää Tuusulanjärven tilan pysyvälle paranemiselle (Lahti ym. 2016). Tuusulanjärven valuma-alueen maaperä on eroosioherkkää. Eroosion torjuntaan on panostettava jatkossa entistä enemmän, koska ennusteiden mukaan ilmastonmuutos tulee lisäämään sateisuutta ja kiintoaineen huuhtoutumista kasvipeitteiltä pelloilta erityisesti syksyisin ja talviaikana. Lähes kaikki Tuusulanjärven valuma-alueen maatilat ovat sitoutuneet maatalouden ympäristötukijärjestelmään, joista tärkeimpiä ovat ravinteiden käyttö ja kasvipeitteisyys.

Puroihin ja ojiin huuhtoutuneita ravinteita ja maahiukkasia pyritään pysäyttämään kosteikkoihin ja laskeutusaltaisiin ennen kuin ne kulkeutuvat järveen saakka (Taulukko 4.1). Kosteikot elävöittävät myös maisemaa, lisäävät vesiluonnon monimuotoisuutta ja tarjoavat suojaa ja pesäpaikkoja linnuille. Kosteikot toimivat sitä paremmin, mitä laajempia ne ovat suhteessa valuma-alueensa kokoon (Puustinen ym. 2007). Toteuttajina ovat olleet kunnat, yksityiset maanomistajat ja yhdistykset sekä Tuusulanjärvi-hanke. Uudenmaan ympäristökeskus on huolehtinut useiden kohteiden suunnittelusta ja käytännön toteutuksesta yhdessä kunnostushankkeen kanssa. Toteutettujen kosteikkojen kokonaispinta-ala on noin 0,5 % Tuusulanjärven valuma-alueen pinta-alasta.

Tuusulanjärven valuma-alueelle rakennetaan uusia teollisuus- ja asuinalueita, joiden hulevesiratkaisut on suunniteltava siten, ettei järven ravinnekuormitus lisääny. Erityisesti rakentamisen aikainen kuormitus voi olla hyvin suurta ja hyvällä työmaiden vesienhallinnalla voidaan vähentää kiintoaineen ja ravinteiden kuormitusta (Sillanpää & Koivusalo 2015).

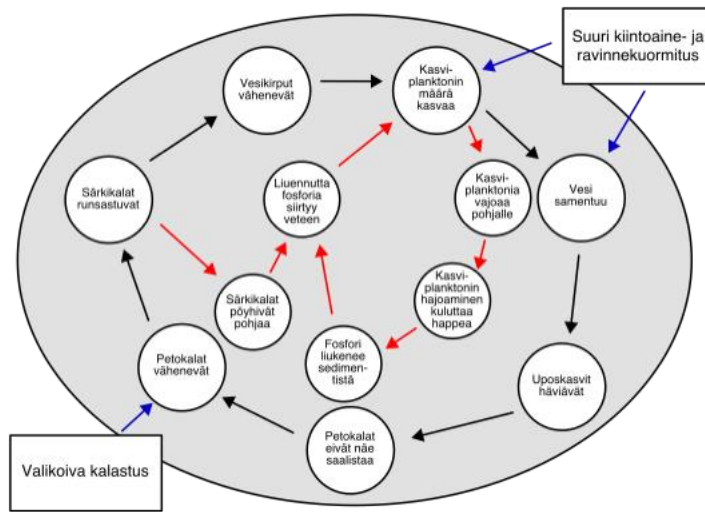
Taulukko 4.1. Tuusulanjärven valuma-alueelle rakennetut vesiensuojelurakenteet. KUVES=Keski-Uudenmaan vesiensuojelun ky, UYK= Uudenmaan ympäristökeskus.

Valuma-alue ja kohde	Toteuttaja	Valmistu- nut	Pinta-ala (ha)	Yläpuolinen valuma-alue (ha)	Pellon osuus (%)
Vuohikkaanojan va.					
Keskiosan allasketju	Paijalan eränkävijät	1997	1,3	1 244	24
Kirjokalliojoja	Viljelijät	2000	1,0	138	37
Sarsalanojan va.					
Klenkko	Viljelijät	1999	2,5	1 250	46
Rantamo I	UYK	2001	6	1 900	43
Rantamo II ja-Seitteli	UYK	2009	24	1 900	43
Mäyränojan va.					
Suukosteikko	UYK	2002	1,8	1 636	35
Hanhilahden allas	UYK	2007	0,2	230	46
Puutarhurin allas I	UYK	2007	0,05	25	0
Tikkapiilo ja Koskela	UYK	2011	3,1	230	36
Puutarhurin allas II	Tuusula	2021	0,34	25	0
Isihakanojan va.					
Kaakkola	Viljelijä	1999	0,14	90	18
Loutinojan va,					
Hajotusojasto	LIFE-hanke	2006	9,8	800	0
Wärtsilän allas ja bio- suodatuskenttä	Järvenpää	2019	0,34	40	0
Räikilänojan va.					
Alaosa	KUVES	2001	0,17	440	35
Lepola I-IV	Järvenpää	2012–2020	0,73	330	15
Pelinojan va.					
Ponttiseinä	KUVES	2000	0,1	350	33
Piiliojan va.					
Rykmentinpuisto	Tuusula	2019	0,7	50	0

4.2 Sisäisen ravinnekuormituksen vähentäminen

Järven suurimmat fosforivarastot sijaitsevat pohjasedimentissä (Søndergaard ym. 2003). Tuusulanjärven sedimenttiin varastoituneen fosforin kierto on ollut keskeinen rehevyyttä ja leväku- kintoja ylläpitävä mekanismi (Pekkarinen 1990, Kansanen 1992; Sommarlund ym. 1998). Sedi- menttiin kertynyt fosfori vapautuu uudelleen hapettomuuden seurauksena. Ravinteet ruokkivat levien kasvua, joiden hajoaminen kuluttaa vedestä happea ja aiheuttaa syvänteiden hapetto- muutta. Tällöin rehevä järvi ruokkii itse itseään ja puhutaan rehevöitymisen noidankehästä (Kuva 4.1). Järviveden fosforisisältö saattaa lyhyessä ajassa kesäaikana kaksinkertaistua. Tiheä särkikalakanta voimistaa ilmiötä. Pohjalla ruokailevat kalat siirtävät fosforia vesipatsaaseen, al- tistavat sedimenttiä aallokon sekoittavalle vaikutukselle (Scheffer ym. 2003) ja kierrättävät ulos-

teissaan ravinteita levien kasvulle (Tarvainen 2007; Williamson ym. 2018). Petokalojen elinolosuhteet heikkenevät rehevöitymisen ja valikoivan kalastuksen takia eivätkä ne pysty estämään särkikalojen runsastumista.



Kuva 4.1. Rehevyyttä ylläpitävät vuorovaikutukset.

Tuusulanjärven syvänealueen hapettomuudesta ja kalaston rakenteesta johtuvaa sisäistä kuormitusta on vähennetty hapetuksella ja ravintoketjukunnostuksella. Tuusulanjärven hapetus toteutetaan kierrätyshapetuksena, jossa hapekasta ja lämpimämpää päällysvettä pumpataan alusveteen. Tavoitteena on pitää järvi täyskierronomaaisessa tilassa ja estää happikadon synty (Lappalainen 1998). Ravintoketjukunnostus käsittää hoitokalastuksen lisäksi petokalais- tuteuksia ja umpeenkasvaneiden rantojen ruoppauksia haukien kutupaikkojen parantamiseksi. Toimien perusteita ja vaikuttavuutta käsitellään tarkemmin kappaleessa 6 (s. 32).

4.3 Rantojen hoito

Helsingin kaupunki aloitti Tuusulanjärven säännöstelyn vuonna 1959 järven luusuaan rakennetun padon avulla. Säännöstelyn avulla tasattiin kevättulvia, mutta vedenkorkeuden luontainen vaihtelu estyi. Säännöstelyn ja rehevöitymisen yhteisvaikutuksena kasvillisuusvyöhykkeet levittäytyivät järvelle päin, hauen kutualueet alkoivat kasvaa umpeen ja rantaan muodostui rantapalle, joka esti veden pääsyn vesilintujen suosimille rantaluhdille. Vuonna 1989 säännöstely siirtyi KUVESin hallinnoimaksi ja säännöstelyrajoja muutettiin luonnonmukaisemmaksi (Länsi-Suomen vesioikeus, päätös nro 65/1989/1, 14.9.1989).

Tuusulanjärven umpeen kasvaneita ja liettyneitä ranta-alueita on kunnostettu 2000-luvun vaihteessa laadittujen suunnitelmien mukaan (Lammi & Venetvaara 1999; Maa ja Vesi Oy 2000; Yrjölä ym. 2003). Rantaruoppauksia toteutettiin Tuomalassa ja Tuusulan kirkkorannassa. Eteläosan ja itärannan tiheään rantaruovikkoon kaivettiin kanavia vedenvaihtuvuuden parantamiseksi vuosina 2001–2006. Vuosina 2006–2007 toteutettiin hajotusojastot järven länsirannalle Sarsalanojan suulle sekä pohjoisrannalle Loutinojan suulle osana Lintulahdet Life -projektia

(Priha & Korkeamäki 2007). Samaan aikaan rakennettiin lintutornit Tuusulanjärven etelä- ja pohjoispäähän. Tuusulan lintutorni purettiin huonokuntoisena keväällä 2022 ja kunta suunnittelee uutta pitkospuureitistöä eteläpään Natura-alueelle.

Vesikasvillisuuden niitot aloitettiin vuonna 2001. Niittosuunnitelmat on laadittu vesikasvillisuus-kartoitusten perusteella, ja lintujen pesintäalueet ja -ajankohdat on otettu niittojen toteutuksessa huomioon (Venetvaara 2010). Niittojen avulla pyritään pitämään avoimina alueet, jotka on avattu ruoppaamalla. Niitoilla torjutaan myös järven umpeenkasvua ja kelluslehtisten kasvien levittäytymistä matalilla alueilla. Niitetty kasvillisuus kerätään pois järvestä, kompostoidaan ja hyödynnetään peltojen lannoituksessa.

Karvalehti runsastui veden kirkastuttua 2000-luvun alussa ja sitä poistettiin vuosina 2004–2008 4 300 m³. Karvalehtimassan sisältämä ravinnemäärä oli arviolta 452 kg fosforia ja 4 300 kg typpeä (P: 4,5 g/kg kuiva-aine, N: 31,7 g/kg, Novalab analyysitodistus). Muuta rantakasvillisuutta on niitetty vuosittain tai joka toinen vuosi. Niiden mukana on poistettu fosforia 460 kg ja 3 300 kg typpeä, nämä ravinnemäärät on arvioitu järviruo'on ravinnepitoisuuksien mukaan (Huhta 2008).

5 Tuusulanjärven tilan kehitys

5.1 Seurannan toteuttaminen

Helsingin vesipiiri aloitti 1970-luvulla järven ympärivuotisen vedenlaadun seurannan, joka on jatkunut siitä lähtien. Seurantaohjelmat ovat vaihdelleet jonkin verran seurannan aikana. Tässä yhteenvedossa tarkastellaan pääosin vuosien 1974–2021 keskeisiä tuloksia syvänteen havaintopaikalta ”Tuusulanjärvi syväne 89 (ETRS-TM35FIN 6701598-392867)”. Tiedot on haettu Oiva-tietokannasta marraskuussa 2021 (SYKE/avoin tieto).

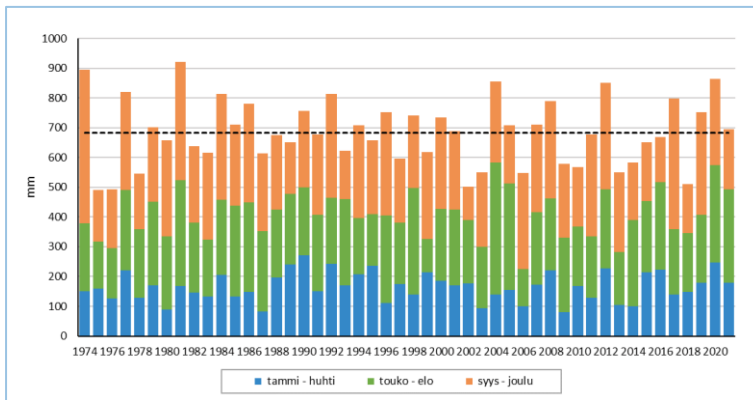
Näytteistä on määritetty kokonaistyyppi ja -fosfori, liukoiset ravinteet ja lisäksi on eri syvyyksiltä mitattu lämpötila, happi, pH ja usein myös sähkönjohtavuus. Kesäajan näytteistä on määritetty α -klorofylli sekä kasviplanktonin lajisto ja abiomassa. Fosfaatti on ensimmäisinä vuosina määritetty suodattamattomasta näytteestä ja vuodesta 1998 alkaen myös suodatetusta näytteestä. Koska näytteenottoajankohdat ovat vaihdelleet, talviajan tuloksista on poimittu maaliskuun ja kesäkauden tuloksista kesä-syyskuun tulokset. Kesäkauden tietoja käytetään myös järvien ekologisessa luokittelussa.

1960-luvulta lähtien Tuusulanjärven sedimentin tilaa, plankton- ja pohjaeläinyhteisöjä, vesikasvillisuutta, linnustoa ja kalastoa sekä järveen tulevan kuormituksen voimakkuutta on tarkasteltu mm. Tuusulanjärven vesiensuojeluyhdistyksen, Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymän, Uudenmaan ympäristökeskuksen ja ELY-keskuksen, Suomen ympäristökeskuksen, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen, Luonnonvarakeskuksen sekä Helsingin yliopiston tutkimusraporteissa.

5.2 Sääolosuhteet

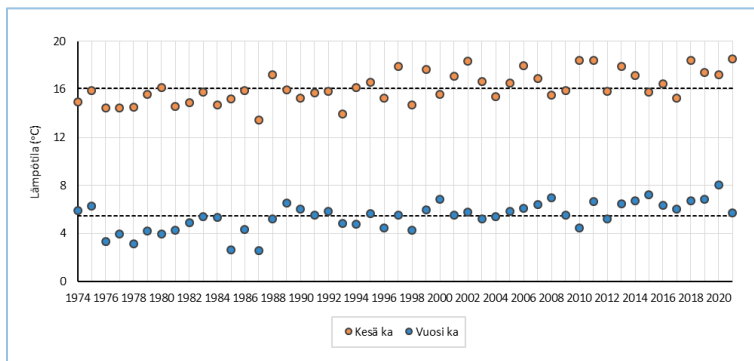
Ilman lämpötilahavainnot on haettu tammikuussa 2022 Helsinki-Vantaan lentokentän havaintopaikalta (Ilmatieteen laitos/avoin data). Tuusulanjärven ja Tuusulanjoen alueen hydrologiset tiedot on haettu SYKE/avoin tieto -palvelusta tammikuussa 2022.

Vuosien 1974–2021 keskisadanta on 671 mm. Se oli pienimillään alle 500 mm ja suurimmillaan yli 900 mm. Sademäärä vaihteli 2000-luvulla selvästi enemmän kuin vuosina 1974–2000 (Kuva 5.1). Sademäärä oli usein suurin syksyllä, mutta vuosina 2004, 2005 ja 2014 kesän aikana satoi yli puolet koko vuoden sademäärästä. Vuodet 1974, 1975, 2002 ja 2018 olivat jakson vähäsateisimmat: sademäärä oli vain n. 500 mm. Sademäärä ylitti 800 mm:n kahdeksana vuotena, sademäärä oli suurin vuonna 1981 (> 900 mm). Vuoden 2004 kesäsade on poikkeuksellisen suuri (443 mm), josta heinäkuun viimeisellä viikolla satoi 139 mm.



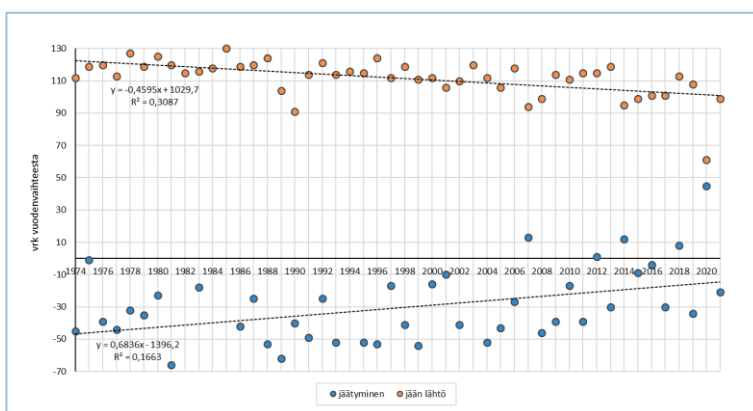
Kuva 5.1. Aluesadanta (mm) 1974–2021 Tuusulanjoen alueella kolmasosavuositain ja jakson keskiarvo 671 mm on merkitty katkoviivalla (Lähde: SYKE/avoin tieto).

Kesä–elokuun keskilämpötila vuosina 1974–2022 oli 16,1 °C ja koko vuoden 5,4 °C. Kesät 1987 ja 1993 olivat jakson viileimmät ja vuoden 1996 jälkeen kesät ovat olleet usein keskimääräistä lämpimämpiä. Lämpimintä oli kesinä 2002, 2010, 2011, 2018 ja 2021. Kesän ja koko vuoden keskilämpötilat ovat nousseet 1970-luvun jälkeen 2–3 °C (Kuva 5.2).



Kuva 5.2. Koko vuoden ja kesä-elokuun keskilämpötilat Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuosina 1974–2021 ja jakson keskiarvot katkoviivalla (Lähde: Ilmatieteen laitos / avoin data).

Vuosien 1974–2021 jääpeitteiden aika on ollut keskimäärin 141 vuorokautta ja sen kesto vaihdellut paljon (16–193 vrk). Järvi oli jässä pisimpään talvella 2002–2003, jolloin se jäättyi jo loka-kuussa 2002 ja sulii vappuna 2003. Myös lyhimmat jääpeitteen kestot osuvat 2000-luvulle: n. 80 vuorokautta talvikausina 2006–2007, 2013–2014. Jäävuosi 2019–2020 oli poikkeuksellinen, silloin järvi jäättyi vain muutamaksi viikoksi helmi-maaliskuun vaihteessa. Jäätymisen ajankohta vaihtelee selvästi enemmän kuin jäidenlähdön. Jäätyminen on myöhentynyt 2000-luvulla keskimäärin 20 vrk ja jäidenlähtö on aikaistunut 10 vrk (Kuva 5.3).



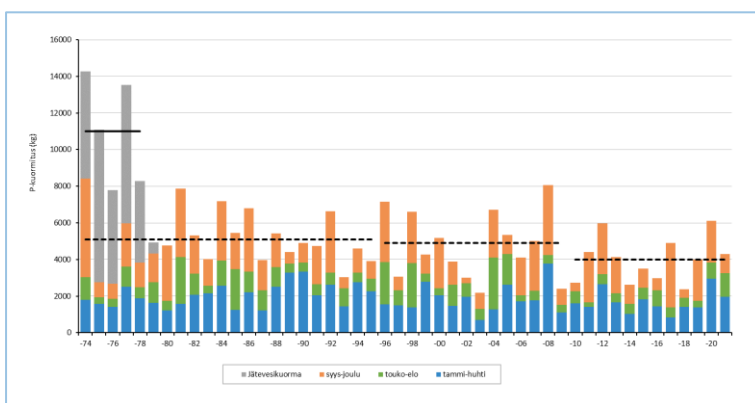
Kuva 5.3. Tuusulanjärven jäätyminen ja jäiden lähtö 1974–2021. (Lähde: SYKE, avoin tieto ja Hankkijan kasvinjalostuslaitoksen tilastot). Jäätymistiedot puuttuvat vuosilta 1982, 1984, 1985 ja 1994.

5.3 Ulkoinen ravinnekuormitus

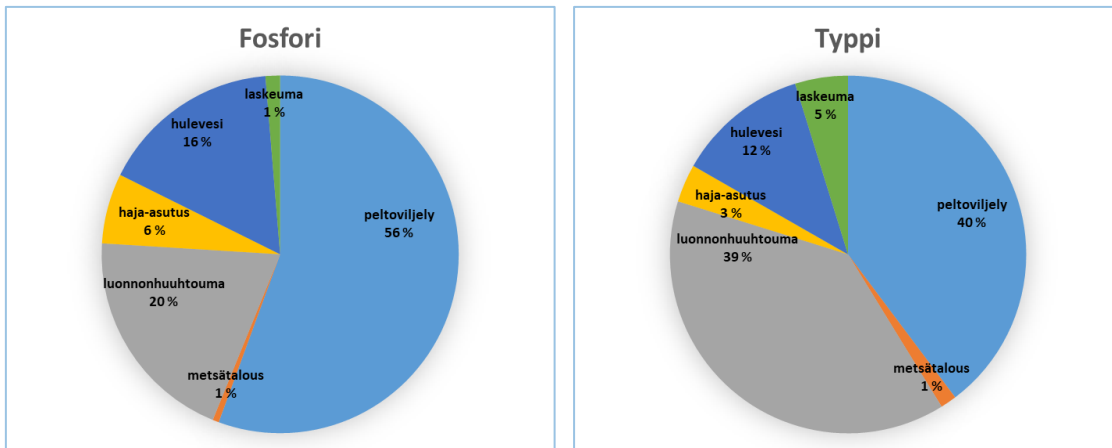
Tuusulanjärven kokonaisfosforin ja -typen hajakuormituksen määrät vuosille 1974–2021 arvioitiin Suomen ympäristökeskuksen WSFS-VEMALA-mallilla (20.1.2022). Vuosikuormien lisäksi malli ennustaa kuormituksen vuosille 2023–2029 nykytoimenpiteillä ilmaston muuttuessa sekä tilanteessa, jossa maatalouden kuormitusvähennykset (tarkennettu lannoitus, suorakylvö, suojavyöhykkeet, lietteen sijoitus nurmilla ja kerääjäkasvit) on otettu käyttöön. VEMALA-mallin kuormituslaskelmat ovat jonkin verran pienempiä kuin vesinäytteiden ja ainetaseyhtälöiden avulla aiemmin lasketut kuormat (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto 1984; Marttila 2004; Luodeslampi ym. 2017; Sarkkinen 2018).

Tuusulanjärven kokonaisfosforikuormitus oli VEMALA-mallin mukaan vuosina 1974–1995 keskimäärin 5 000 kg/v (Kuva 5.4.). Fosforin kuormitus on laskenut n.17 % vuoden 1996 jälkeen, jolloin Suomi liittyi Euroopan unioniin ja maatalouden uudet tukimuodot otettiin käyttöön. Nykyinen kuormitus, n. 4 150 kg/v, on kuitenkin vielä liian suurta. VEMALA-mallin mukainen hyvä ekologisen tilan saavuttamisen tavoitekuorma on alle 2 800 kg/v. OECD-kriteereillä (Vollenweider 1976) arvioitu järven sietämä fosforikuormitus on 2 100 kg/v (Marttila 2004).

Fosforin vuosikuorma vaihtelee sadannan mukaan ja esimerkiksi sateisten vuosien 2004–2008 kuorma oli keskimäärin 5 800 kg ja kuivina vuosina kuorma voi olla yli puolet pienempi (Kuva 5.4.). Mikäli leudot talvet ja talviaikaiset vesisateet yleistyvät ilmastonmuutoksen seurauksena, valuma-alueelta tuleva kuormitus saattaa olla tasolla 7 000 kg/v tai enemmän, kuten vuonna 2008. Vähäsateisina vuosina kuormitus sen sijaan voi olla hyvinkin pieni, kuten vuosina 2003, 2009 ja 2018. Yli puolet Tuusulanjärven fosforikuormasta on peräisin pelloilta, luonnonhuuhtouman osuus on 20 %, hulevesikuorman 16 % ja haja-asutuksen osuus 6 %. Metsätalouden ja laskeuman osuudet ovat pieniä (Kuva 5.5). Valuma-alueen maaperä on herkästi erodoituvaa savea. Fosfori huuhtoutuu pääasiassa kiintoaineeseen sitoutuneena ja sitä voidaan vähentää toiminnoilla, jotka vähentävät maaperän ja uoman eroosiota. Karkean kiintoaineen kuormitus on pienentynyt 1990-alun tasolta (730 tonnia) n. 20 % (VEMALA), mikä heijastuu kokonaisfosforin kuormaan.

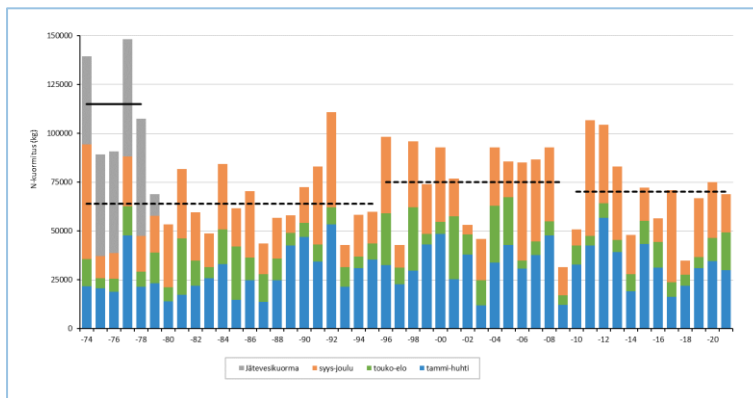


Kuva 5.4. Tuusulanjärven kokonaisfosforikuormitus vuosina 1974–2021. Jätevesikuormitus loppui 1979 ja tehokas kunnostus alkoi 1998. Yhtenäinen viiva kuvaa kokonaiskuormaa vuosina 1974–1978 ja katkoviivat keskimääräistä hajakuormaa vuosina 1974–1995, 1996–2009 ja 2010–2021.



Kuva 5.5. Fosfori- (vas.) ja typpikuormituksen (oik.) lähteet VEMALA-mallin kuormitusarvion (20.1.2022) mukaan).

Typhen hajakuormitus oli vuosina 1974–1995 keskimäärin 64 000 kg vuodessa ja se on fosforikuormituksen tavoin vahvasti sidoksissa sadantaan (Kuva 5.6). Pelloilta tulevan kuorman ja luonnonhuuhtouman osuudet ovat samaa suuruusluokkaa, 40 %. Hulevesikuorma on 12 % ja haja-asutuksen kuorma 3 %. Metsätalouden ja laskeuman osuudet ovat vähäisiä (Kuva 5.5). Hajakuormituksen vaikutusta ilmentävä päällysveden nitraattipitoisuus maaliskuussa ei vielä ole merkittävästi laskenut (kuva 5.10).



Kuva 5.6. Tuusulanjärven kokonaistyyppikuormitus vuosina 1974–2021. Jätevesikuormitus loppui 1979 ja tehokas kunnostus alkoi 1998. Yhtenäinen viiva kuvaa kokonaiskuormaa vuosina 1974–1978 ja katkoviivat keskimääräistä hajakuormaa vuosina 1974–1995, 1996–2009 ja 2010–2021.

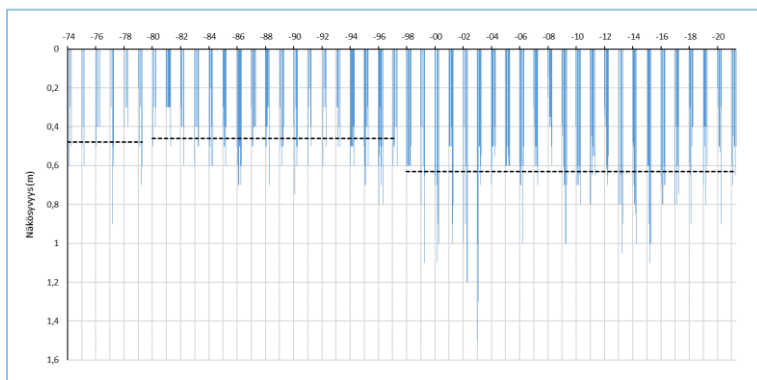
Typhen huuhtoutuminen vesistöihin kesäaikaan on yleensä vähäistä, sillä kasvit pidättävät ja käyttävät typpeä tehokkaasti kasvukauden aikana. Typpihuhtoumat voivat kuitenkin olla suuria rankkojen kesäsateiden jälkeen: esimerkiksi heinäkuussa 2015 Sarsalanojasta mitattiin kokonaistyppeä 16 mg/l, kun pitoisuudet ovat yleensä alle 2 mg/l.

Savisen valuma-alueen fosforikuorma on yleensä kiintoaineeseen sitoutunutta fosforia. Lounais-Suomen savialueilla suurin osa fosforista (76–90 %) on kiintoaineeseen sitoutunutta (Uusitalo & Ekholm 2004). Tuusulanjärven vuosien 2016–2017 fosforikuormasta leville suoraan käyttökelpoisiin liukoista fosforia oli keskimäärin n. 20 %. Ajallinen vaihtelu oli kuitenkin suurta, ja kevät-

valumissa liukoisen fosforin osuus oli suurin (Sarkkinen 2018). Keväällä lumeen sitoutuneet aineet vapautuvat sulamisvesiin, jotka huuhtovat huomattavia kiintoainemääriä ja myös liuenneita aineita valuma-alueelta järveen. Kesällä valumavesien määrä ja hajakuormitus ovat suuria vain rankkasateiden seurauksena sekä pitkäaikaisten sadejaksojen aikana.

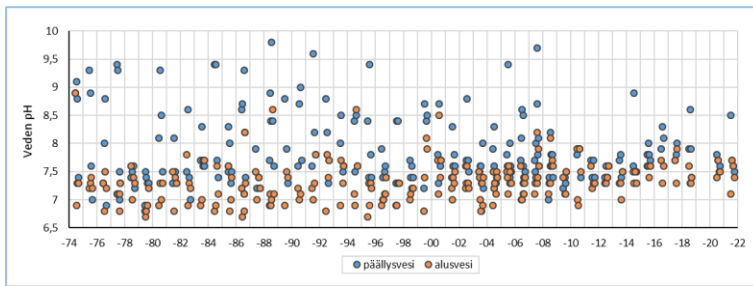
5.4 Fysikaalis-kemiallinen tila

Tuusulanjärven vesi on luontaisesti savisameaa ja kesäaikainen näkösyvyys on harvoin yli metrin (Kuva 5.7). Vesi on kirkastunut 1970-luvun jälkeen, jolloin näkösyvyys oli keskimäärin 48 cm. Vuosien 1980–1997 keskiarvo oli 46 cm ja vuosien 1998–2021 63 cm. Näkösyvyys on selvästi riippuvainen valumista ja sateisina vuosina vesi on sameampaa. Suurimmat näkösyvytydet mitattiin vuosien 1997–1999 voimakkaimman hoitokalastusvaiheen jälkeen vähäsateisina vuosina 1999–2002. Kiintoainekuormituksen ja levämäärän vähentyminen 1990-luvun jälkeen heijastuvat näkösyvyyden paranemisena. Vesi on vuosia 1999–2002 lukuun ottamatta vielä selvästi sameampaa kuin 1900-luvun alun mittauksissa, jolloin kesäaikainen näkösyvyys oli n. metri (Olin 1912; Lepistö ym. 2006).



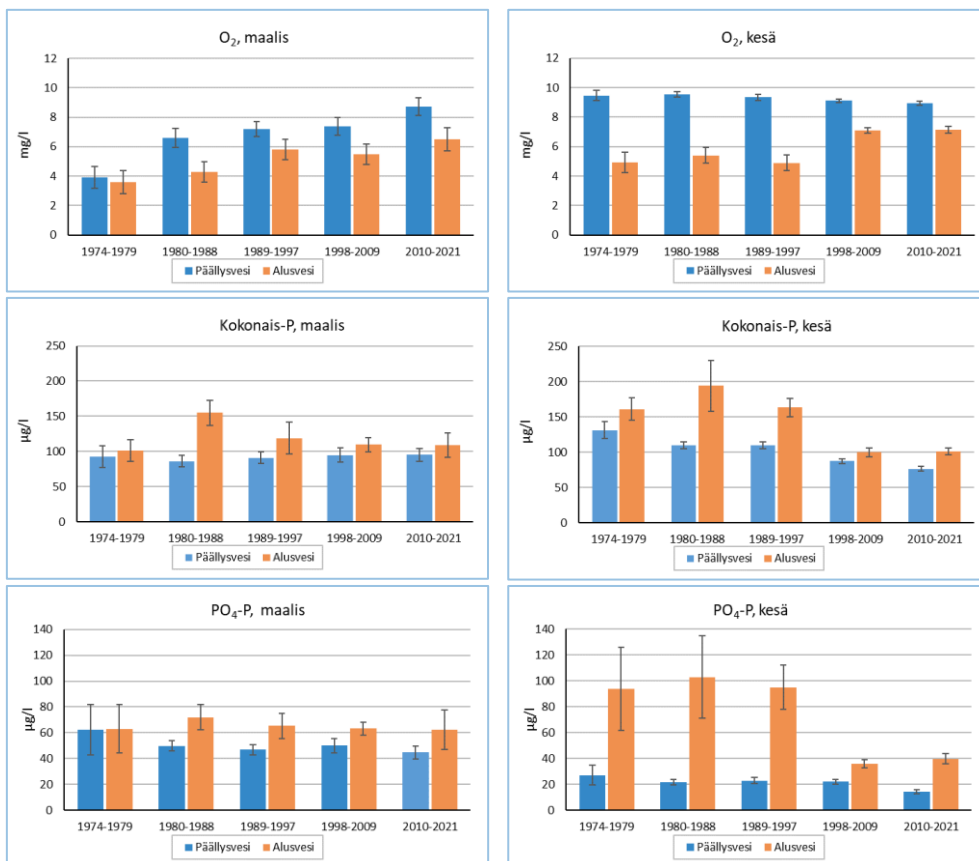
Kuva 5.7. Tuusulanjärven näkösyvyys syvänpisteellä kesäsyyskuussa vuosina 1974–2021. Kunnostushistorian vaiheet on merkitty katkoviivoilla.

Tuusulanjärven veden pH-arvo on luonnostaan melko neutraali, mutta se on noussut kesällä huomattavasti planktonlevien yhteyttämistoiminnan seurauksena (Kuva 5.8). Veden pH-tason nousu kiihdyttää fosforin sisäistä kiertoa ja rehevöitymiskierrettä. Korkean pH-arvon vaikutuksesta raudan hydroksidien fosforinsitomiskyky heikkenee, jolloin fosforia voi vapautua myös aerobisissa olosuhteissa matalien alueiden sedimenteistä ja vesipatsaan savipartikkeleista (Koski-Vähälä ym. 2001; Eloranta 2005). Korkea pH-taso (> 9) oli tyypillistä sinileväkukintojen aikana ennen vuotta 1996. Tuusulanjärven pohjan läheisen veden pH-arvot olivat yleensä selvästi päällysvettä pienempiä ja pH-taso näyttää nousseen 2000-luvulla. Alusveden happitilanteen paraneminen kierrätyspölyn seurauksena on todennäköisesti muuttanut pohjan hapetus- pelkistolosuhteita.



Kuva 5.8. Tuusulanjärven päälly- ja alusveden pH-arvo kesä-syyskuussa vuosina 1974–2021. Kierrätysrapetus aloitettiin vuonna 1998.

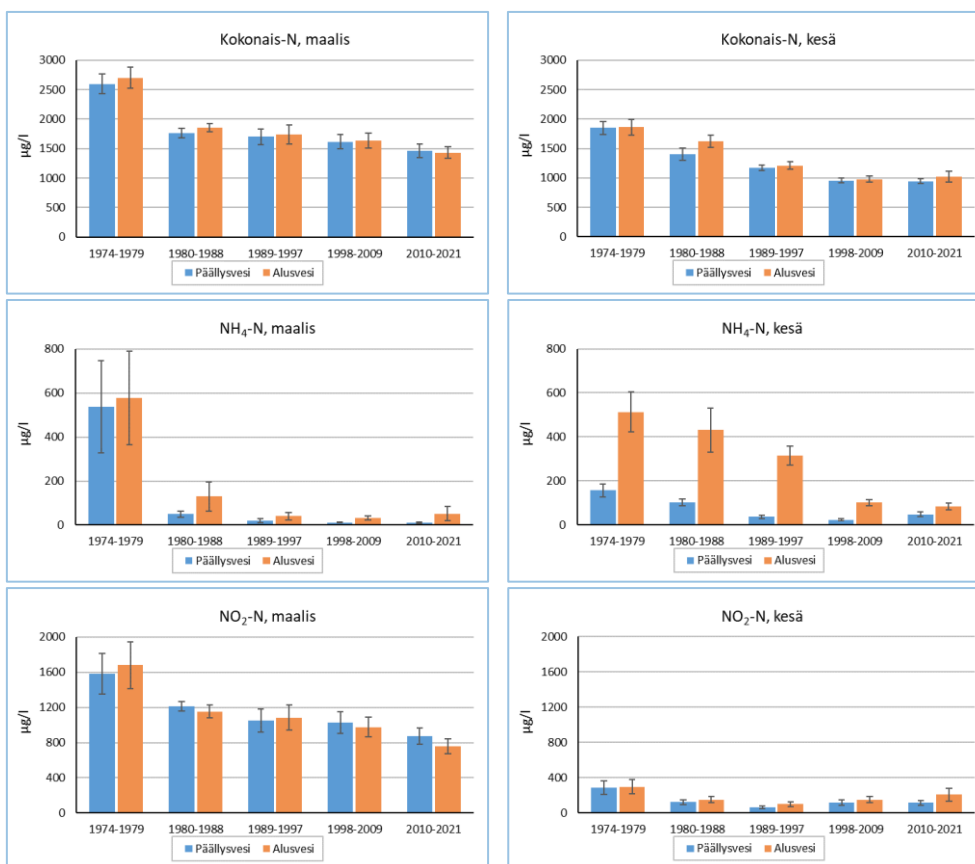
Talviaikaiset happipitoisuudet olivat matalia sekä päälly- että alusvedessä 1970-luvulla (Kuva 5.9). Päällyveden happitilanne parani jo jätevesikuorman loppuessa 1980 alkaen. Kesäaikainen alusveden happitilanne oli huono vuoteen 1997 asti ja se parani selvästi vasta kierrätysrapetukseen aloittaminen jälkeen. Voimakas perustuotanto on aiheuttanut hapen ylikyllästystä päällyvedessä kesä-elokuussa koko seurantajakson ajan. Alusveden alhainen happipitoisuus aiheutti fosfaatin vapautumista sedimentistä erityisesti kesäisin, mikä nosti kokonaisfosforin pitoisuutta. Fosforin pitoisuudet alenivat selvästi vasta vuonna 1998 happitilanteen parannuttua.



Kuva 5.9. Tuusulanjärven happipitoisuuden, kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin maaliskuun ja kesän (kesä-syyskuu) mittauksen keskiarvot päälly- ja alusvedessä kunnostushistorian eri jaksoina. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä.

Jätevesikuormituksen loppuminen vuonna 1979 näkyy selvimmin typpipitoisuuksissa. Kokonais-typpipitoisuus on vuoden 1979 jälkeen laskenut lähes puoleen (Kuva 5.10). Ammoniumtyypin määrä väheni eniten. Kierrätysrapetukseen aloittamisen jälkeen alusveden happitilanne parani

(Kuva 5.9) ja ammoniumtyypen pitoisuudet laskivat selvästi. Kesäaikainen huono happitilanne johti ammoniumtyypen suuriin pitoisuuksiin alusvedessä vuosina 1974–1997.



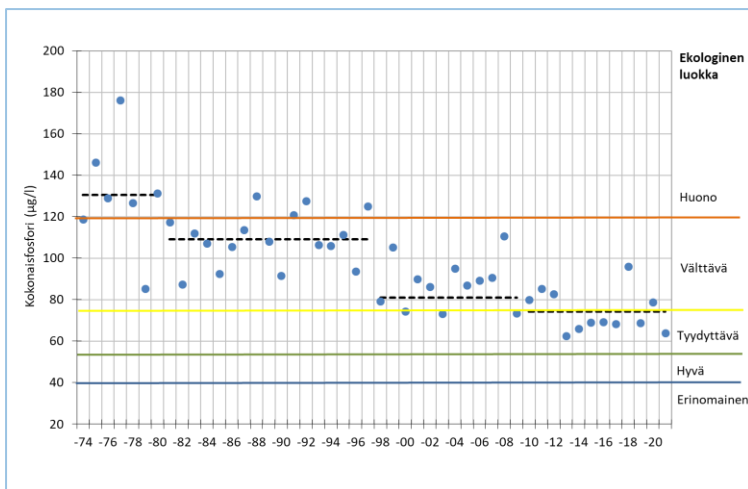
Kuva 5.10. Tuusulanjärven kokonaistypen, ammonium- ja nitraattityypen maaliskuun ja kesän (kesä-syyskuu) mittausten keskiarvot päälyls- ja alusvedessä kunnostushistorian eri jaksoina. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä.

Fosfori on yleensä perustuotannon minimitekijä suomalaisissa järvissä (esim. Eloranta 2005; Pietikäinen & Räike 2009). Kokonaisfosforipitoisuuden perusteella määritellään järven rehevyystaso, sillä se määrittää järven tuotantopotentiaalin. Ekologista luokittelua varten arvioitu luonnontilassa olevan rehevän järven kokonaisfosforipitoisuus on alle 40 µg/l (Aroviita ym. 2019). Hyvän ekologisen tilan fosforipitoisuuden yläraja on 50 µg/l (Aroviita ym. 2019). Ylirehevät järvet, joiden fosforipitoisuus on yli 80 µg/l luokitellaan huonoon ekologiseen tilaan.

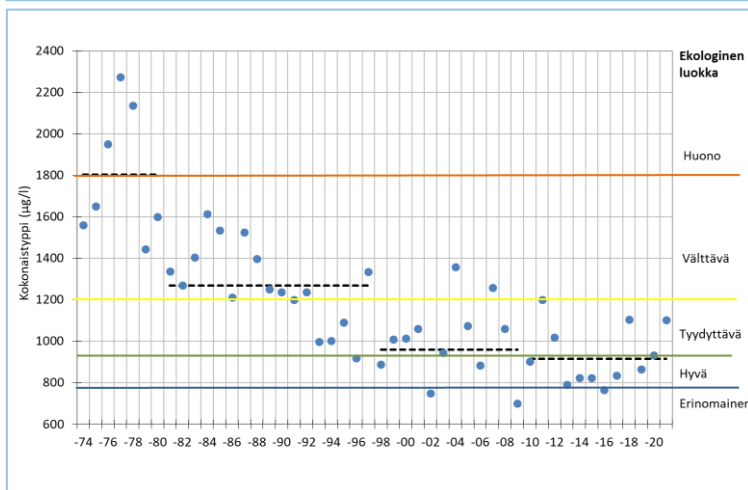
Tuusulanjärven kesäajan kokonaisfosforipitoisuus oli 1970-luvulla huonolla, ylirehevällä tasolla (>120 µg/l). Jätevesikuormituksen loppumisen jälkeen 1980-luvun alusta 1990-luvun loppuun mennessä pitoisuus laski välttävälle tasolle. Kunnostushankkeen alkamisen jälkeen pitoisuus laski edelleen tyydyttävälle tasolle 2010-luvulla (Kuva 5.11). Pitoisuuden lasku heijastelee todennäköisesti sisäisen kuormituksen vähenemistä, joka taustalla on ulkoisen kuormituksen väheneminen.

Myös kesäajan kokonaistyyppipitoisuus oli 1970-luvulla huonolla tasolla (>1 800 µg/l). Jätevesikuormituksen loppumisen jälkeen pitoisuus laski nopeasti välttävälle tasolle 1980-luvun alussa ja edelleen hyvälle tasolle jo 2000-luvun alussa (Kuva 5.12). Pitoisuuden laskun taustalla on jä-

tevesikuormituksen loppumisen lisäksi typpilannoituksen väheneminen. Myös typen poistuminen denitrifikaation kautta on todennäköisesti lisääntynyt tehostetun kesähapettamisen aikana ja veden lämpötilan noustessa.



Kuva 5.11. Tuusulanjärven kokonaisfosforin pitoisuuksien kesäkeskiarvot vuosina 1974–2021. Mustat katkoviivat kuvaavat kunnostushistoriaa: jätevesikuormitus loppui 1979 ja tehokas kunnostus alkoi 1998 ja värikkäät viivat vuoden 2019 ekologisen luokittelun luokkarajoja (Aroviita ym. 2019).

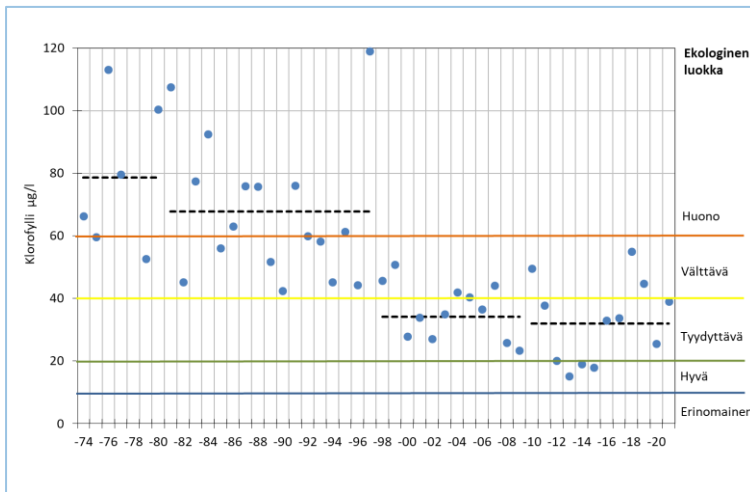


Kuva 5.12. Tuusulanjärven kokonaistypen pitoisuuksien kesäkeskiarvot vuosina 1974–2021. Mustat katkoviivat kuvaavat kunnostushistoriaa: jätevesikuormitus loppui 1979 ja tehokas kunnostus alkoi 1998 ja värikkäät viivat vuoden 2019 ekologisen luokittelun luokkarajoja (Aroviita ym. 2019).

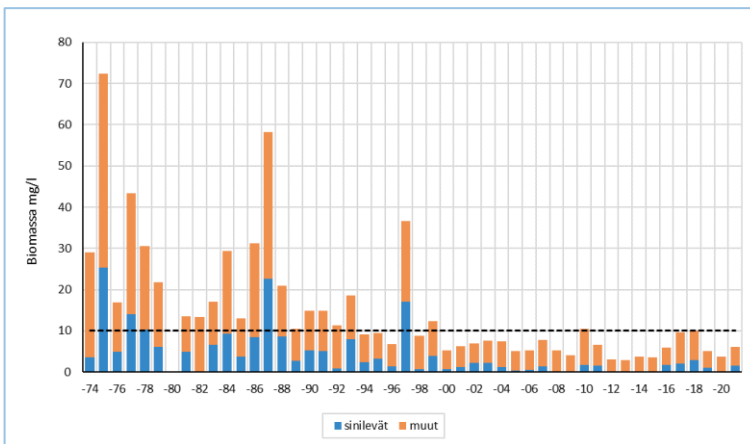
5.5 Kasviplankton

Tuusulanjärvellä näkyi rehevöitymiskehityksen merkkejä jo 1930-luvulla (Järnefelt 1937) ja järvi saavutti ylirehevän tilan 1960-luvulla (Anttila 1967; Kanninen 1982). Jätevesikuormituksen aikaan 1970-luvulla levämäärää kuvaava α -klorofylli oli selvästi huonolla tasolla. Kasviplanktonin biomassa oli korkeimmillaan yli 70 mg/l, joka on moninkertainen ylirehevän järven raja-arvoon (10 mg/l) verrattuna (OECD 1982). 1980-luvun alussa kokonaisbiomassa pieneni, mutta oli vielä korkea ja levähaittoja esiintyi vuosittain (Lepistö ym. 1999).

Keskimääräinen α -klorofyllipitoisuus ja leväbiomassa ovat kunnostuksen aikana alentuneet lähelle hyvän ekologisen luokan tasoa (Kuvat 5.13 ja 5.15). Kasviplanktonin biomassa on ollut useina vuosina alle 10 mg/l (Kuva 5.14, Liite 1). Kasviplanktonin biomassa on ollut useina vuosina alle 10 mg/l (Kuva 5.13, Liite 1). Levämäärän vuosittainen vaihtelu on kuitenkin vielä suurta ja sinileväkukintojakin esiintyy.



Kuva 5.13. Tuusulanjärven klorofyllipitoisuuden kesäkeskiarvo vuosina 1974–2021. Mustat katkoviivat kuvaavat kunnostushistoriaa: jätevesikuormitus loppui 1979 ja tehokas kunnostus alkoi 1998 ja värilliset viivat vuoden 2019 ekologisen luokittelun luokkarajoja (Aroviita ym. 2019).



Kuva 5.14. Tuusulanjärven sini-levien ja muiden ryhmien biomassan kesäkeskiarvot vuosina 1974–2020. Ylirehevän järven raja-arvo (10 mg/l,) OECD 1982) on merkitty katkoviivalla.

Kasviplankton sisältää typpeä ja fosforia keskimäärin moolisuhteessa 16:1 (Wetzel 1983). Kun ravinnesuhde on yli 16, fosforia pidetään perustuotantoa rajoittavana ravinteena. Typpi rajoittaa kasviplanktonin kasvua, kun suhde on alle 7. Tuusulanjärven perustuotanto on ollut fosforirajoitteinen ($N:P > 16$) jätevesikuormituksen aikaan kesäkuussa vuosina 1974–1979 (Taulukko 5.1) Jätevesikuormituksen loppumisen jälkeen $N:P$ -suhde aleni selvästi ja oli lähellä typpirajoitteisuutta ($N:P < 8-9$) ajoittain heinä- elokuussa, mutta matalimmat suhdeluvut ovat nousseet vuoden 1998 jälkeen.

Tuusulanjärven kesäaikainen fosforipitoisuus pysyi korkeana vielä jätevesikuormituksen lopettamisen jälkeisinä vuosinakin (Kuvat 5.9 ja 5.11). Kun kasviplankton kuluttaa käyttökelpoiset typpivarat loppuun, saavat ilmakehän typpeä sitovat sinilevät kilpailuedun muihin leväryhmiin nähden, jos fosforia on kesällä sisäisen kuormituksen takia saatavilla. Tämä on tyypillistä voimakkaasti sisäisesti fosforikuormitetuille järville ja näin syntyvä typpirajoitteisuus voi johtaa haitallisten sinileväkukintojen runsastumiseen (Pietiläinen & Räike 1999; Schindler ym. 2016).

Taulukko 5.1. Kasvukauden aikainen päällysveden N:P-suhde, kuukausikeskiarvo ja vaihteluväli (suluissa).

	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu
1974–1979	22 (14–43)	12 (5–16)	13 (6–24)	14 (6–24)
1980–1997	12 (6–19)	11 (2–18)	10 (4–16)	12 (9–17)
1998–2009	16 (10–30)	10 (8–12)	9 (7–13)	10 (9–13)
2010–2021	13 (10–18)	9 (9–15)	11 (8–14)	13 (9–17)

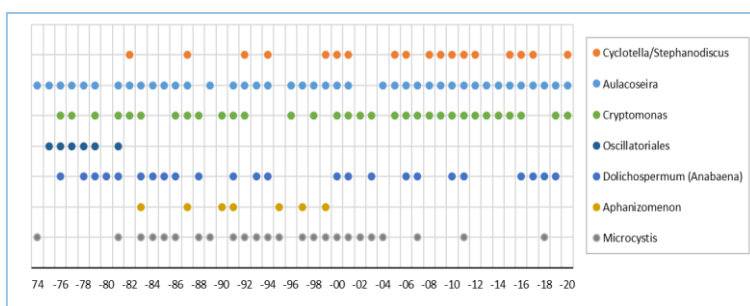
Taulukko 5.2. Typen ja fosforin ulkoisen kuormituksen (**N** ja **P**) ja kesäkauden päällysveden pitoisuuden (**kok-N** ja **kok-P**) ja levien kokonaisbiomassan, sinilevien biomassan ja klorofyllipitoisuuden väliset korrelaatiot ennen kunnostuksen aloittamista (1981–1997) ja kunnostuksen aloittamisen jälkeen (2000–2021). Kuormitukset on laskettu tammi- huhtikuulle (**talvi**) ja touko-syyskuulle (**kesä**). **N**=kokonaistyyppi-kuorma, **P**=kokonaisfosforikuorma, **N:P**=typen ja fosforin kuormien suhde, **Kok-N** = päällysveden kokonaistyyppipitoisuus ja **Kok-P** päällysveden fosforipitoisuus. Punainen teksti: tilastollinen merkitsevyys $P < 0,01$, keltainen teksti: tilastollinen merkitsevyys $P < 0,05$.

	1981–1997			2000–2021		
	Levät	Sinilevät	Klorofylli-a	Levät	Sinilevät	Klorofylli-a
N talvi	-0,411	-0,479	-0,366	-0,306	-0,385	-0,215
N kesä	-0,032	-0,077	0,158	0,052	-0,010	0,116
Kok-N	0,544	0,471	0,498	0,350	0,162	0,495
P talvi	-0,315	-0,410	-0,364	-0,267	-0,486	-0,231
P kesä	-0,035	-0,068	0,173	0,155	0,014	0,205
Kok-P	0,171	0,361	0,635	0,349	0,134	0,398
N:P talvi	-0,322	-0,268	-0,149	0,001	0,159	0,074
N:P kesä	-0,129	-0,148	-0,161	-0,165	-0,009	-0,135

Vuosina 1981–1997 kasviplanktonin kokonaisbiomassa ja sinilevien biomassassa sekä klorofyllipitoisuus olivat voimakkaimmin yhteydessä kesän kokonaistyyppipitoisuuteen, fosforilla oli merkitsevin yhteys klorofyllipitoisuuteen (Taulukko 5.2). Kasvukautta edeltävällä tai kasvukauden aikaisella typpi- tai fosforikuormituksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä levämuuttujien kanssa. Kuormituksen typpi:fosfori -suhteella ei myöskään ollut merkittävää korrelaatiota levämuuttujien kanssa.

2000-luvulla hoitokalastuksen ja kierrätysrapetuksen aikana ravinnekuormitusten ja -pitoisuuksien vaikutus levämääriin oli pienempi (Taulukko 5.2.). Kesän typpi- ja fosforipitoisuuksien korrelaatio leväindikaattoreiden kanssa oli edelleen positiivinen, mutta tilastollisesti merkitsevä oli vain typen ja klorofyllin välinen korrelaatio. Sinileväbiomassan negatiivista ja merkitsevää ($P < 0,05$) korrelaatiota sekä typen että fosforin ulkoisen kuormituksen määriin voi pitää yllättävänä, mutta se voi osoittaa sisäisten ravinnekiertojen suurempaa merkitystä sinileville.

Kunnostuksen aikana tapahtuneet ravinnesuhteiden muutokset heijastuivat myös kasviplanktoniyhteisöön: 1970-luvulla piilevät ja ei-tyypeä sinilevät muodostivat pääosan lajistosta (Kuva 5.15, Liite 1). Pistekuormituksen loputtua kasviplanktonin lajisto muuttui ja tyypeä sitovat sinilevät runsastuivat (Kuva 5.15). Esimerkiksi Oscillatoriales-lahkon laji *Planktothrix agardhii* oli sinileväkukintojen valtalaji 1970-luvun loppuun asti. *Microcystis* sp. esiintyi leväkukinnoissa 1980-luvun alussa, mutta se on vähentynyt 2000-luvulla. *Aphanizomenon* sp. oli runsas vuosina 1982–1999. *Dolichospermum* sp. (*Anabaena*) on ollut runsas koko seurantajakson ajan ja kukintojen valtalaji 2000-luvulla. Piilevistä Aulacoseira sp. on ollut runsas koko seurantajakson ajan ja *Cyclotella/Stephanodiscus* vuoden 1998 jälkeen. Lajistoon on ilmestynyt myös vähäisempää rehevyyttä indikoivia mm. Dinobryon -sukuun kuuluvia lajeja (Lepistö ym. 1999; Järvinen & Lepistö 2017).



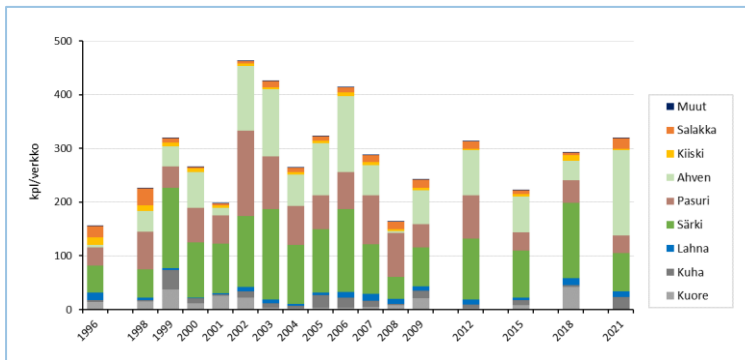
Kuva 5.15. Kasviplanktonin suvut/lahko, joihin kuuluva laji on muodostanut yli 20 % kokonaisbiomassasta Tuusulanjärvellä kesä–syyskuussa vuosina 1974–2021.

5.6 Kalasto

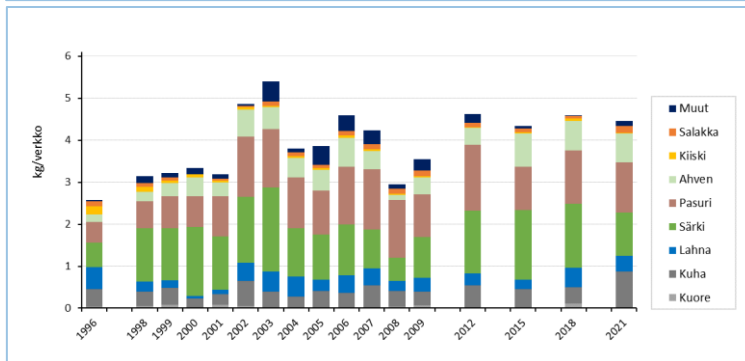
Järvellä on säännöllisesti toteutettu koeverkkokalastuksia, kaikuluotauksia ja koetroolauksia, joiden avulla on selvitetty kalakannan rakennetta, lajijakaumaa, kalojen kasvua sekä petokalojen poikasten tiheyksiä. Tuusulanjärvi oli mukana vuosina 1997–2002 toteutetussa ”Rehevöityneiden järvien hoitokalastuksen vaikutukset” -tutkimuksessa (Olin & Ruuhijärvi 2002). Koeverkkokalastuksia jatkettiin vuosittain 2009 asti, minkä jälkeen ne on tehty Luonnonvarakeskuksen toimesta kolmen vuoden rotaatiolla vesienhoidon seurantana 2012 alkaen (Ruuhijärvi ym. 2017, Rask ym. 2020). Kalojen määrän ja biomassan kaikuluotauksia ja troolausarvioita on tehty vuodesta 1997 alkaen vuosittain (Malinen & Vinni 2022). Myös kalojen ravintoa (Malinen & Vinni 2008) ja kasvua on selvitetty (Rask ym. 2005, 2020). Vuosina 2005–2011 järvellä toteutettiin särkikaloiden kasvua ja tuotantoa mittaava populaatioanalyysitutkimus hoitokalastussäiliöstä (Malinen ym. 2017, Rask ym. 2020).

Koeverkkokalastukset

Vaikka hoitokalastusta on tehty säännöllisesti, ovat Tuusulanjärven kalaston tuotanto ja biomassa ovat korkean ravinnekuormituksen turvin jatkuvasti erittäin suuria. Koeverkkokalastuksen painoyksikkösaaliin biomassa on koko seurantajakson ollut särkikalavaltainen ja suuri (Kuvat 5.16 ja 5.17). Kuhan ja lahnan määrä on pysynyt vakaana, ahvenen ja pasurin määrässä tapahtui kasvua ensimmäisten nuottausvuosien jälkeen. Nuottauksen yksikkösaaliiden ja kaikuluotauksien perusteella kalamäärä on vähentynyt, koeverkkokalastuksen yksikkösaali on kasvanut tehokkaimman kalastuksen jälkeen 2000-luvun alkuvuosina (Kuvat 5.16 ja 5.17). Koeverkkoseuranta ei ole kuvastanut vastaavaa kalabiomassan muutosta, vaan on osoittanut kalaston rakenteen säilyneen runsaana ja särkikalavaltaisena hoitokalastuksen aikana 2000-luvulla.



Kuva 5.16. Tuusulanjärven koe-kalastuksen kalalajien verkko-kohtainen lukumäärä vuosina 1996–2021.



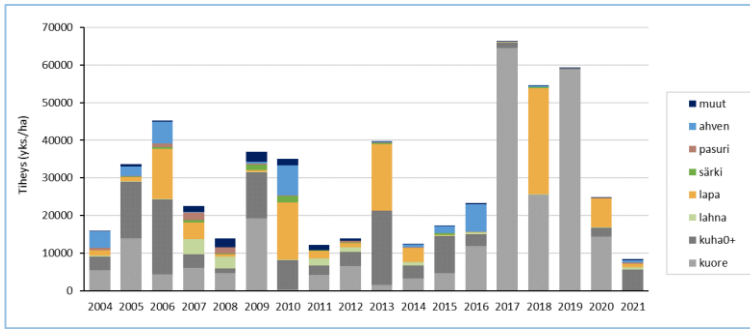
Kuva 5.17. Tuusulanjärven koe-kalastuksen kalalajien verkko-kohtainen biomassa vuosina 1996–2021.

Pasurin, salakan, sorvan ja kuoreen keskipaino on kasvanut hoitokalastusjaksolla. Kasvu on nopeutunut tilastollisesti merkitsevästi ahvenella, lahnalla ja särjellä. Kuhan kasvu on hieman nopeutunut, kun hoitokalastuksen ansiosta nuorien kalojen osuus on pysynyt suurena, mutta kasvun nopeutuminen ei ole ollut tilastollisesti merkitsevää (Rask ym. 2020).

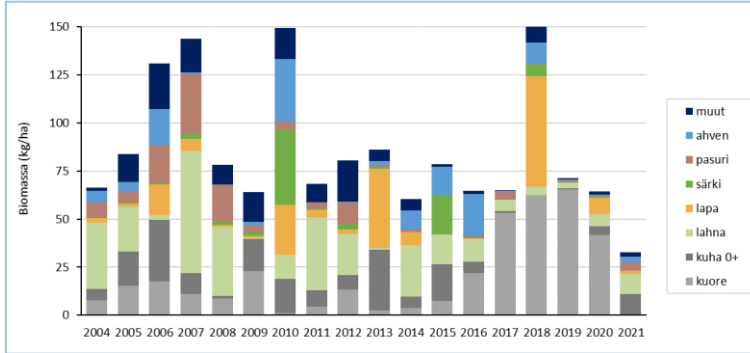
Kaikuluotaustutkimukset

Syvännealueen kaikuluotauksien ja koetroolauksen perusteella kalojen yksilötiheys on ollut avovesialueella vähimmilläänkin noin 10 000 yks./ha (Kuva 5.18). Näin suuri tiheys rajoittaa suurien leviä syövien vesikirppujen määrää (Sammalkorpi 2000). Vuosien 2017–2020 kalatiheys oli poikkeuksellisen suuri, 50 000–60 000 kalaa/ha. Valtalajeja ovat olleet kuore (katovuosia 2010, 2013 ja 2021 lukuun ottamatta), kuhan 0+ poikaset, nuoret lahnat ja pasurit (LAPA) ja/tai ahvenen 0+ poikaset mm. kesällä 2010.

Avovesialueen kalabiomassa oli hoitokalastuksen ensimmäisinä vuosina 1997–2001 jopa 200–300 kg/ha (Malinen ym. 2017). Myöhemmin 2000-luvulla se on ollut 50–150 kg/ha (Kuva 5.19). Valtalajit ovat olleet kuore ja nuoret särkikalat, erityisesti lahna ja pasuri. Nämä arviot särkikalojen biomassasta ovat todennäköisesti aliarvioita, koska mm. pohjan lähellä ruokailevat lahnat jäävät kaikuluotauksen katvealueelle (Malinen ym. 2017).



Kuva 5.18. Tuusulanjärven syvännealueen (> 5 m) kalatiheys kaikuluotausten ja koetroolausten perusteella vuosina 2004–2021.



Kuva 5.19. Tuusulanjärven syvännealueen (> 5 m) biomassa kaikuluotausten ja koetroolausten perusteella vuosina 2004–2021.

5.7 Eläinplankton

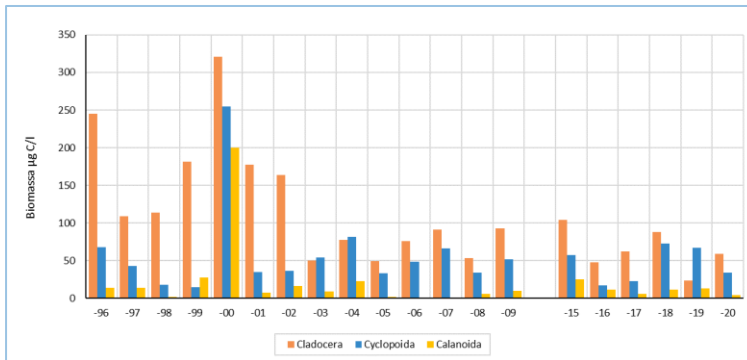
Eläinplankton on tärkeä väliporras kasviplankton tuotannon ja kalojen välillä järvien ravintoverkossa. Äyriäisplankton on merkittävä kasviplanktonin säätelijä, jota puolestaan rajoittaa planktonia syövien kalojen saalistus. Eläinplanktonin lajiston perusteella voidaan tehdä päätelmiä myös järven kalastosta. Suurikokoisten vesikirppujen määrä vaihtelee kalakannan koon mukaan. Vesikirppujen vähäisyys viittaa tiheään kalaston voimakkaaseen predaatioon.

Tuusulanjärven eläinplanktonin seuranta aloitettiin vuonna 1996 ja sitä jatkettiin HOKA-hankkeessa vuoteen 2009 (Rask & Lehtovaara 2004; 2009). Näytteenotot aloitettiin uudelleen vuonna 2015 (Ketola 2016; Kuoppamäki 2019; 2020).

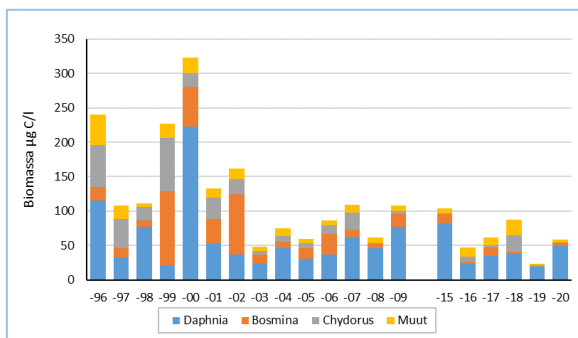
Koska Tuusulanjärven ulapan kalatiheydet ovat suuria (Kuvat 5.18 ja 5.19), pienikokoisen särkikalan sekä erityisesti kuoreen määrä säätelevät äyriäisplanktonin koostumusta ja eläinten kooka. Seurantajakson äyriäisplanktonin määrä oli suurin 1990-luvun lopun tehokkaimman hoitokalastuksen jälkeisinä vuosina (Kuva 5.20). Tämän jälkeen biomassat ovat pienentyneet, vesikirppujen ja hankajalkaisten biomassat ovat yleensä olleet alle 100 µg C/l. Pienempikokoiset *Bosmina* ja *Chydorus* vesikirput olivat runsaimmat ryhmät vuonna 1999 ja niiden määrä on vähentynyt 2000-luvulla (Kuva 5.21).

Tuusulanjärven äyriäisplanktonille ominaisia piirteitä ovat pienten litoraalilajistoon kuuluvien vesikirppujen (*Chydorus* sp.) runsaus ja Calanoida-ryhmän pieni osuus hankajalkaisäyriäisten määrästä. Suuremmista vesikirpuista yleisiä ovat *Daphnia cristata* ja *D. cucullata* ja hankajalkaisäyriäisistä runsaimmat lajit ovat *Mesocyclops leucarti* ja *Thermocyclops* spp. (Rask & Lehtovaara 2004; 2009; Ketola 2016; Kuoppamäki 2019; 2020). Tuusulanjärvellä esiintyy myös voimakkaan sykloromorfinen *Bosmina thersites* (Kuva 5.21) Tällainen sykloromorfoosi on keino puolustautua selkärangattomien petojen saalistukselta. *Leptodora kindtii* -petovesikirppu on ajoittain

runsaslukuinen (Ketola 2016). *Leptodora* oli kuhan poikasten tärkein ravintokohde kesällä 2008 (Malinen & Vinni 2008).



Kuva 5.20. Tuusulanjärven äyriäiseläinplanktonin pääryhmien biomassan kesäkeskiarvot vuosina 1996–2020. Näytteitä ei otettu vuosina 2010–2014.



Kuva 5.21. Tuusulanjärven vesikirppujen pääryhmien biomassan kesäkeskiarvot vuosina 1996–2020. Näytteitä ei otettu vuosina 2010–2015 (vas.). Tuusulanjärvellä esiintyvä sykломorfinen *Bosmina thersites* vesikirppu (oik.).

5.8 Tuusulanjärvi lintuvetenä

Tuusulanjärven rehevimmät lahtialueet ovat valtakunnallisesti tärkeitä vesilintujen pesimäympäristöjä. Järven länsirannalla on noin 200 ha Natura 2000-alueen FIO100046 suojelukohteita. Tuusulanjärven pesivistä vesilinnuista on laskentatietoja vuosilta 1998 – 2021 (Lavinto & Niiranen 1998; 1992; 1997; Solonen & Lavinto 1999; Koskimies & Nieminen 2021). Lajimäärä on viime vuosikymmeninä pysynyt hyvänä (Taulukko 5.2). Se on todennäköisesti ainakin osittain järven naurulokkikolonian ansiota (Solonen & Lavinto 1998). Syksyllä 1997 aloitetulla hoitokalastuksella on voinut olla myönteinen vaikutus vesilintumääriin. Tuusulanjärven vesilintujen biomassa oli v. 2008 0,46 kg/ha, joka on särkikalavalttaisten järvien keskitasoa korkeampi (Sammalkorpi ym. 2014).

Savisameuteen liittyvä vesikasvien vähyyys ja suuri särkikalojen määrä todennäköisesti rajoittavat vesilintujen biomassaa. Lajimäärä on särkikalavaltaiselle järvelle hyvä, mutta kalastoltaan tasapainoisissa ja etenkin rehevissä ja kalattomissa kosteikoissa parimäärä ja biomassa ovat kuitenkin suurempia (Sammalkorpi ym. 2017). Valtakunnallisesti taantuneen, kaloja syövän silkkiuikun parimäärä on pysynyt vakaana, onhan koekalastuksissa pienten särkikalojen määrä ollut suuri erityisesti matalilla alueilla.

Naurulokki, sotkat, heinätavi ja lapasorsa ovat pesineet ainoastaan Natura-alueilla ja 2000-luvulla myös kosteikoissa. Telkkä ja silkkiuikku pesivät muilla järven alueilla sopivissa elinympäristöissä. Tuusulanjärvellä on merkitystä vesilinnuille myös muuton aikaisena levähdyspaikkana ja kosteikkoalueiden perustaminen on lisännyt Tuusulanjärven merkitystä levähdysalueena myös kahlaajille.

Taulukko 5.2. Tuusulanjärven vesi- ja loppilintujen parimääriä vuosien 1998 ja 2017 välillä tehtyjen laskentojen perusteella). Lajien uhanalaisuusluokitus on esitetty tunnuksilla NT=silmällä pidettävä, VU=vaarantunut, EN= erittäin uhanalainen ja CR=äärimmäisen uhanalainen (Lehikoinen ym. 2019).

Laji	1998	2008	2012	2017
Silkkiuikku (NT)	41	21	18	23
Kaulushaikara	0	1	0	0
Kyhmyjoutsen	0	1	1	0
Laulujoutsen	0	0	1	2
Kanadanhanhi	0	2	1	0
Haapana (VU)	8	3	4	7
Tavi	9	9	8	14
Sinisorsa	49	65	26	49
Heinätavi (VU)	3	0	1	1
Lapasorsa	1	2	4	2
Punasotka (CR)	7	6	4	0
Tukkasotka (EN)	8	0	3	7
Telkkä	27	44	25	41
Isokoskelo (NT)	1	0	0	1
Liejukana (VU)	1	0	0	0
Nokikana (EN)	0	0	0	5
Pikkulokki	0	0	5	14
Naurulokki (VU)	390	428	835	1054
Kalalokki	4	6	5	10
Kalatiira	30	13	15	14
Vesilinnut	155	154	96	153
Lokkilinnut	424	447	860	1092

5.9 Vesikasvikartoitukset

Vesikasvillisuuden seuranta aloitettiin vuonna 1998 ja viimeisin kartoitus on tehty kesällä 2020 (Venetvaara 1998–2021). Tuusulanjärven runsaimmat kasvilajit v. 2020 olivat järviruoko *Phragmites australis*, ulpukka *Nuphar lutea*, myrkkyykeiso *Cicuta virosa* ja vesitatar *Persicaria amphibia* (Liite 2). Järvikaisla on runsastunut selvästi vuodesta 2004 ja järvikortteen määrä on pysynyt samana. Ilmaversoisiin kuuluvista lajeista järviruoko on runsastunut eniten ja yhdessä myrkkyykeison ja osmankäämien kanssa se saa aikaan rantojen umpeenkasvua. Pensoittuminen on runsainta järven länsirannan keskiosassa. Myös järven eteläpää ja keskiosan itäranta ovat rannoiltaan nopeasti sulkeutuvia. Kelluslehtisistä lajeista ulpukka *Nuphar lutea* ja vesitatar *Persicaria amphibia* ovat lisääntyneet vuosien saatossa (Venetvaara 2021).

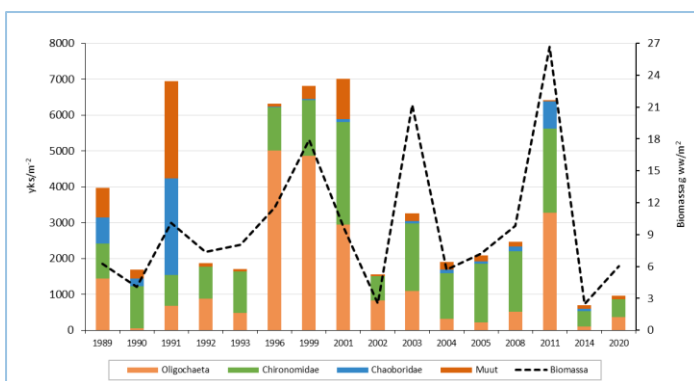
Uposkasveista esiintyi vain ahvenvitaa, *Potamogeton perfoliatus*. Sarvikarvalehti *Ceratophyllum demersum* ja uposlehtisiin kuuluva tylppälehtivita *Potamogeton obtusifolius* olivat aikaisemmin tavattoman runsaita järven eteläpäässä (Venetvaara 1998–2009). Vuosina 2002–2007 sarvikarvalehden massakasvusto häytti jopa soutamista järven eteläpäässä ja kasvimassaa kerättiin harvesterilla, kunnes kesällä 2008 karvalehti väheni rajusti veden samentumisen seurauksena eikä sitä ole sen jälkeen tarvinnut poistaa. Karvalehti oli lähes kokonaan poissa vuonna 2014, mutta vuonna 2020 se on lievästi runsastumassa.

5.10 Pohjaeläintutkimukset

Tuusulanjärven syvännepohjaeläimistö on runsas, mutta lajimäärältään varsin niukka. Eläinbiomassat ovat vaihdelleet paljon (3–27 g/m²) vuonna 1989 alkaneen pohjaeläinseurannan aikana (Kuva 5.22).

Reheviä oloja ilmentävä, hapettomuutta hyvin sietävä ja lämpimässä alusvedessä viihtyvä *Chironomus plumosus* -surviaissääski oli runsas vuosien 1992, 1993, 2003 ja erityisesti vuoden 2011 näytteissä. *C. plumosus* on jonkin verran vähentynyt ja muu lajisto monipuolistunut. Harvasukamadoista 1990-luvun puoliväliin asti valtalajina esiintyneen *Potamothrix-Tubifex* -ryhmän on korvannut *Lirnodrilus hoffmeisteri* 1990-luvun lopusta alkaen.

Sulkasääsken (*Chaoborus flavicans*) toukat olivat vielä kohtalaisen runsaita seurannan ensimmäisinä vuosina, mutta puuttuvat seuraavien vuosien näytteistä. Järnefelt (1921) raportoi *Sayomyia*-sulkasääsken (Chaboridae) toukan olevan hyvin runsas syvänealueella, jossa happipitoisuus oli alle 35 %. Kyseessä on luultavasti nykyään *Chaoborus*-sukuun kuuluva laji. Pohjaeläinten näytteenottomenetelmät eivät anna täysin luotettavaa käsitystä uimakykyisen sulkasääsken toukan määristä, mutta sulkasääsken toukat näyttävät vähentyneen vuoden 1991 jälkeen. Se muodosti suuren osan syvänteiden eläinmäärästä vuosina 1989–1991. Sulkasääsket kuvastavat hyvin rehevää pohjaa ja heikkoja happioloja. Ne pystyvät vaeltamaan hapettomiin tai vähähappisiin syvänteisiin, missä ne ovat suojassa kalojen predaatiolta. Tuusulanjärven tehokas ilmastus aloitettiin vuonna 1997 ja se on parantanut syvänteiden happiolosuhteita. Hapittilan-teen parantumisen jälkeen tämä suojapaikkaetu on hävinnyt ja sulkasääskien määrät ovat olleet vähäisiä.



Kuva 5.22. Pohjaeläinryhmien yksilömäärät ja biomassa vuosina 1989–2020 Tuusulanjärven syvännepisteellä.

Rehevien järvien syvänteiden pohjaeläimistön ekologisen tilan arviointi tehdään syvännepohjaeläinindeksin avulla (PICM, Profundal Invertebrate Community Metric; Jyväsjärvi ym. 2014). Indeksiksi lasketaan 46 yleisimmän pohjaeläintaksonin havaitun tiheyden perusteella (Aroviita ym.

2012; 2019). Kullekin järvelle lasketaan erinomaisen tilan vertailuarvo, johon havaittua indeksin arvoa verrataan. Tuusulanjärven vertailuarvo 1,01. Tyydyttävä tilan raja-arvo on 0,404, hyvän tilan 0,606 ja erinomaisen tilan 0,808. PICM-indeksin perusteella Tuusulanjärven pohjaeläinten tila olisi parantunut 1990-luvun alun tyydyttävästä hyvään/erinomaiseen ekologiseen tilaan (Taulukko 5.3; Karonen ym. 2015; Ahokas ym. 2021).

Taulukko 5.3. PICM-indeksiin perustuva ekologisen tilan luokittelu.

Vuosi	PICM havaittu	Tilaluokka
1989	0,56	Tyydyttävä
1990	0,60	Tyydyttävä
1991	0,56	Tyydyttävä
1992	0,74	Hyvä
1993	0,68	Hyvä
1996	0,75	Hyvä
2002	0,63	Hyvä
2003	0,80	Hyvä
2004	0,75	Hyvä
2005	0,86	Erinomainen
2008	0,58	Tyydyttävä
2011	0,63	Hyvä
2014	0,80	Hyvä
2020	0,87	Erinomainen

Tuusulanjärven pohjaeläinlajiston muutokset saattavat liittyä järvellä toteutettuihin kunnostustoimenpiteisiin, kuten kalojen poistopyyntiin ja alusveden hapetukseen. Esimerkiksi alusveden kierrätysshapetus on parantanut alusveden happioloja ja lämpötilaa (Tolonen 2011). Myös kalakantojen saalistuspaineen muutokset vaikuttavat pohjaeläinten määrän vaihteluun.

5.11 Ekologinen ja kemiallinen luokittelu

Kunnostustoimet ovat parantaneet Tuusulanjärven tilaa ja ekologinen luokka oli viimeisimmässä, vuoden 2019 luokittelussa nostettu välttävistä tyydyttäväksi (Taulukko 5.4). Kasviplankton on kuvastanut tyydyttävää tilaa kaikilla luokittelukierroksilla. Merkittävin muutos on ollut ravinnepitoisuuksien pieneneminen. Kalasto oli vielä liian runsas ja särkikalavaltainen.

Kemiallisessa tilan luokittelussa on vain kaksi luokkaa: hyvä tai hyvää huonompi. Päälyysvesien kemiallinen tila on koko maassa hyvää huonompi polybromattujen difenyylieettereiden (PBDE) takia (PBDE). Tuusulanjärven kemiallista tilaa heikentää myös laatu normin (9,1 µg/kg) ylittävä perfluoro-oktaanisulfonaatin (PFOS) pitoisuus ahvenessa (9,4 µg/kg) (Ahokas ym. 2021). Ylitys on pieni ja Vantaanjoen valuma-alueen PFAS-hankkeessa 2020–2021 tehdyissä mittauksissa Tuusulanjärven PFOS-pitoisuus alitti laatu normin (Junttila ym. 2021). Kuhista ei ole olemassa mittauksia, mutta vastaavat pitoisuudet ovat todennäköisiä myös kuhassa.

PBDE- ja PFOS-yhdisteitä on käytetty erilaisissa tuotteissa mm. palonestoaineena ja pinnoitteina. Niiden mahdollisia päästölähteitä ovat pilaantuneet alueet, paloharjoitusalueet, hulevedet ja pistemäiset päästölähteet, kuten jätevedenpuhdistamot. Tuusulanjärveen Järvenpään keskustan läpi laskevasta taajamapurosta, Loutinojasta, on löydetty PFOS-yhdisteitä (Vahtera ym. 2020). Vantaanjoen valuma-alueen PFAS-hankkeessa 2020–2021 kerättiin lisää tietoa PFAS ja PFOS-yhdisteiden esiintymisestä Vantaanjoen vesistössä. Seurannoissa havaittiin, että PFAS-yhdisteitä esiintyy yleisesti koko valuma-alueen vesissä yläjuoksulta merelle asti (Junttila ym. 2021).

Taulukko 5.4. Tuusulanjärven ekologisen tilan luokat ja luokittelun osatekijät vuosina 2008, 2013 ja 2019. Luokat: Erinomainen, Hyvä, Tyydyttävä, Välttävä, Huono (Uudenmaan ELY-keskus 2009; 2014;2020).

	Ekologinen luokka 2008	Ekologinen luokka 2013	Ekologinen luokka 2019
<i>Yhteisarvio</i>	<i>Välttävä</i>	<i>Välttävä</i>	<i>Tyydyttävä</i>
Kasviplankton	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Vesikasvit	-	-	Tyydyttävä
Pohjaeläimet	-	Hyvä	Hyvä
Kalat	Välttävä	Välttävä	Välttävä
Fysikaalis-kemiallinen tila	Välttävä	Välttävä	Tyydyttävä
Hydrologis-morfologinen tila	-	Hyvä	Erinomainen

6 Sisäisen kuormituksen vähentäminen

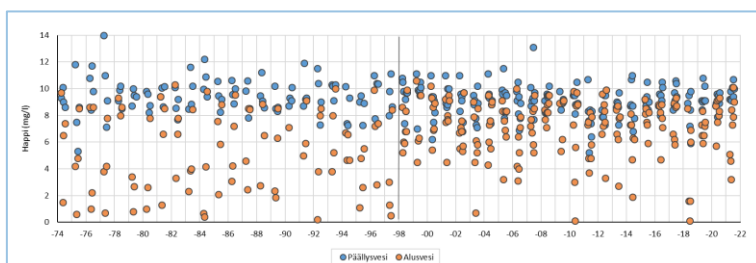
6.1 Kierrätyspöytä

Alusveden happipitoisuus säätelee fosforin sitoutumista sedimentin yhdisteisiin. Sedimentin fosfori on pääosin epäorgaanista apatiittifosforia tai fosfaattina sitoutuneena savimineraalien pinnoille. Hapen loppuessa pohjasedimentin rauta pelkistyy ja siihen sitoutunut fosfori liukenee veteen (Wetzel 1983; Lappalainen & Lakso 2004). Hapettomuus on yleistä talvella jääpeitteen alla, sekä kesällä lämpötilakerrostuvissa järvissä, joiden alusvesi ei loppukesällä saa happitäänennystä ilmasta. Tuusulanjärvi edustaa välimuotoa, pääosan avovesikautta kerrostumatonta järveä, joka pitemmillä ja heikkotuulisilla hellejaksoilla kerrostuu väliaikaisesti (Lappalainen 1998). Koska Tuusulanjärvi on matala, kerrostuneisuus purkautuu helposti tuulten vaikutuksesta ja silloin alusvedeen kesällä vapautuneet ravinteet päätyvät päällysveteen levien käytettäväksi.

Tuusulanjärven talvi-ilmastus aloitettiin jo vuonna 1972 vesiensuojeluyhdistyksen aloitteesta estämään happikadon aiheuttamat kalakuolemat. Nokian kehittämällä pumpuilla johdettiin ilmaa 5 metrin syvyyteen. Niiden teho riitti pitämään veden happitilanteen tyydyttävänä (Keto & Sepänen 1973; Numminen & Lemmelä 1976). Kesäilmastus aloitettiin vuonna 1980 (Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto 1984), mutta sillä ei ollut suurta vaikutusta Tuusulanjärven tilaan. Vuonna 1998 aloitettiin seurantatietojen perusteella mitoitettu kierrätyspöytä Mixo-pumpuilla (Lappalainen 1998; Saarijärvi 2017). Pumput siirtävät hapekasta päällysvettä pohjalle ajankohtina, jolloin järven vesi pyrkii kerrostumaan lämpötilan mukaan, eikä happea pääse luontaisesti kulkeutumaan päällysvedestä alusvedeen. Tavoitteena on pitää järvi täyskierrossa kesän ajan (Lappalainen 1998; Lappalainen & Lakso 2004). Syksyllä ja keväällä, kun tuulet sekoittavat vettä, pumput ovat pysähdyksissä. Talvella käytössä on ollut yksi pumppu (Saarijärvi 2017).

6.1.1 Happipitoisuus

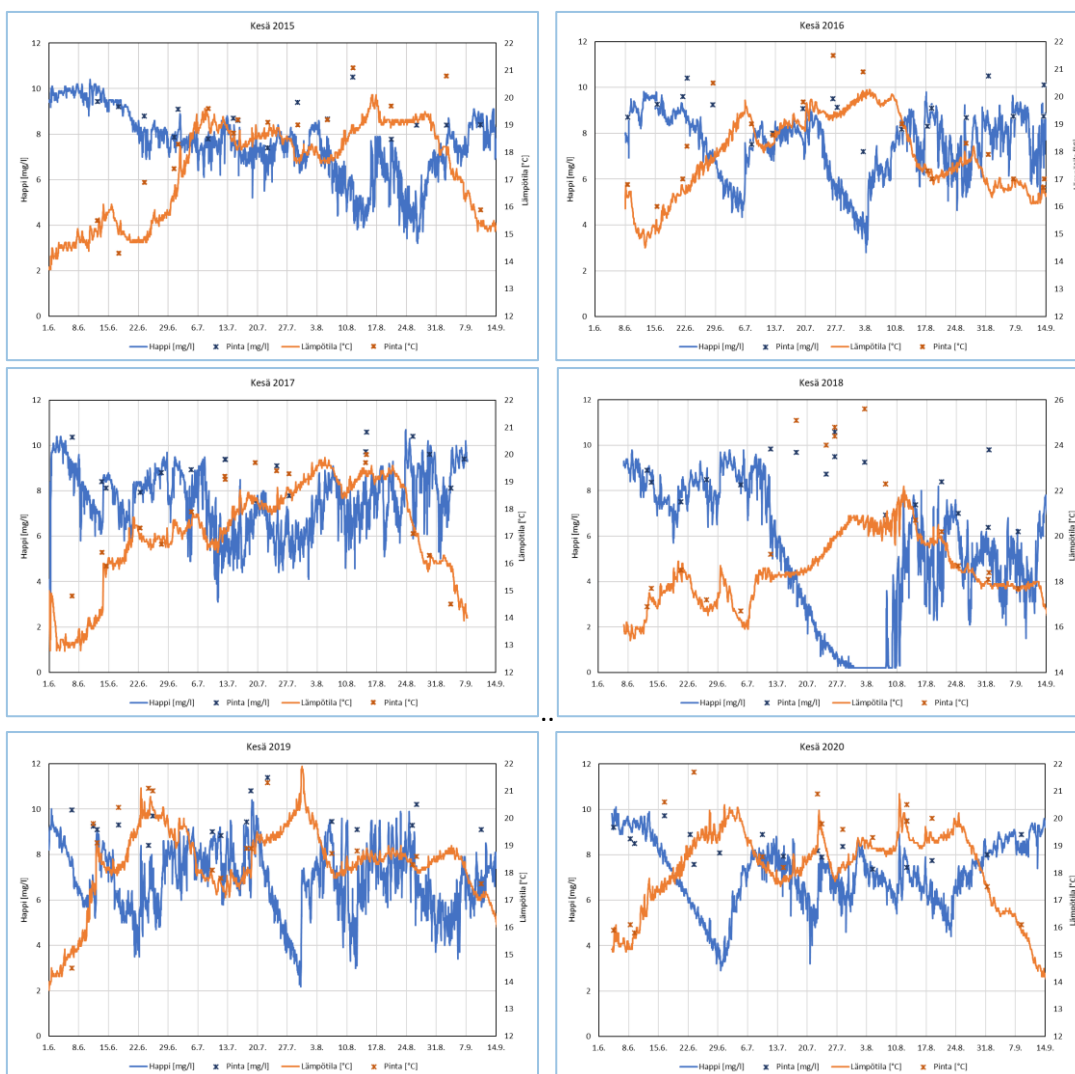
Pohjanläheisen veden happipitoisuus oli 1990-luvulle asti useimpina vuosina huono ennen kierrätyspöytän aloittamista, < 2 mg/l (Kuva 6.1). Vuonna 1998 aloitetun hapetuksen jälkeen alimmat pitoisuudet olivat yleensä tyydyttäviä, n. 4 mg/l. Alusveden happipitoisuus oli yleensä päällysvettä pienempi. Vuosien 2003 ja 2010 matalat happipitoisuudet liittyivät hapettimien rikkoon aiheuttamaan käyttökatkoon. Kesän 2018 matalat pitoisuudet liittyivät pitkään jatkuneeseen kerrostuneisuus- ja hellejaksoon.



Kuva 6.1. Tuusulanjärven syvänpisteen happipitoisuus kesä-syyskuussa päällys- ja alusvedessä vuosina 1974–2021. Kierrätyspöytä aloitettiin vuonna 1998.

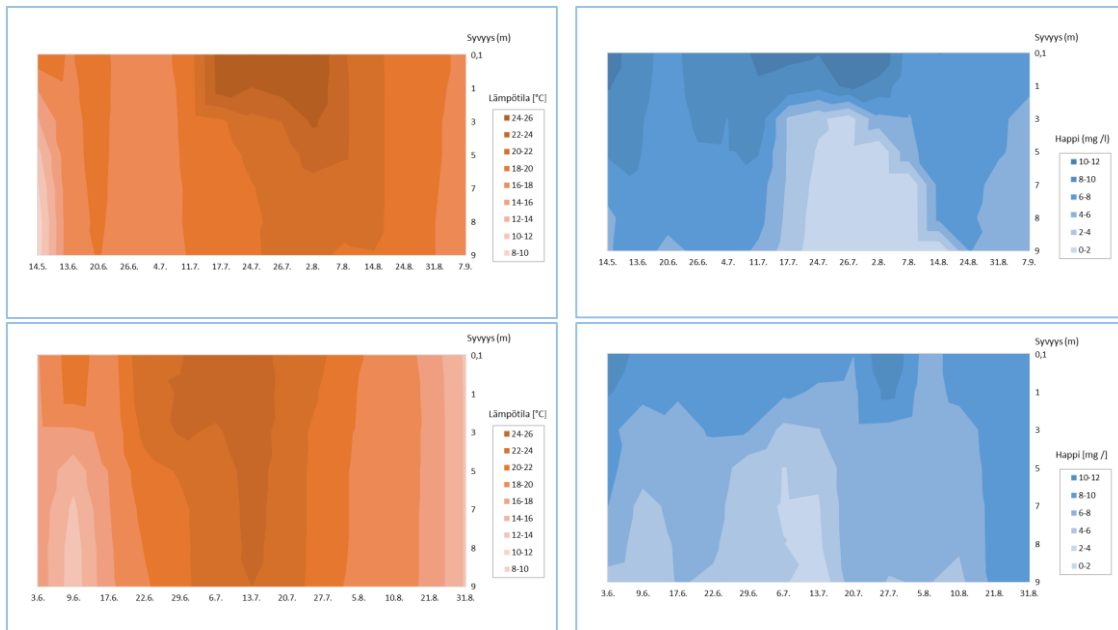
Hapen liukeneminen veteen vähenee lämpötilan noustessa. Lämpimän päällysveden pumppaaminen alusvedeen nostaa sen lämpötilaa, jolloin hapen liukeneminen vähenee. Lämpötilan vaikutusta syvänteen happipitoisuuteen seurattiin jatkuvatoimisesti kesäaikana vuosina 2015–

2020 YSI-anturilla, joka mittasi tunnin välein n. 1 m pohjan yläpuolelta. Tavoitteena oli seurata kierrätysshapetuksen tehoa ja tarvittaessa vähentää pumppujen käyttöä lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Alusveden happipitoisuus aleni, kun lämpötila nousee yli 19 °C:een. Tilanne parani nopeasti tuulten vaikutuksesta ja veden viiletyssä (Kuva 6.2).



Kuva 6.2. Jatkuvatoinen mittaus happipitoisuus ja lämpötila n. 1 m pohja yläpuolella sekä viikoittaiset mittaukset päällysvedestä (1 m) vuosina 2015–2020. Vuoden 2018 lämpötila asteikko eroaa muista vuosista.

Hellekesä 2018 oli poikkeuksellinen. Alkukesällä päällys- ja alusveden happipitoisuus ja lämpötila olivat samaa luokkaa. Heinäkuun toisella viikolla alkoi kuukauden mittainen lämmin ja tyyni jakso, jolloin vuorokauden keskilämpötila oli 20–25 °C. Päällysveden lämpötila oli korkeimmillaan 25–26 °C ja pohjanläheinen vesi samaan aikaan 18–20 °C. Pitkän ja tyynen hellejakson aikana järvi kerrostui. Happipitoisuus väheni nopeasti heinäkuun puolivälin jälkeen ja 3 metrin syvyydellä havaittiin happikato kahden viikon ajan heinä- ja elokuun vaihteessa (Kuva 6.2; Kuva 6.3). Voimakkaat tuulet purkivat kerrostuneisuuden elokuussa ja pohjan happitilanne parani nopeasti, kun sää viileni. Myös kesä 2021 oli lämmin, mutta vastaavaa pitkää kerrostuneisuusjaksoa ei syntynyt ja pohjan läheinen happitilanne oli suurimman osan keksikesästä tyydyttävä (2–4 mg/l) (Kuva 6.3).

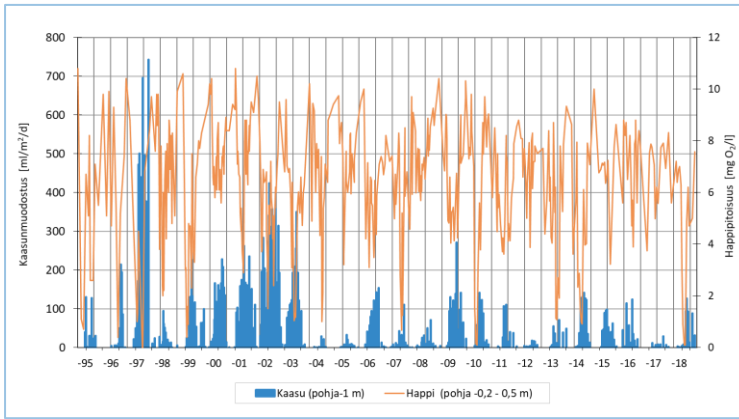


Kuva 6.3. Kenttämittarilla 1–2 viikon välein mitattu lämpötila- ja happiprofiili tavallista lämpimämpinä kesinä 2018 (yläkuva) ja 2021 (alakuva).

6.1.2 Kaasun muodostus syvänealueella

Järven rehevöitymisen myötä orgaanisen aineen sedimentaatio voimistuu. Sedimentissä muodostuu orgaanisen aineksen hajoamisen myötä kaasuja; hiilidioksidia (CO_2), typpeä (N_2), typpioksiduulia (N_2O) sekä metaania (CH_4). Kasvihuonekaasuista metaani on merkittävin järven kunnostamisen kannalta. Sitä muodostuu sedimentissä orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Metaanintuotanto kuvastaa voimakkaasti pelkistäviä olosuhteita sedimentissä ja sen määrä kuvastaa hyvin sedimentin tilaa (Huttunen ym. 2006).

Tuusulanjärven sedimentin kaasumuodostuksen seuranta aloitettiin syvänealueella kaasunkeräimillä vuonna 1995 osana sedimentin kunnostustutkimuksia (Sommarlund ym. 1998) ja sitä jatkettiin vuoteen 2018 asti. Kaasujen määrä oli suurin vuonna 1997, jolloin järvellä oli erittäin runsas leväkukinta. Tehokkaan kierrätys-hapetuksen aloittamisen (1998) jälkeen orgaanisen aineen hajotus nopeutui ja kaasumuodostus pysyi noin viisi vuotta melko suurena. Tämän jälkeen se on selvästi vähentynyt (Kuva 6.4). Kun syvänteiden happipitoisuus on ollut hyvällä tasolla, kaasumuodostus on ollut vähäistä. Sedimentin tilan paranemiseen viittaa se, että vaikka happipitoisuus on muutamina vuosina (2007, 2010 ja 2018) ollut matala, ei kaasujen määrä ole noussut huippuvuosien tasolle. Lämpimänä kesänä 2018 alusvesi oli pitkään hapetonta (Kuvat 5.2 ja 5.3) ja järven pinnalla havaittiin elokuun alussa kaasukuplia (Kuva 6.5). Kaasujen kokonaismäärä ei kuitenkaan noussut huippuvuosien tasolle.



Kuva 6.4. Tuusulanjärven syvänealueen sedimentistä vapautuvien kasvihuonekaasujen määrä ja pohjanläheinen happipitoisuus 1995–2018.

Keräimet mittaavat vain kaasun määrää, eikä niiden avulla saada selville kaasukoostumusta. Kaasu voi olla hiilidioksidiä, metaania, typpeä tai typpioksiduulia. Kaasunäytteiden koostumus analysoitiin vuosina 1995–1996 ja 2003. Metaanin pitoisuustaso on pienentynyt vuosien 1995–1996 tasolta (30 000–100 000 ppm) tasolle 1 000–3 000 ppm (Väisänen & Hellsten 1995; Väisänen ym. 1996; Sommarlund ym. 1998; Visuri ym. 2003). Vähentymiseen on vaikuttanut merkittävimmin tehostettu ilmasto, jonka ansiosta orgaanisen aineksen hajotus tapahtuu hapellisissa oloissa. Vuonna 2013 tehdyissä mittauksissa metaanin osuus vastasi vuoden 2003 pitoisuuksia (Tero Väisänen, julkaisematon).



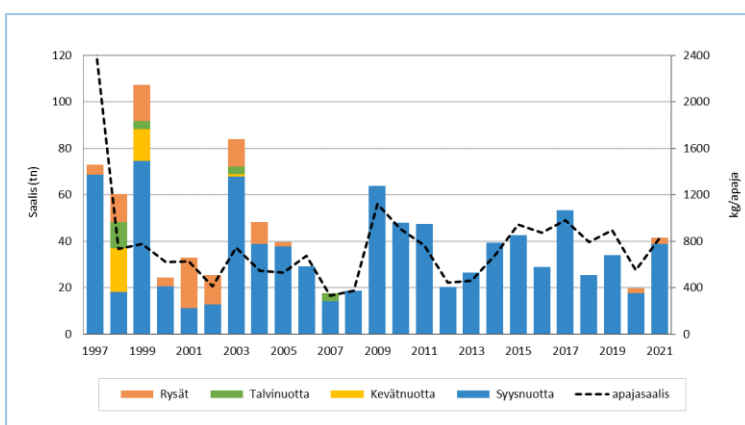
Kuva 6.5. Sinileväkukinta ja kaasukuplintaa kesällä 2018.

6.2 Hoitokalastus

Tuusulanjärven särkikalojen määrät ovat runsastuneet rehevöitymisen seurauksena. Runsas särkikalakanta lisää järven sisäistä kuormitusta ja leväkukintoja usean mekanismin kautta. Pohjalla ruokailevat kalat, erityiset lahnat, sekoittavat sedimenttiä ja palauttavat pohjalle kertyneitä ravinteita uudelleen veteen. Planktonia syövät kalat, kuten särkikalat, nuoret ahvenlajat ja kuore, voivat muuttaa ravintoketjun rakennetta leviää suosivaan suuntaan vähentämällä eläinplankto-

nin määrää ja kierrättämällä ravinteita ulosteissaan levien käyttöön. Eläinplankton syö kasviplanktonia, joten eläinplanktonin väheneminen voi lisätä levän määrää vedessä. Hoitokalastuksella vähennetään särkikalojen määrää ja niiden aiheuttamaa sisäistä ravinnekuormitusta sekä poistetaan ravinteita (Moss ym. 1996; Hansson ym. 1998; Sammalkorpi & Horppila 2004, Nobre ym. 2019, Tarvainen ym. 2007).

Tuusulanjärvestä on hoitokalastettu vuosina 1997–2021 yhteensä 1 052 tonnia kalaa, josta särkikaloja on 700 tonnia (Kuva 6.6.). Saalis pinta-alaa kohti 1 777 kg/ha, keskimäärin 71 kg/ha/v. Ensimmäisinä vuosina käytettiin nuottauksen lisäksi rysiä. Vuodesta 2006 lähtien on keskitytty syvänealueelle kertyneiden särkikalojen syysnuottaukseen, joka on ollut kustannustehokkainta. Syysnuottauksien yksikkösaalis laski selvästi jo ensimmäisen syksyn 1997 jälkeen ja se on 2010-luvulta alkaen vakiintunut välille 500–1 000 kg/apaja (Kuva 6.6.). Tuusulanjärven hoitokalastushanke on määrittänyt, kestoaltaan sekä hehtaarisaaaliiltaan ja tuloksiltaan ollut yksi Euroopan merkittävimmistä järvikunnostuksista.



Kuva 6.6. Tuusulanjärven hoitokalastuksen kalansaalis pyydyksittäin vuosina 1997–2021 ja syysnuottauksen apajasaalis.

Hoitokalastussaaliin mukana on poistettu fosforia yli 7 300 kg, mikä merkitsee huomattavaa vähennystä järven fosforikierrossa. Järven kotitarve- ja virkistyskalastuksen saaliista ei ole tarkkoja tietoja. Tärkein saalislaji on kuha, muita ovat hauki, ahven ja sivusaaliina tuleva lahna sekä vähäisemmässä määrin muut särkikalat. Saalismäärän voi arvioida olevan vähintään samaa tasoa kuin suomalaisten järvien vapaa-ajan kalastuksen, 5 kg/ha/v (LUKE 2021). Vuosien 1997–2021 vapaa-ajan kalastuksen saalis on tällä arviolla ollut noin 75 tonnia (3 000 kg/v) ja fosforipoistuma noin 525 kg. Hoitokalastuksen ja vapaa-ajan kalastuksen kokonaissaalis 1997–2021 on ollut noin 1 127 tonnia, hehtaarisaaalis yhteensä 1 903 kg/ha, keskimääräinen vuosisaalis 76 kg/ha/v ja fosforipoistuma yhteensä 7 825 kg.

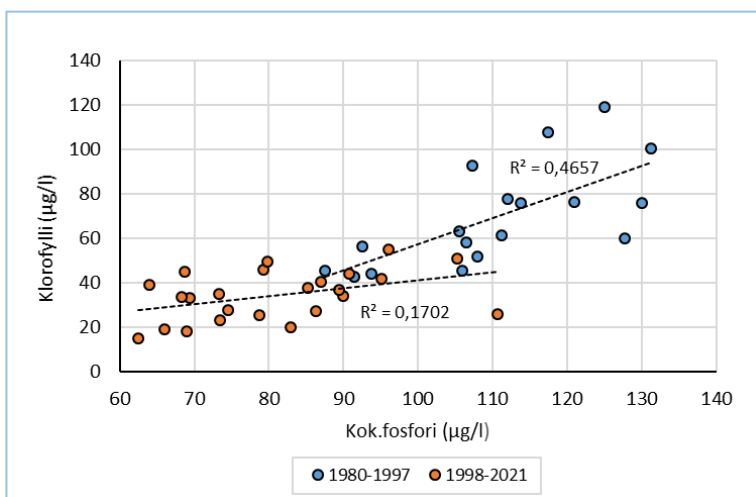
Kun hoitokalastus aloitettiin, osakaskunnat olivat huolissaan järven kuhakannasta. Hoitokalastuksesta ei kuitenkaan näytä olleen haittaa kuhakannalle, koska niiden yksikkösaalis on pysynyt koko ajan suurena (Kuvat 4.16 ja 4.17; Rask ym. 2005 ja 2020). Vahvaan kuhakantaan viittaa myös nuotta-apajista vapautettujen kuhien suuri määrä, esimerkiksi vuonna 2021 keskimäärin 370 kpl/apaja.

Kalaston rakenteen parantamiseen tähtäävänä toimenpiteenä järveen on myös istutettu petokaloja, viime vuosina ankeriaita. Lisäksi kalojen kutualueita on kunnostettu ruoppausten ja niittojen avulla, mikä todennäköisesti on auttanut hauen luontaista lisääntymistä (Ruohonen 2003).

6.3 Vaikutusten arviointi

Kunnostustoimilla on ollut selvä, tavoitteen mukaisia vaikutuksia Tuusulanjärven tilaan. Vesienhoidon luokitteluarvoissa on tapahtunut siirtymä välttävää tilaa edustavista arvoista tyydyttävää tilaa edustaviin arvoihin. Vuosien 1998–2021 klorofyllipitoisuus on puolittunut kunnostusta edeltävän jakson tasolta (Kuva 5.13). Klorofyllipitoisuus on neljänä vuonna ollut hyvän tilan tasolla ja sinileväkukinnat ovat vähentyneet vuodesta 1998 alkaen (Lepistö ym. 2006; Järvinen & Lepistö 2017; Kuva 5.15).

Päällysveden fosforipitoisuus on laskenut ja vuosina 1998–2021 se on ollut enää keskimäärin 73 % kunnostusta edeltävän jakson pitoisuudesta. Myös fosforin hajakuorma on vähentynyt: se on keskimäärin 78 % kunnostusta edeltävältä tasolta. Klorofyllin ravinneriippuvuus on laskenut (Kuva 6.7). Ennen kunnostuksen aloittamista, vuosina 1980–1997 fosfori:klorofylli -suhde oli voimakkaasti lineaarinen ($R^2=0,47$) ja fosforipitoisuuden 50 % nousuun liittyi yli kaksinkertainen klorofyllipitoisuus. Vuosina 1998–2021 korkeampi fosforipitoisuus enää välttämättä johtanut merkittävästi suurempaan klorofyllipitoisuuteen ($R^2=0,17$). Muutos on tyyppillinen hoitokalastuksen tulos, mutta myös kerrostuneisuuden estäminen kierrätysrapetuksella on voinut vaikuttaa mitattuihin levämääriin, koska kasviplankton on jakautunut tasaisemmin vesipatsaaseen, mutta näytteet on otettu vakiosyvyydeltä (0–2 m).



Kuva 6.7. Tuusulanjärven kesäkauden (kesäkuu-syyskuu) keskimääräiset fosfori- ja klorofyllisuhteet ennen tehokasta kunnostusta 1980–1997 ja sen aloittamisen jälkeen 1998–2021.

Järven fosforipitoisuuden vähenemisen taustalla ovat tehokkaat hoitotoimet: kierrätysrapetus ja hoitokalastus. Aiemmille vuosille tyyppillinen alusveden fosforipitoisuuden nousu on pienempi (Kuva 5.9) kierrätysrapetuksen ansiosta. Sedimenttitutkimus on osoittanut, että syvänteen ravinnekuormitus on vähentynyt (Horppila ym. 2017). Pohjan happitilanne on parantunut ja orgaanisen aineen hajoaminen tapahtuu hapellisissa olosuhteissa. Tämä on puolestaan vähentänyt myös kasvihuonekaasujen kuplintaa.

Riittävä hoitokalastus voi vähentää kalaston eläinplanktoniin kohdistuvaa saalistuspainetta, jolloin suuret vesikirput runsastuvat ja levämäärä vähenee niiden laidunnuksen kautta (Mazumder 1994; Sammalkorpi & Horppila 2005). Jos klorofylli:fosfori -suhdeluku on yli 0,4, silloin kalatiheyttä pidetään niin suurena ettei eläinplankton pysty vähentämään klorofyllin määrään. Tuusu-

lanjärvellä suhdeluku on laskenut hoitokalastuksen aikana (0,62 -> 0,49). Planktonia syövien kalojen määrä on kuitenkin edelleen suuri (Malinen ym. 2017) eivätkä eläinplanktonyhteisön valtalajit siksi ole tehokkaimpia laiduntajia.

Hoitokalastuksen hyöty onkin todennäköisesti ollut se, että biologisen tuotannon sitomaa fosforia on vuosittain poistettu Tuusulanjärvestä 25 vuoden ajan. Kalojen bioturbaation aiheuttama sisäinen fosforikuormitus on myös vähentynyt. Kun kalasto sitoo fosforia ravintoketjusta (Rask ym. 2005; 2020, Boros 2022) ja kun kalabiomassaa poistetaan, ne ravinteet ovat lopullisesti pois järvi-ekosysteemistä (Sarvala & Jumppanen 1988; Vanni ym. 2013). Hoitokalastuksen saaliissa v. 1997–2021 poistuneiden ravinteiden määrä on ollut keskimäärin 8 % ulkoisen kuormituksen tuomasta ja 24 % ainetaselaskeman mukaan järveen pidättyneen fosforin määrästä (Taulukko 6.1). Kun voimakkaimman kalastuksen vuosina 1997–1999 saalis oli keskimäärin 140 kg/ha/v, kalabiomassan mukana poistui fosforia kaksinkertainen määrä. Hoitokalastussaalessa sisältämä fosforin määrä verrattuna ulkoiseen kuormitukseen on kuivana vuotena suurempi kuin sateisena vuotena, jolloin myös sedimenttiin pidättyvän fosforin määrä on suurempi kuin sateisena vuotena (Taulukko 6.1).

Taulukko 6.1. Tuusulanjärven tavoitesaalessa mukana vuosittain poistettavan fosforin määrä (331 kg) verrattuna hajakuormituksen, luusuasta poistuvan ja järveen sedimentoituvan fosforin määriin kuivana ja sateisina vuosina (VEMALA 16.3.2022).

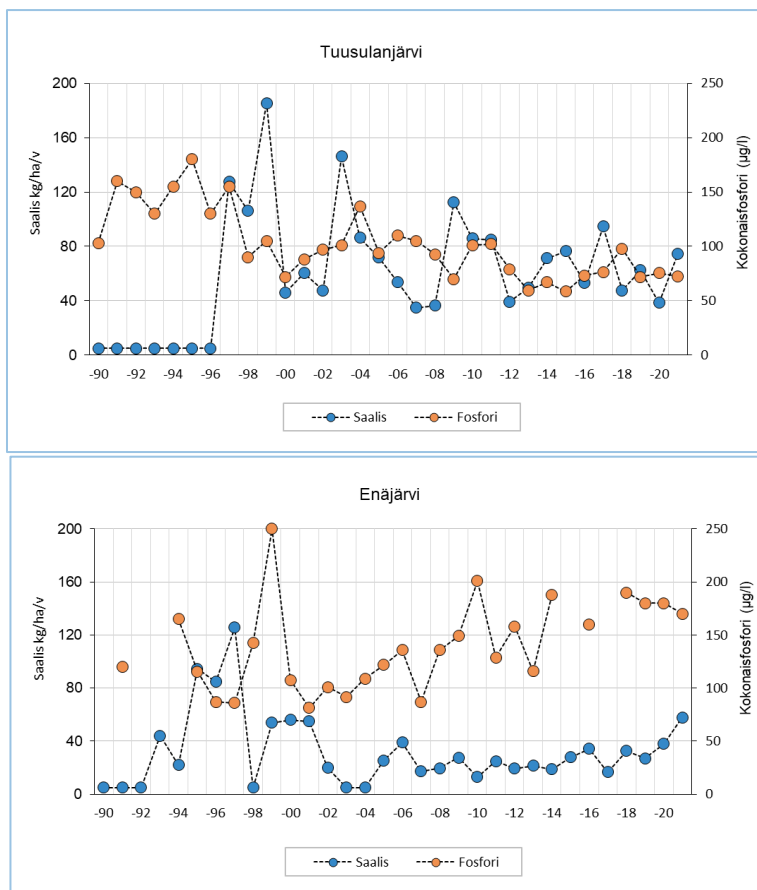
Vuosi	Saaliissa poistuva (kg)	Hajakuorma (kg/v)	% hajakuorma	Luusuasta poistuva (kg)	% Luusua	Sedimentoituvaa (kg)	% Sedim.
Kuiva 2003	331	2 200	15	1 100	30	1 100	30
Sateinen 2004	331	6 500	5	4 300	8	2 200	15
Kuiva 2014	331	2 600	13	1 700	19	900	37
Sateinen 2017	331	4 900	7	3 240	10	1 660	20
Kuiva 2018	331	2 350	14	1 745	19	605	55
Keskiarvo	331	4 100	8	2 700	12	1 400	24

Hoitokalastusjakson aikana saaliin määrän ja veden laadun välillä ei havaittu merkitsevää korrelaatiota yksittäisten vuosien välillä (Rask ym. 2020) ja hoitokalastuksen vaikutus kokonaisravinnepitoisuuksiin on ollut vähäinen (Taulukko 6.2). Kasvukautta seuraavan syksyn nuottasaaliin positiivista korrelaatiota levymäärän kanssa voi pitää merkinä siitä, että kun levää on ollut paljon, myös kalamäärä on ollut suuri. Lämmin kesä nopeuttaa sekä levien että kalojen kasvua. Syksyllä kalansaalis siten suurempi kuin viileänä kesänä.

Taulukko 6.2. Ravinnepitoisuuksien, kalansaaliin ja kasviplanktonin väliset Pearsonin korrelaatiokertoimet. **KokP**= kokonaisfosforipitoisuuden kesäkeskiarvo, **KokN**= kokonaistyyppipitoisuuden kesäkeskiarvo, **KPL**= kasviplanktonin biomassan kesäkeskiarvo, **SINI**= sinilevien biomassan kesäkeskiarvo, **S -1**=kasvukautta edeltävän kauden saalis, **S 0**= saman vuoden syksyn nuottasaalis, **S -3**=kolmen edeltävän vuoden liukuva keskiarvo. Lihavoidut korrelaatiot ovat tilastollisesti merkitseviä (p<0,05).

	KokP	KokN	KPL	SINI
Saalis -1	-0,049	0,114	-0,047	-0,279
Saalis 0	0,107	0,039	0,448	0,449
Saalis-3	-0,188	-0,092	-0,563	-0,427

Vertailujen mielenkiintoisiin tulokset on se, että kolmen vuoden liukuva keskiarvo (Saalis-3) korreloi negatiivisesti levien ja sinilevien biomassan kanssa. Tämä viittaa pitkäaikaisen hoitokalastuksen ravinnepoistuman merkitykseen. Samaan viittaa myös kahden pitkään, mutta ajallisesti erillisillä tehokkuuksilla kalastetun järven, Tuusulanjärven ja Vihdin Enäjärven fosforipitoisuuksien trendien erisuuntaisuus vuodesta 1990 alkaen (Kuva 6.8). Molemmat järvet ovat 1970-luvun loppuun olleet asumajätevesien kuormittamia, nykyisin sisäkuormitteisia ja niihin kohdistuu edelleen voimakas hajakuormitus. Tehokkaammin kalastetussa Tuusulanjärvessä on fosforipitoisuus vähitellen laskenut, vaikka saaliin määrä on vuosittain vaihdellut. Vihdin Enäjärvessä oli voimakkaamman hoitokalastuksen aikana ja sen jälkeen havaittavissa fosforipitoisuuden, ja vielä selvemmin kasviplanktonin määrän laskua 1990-luvulla. Esimerkiksi valtakunnallisesti vaikeana sinileväkesänä 1997, jolloin Tuusulanjärvessä oli erittäin paha sinileväkukinta, Enäjärven tila oli seurantajakson parhaita (Lempinen 1998). Tehokkaammin syksystä 1997 alkaen (Lempinen 1998). Kun Enäjärven saalistaso merkittävästi laski 2000-luvulla, fosforipitoisuus kääntyi vähitellen nousuun ja sinileväkukinnat runsastuivat (Pellikka ym. 2020) samaan aikaan kun ne jatkuvasti hoitokalastetussa Tuusulanjärvessä laskivat.



Kuva 6.8. Tuusulanjärven ja Vihdin Enäjärven pintaveden kokonaisfosforipitoisuudet ja kalansaaliit vuosina 1990–2020.

7 Kunnostustoimet vuosille 2022–2026

Tuusulanjärven kunnostuksen suurimmat haasteet kohdistuvat tällä hetkellä ulkoisen ravinnekuormituksen, erityisesti fosforikuormituksen, vähentämiseen, johon on panostettava entistä enemmän. Vaikka hajakuormitus on vähentynyt, on fosforikuormituksen vähentämistarve vielä 30–50 % nykyisestä tasosta (Marttila 2004; Ahokas ym. 2021). Typen hajakuorma on jo nykyisellään hyvää ekologista luokkaa vastaavalla tasolla (VEMALA 2022). Hajakuormituksen vähentämistoimet vähentävät sekä fosforin että typen kuormitusta, koska niiden määrät ovat voimakkaasti korreloituneita keskenään.

Tuusulanjärven kunnostus on osoittanut, että voimakkaastikin kuormitetun järven tilaa on mahdollista parantaa määrätietoisella ja pitkäjänteisellä työllä. Suuresta ulkoisesta ravinnekuormituksesta huolimatta järven ekologinen tila on parantunut kunnostushankkeen aikana välttävistä tyydyttäväksi. Kierrätysshapetus ja hoitokalastus ovat vähentäneet järven sisäistä ravinteiden kiertoa, mikä näkyy järven kesäajan fosforipitoisuuden ja levämäärän merkittävänä vähenemisenä. Nämä sisäistä kuormitusta vähentävät kunnostustoimet ylläpitävät parantunutta tilaa ja niitä on nykyisissä kuormitusolosuhteissa jatkettava.

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan järven veden laatuun ja voimistavan rehevöitysmiskehitystä ravinnekuormituksen lisääntymisen ja kesäaikaisen kerrostuneisuuden yleistymisen kautta. Vesiensuojelutoimia on siksi tehostettava, että nykyinen ekologinen tila säilyisi (esim. Jeppesen ym. 2017; Havens & Jeppesen 2018). Ääriolosuhteet kasvukaudella, rankkasateet tai hellejaksot ja kuivuus ovat aiempia vuosia todennäköisempiä. Vesitaseen muutokset tulevat näkymään talven virtaamien kasvuna, kevättulvien pienenemisenä, pidempien kesien aiheuttamien kuivuusriskien lisääntymisenä ja myös kesäsateiden aiheuttamina tulvina (Veijalainen ym. 2012). Sademäärät ja valumat kasvavat etenkin talvella, mikä lisää kiintoaine- ja ravinnekuormitusta, etenkin jos maa on kasvipeitteetön. Kuormituksen kasvua voi kuitenkin osittain kompensoida tulovirtaaman huippujen aikaistuminen talvikuukausille, koska silloin pienempi osa kuormituksesta jää Tuusulanjärveen.

Lämpötilan nousu ja pidempi kasvukausi vaikuttavat myös eliöstöön: etenkin viileämpää vettä suosiva kuore voi taantua. Lämpeneminen voi suosia rehevyyttä ylläpitävien särkikalojen lisääntymistä (Moss ym. 2012). Sisäisen kuormituksen vähentämistoimien jatkaminen, hoitokalastus ja kierrätysshapetus, on siksi tärkeää hajakuormituksen vähentämisen lisäksi.

7.1 Hajakuormituksen vähentäminen

Tuusulanjärven tilan paraneminen vaatii panostusta valuma-alueen vesiensuojeluun. Mikäli kaikki vesienhoitosuunnitelman mukaiset toimet toteutetaan, fosforikuormitus vähenee 20 % tasolle 3 400 kg/v. VEMALA-mallinnuksen mukaan hyvään tilaan johtava kuorma on n. 2 800 kg. Typpikuormitus on jo hyvää ekologista tilaa vastaavalla tasolla (VEMALA, 3.2.2022).

Kunnostus- ja hoitotoimien tavoitteena on vesistöön kulkeutuvan kiintoaine- ja ravinnekuormituksen vähentäminen. Selvityksessä ”Tuusulanjärven ulkoisen kuormituksen vähentämistoimenpiteitä vuosille 2016–2021” (Lahti ym. 2016) tarkasteltiin järven koko valuma-aluetta ja sel-

vitettiin keinoja maatalouden, hulevesi- ja jätevesikuormituksen vähentämiseksi. Maatalousvaltaisten valuma-alueiden toimenpiteet painottuvat viljelytoimenpiteisiin ja taajama-alueilla keskitytään hulevesikuormituksen vähentämiseen. Myös jätevesiverkoston kunnan ylläpitäminen on tärkeää. Hevostilojen määrä alueella tulee kasvamaan ja niiden neuvontaan tullaan panostamaan. Tutkimushankkeet tähtäävät ravinnekuormituksen seurantaan ja vähentämiseen. Toimenpiteitä suunnitellaan ja toteutetaan yhteistyössä eri toimijoiden välillä ja niiden aikataulua tarkistetaan vuosittain (Taulukko 7.1).

Taulukko 7.1. Valuma-alueella toteutettavien toimenpiteiden ajoittuminen vuosille 2022–2026. Vastuutahot ovat seuraavat: KUYK=Keski-Uudenmaan ympäristökeskus, ELY=Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, VHVSY=Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, SYKE=Suomen ympäristökeskus, LUKE=Luonnonvarakeskus.

	Vastuutahot	2022	2023	2024	2025	2026
Ravinnekuormituksen seuranta						
- Vedenlaadun seuranta	ELY, KUYK					
Maatalouden vesiensuojelu						
- Ympäristösitoumukset	Viljelijät					
- Viljelykäytännöt	Viljelijät					
- Maanparannusaineiden tutkimus	KUYK, VHVSY, LUKE					
Valuma-aluekohteet						
- Rantamo-Seitteli	KUYK, SYKE					
- Piilioja	KUYK, Kunnat					
- Mäyränoja	KUYK, Kunnat					
- Hankkijanoja	KUYK, Kunnat					
- Loutinoja	KUYK, Kunnat					
- Räikilänoja	KUYK, Kunnat					
Jätevesikuormitus						
- Verkosto, laajennus ja saneeraus	Kunnat					
- Haja-asutus, valvonta ja neuvonta	KUYK, VHVSY					
- Haja-asutus, järjestelmät	Asukkaat					
Hulevesikuormitus						
- Hulevesiohjelmat	Kunnat					
- Kosteikot ja muut rakenteet	KUYK, Kunnat					
Hevostilojen neuvonta	KUYK, VHVSY					

7.1.1 Maatalouden vesiensuojelu

Arviolta puolet Tuusulanjärven ravinnekuormituksesta on peräisin pelloilta (Kuva 5.5), joiden osuus on kolmannes valuma-alueesta, joten maatalouden vesiensuojelutoimilla voidaan vähentää merkittävästi järven ravinnekuormitusta. Yleisesti on arvioitu, että tehokkailla vesiensuojelutoimenpiteillä maatalouden kuormitusta voitaisiin vähentää ehkä kolmanneksella (Puustinen ym. 2010). Tuusulanjärven valuma-alueen pellot ovat eroosioherkkiä, joten eroosion torjunta on keskeinen toimenpide. Siihen on panostettava jatkossa entistä enemmän, koska ennusteiden

mukaan ilmastonmuutos tulee lisäämään sateisuutta ja kiintoaineen huuhtoutumista kasvipeitteettömiltä pelloilta erityisesti syksyisin ja talviaikana.

Maatalouden ympäristönsuojelun toteuttamisessa keskeinen keino on tukijärjestelmä, jonka tavoitteena on vähentää maataloudesta aiheutuvaa vesistöön kohdistuvaa kuormitusta. Järjestelmä on säännelty mm. lannoitustasoa, minkä seurauksena molempien pääravinteiden, typen ja fosforin, käytön tehokkuus on parantunut 1990-luvun jälkeen (Yli-Viikari 2019). Vuosien 2015–2021 tukijärjestelmä oli osa Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmaa, joka on voimassa vielä vuoden 2022. Uusi CAP-tukikausi alkaa vuonna 2023. Esityksen mukaan uudella kaudella painotetaan ympäristö- ja ilmastotoimenpiteitä aiempaa kautta enemmän (Maa- ja metsätalousministeriö 2021).

Tulvaherkimmille alueille perustetut suojavyöhykkeet pienentävät maa-aineksien ja ravinteiden huuhtoutumista vesistöön. Tuusulanjärven valuma-alueen pellot ovat tasaisia, mutta muutamalle Sarsalanojan ja Mäyränojan valuma-alueiden lohkolle on esitetty suositus suojavyöhykkeen perustamisesta (Vuorinen & Nyqvist 2012). Leveät suojakaistat ojien varrelle olisivat kuitenkin suositeltavia esimerkiksi viljelyn helpottamiseksi ja luonnon monimuotoisuuden kannalta.

Tuusulanjärven valuma-alueelle suositellaan

- Talviaikaista kasvipeitteisyyttä
- Kerääjäkasvien käyttöä
- Peltomaan rakenteen parantamista
- Maanparannusaineiden käyttöä ja hiilen sidonnan tehostamista.

Neuvonta

Tuusulanjärven valuma-alueella ei ole tällä hetkellä aktiivista neuvontaa alueen viljelijöille maatalouden ympäristötoimista. Neuvonnalle on tarvetta, jotta saadaan lisättyä alueen viljelijöiden maatalouden ympäristötietoutta ja sitä kautta lisättyä käytännön toimia valuma-alueen pelloilla. Aiemmin toimineiden tiedonvälityshankkeiden (VILKKU ja VILKKU Plus -hankkeet, 2016–2020) pohjalta voidaan sanoa, että viljelijät kaipaavat erityisesti tutkitun tiedon jakamista. VILKKU Plus -hankkeessa toteutettuun Kasvukunto.fi-sivustoon on koottu tutkittua tietoa ja viljelijöiden käytännön kokemuksia maatalouden ympäristötoimista. Sivusto on edelleen vapaasti kaikkien käytettävissä.

Talviaikainen kasvipeitteisyys

Tuusulanjärven valuma-alueen pellot ovat suurimmaksi osaksi tasaisia. Jyrkkiä peltoja valuma-alueella on hyvin vähän. Eroosio on kuitenkin ajoittain suurta sateisuudesta, maan muokkauksesta ja pellon huonosta maanrakenteesta johtuen. Valumaveden mukaan lähteneet savihiuksaset ovat vaikeasti pysäytettävissä pienen kokonsa takia ja savekseen pidättynyt fosfori kulkeutuu valunnan mukana järveen.

Oleellisinta eroosion vähentämiseksi on suojata pellon pinta kasvukauden ulkopuolisena aikana, jolloin satokasvi ei ole suojaamassa maan pintaa. Talviaikainen kasvipeitteisyys viljan sängellä

on kustannustehokas ja toimiva tapa vähentää kiintoaineksen huuhtoutumista pelloilta (Puustinen ym. 2019; Hyvönen ym. 2020). Sänki jää suojaamaan pellon pintaa sateelta ja lumien sulamisvesiltä kevääseen asti. Talviaikaisen kasvipeitteisyyden toteutus sänkipeltona on yleistynyt Tuusulanjärven valuma-alueella. Valuma-alueen peltojen tasaisuudesta johtuen viljelijät eivät ole innostuneita kylvämään syysviljoja tai monivuotisia satokasveja, kuten kuminaa, sillä talven märkyys ja jääpolte ovat suuri riski satokasvien talvehtimiselle.

Nurmi on tehokas, monivuotinen suoja eroosiota vastaan. Maatalouden ympäristötukijärjestelmässä on monia mahdollisuuksia nurmien viljelyyn, mistä viljelijät voivat valita viljelykiertoon parhaiten sopivia nurmia. Tuusulanjärven valuma-alueella on hevostiloja, ja alueella on jonkin verran heinäntuotantoa hevosille ja laidunta. Nauta- ja lammastiloja ei ole, joten heinän tuotannolle ei alueella ole kysyntää, eikä sen takia myöskään intoa viljellä nurmia.

Kerääjäkasvit

Yleisimmät viljelykasvit Tuusulanjärven valuma-alueen ovat viljat. Viljavaltaisessa viljelykiertossa ongelmiksi muodostuvat hyvin herkästi peltomaan rakenneongelmat, joista yleisin on maan tiivistyminen. Tiiviissä maassa veden läpäisy nopeus heikkenee ja pintavalunnan riski kasvaa. Samalla kasvaa riski eroosiolle ja ravinteikkaan pintamaan huuhtoutumiselle vesistöön. Viljan juuren kasvu heikkenee tiiviissä maassa, jolloin kasvi ei saa tehokkaasti vettä ja ravinteita. Huono pellon rakenne näkyy satotappioina. Viljalta käyttämättä jääneet ravinteet, varsinkin typpi, voidaan saada talteen kerääjäkasvien avulla (Valkama 2018; Känkänen ym. 2020).

Kerääjäkasvi, yleensä italian raiheinä, kylvetään keväällä viljan yhteydessä tai viimeistään viljan orastumisen aikaan. Kerääjäkasvi kasvaa hitaasti viljan seassa, mutta viljan tuleentuesssa ja puinin jälkeen valon määrä lisääntyy ja kerääjäkasvi lähtee kasvuun. Samalla kerääjäkasvi sitoo itseensä ravinteita ja kerääjäkasvin juuristo pitää maaperän eloisana ja murustaa pintamaata vähentäen eroosiota. Kerääjäkasvi voi kasvaa marraskuulle saakka, jos lämpöä on riittävästi. Vilja kasvaa kolmen kuukauden ajan, jonka jälkeen juuristo kuolee eikä siitä riitä ravintoa maaperäeliöille kovinkaan pitkäksi aikaa. Kerääjäkasvi ruokkii maaperäeliöitä vielä pellon routaantumiseen saakka.

Peltomaan rakenteen parantaminen

Tuusulanjärven valuma-alueen pelloilla on mietitty viljelijöiden kanssa keinoja, joilla voitaisiin parantaa sadontuotantoa ja samalla vähentää ruoantuotannon vaikutusta vesistöön. Ratkaisun avaimena on peltomaan rakenteen parantaminen. Peltomaan rakenneongelmiin on erilaisia syitä ja ratkaisuja, mutta yleisesti ottaen tiivistyneiden savimaiden taustalla on yksipuolinen viljanviljely ja liian kosteissa oloissa työkoneilla työskentely, jolloin savimaa tiivistyy entistä enemmän ja ongelmat vain pahenevat. Peltomaan rakenteen paraneminen vaatii pitkäaikaisia toimia viljelykierron suunnittelusta pellolla tehtävien toimenpiteiden toteutukseen.

Maanparannusaineet

Pellon pintamaan rakennetta voidaan parantaa nopeasti maanparannusaineiden avulla. Yleisimmät maanparannusaineet ovat kipsi, rakennekalkki ja selluteollisuuden sivuvirtana tuleva puukuitu. Näillä saadaan parannettua pintamaan murustuvuutta ja vedenläpäisyä. Kipsi ei sovellu Tuusulanjärven valuma-alueen pelloille, koska se sisältää sulfaattia, joka huuhtoutuu maasta ja

voi kerrostua Tuusulanjärven pohjaan edistäen järven sisäistä kuormitusta (Ollikainen ym. 2018). Rakennekalkki ja kuitu sopivat järven valuma-alueelle ja näitä tuotteita on käytetty Tuusulanjärven valuma-alueella ja vesiensuojelulliset tulokset ovat lupaavia (Ajosenpää ym. 2021).

Rakennekalkilla parannetaan maan mururakennetta kemiallisesti ja samalla maan happamuus vähenee, jolloin kasvien ravinteiden saanti paranee. Kuitu sisältää paljon orgaanista ainesta, joka on maaperämikrobien ruokaa. Mikrobiaktiivisuuden lisääntyessä ne erittävät maahan enemmän liima-aineita, jotka sitovat maata murustaen sitä. Maanparannusaineilla saadaan edesautettua pellon rakennetta muuttumaan parempaan suuntaan, mutta lopullinen pellon rakenteen paraneminen tapahtuu monen eri toimen kokonaisuutena.

Orgaanisen aineksen lisäys ja hiilen sidonta

Pysyvä muutos peltomaan rakenteen paranemiseen tapahtuu lisäämällä maan multavuutta. Yhdistämällä edellä mainittuja toimenpiteitä, kuten talviaikaista kasvipeitteisyyttä, nurmia viljelykiertoon ja kuidun levitystä, saadaan lisättyä orgaanista ainesta peltomaahan. Orgaaninen aines toimii luontaisena ravinnevarastona, jolloin lannoitteiden käyttöä voidaan vähentää (Soinne ym. 2020). Orgaaninen aines pidättää vettä, jolloin kuivan kasvukauden aikana sadonmuodostus on varmempaa. Orgaaninen aines sisältää paljon hiiltä, joka on energianlähde maaperäeliöille. Maaperäeliöt puolestaan parantavat maan rakennetta. Tuusulanjärven valuma-alueella tullaan jatkamaan yhteistyötä viljelijöiden kanssa ja heitä tullaan kannustamaan jatkossa näkemään orgaanisen aineksen tärkeyden kokonaisuuden kannalta. Samalla, kun toteutetaan toimia varmemman ruoantuotannon takaamiseksi, parantavat toimet vesistön tilaa ja hillitsevät ilmastonmuutosta.

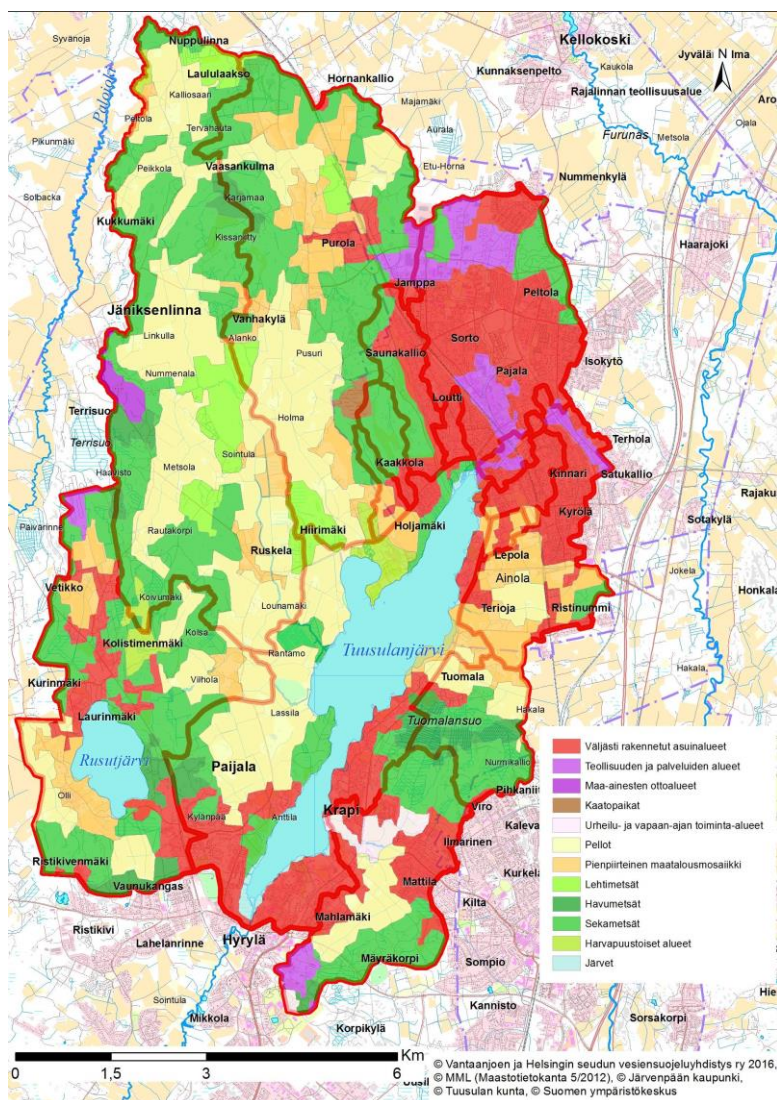
Peruskuivatus

Viljelyn lähtökohtana on pellon toimiva vesitalous. Peruskuivatuksessa oleellisinta on, että liika vesi saadaan johdettua hallitusti pois peltoalueilta. Suora, jyrkkäreunainen oja on eroosioherkkä ja suurilla valumilla oja tulvii pelloille, kun ojassa ei ole riittävää tilavuutta tulvavedelle. Tuusulanjärven valuma-alueen tasaisten peltojen tulvatilannetta pahentavat yläjuoksun ojitetut suot ja jyrkemmät pinnanmuodot, joista vesi valuu nopeasti peltoalueille. Tuusulanjärven valuma-alueella on suunniteltu tai suunnitteluvaiheessa kolmen peltovaltaisen uoman kunnostustoimet. Mäyränojan pääuoman kunnostaminen toteutetaan vuonna 2022, Piiliojan kunnostussuunnitelma on valmistumassa ja se on tarkoitus toteuttaa myös vuoden 2022 aikana. Hankkijanojalle on myös laadittu kunnostussuunnitelma. Näissä uomakunnostuksissa valumavedet tullaan johtamaan hallitusti järveen niin, että ne eivät aiheuta tulvahaittaa huuhtoen pelloilta ravinteita ja kiintoainesta mukaansa. Uomien muotoilu tehdään niin, ettei uomaeroosiota synny.

Uomakunnostus pitää jo suunnitteluvaiheessa nähdä kokonaisuutena ja sopivat kunnostustoimet on mietittävä koko valuma-alueen osalta. Kaksitasuomien avulla johdetaan tulvavedet pois leveämpiä tulvatasanteita pitkin. Leveät tulvatasanteet pienentävät hieman peltopinta-alaa, mutta tasaisilla pelloilla pystytään varmemmin viljelemään, kun tulvavesi ei nouse pellolle. Tulvatasanteen reunat ovat loivat ja kasvipeitteiset, joten uomaeroosiota ei pääse syntymään niin herkästi kuin jyrkkäreunaisessa uomassa. Pengerryksillä ja paalutuksilla voidaan vähentää myös uoman sortumista. Kosteikoilla ja pohjapadoilla voidaan hidastaa veden virtausta, ja tasata pieniä virtaamapiikkejä. Erodoituneen saveksen poistoon kosteikoista ei ole, sillä kevyt hiukkasmaisen saves laskeutuu liian hitaasti.

7.1.2 Hulevesikuormituksen vähentäminen

Tuusulanjärven valuma-alueen pinta-alasta neljännes eli 23 km² on rakennettua, josta suurin osa on Järvenpään kaupungin alueella (Kuva 7.1; Taulukko 7.2). Arviolta 16 % Tuusulanjärven fosforin kuormituksesta ja 12 % typpikuormasta on peräisin taajama-alueiden hulevesistä (Kuva 5.5). Ravinteiden lisäksi hulevesien mukana vesistöön kulkeutuu haitta-aineita, kuten raskasmetalleja ja muita kemikaaleja, sekä mikromuoveja ja bakteereja (Kuntaliitto 2012). Tuusulanjärven taajama-alueet ovat pääosin asuinalueita eikä kuormittavaa teollisuutta juurikaan ole. Tuusulanjärven alueen hulevesien haitta-aineseurannoissa raskasmetallipitoisuudet ovat siksi olleet melko pieniä (Kivikangas 2002; Kasvio ym. 2016; Vahtera ym. 2020). Hulevesien hallinnan tavoitteena on siksi virtaaman hallinta: tulvien ehkäisy ja omaeroosion torjunta (Hietala ym. 2020).



Kuva 7.1. Tuusulanjärven valuma-alueen maankäyttömuodot Corine 2012 maankäyttöaineiston perusteella (SYKE, Avoin data).

Taulukko 7.2. Tärkeimmät hulevesireitit Tuusulanjärveen ja niiden hulevesien käsittelyssä huomioitavia seikkoja (Lahti ym. 2016).

Kohde	Valuma-alue (km ²)	Rakennettu alue (%)	Huomioitavaa
Loutinoja, Järvenpää	7,9	88	Nummenkylän pohjavesialue Verkoston kapasiteettitarkastelu Viivytysrakenteiden toteutus Luontoarvot
Keskustan alue, Järvenpää	1,0	91	Pohjavesialue
Räikilänoja, Järvenpää	4,4	48	Lepolan ja Poikkien alueiden rakentaminen Vesimäärän hallinta ja uudet viivytysrakenteet
Eriksnäsiänoja, Järvenpää	1,9	57	Jokelan siirtoviemäri Natura-alue
Piilioja, Tuusula	6,3	46	Hyrylän pohjavesialue Mattilan alueen tulvaherkkyys Rykmentinpuiston rakentaminen
Ranta-alueet, Tuusula ja Järvenpää	5,0	30	Vanhempaa pientalovaltaista asutusta Anttilan alueen rakentaminen Julkisia rakennuksia Puistoja

Tuusulan ja Järvenpään maankäyttösuunnitelmissa tavoitellaan jo rakennettujen alueiden tiivistämistä ja uusille alueille rakentamista. Ravinnekuormitus ei kuitenkaan saisi lisääntyä rakentamisen myötä ja hulevesien hallintaan tulee kiinnittää huomiota alueiden suunnittelussa (Leskinen & Vilminko 2019). Hulevesisuunnittelussa tulee huomioida koko valuma-alue. Keskeisiä työkaluja ovat osayleiskaavataso hulevesisuunnitelmat ja pienvesi- ja luontokartoitukset. Uusien alueiden asemakaavoituksen hulevesien käsittelystä annetaan yksityiskohtaisempia rakennusmääräyksiä.

Kokonaisvaltaisella valuma-alueen ominaispiirteet huomioivalla suunnittelulla pystytään tasamaan virtaamahuippuja, vähentämään kiintoaine- ja ravinnekuormitusta sekä varautumaan ilmastomuutokseen. Ilmastomuutoksen ennakoitaan lisäävän tulvia, mutta myös kuivuutta, joten varautuminen vaatii koko valuma-alueen vesitaseen laajaa tarkastelua. Vanhoilla, tiivistävillä alueilla hulevesien hallinta on vaikeaa. Siellä vedet on yleensä johdettu hulevesiviemäreissä, joiden kapasiteetti ei aina riitä tiivistyvän kaupunkirakenteen vesien hallintaan ja riski hulevesitulville kasvaa tiivistymisen seurauksena. Uusien alueiden rakentamisessa on helpompi huomioida valuma-alueelähtöinen ja luonnonmukainen hulevesien käsittely, koska vanhat rakenteet eivät rajoita suunnittelua.

Kuntien hulevesisuunnitelmat ohjaavat vesienhallintaa ja niiden toteutus vaatii tiivistä yhteistyötä hulevesitoimijoiden välillä. Loutinoja kuntoon -hankkeessa tarkasteltiin Järvenpään suu-

rimman puron hulevesien hallinnan mahdollisuuksia (Hietala ym. 2020) ja tarkennettiin kaupungin hulevesien hallinnan toimintamallia. Kaupungin hulevesien käsittelyä suunnitellaan hulevesityöryhmässä, joka kokoontuu säännöllisesti eri teemoilla. Ryhmän työtä tehostaa yhteisesti sovitut vesien hallinnan tavoitteet ja työnjaon selkeyttäminen (Liite 4).

Toimenpide-ehdotukset vuosille 2022–2026 (Lahti ym. 2016):

- Toimitaan kuntien hulevesiohjelmien mukaisesti, joita päivitetään säännöllisesti
- Hulevesiratkaisut suunnitellaan koko valuma-alueen ominaisuudet huomioiden
- Toteutetaan luonnonmukaista hulevesien hallintaa uusilla ja tiivistyvillä alueilla
- Tutkitaan hulevesien käsittelyratkaisujen toimintaa ja vaikutuksia Räikilänojan ja Loutinojan valuma-alueilla
- Etsitään ja kokeillaan uusia hulevesien hallintaratkaisuja, kuten kasvikattoja, suodatusrakenteita ja viivytyksaltaita
- Seurataan ja hyödynnetään muualta saatuja kokemuksia hulevesikosteikkojen rakentamisesta
- Huolehditaan, että peitetyn pinnan määrä ei ylitä purovaluma-alueilla rajaa, joka johtaa purojen taantumiseen.

7.1.3 Kosteikkorakentaminen ja uomakunnostukset

Rantamo-Seitteli

Rantamo-Seittelin kosteikko on Tuusulanjärven kosteikoista suurin, 24 hehtaarin kokoinen. Kosteikon pinta-ala on 1,3 % valuma-alueen pinta-alasta. Sen kokoiset kosteikot saattavat olla suotuisina vuosina kohtuullisen tehokkaita kiintoaineen ja kokonaisfosforin pidättäjiä, jos valuma-alueen maalajit ovat karkeita (Puustinen ym. 2007). Rantamo-Seittelin kosteikon vaikutusten arviointi aloitettiin jo kosteikon rakennusvaiheessa jatkuvatoimisilla vedenlaatumittareilla, joilla kosteikkoon tulevan ja sieltä lähtevän veden laatua seurattiin vuosina 2009–2018 (Koskiahho & Puustinen 2019). Kosteikkoalueen ravinteiden pidätyskyky ei ole kehittynyt odotetusti. Sen odotettiin tehostuvan kasvillisuuden lisääntyessä altaissa, mutta kasvillisuus on 10 vuoden jälkeenkin niukkaa.

Tuusulanjärven valuma-alueen hienojakoisen saviaineksen laskeutuminen kosteikkoihin on hidasta. Seittelin kosteikon maalajista on rakeisuustutkimuksen mukaan 90 % hienojakoista savea tai silttiä, jonka raekoko on alle 0,002 mm. Tällaisen erittäin hienojakoisen saven laskeutumisnopeus on erittäin pieni. Savi myös lähtee uudelleen liikkeelle melko pienen virtausnopeuden vaikutuksesta. Saviaines samentaa vettä ja altaan näkösyvyys on kesäaikaanakin alle 30 cm.

Kosteikkojen kunnostus aloitettiin syksyllä 2021. Tavoitteena on luoda monimuotoinen kosteikkoympäristö nykyisen lähes tasapohjaisten altaiden tilalle. Altaan pohjaa muotoillaan maataytöillä, jolloin vesikasvien kasvuedellytykset paranevat. Kosteikko on jo nykyisellään tärkeä lintujen pesimäalue ja muuton aikainen levähdysalue ja kunnostuksen yhtenä tavoitteena on luoda uusia elinympäristöjä linnuille, vesiselkärangattomille ja sammakoille.

Mäyränoja, Hankkijanoja ja Piilioja

Mäyränojan, Hankkijanojan ja Piiliojan valuma-alueille on laadittu vesiensuojelun yleissuunnitelmat vuosina 2019–2020 (Siekkinen 2020; Sitowise 2020a, 2020b). Kohteiden tarkesuunnittelua on jatkettu ja niiden toteutus on alkanut 2021. Tavoitteena on saada ensimmäiset kohteet toteutettua vuoteen 2023 mennessä.

Tuusulan kunta sai Mäyränojan uoman peruskunnostukseen Maa- ja metsätalousministeriön avustuksen (80 000 €). Uomaa tullaan perkaamaan ja alaville alueille rakennetaan tulvatasanteet estämään tulvien aiheuttamaa kuormitusta kesällä 2022. Mäyränojan valuma-alueella suunnitellaan myöhemmin pienempiä yleissuunnitelman ehdottamia kohteita (Siekkinen 2020).

Hankkijanoja virtaa Tuusulanjärveen Anttilan alueen läpi ja sen kunnostus liittyy alueen kehittämiseen. Ojaan rakennetaan mm. pieni laskeutusallas ja pohjakynnyksiä luonnonmukaistamaan maisemaa.

Piilioja virtaa Rykmentinpuistosta Mattilan alueelle peltoalueen läpi ja oja tulvii ajoittain. Ojan kunnostus tulvatasantein hidastaa virtaamaa ja vähentää uomaeroosiota sekä monipuolistaa peltomaisemaa. Tasanteet rakennetaan kunnan omistamille vuokrapelloille.

Loutinoja

Loutinoja kuntoon -hankkeessa kartoitettiin valuma-alueen hulevesien käsittelymahdollisuuksia, joista ensimmäisenä toteutetaan Auerpuiston sivuojan kunnostus (Hietala ym. 2020). Kartanonseudun alue on toinen kokonaisuus (Destia 2020), jonka toteutukseen haetaan rahoitusta Life-hankkeena.

7.2 Jätevesikuormituksen vähentäminen

Tuusulanjärven valuma-alueen viemäroidyt jätevedet johdetaan Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle. Valuma-alueella on yhteensä lähes 50 jätevedenpumppaamoja ja häiriötilanteet jätevesipumppaamoilla ja viemäriverkostossa voivat aiheuttaa ylivuotoja Tuusulanjärveen. Vaikka jätevesiylivuotojen osuus Tuusulanjärven kokonaiskuormituksesta on pieni, niillä voi kuitenkin olla merkitystä paikallisesti ja ympäristöterveydellisesti.

Vesilaitoksilla ylivuotoja ja niiden aiheuttamia haittoja voidaan hallita seuraavin keinoin (Lahti ym. 2016):

- Vähennetään vuotovesiä viemäriverkostoa saneeraamalla
- Selvitetään jätevesiverkoston ongelmakohdat mallintamalla
- Turvataan pumppaamojen toiminta varavoimakoneilla
- Parannetaan pumppaamojen varustetasoa
- Ohjataan ylivuotona tuleva jätevesi varastoaltaisiin.

Haja-asutuksen osuus järven fosforikuormituksesta on merkittävä (n. 15 %). Tuusulanjärven valuma-alueella **Tuusulassa** on tällä hetkellä 590 kpl viemäriverkostoon kuulumatonta kiinteistöä,

joista 440 kpl tulee jäämään jatkossakin viemäriverkoston ulkopuolelle (Lahti ym. 2016). Vesistöjen läheisyydessä vanhojen jätevesijärjestelmien olisi oltava säädösten mukaisia 31.10.2019 mennessä. Vantaanjoen valuma-alueen haja-asutusalueilla jätevesineuvonnan perusteella Vantaanjoen alueen vakituisesti asutuista kiinteistöistä noin puolella jätevesijärjestelmä on uudistamisen tarpeessa (Haapala 2014; Laakso ym. 2015; Luodeslampi & Suomi 2020). **Järvenpää** on tiiviisti rakennettu kaupunki ja viemäriverkostoon liittymättömiä kiinteistöjä on vähän. Näistä Tuusulanjärven valuma-alueella sijaitsevat tullaan liittämään viemäriverkostoon lähivuosina.

Haja-asutuksen jätevesikuormitusta voidaan vähentää seuraavin toimin:

- Laajennetaan jätevesivesiverkostoa kehittämisalueille Tuusulassa
- Jatketaan asuin- ja vapaa-ajan kiinteistöjen neuvontaa ja muistutetaan asukkaita järjestelmän uusimisen tarpeellisuudesta ja suositelluista ratkaisuista
- Valvotaan hajajätevesien käsittelyn lainsäädännön vaatimusten toteutumista.

7.3 Sisäisen kuormituksen vähentäminen

Ulkoisen kuormituksen pieneneminen vähentää vähitellen myös sisäistä kuormitusta, jolloin rehevöitymiskehitys saadaan pysäytettyä. Ekosysteemin vaste ravinnetason muutoksiin on kuitenkin hidas. Järven pysyvä muutos uuteen, parempaan tilaan vaatii ekosysteemin vuorovaikutusten puskurimekanismien muuttumista (Kuva 4.1; Scheffer ym. 1993). Hoitokalastus ja kierrätys-hapetus ovat jo vähentäneet sisäistä ravinnekuormitusta ja levähaittoja. Niitä jatketaan parantuneen tilan ylläpitämiseksi.

7.3.1 Hoitokalastus

Hoitonuottauksen yksikkösaalis, koeverkkokalastus ja kaikuluotaus ja avovesialueen koetroolaukset antavat pääosin saman tuloksen: Tuusulanjärven kalaston biomassassa ja yksilötiheys ovat suuria. Kalasto on yksi ilmeinen ja vähennettävissä oleva syy sekä sinileväkukintoihin että sisäiseen fosforikuormitukseen. Koekalastuksen yksikkösaaliit ovat koko 25 vuoden seurantakauden olleet särkikalavaltaisia ja niin suuria, että kalaston tunnusluvut ovat edustaneet huonoa tai välttävää ekologista tilaa. Hoitokalastuksen lopettaminen johtaisi todennäköisesti järven tilan heikkenemiseen (Kuva 6.9).

Kalastoseurannan tuloksiin liittyy eroja syvemmän avovesialueen ja matalamman, alle 3 m syvän alueen välillä. Koeverkkokalastuksissa matalampien alueiden (< 3 m) painoyksikkösaalis on ollut noin 2,45 kertaa suurempi kuin yli 3 m syvän alueen (Rask ym. 2020) Se viittaa särkikalojen suureen vaikutukseen erityisesti matalilla alueilla. Kaikuluotauksissa ja niiden yhteydessä tehdyissä troolauksissa yli 5 m syvän alueen biomassassa ja yksilötiheys olleet selvästi suurempia kuin vähän matalammalla, 3–5 m syvällä alueella (Malinen & Vinni 2022). Syvännealueen suuri kalatiheys rajoittaa leviä tehokkaimmin käytävien vesikirppujen määrää.

Hoitokalastus on nykyisen ravinnekuormituksen vallitessa välttämätön lisätoimenpide valuma-alueen vesiensuojelutoimenpiteiden rinnalla. Hoitokalastusta jatketaan vuosittain ja täydennetään tarvittaessa petokalaistutuksilla. Vuodesta 2008 lähtien kalastus on toteutettu syysnuotauksin. Kalastuksella saadaan vähennettyä sisäistä kuormitusta ja kalabiomassan kierrättämän fosforin määrää sekä poistettua kalabiomassaan sitoutunutta fosforia,

Suurempia lahnoja ja pasureita on kalastettava, sillä niillä ei ole samanlaista tarvetta suojautua kuhan tai ahvenen saalistukselta kuin pienemmillä. Nuorilla lahnoilla ja pasureilla on selvät, tuulen suunnasta riippuvat esiintymisalueet (Hautala & Kiiskilä 2004). Niiden parveutuminen on heikompaa kuin särjellä ja salakalla ja nuottauksen apajakohtaiset saaliit ovat siksi myöhemmin jääneet pienemmiksi kuin hoitokalastuksen alkuvuosina (Sammalkorpi 2000).

Kun tavoitteena on estää särkikalojen biomassan kasvu, hoitokalastuksen pitkän aikavälin saalistavoite oli noin 70 kg/ha tai 41 t, (Malinen ym. 2017). Särkikalojen lisäksi on otettava huomioon ahvenkalat ja kuore. Vuosien 2019–2021 saalis oli keskimäärin 30,2 t/v. Vuoden 2010 jälkeen on saalistavoite täyttynyt viitenä vuotena (Kuva 6.6). Koska useana vuotena on jääty alle tavoitetason, olisi vuosina 2022–2023 todennäköisesti tarvetta asettaa saalistavoitteeksi yli 50 t/v. Pitkän aikavälin saalistavoitetta voi jatkossa alentaa, jos ja kun yksikkösaaliit pienevät.

Pyyntiponnistuksen voimistamisen keinoja voivat olla nuottauksen jaksottaminen alkamaan osittain jo ennen loppusyksyn sateisinta aikaa sekä nuottauspäivien lisääminen. Nuottauksissa on havaittu, että sateisina vuosina särjen osuus saaliissa vähenee. Jos särjen osuus saaliissa jää jatkuvasti pieneksi, tulisi arvioida myös särjen parveutumista ojiin, kosteikoihin ja ranta-alueelle ruopatuille alueille sekä mahdollisesti keväistä rysäpyyntiä (Sammalkorpi 2020). Keski- ja loppukesän rysäpyynti lämpimän veden aikana voi Lahden Vesijärven ja Vihdin Enäjärven kokemusten perusteella kohdentua särkikaloihin kustannustehokkaasti (Sammalkorpi ym. 1995; Juha Uusitalo, LASY ry. ja Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö julkaisematon 2022).

Tuusulanjärven kalasto on jatkuvan kalastuksen ansiosta nopeakasvuinen ja kalabiomassa sitoo hyvin ravinteita vedestä (Rask ym. 2020). Hoitokalastus vähentää Tuusulanjärven ravintoketjuun sitoutuneita ravinteita, jotka ilman hoitokalastusta jäisivät kiertämään ekosysteemiin (Ventelä ym. 2007, Vanni ym. 2013, Nobre ym. 2019). Särkikalojen biomassan kasvua rajoittava kalastus (> 41 t/v, > 70 kg/ha/v) poistaisi keskimäärin 8 % järveen tulevasta ja 14 % maataloudesta peräisin olevasta fosforikuormituksesta. Jos hoitokalastussaaaliin mukana poistetun fosforin määrän vertailussa otetaan huomioon myös järveen sedimentoituvan ja järven luusuusta poistuvan fosforin määrä, on hoitokalastuksen merkitys kuitenkin suurempi. Tavoitesaaliin fosforipoistuma on 24 % keskimäärin järveen jäävän fosforin määrästä.

Hoitokalastus on myös yksi keino hillitä ilmastonmuutoksen vaikutuksia Tuusulanjärveen, koska veden lämpeneminen ja korkea ravinnetaso hyödyttävät särkikaloja ja voimistavat niiden vaikutuksia (Moss ym. 2011; Urrutia-Cordero ym. 2016).

7.3.2 Petokalakantojen hoito

Tuusulanjärven kuhakanta on mm. verkkokalastuksen 55 mm:n solmuvälirajoituksen ansiosta pysynyt erittäin hyvänä ja kuhan osuus kesän 2021 koeverkkosaaliin painosta oli 19 %. Painoyksikkösaalis oli 869 g/koeverkko, korkein v. 1996 alkaneessa seurannassa. Se on valtakunnallisesikin hyvä määrä. Samaa osoittaa vapautettujen kuhien määrä syksyn 2021 nuottauksessa, keskimäärin 372/apaja.

Vahvalla kuhakannalla on positiivinen vaikutus ravintoketjussa. Kuhan saalistus kohdistuu yleensä eläinplanktonia syöviin kaloihin, kuten kuoreeseen sekä pieniin ahveniin ja särkikaloihin (Keskinen & Marjomäki 2004; Malinen & Vinni 2008). Kuoreen kato kesällä 2021 on todennäköisesti voimistanut kuhan särkikalojen ja ahvenen nuoriin ikäluokkiin kohdistamaa saalistusta.

Vahva kuhakanta ei Tuusulanjärvessä kuitenkaan riitä, koska särkikalojen tuotanto on jatkuvasti suuri. Kuha ei solakkarakenteisena lajina pysty tehokkaasti saalistamaan etenkin lahnaa ja paururia, joista jo noin 13–14 cm mittaiset yksilöt ovat 40 cm:n mittaisen kuhan ravinnoksi korkeutensa takia huonosti soveltuvia (van Densen & Grimm 1988). Esimerkiksi kesällä 2021 koekalastuksen lahnat olivat suurelta osin 13–14 cm pituisia tai pitempiä ja huonosti kuhan ravintoa korkeutensa takia.

Kuhan lisääntyminen on 2000-luvulla onnistunut hyvin vuoteen 2016 asti. Kuhanpoikaset olivat v. 2013 jopa ulappa-alueen runsain laji ja neljänä vuotena on kuhanpoikasten tiheys loppukesällä ollut yli 10 000 kp/ha (Lappalainen & Malinen 2022). Kuhan lisääntyminen on ollut heikkoa vuosina 2018, 2019 ja 2020. Vasta vuonna 2021 kuhan poikasia oli normaalimpia määriä sekä koeverkko- että kaikuluotauseurannassa. Kuhanpoikasten puuttumisen mahdollisia syitä olivat vuoden 2018 lämpimänä kesänä erittäin tiheän kuorekannan ravintokilpailu ja kesällä 2019 ylivuotisten kuoreiden predaatio (Malinen & Vinni 2022).

Kuhan istutuksille ei normaalioloissa ole tarvetta, koska luontainen lisääntyminen on yleensä tuottanut monikymmenkertaisia määriä istutustiheyksiin verrattuna. Kuha on herkkä talvisille happikadoille (Ruuhijärvi ym. 2010), mutta toistaiseksi se riski ei ole seurantatietojen mukaan toteutunut edes pitkänä talvena 2002/2003.

Muista petokaloista haukien istutukselle ei todennäköisesti ole tarvetta, koska rantoja on haukien lisääntymistä ajatellen kunnostettu 2000-luvulla. Sähkökalastuksien perusteella hauen poikasten määrä on jo 2000-luvun alkuvuosina ollut kunnostetuilla rannoilla suuri silloinkin, kun istutuksia ei ole tehty (Ruohonen 2003). Vahvan petoahvenkannan turvaa parhaiten rajoittamalla särkikalojen määrää riittävän voimakkaalla hoitokalastuksella. Tuusulanjärvellä tapahtui selvä ahvenbiomassan kasvu 2000-luvun alussa voimakkaimman hoitokalastuksen jälkeen (Rask ym. 2020). Ankeriaita on perinteisesti istutettu Tuusulanjärveen. Sillä on voinut voi olla pientä merkitystä petokalana ja vaativammassa kotitarvekalastuksessa, mutta laji on äärimmäisen uhanalainen. Vuonna 2022 tiukentuneiden suojele- ja kalastusrajoitusten jälkeen ankeriaan merkitys on arvioitava uudelleen.

7.3.3 Alusveden kierrätysrapetus

Tuusulanjärven kierrätysrapetus on parantanut sedimentin tilaa ja vähentänyt fosforin liukenevista, vaikka sen vaikutus päällysveden fosforipitoisuuteen ei ole ollut suuri (Horppila ym. 2017). Hapettomuus vaikuttaa myös sedimentissä tapahtuviin hiilen ja typen kiertoihin (Liikanen 2002). Orgaanisen aineen hajoaminen hapellisissa olosuhteissa vähentää haitallisen kasvihuonekaasun, metaanin kuplintaa ja vähentää ammoniumtyppipitoisuutta (Visuri ym. 2003). Ammoniumtypen hapettuminen nitraatiksi edistää myös kesäaikaista denitrifikaatiota, jonka tuloksena typpeä poistuu ilmakehään typpikaasuna (mm. Holmroos ym. 2016).

Tuusulanjärvellä aikaisemmin havaittujen tilapäisten kerrosteisuusjaksojen estäminen on todennäköisesti suosinut piileviä sinilevien kustannuksella (Cooke ym. 2005, Visser ym. 2016, Arvola ym. 2017) ja osaltaan voinut vaikuttaa kunnostusjaksolla tapahtuneeseen suotuisaan levälajiston muutokseen.

Kierrätysshapetukseen on esitetty liittyvän joitakin ongelmia, joita on syytä tarkastella, kun mietitään hapetuksen jatkamisen tarvetta. Tuusulanjärven syvänteen sisäinen fosforikuormitus on hapetuksen aikana vähentynyt, mutta samaan aikaan matalilta, hapellisilta alueita tuleva kuormitus on lisääntynyt (Horppila ym. 2017). Yhtenä syynä voivat olla hapettimien aiheuttamat pohjanläheiset virtaukset, jotka ulottuvat laajalle alueelle aiheuttaen sedimentin resuspensiota. Vaikutusta ei voi erottaa tuulieroosiosta, joka on voimistunut samaan aikaan (Niemistö ym. 2016; Visser ym. 2016; Horppila ym. 2017). Hapettamisen aiheuttama turbulenssi voi myös kiertää sedimentin orgaanista ainetta vesipatsaaseen, missä sen hajottaminen lisää hapenkulutusta.

Lisäksi alusveden lämpötilan kohoaminen alusveteen pumpattavan lämpimän päällysveden takia vähentää hapen liukenemistä veteen (Kuva 6.2). Tämä puolestaan lisää hapen kulutusta vesipatsaassa ja päällysveden pumppaus alusveteen kumoaa siten omaa vaikutustaan (Horppila ym. 2017). Lämpötilan nousulla alusvedessä voi myös olla haitallisia seurauksia kuorelle (Malinen & Vinni 2022). Tuusulanjärven kuoreen kannanvaihtelut ovat suuria ja sen väheneminen tai katoaminen kalastosta muuttaa ulapan kalayhteisöä. Jos kuore häviää, sen jättämään tilaan voi tulla rehevyyttä ylläpitäviä särkikalaja, kuten lahnoja ja pasureita (Malinen & Vinni 2022). Kuoreet ja kuhan poikaset rajoittavat myös selkärangattomien petojen määrää (*Chaoborus*-sulkaääski ja *Leptodora*-vesikirppu), joilla voi olla suuri merkitys ulapan planktoniyhteisön vuorovaihteluksiin (Liljendahl-Nurminen 2006).

Ilman kierrätysshapetusta Tuusulanjärvi voi kerrostua kesäaikana lyhyiksi jaksoiksi. Kerrostuneisuus purkautuu helposti tuulten vaikutuksesta, jolloin pohja saa happitäydennystä – lyhytaikaisen kerrostumisen estäminen on ollut hapetuksen tavoitteena (Lappalainen 1998). Koska sedimentin tila on parantunut pitkäaikaisen hapetuksen ansiosta, voisi arvioida mahdollisuutta vähentää kierrätysshapetusta, jolloin lämpimän päällysveden johtamisesta alusveteen aiheutuva alusveden lämpötilan nousu vähenisi (Horppila ym. 2017). Kierrätysshapetuksen tarveharkinnassa on otettava huomioon myös ilmastonmuutokseen todennäköisesti liittyvä kesäaikaisen kerrostuneisuuden yleistymisen ja sisäisen kuormituksen potentiaalinen kasvu.

Talviaikaisesta kierrätysshapetuksesta voidaan joinakin vuosina luopua, koska jääpeitteinen aika on lyhentynyt lämpenemisen seurauksena ja pitkäaikaisen happikadon riski on pienentynyt. Mikäli järvi jäätyy aikaisin alusveden ollessa lämmintä, niin hapetus voi olla tarpeen. Pohjanläheistä happitilannetta ja ravinnepitoisuuksia voidaan seurata ja hapetus tarvittaessa käynnistää.

Talviaikaan vesi on viileää ja fosfaatin vapautuminen on ollut selvästi kesäaikaa vähäisempää (Kuva 5.9.). Talvisin vähähappisesta sedimentistä liukenee fosfaattia, mutta se sitoutuu todennäköisesti nopeasti rautayhdisteisiin jäiden lähdön jälkeen, kun alusvesi saa happitäydennystä. Vastaava ilmiö on havaittu myös Äimäjärvellä, missä fosforin uudelleen sitoutuminen oli hyvin nopeaa (Ruuhijärvi ym. 2010).

Tuusulanjärvi on suosittu talviliikuntapaikka ja Tuusula ja Järvenpää pitävät yllä pitkiä luistelureittejä. Lumipeitteetön jää läpäisee valoa ja levien yhteyttäminen on sen alla mahdollista - tämäkin parantaa veden happipitoisuutta. Kevättalvella hapettimen ympärille muodostuu suuri avanto, joka haittaa järvellä liikkujia (Kuva 7.3).2



Kuva 7.2. Hapettimen ympärille muodostuu suuri avanto

7.4 Rantojen hoito

Tiheää vesikasvillisuutta on niitetty Tuusulanjärven itärannalla vuodesta 2000 lähtien useissa kohteissa ja länsirannan Natura-alueilla vuodesta 2005 lähtien. Niittojen tavoitteina on ollut parantaa maisemaa, lisätä vesistöjen virkistyskäyttöä, tehostaa linnuston suojelua ja parantaa kalojen kutualueita. Niitetyt alueet ovat pysyneet hyvin auki ja niittotiheyttä voidaan harventaa joka kolmas vuosi tehtäviksi.

Voimakkaasti levinnyttä karvalehteä poistettiin järven eteläosassa vuosina 2003–2007. Karvalehden esiintymistä on seurattu ja sen määrä on kasvamassa, mutta sen poistoon ei ole vielä ollut tarvetta. Kerrallaan niitettävät kohteet, karvalehden poistoa lukuun ottamatta, eivät saa olla liian suuria, jotta vesikasvustojen ravinteita pidättävä kyky tai alueen eläimistö eivät häiriinny. Myös rakennettujen kosteikkojen niittoja varaudutaan tekemään kosteikkojen hoitosuunnitelman mukaisesti.

Tuusulanjärven eteläpään Natura-alueen hoitosuunnitelma valmistui lokakuussa 2016 (Lammi & Vauhkonen 2016). Suunnitelmassa on esitetty puuston poistoa ja uuden esteettömän pitkospuureitin rakentamista. Puuston raivaus ja palteiden ruoppaukset toteutettiin vuosina 2020–2021. Rantapalteiden poistot ja allikot parantavat vesilintujen elinoloja. Ne toimivat myös kalojen kutu- ja poikastuotantoalueina.

7.5 Seuranta

Tuusulanjärven tilan pitkään jatkunut seuranta luo pohjan hoitotoimien vaikuttavuuden ja jatkotoimien suunnitteluun. ELY-keskus seuraa Tuusulanjärven tilaa ja vedenlaatua osana valtakunnallista seurantaa. Vesinäytteitä otetaan kahdeksan kertaa vuodessa Tuusulanjärven syvänteeltä ja luusuasta sekä Sarsalan- ja Mäyränojasta. Kesällä on otettu myös kasviplanktonnäytteet. Pohjaeläimiä ja vesikasvillisuutta seurataan 5–6 vuoden välein. Luonnonvarakeskus on toteuttanut koekalastuksen joka kolmas vuosi. Tuusulanjärven kotitarve- ja virkistyskalastuksen tärkeimpänä saalislajina ja ekologisesti merkittävänä petokalana kuhan poikastuotannon vuosittainen seuraaminen kaikuluotaustutkimuksella ja nuottauksen saalisotokset ovat jatkossakin tärkeitä.

Kunnostushanke täydentää ELY-keskuksen vedenlaadun seurantaan kesäaikana kerran kuussa otetuilla näytteillä sekä seuraa Vuohikkaanojan vedenlaatua kerran kuussa otetuilla näytteillä. Syvänteiden happipitoisuutta seurataan kesällä viikoittain kenttämittarilla. Tulopurojen vedenlaatua seurataan jatkuvatoimisilla vedenlaadun mittareilla. Syksyllä 2022 seuranta aloitetaan Räkälänjoella, jonka valuma-alueelle rakennetaan Ainolan aluekeskus.

Hoitokalastuksen vaikutuksia kalakantoihin arvioidaan uusimalla vuonna 2012 päättyneen populaatioanalyysin yhteydessä tehtyjä kalojen kasvatustutkimuksia. Tietoja kotitarve- ja virkistyskalastuksen saaliista tarkennetaan. Osalla järveä eri hankkeissa ajoittain tehty vesi- ja lokkilintujen seuranta vakiinnutetaan osaksi valtakunnallisia seurantoja.

Taulukko 7.3. Kunnostustoimien vaikutusten seuranta.

Toimenpide	Toteutuksen seuranta	Vaikutusten seuranta
Hoitokalastus	Kalastuksen pyyntiponnistus, saaliin määrä ja koostumus, kalastuksen aikana lämpötila, näkösyvyys, vedenpinnan korkeus.	Saaliin määrän ja nuottauksen yksikkösaaliin kehitys lajeittain, koeverkkokalastuksessa ja kaikuluotauksessa, veden laadun seuranta, kasvi- ja eläinplanktonin seuranta.
Petokalakantojen hoito ja kalastuksen säätely	Vapautettujen petokalojen määrä, istutettujen petokalojen määrä.	ks. hoitokalastus. Kotitarve- ja virkistyskalastuksen saalistiedot.
Kierrätysrapetus	Hapettimien määrä ja käyttöaika. Happi- ja lämpötilaprofiili syvänteessä.	Vedenlaadun seuranta, syvänteiden pohjaeläinyhteisön rakenne.
Vesikasvillisuuden poisto	Menetelmä, operointiaika ja pinta-ala, poistettu biomassa ja lajisto.	Vesikasvillisuuden peittävyys ja lajiston seuranta määräajoin.

7.6 Säännöstelykäytännön tarkistus

Ilmaston muuttuminen aiheuttaa paineita tarkastella säännöstelyjen toimivuutta nyt ja tulevaisuudessa. Ilmastomuutoksen myötä lumen määrän on ennustettu vähenevän, jolloin myös kevättulvat pienenevät. Tuusulanjärven nykyinen säännöstelykäytäntö on melko joustava, mutta kalenteriin sidottujen ehtojen muokkaaminen joustavammaksi voi olla tarpeen hydrologisten olosuhteiden muuttumisen takia (Veijalainen ym. 2012). Kevään pakollisen vedenpinnan alentamisen (ns. kevätkuoppa) muuttaminen joustavaksi lumitilanteesta riippuen sekä loppukesän säännöstelyn ylärajan lievä nostaminen turvaisivat paremmin Tuusulanjärven virkistyskäytölle sopivat vedenkorkeudet. Myös säännöstelypadon automatisointia tullaan selvittämään lähivuosien aikana.

Lähdeluettelo

- Anttila, R. 1967: Tuusulanjärven hydrografian, kasviplanktonin ja kalaston kehitys vuosina 1893–1967 sekä niihin vaikuttaneet tekijät. Pro gradu. 88 s. + liitteet.
- Anttila, R. 1968: Tuusulanjärven likaajista. Tuusulanjärven vesiensuojeluyhdistys r.y. Monistettuja julkaisuja. 15 s.
- Ahokas, T., Nylander, E., Olin, S., Vähä-Vahe, A. & Mäntykoski, A. & Närhi, M-A. 2021: Uudenmaan vesienhoidon toimenpideohjelmaksi vuosille 2022–2027. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 124 s. + liitteet.
- Ajosenpää, T., Anttila, L., Ekholm, P., Heikkinen, J., Jaakkola, S., Kaseva, A., Kämäri, M., Kääriä, J., Luodeslampi, P., Malmilehti, S., Muurinen, S., Rasa, S., Soinnie, H., Talola, S., Uusi-Kämppeä, J. & Uusitalo, R. 2021: Kipsi, kuitu ja rakennekalkki - opas viljelijöille. ProAgrian hankejulkaisut 10.
- Aroviita, J. Hellsten, S., Jyväsjärvi, J., Järvenpää, L., Järvinen, M., Karjalainen, S.M., Kauppila, P., Keto, A., Kuoppala, M., Manni, K., Mannio, J., Mitikka, S., Olin, M., Perus, J., Pilke, A., Rask, M., Riihimäki, J., Ruuskanen, A., Siimes, K., Sutela, T., Vehanen, T. & Vuori, K.-M. 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012–2013 – päivitetty arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2012. 144 s + liitteet.
- Aroviita, J., Mitikka, S. & Vienonen, S. (toim.) 2019: Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019. 114 + liitteet.
- Arvola, L., Rask, M., Forsius, M., Ala-Opas, P., Keskitalo, J., Kulo, K., Kurkilahti, M., Lehtovaara, A., Sairanen, S., Salo, S. & Saloranta, T., 2017: Food web responses to artificial mixing in a small boreal lake. *Water*, 9(7), p.515.
- Boros, G. 2022: Nitrogen and phosphorus removal by fishing in a large freshwater lake (Lake Balaton, Hungary). *Inland waters*. DOI: 10.1080/20442041.2021.1991754.
- Cooke, G.D., Welch, E.B., Peterson, S.A. & Nichols, S.A.(2005: Restoration and Management of Lakes and Reservoirs, 3. painos. 612 s.
- van Densen, W.L.T., & Grimm, M.P. 1988: Possibilities for stock enhancement of pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) in order to increase predation on planktivores. *Limnologica* 19: 45-49.
- Destia 2020: Kartanonseudun hulevesien hallinnan ideasuunnitelma. Raportti 23.10.2020. 37 s.
- Eloranta, P. 2005: Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. Julkaisussa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.) Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114. Helsinki, Suomen ympäristökeskus: 13–28.
- Haapala, T. 2014: Hajajätevesineuvontaa Tuusulassa 2011–2014. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vsy ry. Raportti. 33 s. + liitteet.
- Hansson, L.-A., Annadotter, H., Begman, E., Hamrin, S.F., Jeppesen, E., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Nilsson, P.-Å., Søndergaard, M., & Strand, J. 1998: Biomanipulation as an application of food chain theory: constraints, synthesis and recommendations for temperate lakes. - *Ecosystems* 1: 558–574.
- Harjula, H. 1971: Talvisesta happitilanteesta Tuusulanjärvessä sekä järven restauraatiotoimenpiteistä. Tuusulanjärven vesiensuojeluyhdistys r.y. Monistettuja julkaisuja. 40 s.
- Harjula, H. 1972: Hiidenveden ja Tuusulanjärven rehevöitymisen kehitys pohjasedimenttien valossa. Licensiaattitutkielma. Helsingin yliopiston limnologian laitos. 109 s.
- Hautala & Kiiskilä 2004: Tuusulanjärven syysnuotaukset v. 2003 ja havainnot kalojen käyttäytymisestä. Raportti. Keski-Uudenmaan Vesiensuojelun Kuntayhtymä. 18 s.
- Havens, K. & Jeppesen, E. 2018: Ecological Responses of Lakes to Climate Change. *Water* 10, 917. <https://doi.org/10.3390/w10070917>.
- Hietala, J., Vahtera, H. & Haikonen, M. 2020: Hulevesien hallinta Loutinojan valuma-alueella. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 85/2020. 31 s. + liitteet.

- Holmroos, H., Horppila, J., Laakso, S., Niemistö, J. & Hietanen, S. (2016). Aeration-induced changes in temperature and nitrogen dynamics in a dimictic lake. *Journal of Environmental Quality* 45: 1359-1366.
- Horppila, J., Holmroos, H., Niemistö, J., Massa, I., Nygrén, N., Schönach, P., Tapio, P. & Tammeorg, O. 2017: Variations of internal phosphorus loading and water quality in a hypertrophic lake during 40 years of different management efforts. *Ecological Engineering* 103 (2017) 264–274.
- Huhta, A. 2008. Rantojen kaunistus vai kauhistus. Turun ammattikorkeakoulun puheenvuoroja 41. 15 s.
- Huttunen, J., Väisänen, T., Hellsten, S. & Martikainen, P. 2006: Methane fluxes at the sediment–water interface in some boreal lakes and reservoirs. *Boreal Environment Research* 11: 27–34.
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K., & Turtola, E. 2020: Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYT-TEHO). Luonnonvarakeskus. 67 s. + liitteet.
- Jeppesen E, Søndergaard M & Liu Z. 2017: Lake Restoration and Management in a Climate Change Perspective: An Introduction. *Water* 9:122. <https://doi.org/10.3390/w9020122>.
- Junttila, V., Vahtera, H., Männynsalo, J., Virkkunen, H., Högmander, P., Perkola, N. & Mehtonen, J. 2021: Vantaanjoen PFAS-hanke - Loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry . Julkaisu 89/2021. 66 s.
- Jyväsjärvi, J., Aroviita, J. & Hämäläinen, H. 2014. An extended Benthic Quality Index for assessment of lake profundal macroinvertebrates: addition of indicator taxa by multivariate ordination and weighted averaging. *Freshwater Science* 33: 995–1007. <http://dx.doi.org/10.1086/676914>.
- Järvinen, M. & Lepistö, L. 2017: Tuusulanjärven kasviplankton vuosina 1961–2012. Julkaisussa: Hietala, J. (toim.) Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013 - Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 56/2017: 39–44.
- Järnefelt, H. 1921: Untersuchungen über die fische und ihre nahrung im Tuusulasee. *Acta Societats pro Fauna et Flora Fennica*. 52:1. 160 s.
- Järnefelt, H. 1937: Ein kleiner Beitrag zur Limnologie des Tuusulanjärvi. *Acta Societats pro Fauna et Flora Fennica*. 60:502–515.
- Kanninen, J. 1982: Tuusulanjärven kasviplanktonin kehitys vuosina 1971-1981. Tuusulanjärven vesiensuojeluyhdistys ry. 50 s. + liitteet.
- Kansanen, P. 1992: Tuusulanjärven sedimentin kunto ja kunnostusmahdollisuudet. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto. 87 s.
- Karonen, M., Mäntykoski, A., Lankiniemi, V., Nylander, E., Lehto, K. & Jalava, K. 2015: Uudenmaan vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2016 – 2021. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 134/2015. 132 s + liitteet.
- Kasvio, P., Ulvi, T., Koskiahho, J. & Jormola, J. 2016: Kosteikkojen ja biosuodatusalueiden toimivuus hulevesien käsittelyssä - HULE-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2016. 47 s.
- Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto 1984: Tuusulanjärven kunnostussuunnitelma. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto. 213 s.
- Keskinen, T. & Marjomäki, T. 2004: Diet and prey size spectrum of pikeperch in lakes in central Finland. *Journal of Fish Biology* 65: 1147–1153.
- Keto, J. & Seppänen, P. 1973. Lake Tuusula destratification and aeration test, winter 1972/1973. *Aqua Fennica* 1973: 126–136.
- Ketola, M. 2016: Tuusulanjärven eläinplanktonitutkimus vuonna 2015. Raportti. Helsingin yliopisto 13 s. + liitteet.
- Kivikangas, M. 2002: Järvenpäästä Tuusulanjärveen laskevien hulevesien ja muiden valumavesien ominaisuuksia. Pro gradu- tutkielma, Helsingin yliopiston maantieteen laitos 101 s + liitteet.
- Koskimies, P. & Nieminen, M. 2021: Tuusulanjärven Natura-alueen pesimälinnustoselvitys Tuusulassa vuonna 2021. – Faunatican raportteja 73/2021. 23 s.

- Koski-Vähälä, J., Hartikainen, H. & Tallberg, P. 2001. Phosphorus mobilization from various sediment pools in response to increased pH and silicate concentrations. *Journal of Environmental Quality* 30:960–966.
- Koskiaho, J. & Puustinen, M. 2019: Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering*. 137: 65-75.
- Kuoppamäki, K. 2019: Tuusulanjärven eläinplankton vuosina 2016–2018. Moniste. Helsingin yliopisto 13 s. + liitteet.
- Kuoppamäki, K. 2020: Tuusulanjärven eläinplankton vuosina 2019–2020. Moniste. Helsingin yliopisto 7 s. + liite.
- Känkänen, H., Ketola, J. & Valkama, P. 2020: Uusia tuloksia kerääjäkasveista: UusiRaHa-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 18/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 75 s.
- Laakso, S., Haapala, T., Rimpiläinen, L. & Lahti, K. 2015: Kiinteistökohtaista jätevesineuvontaa Vantaanjoen valuma-alueen kunnille. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vsy ry. Raportti 3/2015. 24 s. + liitteet.
- Lahti, K., Särkelä, A., Valkama, P., Vahtera, H., Hietala, J., Laakso S. & Männynsalo J. 2016: Tuusulanjärven ulkoisen kuormituksen vähentämistoimenpiteitä vuosille 2016- 2021. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vsy ry. Raportti 14/2016. 53 s. + liitteet.
- Lammi, E. & Vauhkonen, M. 2016: Tuusulanjärven eteläpään toimenpidesuunnitelma. Ympäristösuunnittelu Enviro. Raportti. 54 s + liitteet.
- Lammi, E. & Venetvaara, J. 1999: Tuusulanjärven itärannan kunnostussuunnitelma. Biologitoimisto Jari Venetvaara Ky, Kempele.
- Lappalainen, K.M. 1998: Tuusulanjärven happitilanteen parantamismahdollisuuksia. Vesi-Eko Oy. 21 s. + liitteet.
- Lappalainen, K.M. & Lakso, E. 2004: Järven hapetus. Julkaisussa: Ulvi T. & Lakso, E. (toim.) 2004. Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 334 s.
- Lappalainen, J. & Malinen, T. 2022: Hydroacoustics and concurrent experimental trawling reveal extreme annual variation in the density of 0+ pikeperch in late summer. *Fisheries Research* 251, painossa.
- Lavinto, A. & Niiranen, S. 1988: Tuusulan linnustoselvitykset 1988. Tuusula. 20 s.
- Lavinto, A. & Niiranen, S. 1992: Järvenpään arvokkaat lintukohteet. Perusselvitys 1991. Helsinki. 86 s.
- Lavinto, A. & Niiranen, S. 1997: Järvenpään arvokkaat lintukohteet. Seurantaselvitys 1996. Järvenpään ympäristölautakunta, Helsingin seudun lintutieteellinen yhdistys, Tringa ry. Helsinki. 73 s. + liitteet.
- Lehikoinen, A., Jukarainen, A. & Mikkola-Roos, M. 2019: Linnut. Teoksessa: Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Ulla-Maija Liukko, U-M. (toim.) 2019: Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. s. 263–312.
- Lempinen, P. (toim.) (1998): Vihdin Enäjärven kunnostus: raportti vuosien 1993–1997 toimenpiteistä ja tutkimuksista. Uudenmaan ympäristökeskus, alueelliset ympäristöjulkaisut 78, 99 s.
- Lepistö, L., Räike, A. & Pietiläinen, O-P. 1999: Long-term changes of phytoplankton in a eutrophicated boreal lake during the past one hundred years (1893–1998). *Algological Studies* 94: 223–244.
- Lepistö, L., Kauppila, P., Rapala, J., Pekkarinen, M., Sammalkorpi, I. & Villa, L. 2006: Estimation of reference conditions for phytoplankton in a naturally eutrophic shallow lake. *Hydrobiologia* 568:55–66.
- Leskinen, P. & Vilminko, H. 2019: Rakennustyömaiden vesienhallinnan keinoja savimailla. *Vesitalous*, 2/2019: 35–39.
- Liikanen, A. 2002: Greenhouse gas and nutrient dynamics in lake sediment and water column in changing environment. *Kuopion yliopiston julkaisuja C*. 147. Väitöskirja. 50 s.
- Liljendahl-Nurminen, A. 2006: Invertebrate predation and trophic cascades in a pelagic food web: The multiple roles of *Chaoborus flavicans* (Meigen) in a clay-turbid lake. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. 35 s.

- Luodeslampi, P., Marttila, J. & Hietala, J. 2017: Tuusulanjärven vesitase ja ravinnetaset vuosina 1990–2013. Julkaisussa: Hietala, J. (toim.) Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013 – Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 56/2017: 13–19.
- Luodeslampi, P. & Suomi, I-E. 2020: Hajajätevesineuvontaa Vantaanjoen valuma-alueella. Vuoden 2019 neuvonnan tulokset ja yhteenveto vuosista 2011–2019. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vsy ry. Julkaisu 80/2020. 44 s + liitteet.
- Maa ja Vesi Oy 2000: Tuusulanjärven rantojen kunnostus, yleissuunnitelma. Jaakko Pöyry Infra. 20 s. + liitteet.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2021: Luonnos Suomen CAP-suunnitelmaksi vuosille 2023–2027 ja suunnitelman ympäristöselostus.
- Malinen, T., Kervinen, J. & Peltonen, H. 2017: Tuusulanjärven lahna-, pasuri- ja särkikannat vuosina 2005–2011. Julkaisussa: Hietala, J. (toim.) Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013 – Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 56/2017: 51–61.
- Malinen, T. & Vinni, M. 2008: Tuusulanjärven kuhanpoikasten ja muiden ulappa-alueen kalojen ravinto elo-syyskuussa 2008. Helsingin yliopisto. 9 s.
- Malinen, T. & Vinni, M. 2019. Tuusulanjärven ulapan kalasto vuosina 1997–2018. Tutkimusraportti. Helsingin yliopisto. 17 s.
- Malinen, T. & Vinni, M. 2022: Tuusulanjärven ulapan kalasto vuosina 1997–2021. Tutkimusraportti. Helsingin yliopisto ja KVVY Tutkimus Oy. 13 s.
- Marttila, J. 2004: Tuusulanjärven vesi-, fosfori- ja typpitaset 1991–2002. Uudenmaan ympäristökeskus Monisteita 141. 74 s.
- Mazumder, A. 1994: Phosphorus–chlorophyll relationships under contrasting herbivory and thermal stratification: predictions and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and aquatic sciences* 51: 390–400.
- Moss, B., Madgwick, J & Phillips, G. 1996: A guide to the restoration of nutrient enriched shallow lakes. Broads Authority, Environment Agency & EU Life Programme. Norwich.
- Moss B., Kosten S., Meerhoff M., Battarbee R.W., Jeppesen E., Mazzeo N., Havens K., Lacerot G., Liu Z. & De Meester L. et al. 2011: Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters*. 1(2):101–105.
- Nobre, R.L.G., Carneiro, L.S., Panek, S.E. & Gonzalés, M.J. 2019: Fish, including their carcasses, are net nutrient sources to the water column of a eutrophic lake. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7:340.
- Numminen, S. & Lemmelä, R. 1976: Tuusulanjärven ilmastuksen tuloksia. *Vesitalous* 3: 18–20.
- OECD 1982: Eutrophication of waters – monitoring, assessment and control. Paris. Organisation for Economic Co-operation and Development. 154 s.
- Olin, V.V. 1912: Bidrag till Tusbyträsk morfometri och optic. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, maantieteen laitos. 66 s.
- Olin, M. & Ruuhijärvi, J. (toim.) 2002: Rehevöityneiden järvien hoitokalastuksen vaikutukset. Vuosiraportti 2001. Kala- ja Riistaraportteja 262. 136 s.
- Olin, M., Rask M., Ruuhijärvi J., Keskitalo J., Horppila J., Tallberg P., Taponen T., Lehtovaara A. & Sammalkorpi I. 2006. Effects of biomanipulation on fish and plankton communities in ten eutrophic lakes of southern Finland. *Hydrobiologia* 553:67–88.
- Ollikainen, M., Ekholm, P., Puntila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Puroila, S., Kosenius, A-K. & Iho, A. 2018: Peltojen kipsikäsittely maatalouden vesiensuojelukeinona. SAVE-hankkeen julkaisu. 12 s.
- Pekkarinen, M. 1990: Comprehensive survey of the hypertrophic Lake Tuusulanjärvi, nutrient loading, water quality and prospects of restoration. *Aqua Fennica* 20:13–25.
- Pelikka, K., Sammalkorpi, I., Mettinen, A. & Valjus, J. 2020: Vihdin Enäjärven kunnostussuunnitelma. Länsi-Suomen vesi ja ympäristö ry. Julkaisu 18/2020. 71 s + liitteet.

- Petterson, K. 1998: Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes. *Hydrobiologia* 373/374: 2125.
- Pietikäinen, O.-P. & Räike, A. 1999: Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 313. 64 s. + liitteet.
- Priha, M. & Korkeamäki, E. 2007: Suomenlahden muuttoreitillä sijaitsevien lintuvesien hoito. Lintulahdet Life LIFE03NAT/FIN/000039. Loppuraportti 1.7.2003-30.6.2007. Uudenmaan ympäristökeskus. 76 s. + liitteet.
- Puustinen, M., Koskiaho, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M., & Vikberg, P. 2007: Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Raportti. Suomen ympäristö 21/2007. 77 s.
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R. & Tattari, S. 2010: VIHMA—A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 306–317.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R. & Hjerpe, T. 2019: Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja 22/2019. 146 s.
- Rask, M. & Lehtovaara, A. 2004: Tuusulanjärven ja Rusutjärven eläinplankton vuosina 1996–2003. Julkaisussa: Olin, M. & Ruuhijärvi, J. (toim.). Tuusulanjärven ja Rusutjärven ravintoketjukurjennostuksen kalatutkimuksia vuosina 2000–2003. Kala- ja riistaraportteja 324: 32–57.
- Rask, M. & Lehtovaara, A. 2009: Tuusulanjärven eläinplanktonitutkimus vuonna 2009. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 6 s.
- Rask, M., Malinen, T., Olin, M., Peltonen, H., Ruuhijärvi, J., Vesala, S. & Hietala, J. 2020: Responses of the fish community in a eutrophicated lake to long-term food web management assessed by multiple sampling methods. *Hydrobiologia* 847: 4559–4573.
- Rask, M., Ruuhijärvi, J., Olin, M., Lehtovaara, S., Vesala, S. & Sammalkorpi, I. 2005. Responses of zooplankton and fish to restoration in eutrophic Lake Tuusulanjärvi in southern Finland. *Verh. int. Verein. Limnol.* 29: 545–549.
- Reinikainen, T. 2002. Pelastuskoot kotijärven puolesta. *Vesitalous* 6:21–23.
- Ruohonen 2003: Hauenpoikasten sähkökalastustutkimukset Tuusulanjärvellä. - Tutkimusraportti 2003 ja yhteenveto 2000–2003. Moniste. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä 7 s.
- Ruuhijärvi, J., Rask, M., Vesala, S., Westermarck, A., Olin, M., Keskitalo, J. & Lehtovaara, A. 2010. Recovery of fish community and changes in the lower trophic levels in a eutrophic lake after a winter kill of fish. *Hydrobiologia* 646: 145–158.
- Ruuhijärvi, J., Rask, M., Vesala, S. & Olin, M. 2017: Tuusulanjärven kalakantojen muutokset järven kunnostuksen vuosina 1996–2012. Julkaisussa: Hietala, J. (toim.) Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013 – Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 56/2017: 13–1945–50.
- Saarijärvi, E. 2017: Tuusulanjärven hapettaminen 1998–2013. Julkaisussa Hietala, J. (toim.) Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013 – Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 56/2017: 25–31.
- Sammalkorpi, I., 2000. The role of fish behaviour in biomanipulation of a hypertrophic lake. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 27: 1464–1472.
- Sammalkorpi, I. 2020: Hoitokalastus Littoistenjärven kunnostushankkeessa 2017-2020 saavutetun tilan ylläpitämisessä. Littoistenjärven hoitokunta. Raportti 18 s.
- Sammalkorpi, I. & Horppila, J. 2004: Ravintoketjukurjennostus. Julkaisussa: Ulvi, T & Lakso, E. (toim.) Järvien kunnostus. Ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja vesitekniikan tuki ry. Ympäristö-opas 114: 169–188.

- Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, E., Vääriskoski, J. & Lammi, E. 1995: Vesi-järvi-projekti 1987–1994. Ravintoketjukunnostus, tutkimukset ja toimenpidekokeilut. Vesi- ja ympäristö-hallinnon julkaisu. Sarja A 218. 131 s.
- Sammalkorpi, I., Mikkola-Roos, M., Lammi, E. & Aalto, T. 2014: Ravintoketjukunnostus lintuvesien hoidossa. – Linnut-vuosikirja 2013: 154–163.
- Sammalkorpi, I., Mikkola-Roos, M., Pöysä, H. & Rask, M. 2017: Miksi suojele ei auta lintuvesillä? Linnut-vuosikirja 2016: 112–121.
- Sammalkorpi, I. 2020. Hoitokalastus Littoistenjärven kunnostushankkeessa 2017–2020 saavutetun tilan ylläpitämisessä. Raportti Littoistenjärven hoitokunnalle. 20 s.
- Sarkkinen, M. 2018: Tuusulanjärven ulkoinen fosforikuormitus vuosina 2016–2017. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun ky. 14 s. + liitteet.
- Sarvala, J. & Jumppanen, K. 1988: Nutrients and planktivorous fish as regulators of productivity in Lake Pyhäjärvi, SW Finland. *Aqua Fennica* 18: 137-155.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.L., Moss, B. & Jeppesen, E., 1993: Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275–279.
- Scheffer, M., Portelje, R. & Zambrano, L. 2003. Fish facilitate wave resuspension of sediment. *Limnology & Oceanography* 48: 1920–1926.
- Schindler, D.W., Carpenter, S., Chapra, S., Hecky, S. & Orihel, D. 2016. Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 8923–8929.
- Siekinen, J. 2020: Tuusulan Mäyränojan valuma-alueen vesiensuojelun yleissuunnittelu. Raportti 10.1.2020. 67 s.
- Sillanpää, N. & Koivusalo, H. 2015: Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and cold seasons in high latitudes. *Journal of Hydrology* 521: 328–340.
- Sitowise 2020a: Tuusulan Piiliojan valuma-alueen kuormitusselvitys ja kunnostussuunnitelma. Raportti YKK64947. 30.4.2020. 26 s. + liitteet.
- Sitowise 2020b: Hankkijanojan valuma-alueen kuormitusselvitys ja kunnostussuunnitelma. Raportti YKK65531. 30.11.2020. 14 s. + liitteet.
- Soinne, H., Keskinen, R., Rätty, M., Kanerva, S., Turtola, E., Kaseva, J., Nuutinen, V., Simojoki, A. & Salo, T. 2020: Soil organic carbon and clay content as deciding factors for net nitrogen mineralization and cereal yields in boreal mineral soils. *European Journal of Soil Science* 72/4: 1497-1512.
- Solonen, T. & Lavinto, A. 1998: Tuusulanjärven kunnostushankkeeseen liittyvän savenoton odotettavissa olevat vaikutukset lintuvesiensuojeluohjelmaan kuuluvan alueen pesivään ja muutonaikaiseen linnustoon. Luontotutkimus Solonen Oy. 20 s.
- Sommarlund, H., Pekkarinen, M., Kansanen, P., Vahtera, H. & Väisänen, T. 1998: Savipeittomenetelmän soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostuksessa. Uudenmaan ympäristökeskus. Suomen ympäristö 231. 99 s.
- Syrjämäki, J. 1997: Tuusulanjärvi. Tuusula-seuran aikakirja IX: 8–15.
- Søndergaard, M., Jensen, J.P., & Jeppesen, E. 1999: Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes. *Hydrobiologia* 408/409: 145–152.
- Søndergaard, M., Jensen, J.P., & Jeppesen, E. 2003: Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506/509: 135–145.
- Tarvainen, M., Ventelä, A-M., Helminen, H. & Sarvala, J. 2007: The role of phosphorus release by roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in the water quality changes of a biomanipulated lakes. *Freshwater Biology* 47:2325–2336.
- Tolonen, K., Ilmavirta, V., Hartikainen, H. & Suksi, J. 1990: Paleolimnological investigation of the eutrophication history of Lake Tuusulanjärvi, Southern Finland. *Aqua Fennica* 20: 27–41.

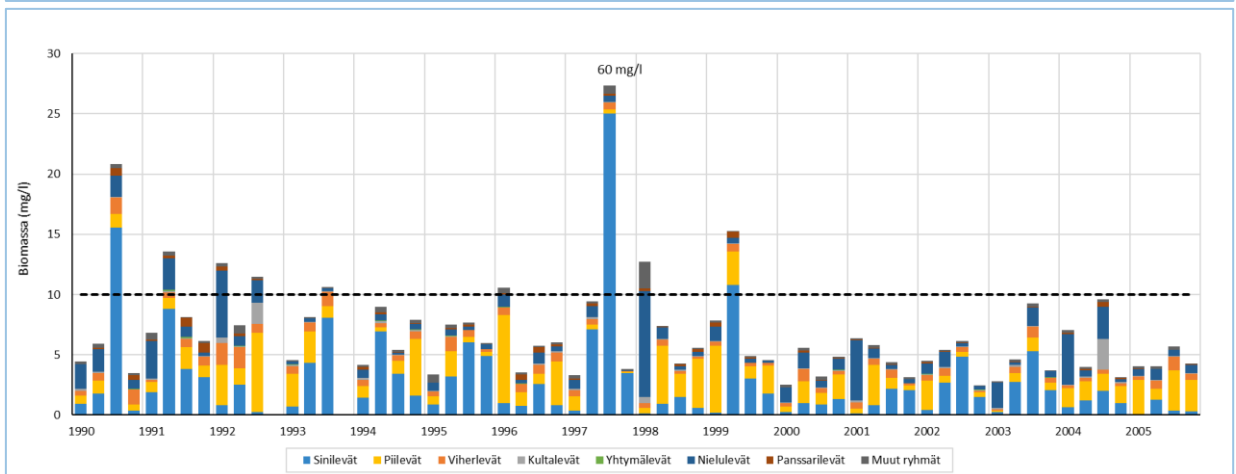
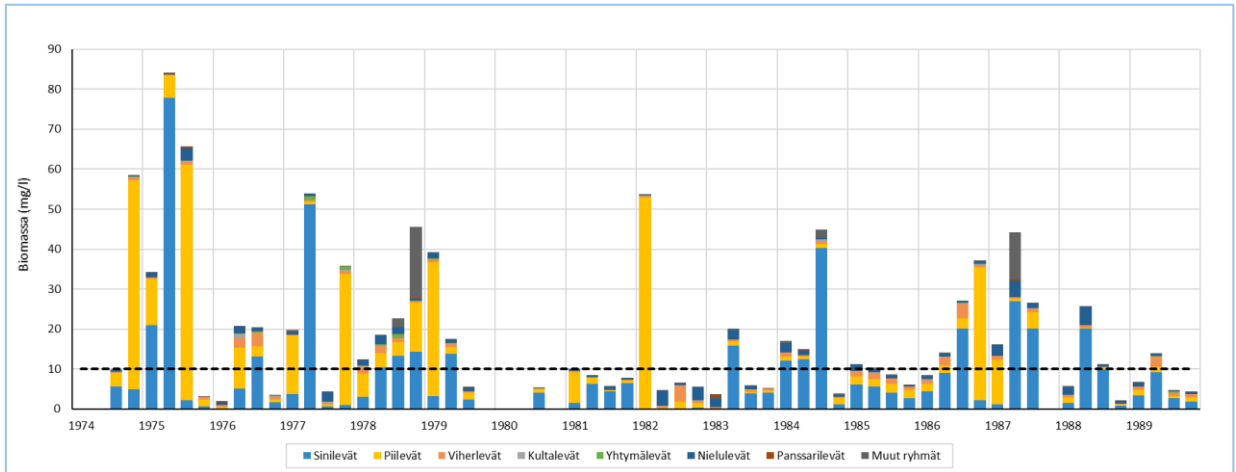
- Tolonen, K.T. 2011: Uudenmaan ELY-keskuksen syvännepohjajeläintulokset - vuosien 2010-2011 seuranta-
tänäytteet. Raportti. Ympäristöntutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto. 8 s.
- Triest, L., Stiers, I. & Van Omsen, S. 2016. Biomanipulation as a nature-based solution to reduce cyanobac-
terial blooms. *Aquatic Ecology* 50: 461–483.
- Urrutia-Cordero, P., Ekvall, M. & Hansson, L.-A. 2016: Local food web management increases resilience
and buffers against global change effects on freshwaters. *Sci Rep* 6, 29542
<https://doi.org/10.1038/srep29542>
- Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2004: Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä. Teok-
sessa Turtola, E. & Lemola, R. (toim.): Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2: Osahankkeiden
2-7 väliraportit 2000-2003: 7-32. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.
- Vahtera, H., Hietala, J. & Haikonen, M. 2020: Loutinojan vedenlaatu ja virtaama. Seurantatulokset vuosilta
2018-2019. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vsy ry. Raportti 84/2020. 39 s. + liitteet.
- Valkama, P. 2018: Impacts of agricultural water protection measures on erosion, phosphorus and nitrogen
loading based on high-frequency on-line water quality monitoring. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Maan-
tieteen laitos. 38 s.
- Vanni, M., Boros, G., McIntyre, P.B. 2013. When are fish sources versus sinks of nutrients in lake ecosys-
tems? *Ecology*. 94:2195–2206.
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012: Suomen vesivarat
ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suo-
men ympäristö 16/2012. 100 s.+ liitteet.
- Venetvaara, J. 2010: Tuusulanjärven vesikasvien niittosuunnitelma. Biologitoimisto Jari Venetvaara Ky. 6
s.- + liitteet.
- Venetvaara, J. 1998–2020: Tuusulanjärven vesikasvilinjaseurannat vv. 1998, 2000, 2002, 2004, 2008 ja
2020. Biologitoimisto Jari Venetvaara Ky.
- Ventelä, A.-M., Tarvainen, A., Helminen, H. & Sarvala, J. 2007: Long-term management of Pyhäjärvi
(southwest Finland): eutrophication, restoration – recovery? *Lake and Reservoir Management* 23: 428–
438.
- Visser, P.M., Ibelings, B.W., Bormans, M. & Huisman J. 2016: Artificial mixing to control cyanobacterial
blooms: a review. *Aquatic Ecology* 50: 423–441.
- Visuri, M., Väisänen, T. & Huttunen, J.T. 2003: Tuusulanjärven pohjasedimentin ja sen yläpuolisen vesifaa-
sin kasvihuonekaasu- sekä happimittaukset elokuussa 2002. Raportti 10 s.
- Vollenweider, R.A., 1976: Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophica-
tion. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* 33: 53-83.
- Vuorinen, E. & Nyqvist, P. 2012: Tuusulanjoen ja Palojoen vesistöalueet. Suojavyöhykkeiden ja kosteikko-
jen yleissuunnitelma. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 133/2012. 63 s.
- Vuorio, K., Järvinen, M. & Kotamäki, N. 2020. Phosphorus thresholds for bloom-forming cyanobacterial
taxa in boreal lakes. *Hydrobiologia* 847: 4389–4400.
- Väisänen, T. & Hellsten, S. 1995: Tuusulanjärven sedimentin tilan mittaukset metaanin syntyvyöhykkeen
jäljittämiseksi. *Vesi-Savipeitto-Sedimentti-Tuusulanjärvi*. – Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tutkimus-
raportti 295. 15 s + liitteet.
- Väisänen, T., Juujärvi, K., Savolainen, M. & Hellsten, S. 1996: Metaanin syntyminen ja eri kunnostusmene-
telmien merkitys Tuusulanjärvässä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tutkimusraportti 361. 29 s + liit-
teet.
- Wetzel, R.G. 1983: *Limnology*. Saunders College Publishing. 751 s.
- Williamson, T.J., Vanni, M.J., González & M.J. 2018. The importance of nutrient supply by fish excretion
and watershed streams to a eutrophic lake varies with temporal scale over 19 years. *Biogeochemistry*
140, 233–253 . <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0490-6>.

Yli-Viikari, A. (toim.) 2019: Maaseutuohjelman (2014–2020) ympäristöarviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 63/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 215 s.

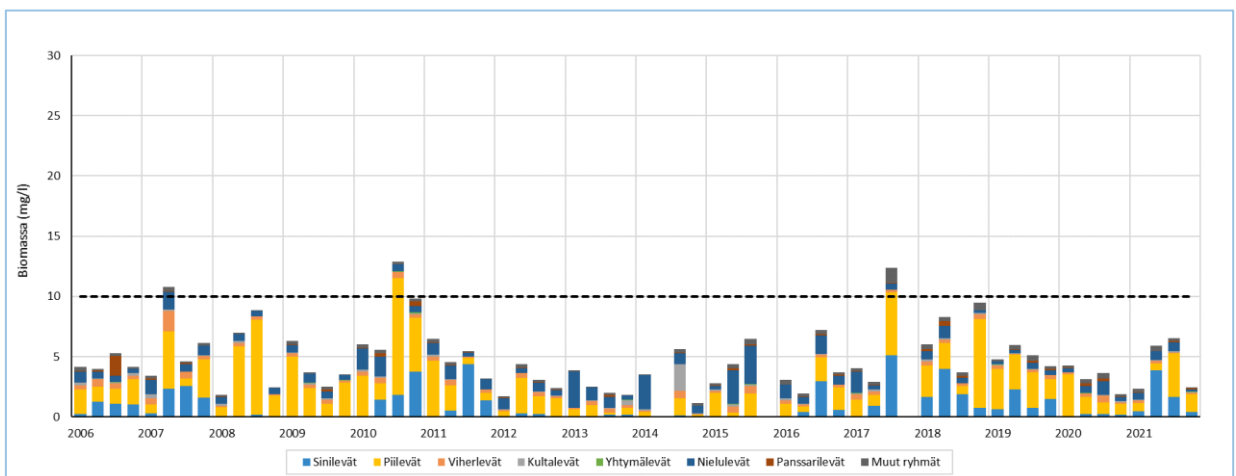
Yrjölä, R., Stigzelius, J., & Rinne, J. 2003: Tuusulanjärven länsirannan käytön ja hoidon periaatteet. Uudenmaan ympäristökeskus. Monisteita 127. 69 s + liitteet.

Liitteet

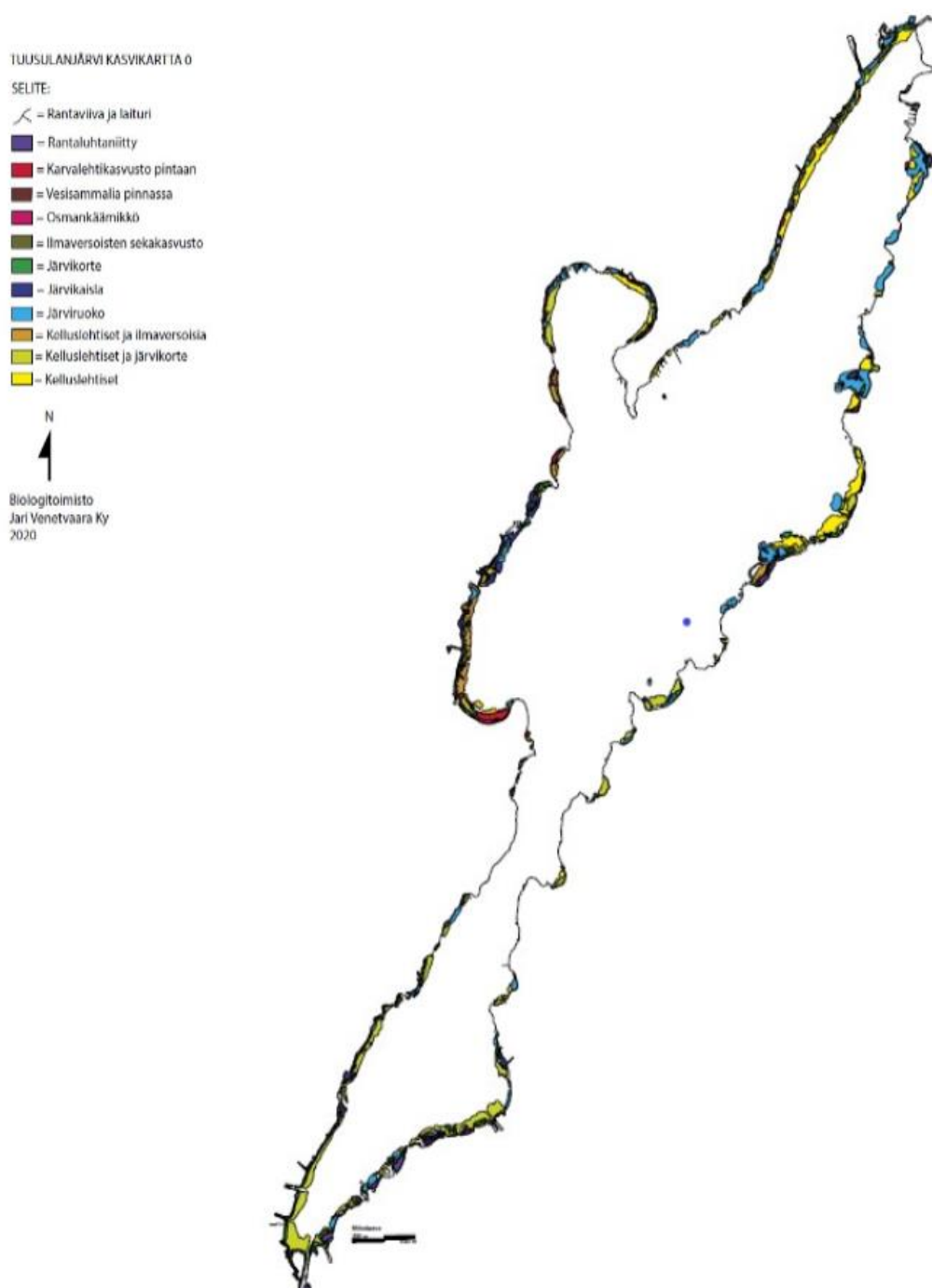
Liite 1. Tuusulanjärven kasviplanktonin pääryhmien biomassa kuukausittain vuosina 1974–2021.



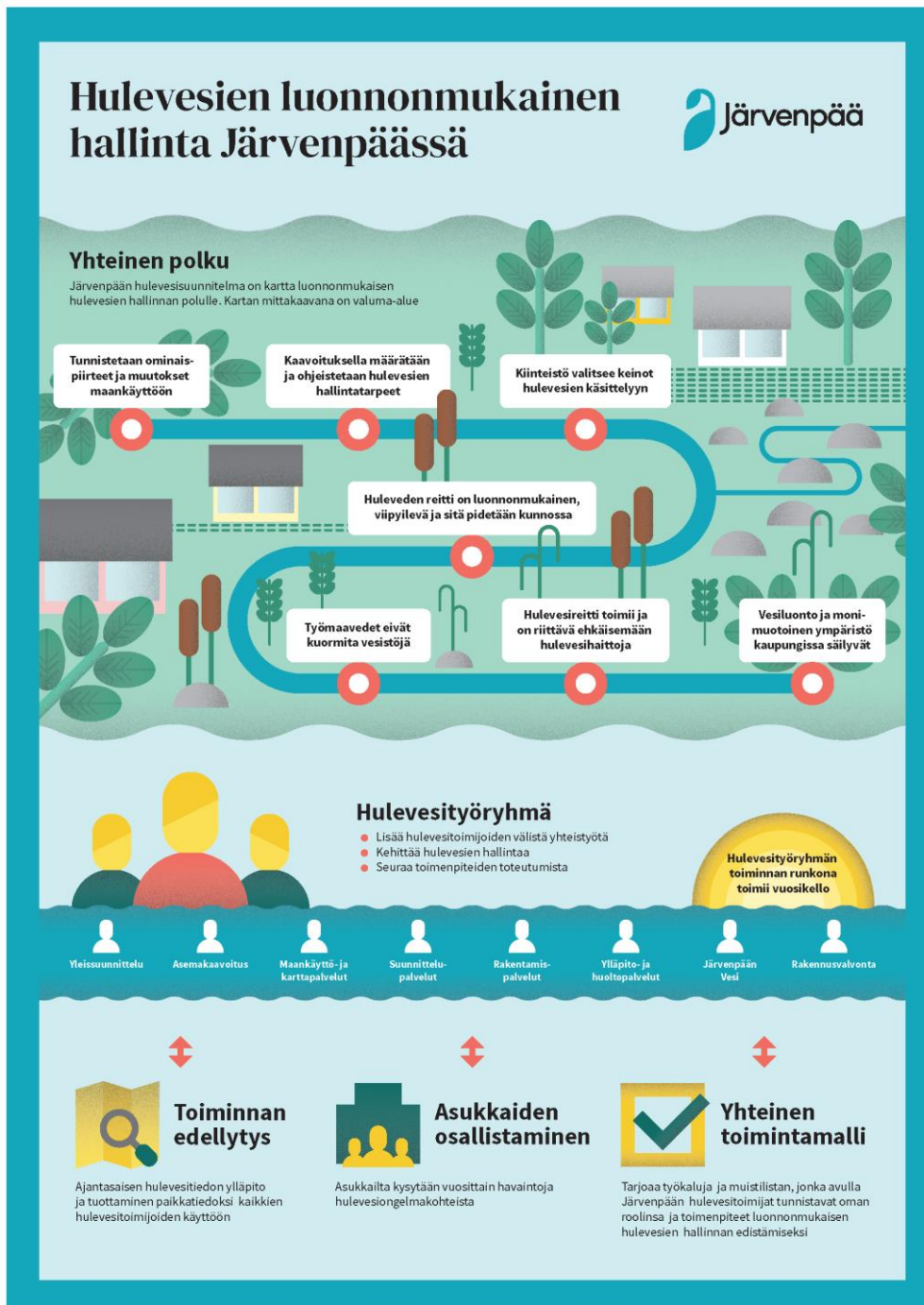
Huom! Vuoden 1997 elokuun kokonaisbiomassa oli 60 mg/l, josta 57 mg/l oli sinilevää.



Liite 2. Tuusulanjärven vesikasvillisuuskarttoitus kesällä 2020



Liite 3. Järvenpään hulevesiryhmän toimintamalli





Keski-Uudenmaan
YMPÄRISTÖKESKUS