Erkki Saarijärvi

Muistio 19.6.2006

Lappeenrannan Haapajärven kuormitusmuutosten simulointi

1. Yleistä

Vesi-Eko Oy on tehnyt useassa eri yhteydessä Lappeenrannan Haapajärveä koskevia kuormitustarkasteluja. Yhteistä näille tarkasteluille on ollut se, että niissä on pyritty hahmottamaan ulkoisen kuormituksen muutoksien vaikutuksia Haapajärven tilaan. Tässä muistiossa on pyritty keräämään keskeisiä ajatuksia aiemmista kuormitussimulaatioista. Työn tilaajana on Lappeenrannan vesilaitos ja muistion sisältöä on läpikäyty myös Lappeenrannan ympäristötoimen kanssa.

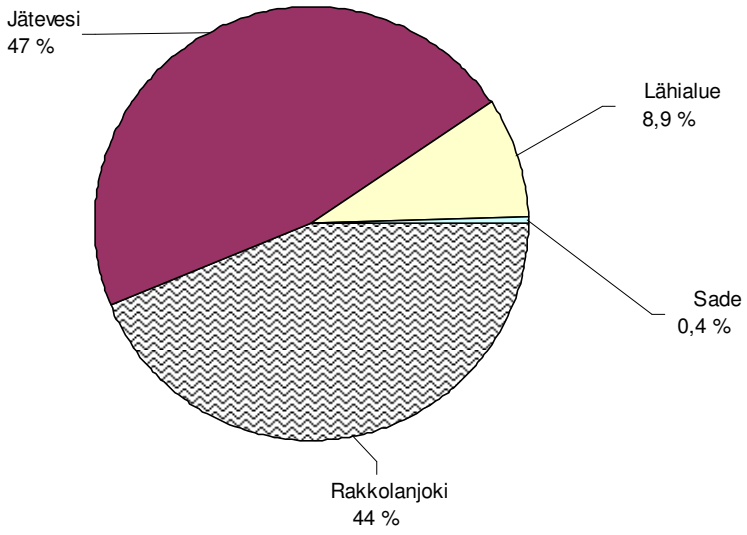
Laskelmien pohjana ovat olleet taulukossa 1 esitetyt järven perustiedot. Jätevesien määrä oli laskelmissa keskimäärin 0,186 m^3/s ja muualta tulevan valunnan Haapajärveen kohdistuen noin noin 0,67 - 1,1 m^3/s. Valunta-arvoissa on luontaisesti huomattavaa vuosien välistä vaihtelua normaalin vuodenaikaisvaihtelun lisäksi.

Taulukko 1. Haapajärven pinta-ala- ja tilavuustiedot.

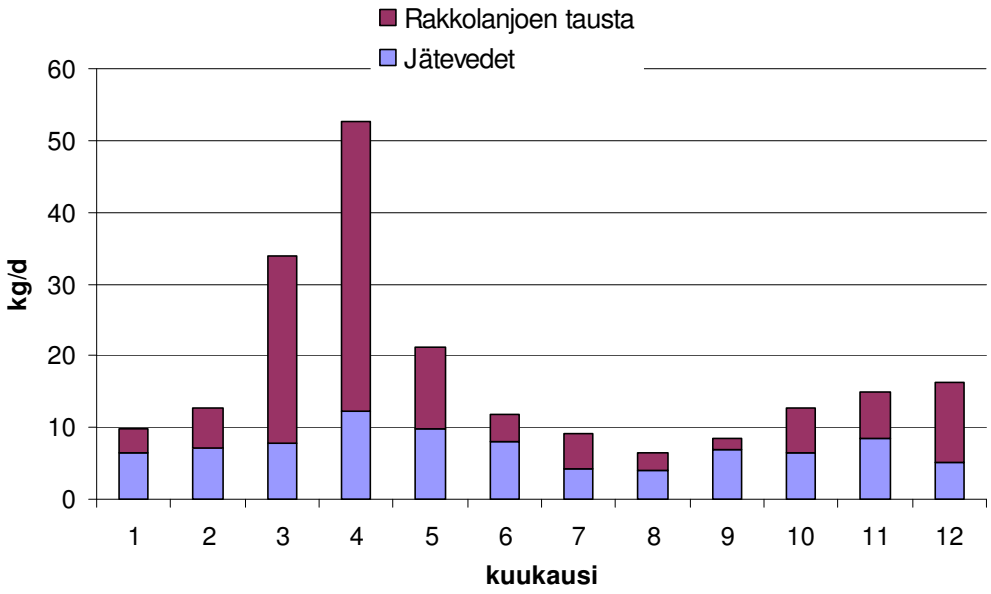
Suure	Arvo
Maksimisyvyys (m)	4,0
Pinta-ala (km^2)	2,23
Tilavuus (Mm^3)	3,48
Virtaama luusuassa m^3/s	0,86
Viipymä (kk)	1,5

2. Fosforikuormitus 2000-luvun alussa

Laskelmien pohjana on ollut vuonna 2003 laadittu fosforitaseselvitys vuodelta 2003 (Saarijärvi 2003). Laskelmien perusteella ulkoisen kuormituksen pääosan muodostavat puhdistetut jätevedet sekä ns. Rakkolanjoen taustakuorma (sisältää mm. luonnon taustahuuhtouman, hajakuormituksen ja kaupungin puhdistamoon kuulumattomat pistekuormituslähteet). Vuosikeskiarvona järveen kohdistuva kokonaisfosforin kuormitus on noin 15,5 kg päivässä. Tästä jätevesien osuus on noin 47 % ja taustakuorman 44 % (kuva 1). Taustakuormitus on suurinta keväällä valuntahuippujen aikana (kuva 2).



Kuva 1. Haapajärveen kohdistuvan ulkoisen fosforikuormituksen jakautuminen 2000-luvun alussa.

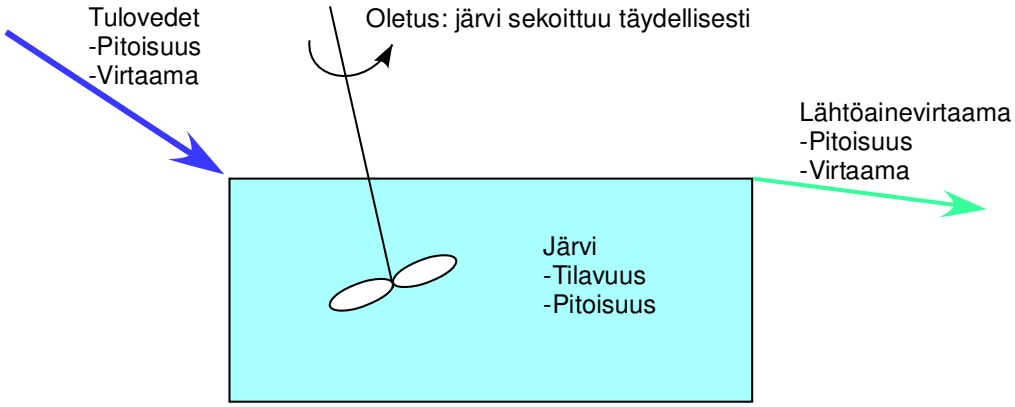


Kuva 2. Haapajärveen Rakkolanjoen kautta tulevan fosforikuormituksen jakautuminen 2000-luvun alussa.

3. Kuormitussimulaatiot

Järveen kohdistuvan ulkoisen ravinnekuormituksen vaikutukset järven tilaan riippuvat mm. järvialtaan syvyyssuhteista ja tulovirtaaman määrästä (kuva 3). Lisäksi tulevien vesien pitoisuus vaikuttaa; mitä suuremmat pitoisuudet, sitä enemmän tiettyyn altaaseen jää ravinteita. Ilmiöt on tunnettu pitkään, intensiivisintä tutkimus oli 1970-luvulla, jolloin monet kotimaiset ja ulkomaiset tutkijat pyrkivät löytämään syy-seurausyhteyksiä. Matemattisessa muodossaan näitä havaintoja voidaan käyttää vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten ennakointiin (simulointi). Hyvä yh-

teenveto asiasta löytyy mm. vuoden 1978 julkaisusta ”Järvien fosforimallit” (Frisk 1978; Vesihallituksen tiedotus nro 146) sekä ”Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi” (Salonen ym. 1992; Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A nro. 96).



Kuva 3. Fosforimallien taustaoletuksia.

Haapajärven tapauksessa sovelsimme Vesi-Eko Oy:n Limno-ohjelmiston avulla ns. Lappalaisen fosforimallia sekä Jonesin ja Bachmannin mallia. Lappalaisen mallin periaate on matemaattisessa muodossaan seuraavanlainen:

(1) $$R = 0{,}9 * \frac{(C_i - 6) * T}{200 + (C_i - 6) * T}$$

jossa
R = ravinteiden pidättymiskerroin tietyssä järvialtaassa
C_i = Tulevien vesien sekoituspitoisuus, µg/l
T = Viipymä, kk

Edelleen:

(2) $C_{hav} = (1\text{-}R)\ C_i$

Jossa C_{hav} = Mallin ennustama järvipitoisuus µg/l

Tiivistetysti mallin taustalla on ajatus, jonka mukaan järvessä havaittava fosforipitoisuus riippuu suoraan sekä tulevien vesien pitoisuudesta että järven viipymästä. Sisäistä kuormitusta ei siis näissä laskentatavoissa huomioida, mutta tämänkaltaisissa tarkasteluissa asialla ei kuitenkaan ole niin suurta merkitystä kuin ensivaikutelmana tuntuisi (kts. jäljempänä kohta ”ulkoisen ja sisäisen kuormituksen yhteys). Ensimmäisessä vaiheessa määritellään järveen pidättyvien ravinteiden osuus (**retentio; R**). Käytänössä tämä tarkoittaa nettosedimentaatiota, joka voidaan laskea myös havaintojen perusteella:

(3) Retentio = (Ulkoinen kuormitus – Luusuasta poistuva)/Ulkoinen kuormitus

Mallin käyttöä puoltaa kuitenkin se seikka, että kuormitusta muutettaessa myös tulovesien pitoisuudet (tai lisävesien johtamisen tapauksessa myös viipymä) muuttuvat. Tällöin retentiokin muuttuu.

Jonesin ja Bachmannin malli on hieman edellistä yksinkertaisempi:

$$P = \frac{0{,}8 * \frac{K}{A}}{z\left(\frac{1}{T} + 0{,}65\right)} = \frac{0{,}8 * \frac{K}{A}}{\frac{V}{A}\left(\frac{Q}{V} + 0{,}65\right)} = \frac{0{,}8 * K}{Q + V * 0{,}65}$$

Jossa P = Fosforipitoisuus mg/m^3
V = Järven tilavuus m^3
Q = virtaama m^3/a
K =kuormitus mg/a

Käytännössä ko. malli lähtee ajatuksesta, jonka mukaan pidättyminen riippuu erityisesti virtaamasta ja tilavuudesta. Yksinkertaisuutensa vuoksi tulokset ovat helpommin tulkittavissa kuin useamman muuttujan malleissa.

Periaate jatkuu oletuksella, että järvessä havaittava fosforipitoisuus on lopputulos tilanteesta, jossa osa tulovesien ravinteista on pidättynyt järveen. Kyseessä on ns. black box- malli, joka ei ote kantaa siihen, mihinkä fosfori on käytännössä joutunut. Vaikka kyseessä on teoreettisen tuntuinen lähestymistapa, on mallien parametrit selvitetty olemassa olevalle järviaineistoilla ja niiden soveltuvuutta on testattu useassa yhteydessä. On havaittu, että muutosten arviointi sisältää tiettyjä epävarmuuksia, joiden takia liian pitkälle meneviin johtopäätöksiin ei pelkän yksinkertaisen mallituksen pohjalta tule ryhtyä. Mallin antamat suuntaviivat mahdollisen muutoksen jälkeisestä tilanteesta ovat kuitenkin osoittautuneet erittäin käyttökelpoisiksi.

Ulkoisen ja sisäisen kuormituksen yhteys. Kun toisaalta puhutaan ulkoisen ravinnekuormituksen rajoittamisesta ja sanotaan, että ulkoinen kuormitus ylittää sietorajat, niin samalla sanotaan, että sisäinen kuormitus on huomattavasti ulkoista suurempaa. Asia on tietysti ensilukemalta hyvin ristiriitainen, mutta tarkemmin ajateltuna jokseenkin ymmärrettävä. Ulkoinen kuormitus on pitkällä aikavälillä tärkein järven tilaan vaikuttavista tekijöistä. Monet järven ravinnepitoisuutta ennustavat mallit perustuvat ulkoisen kuormituksen arviointiin. Näin siis pitkällä aikavälillä. Sisäinen kuormitus sen sijaan ilmenee erityisesti keski- ja loppukesällä ja vaikuttaa järven tilaan tietyn, ulkoisen kuormituksen rajaaman ’kehyksen’ sisällä. Sisäinen kuormitus on luonteeltaan ’nollasummapeliä’, kesällä fosforia vapautuu veteen, mutta syksyllä jokseenkin sama määrä pidättyy pohjasedimenttiin. Tarkasteltaessa tietyn järven (tässä tapauksessa Haapajärven) kunnostus (ja ylläpito)mahdollisuuksia onkin **huomioitava sekä ulkoinen että sisäinen kuormitus**. Kumpikaan ei yksin riitä selittämään järven tilaa eikä yksipuolinen suhtautuminen kunnostusvaihtoehtoihin tuo toivottua tulosta.

3.1 Simulaatiot Haapajärven tapauksessa

Vuonna 2004 teimme simulaatioita, joissa käytiin läpi sekä jätevesikuormituksen muutosten että mahdollisten lisävesien johtamisen vaikutuksia Haapajärven kokonaisfosforipitoisuuksiin ja tämän avulla edelleen perustuottajien määrään.

Ensimmäisenä käsittelyyn perusperiaatteet (vuoden 2003 ainetaseraportissa esitetty kokonaisuus, taulukko 2).

Taulukko 2. Kuormitussimulaatiot.C_{tulo} = tulovesien fosforin sekoituspitoisuus, $C_{järvi}$ = järven ennustettu kokonaisfosforin keskipitoisuus.

	Peruslaskenta	**Jätevedet-90 %**	**Jätevedet pois**	**Ulkoinen kuormitus -90%**
C_{tulo} µg l^{-1}	**212**	**124**	**146**	**21**
Ulkoinen kuormitus mg m^{-2} d^{-1}	6,84	3,97	3,65	0,72
Kokonaiskuormitus mg m^{-2} d^{-1}	32,6	12,9	12,4	3,9
Viipymä (a)	0,13	0,13	0,17	0,13
$C_{järvi}$ µg l^{-1}	**153**	**91**	**105**	**17**
R_{hav}	0,28	-	-	-
R_{malli} (Jones)	**0,29**	**0,3**	**0,32**	**0,36**
Tilav. sedimentaatio mg m^{-3} d^{-1}	2,17	0,98	1,12	0,14
Bruttosedimentaatio mg m^{-2} d^{-1}	28,0	10,5	10,5	3,1
Klorofylli-*a*, keskiarvo µg l^{-1}	102	61	70	11

Taulukossa on mukana keskeisten päätelmien lisäksi muuta taustatietoa, mutta laskenta on tehty aiemmin esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Lähtötilanteessa (2000-luvun alussa) Rakkolanjoesta Haapajärveen tulevien vesien keskimääräinen fosforipitoisuus on 212 µg/l. Viipymäksi oli arvioitu 0,13 vuotta ja laskennallinen retentio 29 %. Tarkistuksen vuoksi todettiin, että havaittu retentio oli 28 %. Näillä tiedoilla järven kokonaisfosforipitoisuudeksi tuli 153 µg/l, joka vastaakin aika hyvin todellisuutta, toki Haapajärven tilanne vaihtelee huomattavasti. Kun siis oli todettu, että malli vastaa aika hyvin todellisuutta, teimme simulaatioita. Tuolloin tavoitteena oli selvittää, millä reunaehdoilla Haapajärven tilaa voitaisiin parantaa oleellisesti nykyisestä. Havaittiin, että pelkästään jätevesien erittäin tehokkaalla puhdistamisella (90 % vähennys nykyiseen fosforikuormitukseen) järven tilaa voidaan toki parantaa, mutta perusilme säilyy edelleen erittäin rehevänä. Vasta kaiken ulkoisen kuormituksen oleellinen vähentäminen parantaisi tilannetta (-90%).

Aluksi ristiriitaisimmalta vaikutti se seikka, että **mikäli jätevedet johdettaisiin kokonaan pois, järven tila heikentyisi tehokkaaseen puhdistukseen verrattuna**. Pohdintojen jälkeen ajatus todettiin kuitenkin loogiseksi, sillä tehokkaasti puhdistettujen jätevesien pitoisuudet olisivat selvästi nykyisiä Rakkolanjoen (ja jopa Haapajärven) pitoisuuksia alempia. Tällöin ne **laimentaisivat tulovesiä vähentäen mm. hajakuormituksen vaikutuksia** Haapajärvessä. On myös tiedos-

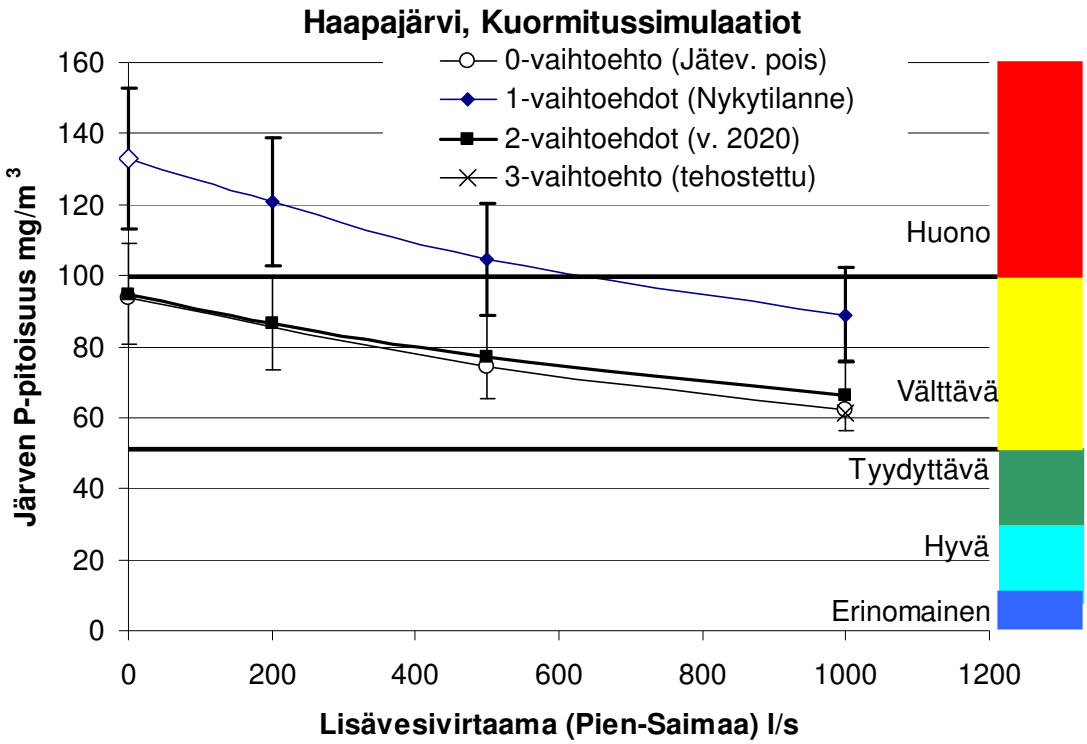
sa, että viipymän pidentyminen (veden vaihtuvuuden heikentyminen) heikentää järven kuormitussietoa.

Johtopäätöksemme olikin, että erittäin hyvin puhdistettujen jätevesien (pitoisuus alle 0,1 mg/l) merkitys Haapajärven tilanteeseen olisi positiivinen.

Toisessa vaiheessa, vuonna 2004 teimme alikonsulttina laskelmia Suunnittelukeskus Oy:lle, joka puolestaan teki tarkasteluja Haapajärven kunnostusmahdollisuuksista. Tällöin tarkastelimme tarkemmin mm. erilaisten jätevesiskenaarioiden vaikutuksia ja lisäksi mukana oli lisävesien johtamisen vaikutukset (taulukko 3).

Taulukko 3. Haapajärven tilan muutosarviointiin tehtyjen vuoden 2004 kuormitussimulaatioiden lähtötiedot.

Lisävesien ottopaikka	**Lisävesien määrä m^3/s**	**Jätevesikuormitus**	**Puhdistamolta tulevien vesien määrä**
a) Pien-Saimaa	i) 200	1) Tilanne vuonna 2001	Tilanne 2001:
b) Saimaan kanava	ii) 500	– Kok.P 7,7 kg/d	0,153 m^3/s
	iii) 1000	– Kok.N 308 kg/d	
		2) Ennuste vuodelle 2020	Ennuste vuodelle 2020:
		– Kok.P 2,2 kg/d	0,255 m^3/s
		– Kok.N 330 kg/d	



Kuva 4. Jätevesikuormitusmuutosten ja lisävesien johtamisen yhteisvaikutukset Lappeenrannan Haapajärven tilaan. Vuoden 2020 tilanne tarkoittaa jätevesien osalta tarkoittaa 0,1 mg/l pitoisuuksia ja 0,255 m^3/s vesimäärää, tehostettu-vaihtoehdossa vesimäärä sama, mutta pitoisuus 0,05 mg/l. Kuvassa on esitetty myös vesien yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaiset luokkarajat kokonaisfosforipitoisuuksille.

Yllä oleva kuvaaja on tehty samoilla perustiedoilla kuin vuoden 2003 simulaatiotkin. Laskelmien perusteella varmistui käsitys siitä, että jätevesien merkitys Haapajärven hydrologian kannalta on suuri. Näin ollen hyvin puhdistettuina jätevesien avulla saavutetaan samoja asioita kuin lisävesien johtamisella. Mikäli lisävedet johdettaisiin Pien-Saimaasta, ero olisi kohtalainen, mutta esimerkiksi Saimaan kanavan vesiin verrattuna hyvin puhdistettujen jätevesien kokonaisfosforipitoisuudet ovat vain noin kaksinkertaisia ja noin kolmasosa nykyisistä keskimääräisistä järvipitoisuuksista.

Lisävesien johtamisessa suurin hyöty saavutetaan silloin, kun johdettavien vesien laatu on mahdollisimman hyvä, sillä myös lisävesien mukana järveen tulee lisää kuormitusta (mm. Lappalainen 1990; Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet). Ääritapauksessa lähestytään tilannetta, jossa järven vesipitoisuudet vastaavat tulovesien pitoisuuksia. Tällöin voidaan käyttää termiä ”huuhteleminen” kuvaamaan tilannetta, jossa järvessä tapahtuvat ravinteiden kiertoprosessit ovat hitaampia kuin veden vaihtuvuudesta johtuva ravinteiden kierto. Käytännössä tähän tilanteeseen päästään kun viipymä on alle 10 päivän luokkaa. Haapajärven tapauksessa esimerkiksi viikon viipymää vastaava virtaama olisi noin 5,8 m^3/s. Koska tulovirtaama on tällä hetkellä noin 0,9 m^3/s, tarkoittaisi ko vaihtoehto noin 5 m^3/s lisävesien johtamistarvetta. Edellä esitetyn laskelman pohjalta voidaankin todeta, että Haapajärvelle suunnitellut lisävesien johtamistoimet ovat luonteeltaan laimentavia, eivät huuhtelevia. Tällöin on myös huomattava, että johdettavien lisävesien tulee olla laadultaan mahdollisimman hyviä.

4. Johtopäätökset

Yleisenä johtopäätöksenä Haapajärven tilasta ja rehevyysasteen vähentämismahdollisuuksista voidaan todeta seuraavaa:

- Rakkolanjokea myöten järveen tulevilla puhdistetuilla jätevesillä on suuri merkitys Haapajärven hydrologiaan ja vedenlaatuun. Noin 15 % vesivirtaamasta ja 47 % nykyisestä ulkoisesta fosforikuormituksesta muodostuu jätevesistä
- Ulkoisen kuormituksen vähennys auttaa parantamaan järven tilaa, mutta hyvin puhdistettujen jätevesien johtaminen kokonaan pois Haapajärvestä lisää viipymää ja korostaa hajakuormituksen merkitystä
    - Mikäli jätevedet johdettaisiin kokonaan pois, järven tila heikentyisi tehokkaaseen puhdistukseen verrattuna
    - Tehokkaasti puhdistettujen jätevesien pitoisuudet olisivat selvästi nykyisiä Rakkolanjoen (ja jopa Haapajärven) pitoisuuksia alempia. Tällöin ne laimentaisivat tulovesiä vähentäen mm. hajakuormituksen vaikutuksia
    - Hyvin puhdistetut jätevedet toimivat samoin kuin Pien-Saimaasta tai Saimaan kanavasta johdettavat lisävedet laimentaen järveen tulevia ravinnerikkaita vesiä
- Haapajärven huuhteleminen lisävesien avulla vaatisi noin 5 m^3/s lisävesien johtamista.

<u>Tehtyjen laskelmien ja muun aineiston pohjalta olen päätynyt seuraaviin ehdotuksiin:</u>

- Lappeenrannan kaupungin puhdistamolta lähtevien vesien fosforipitoisuudet tulee saada teknis-taloudellisesti järkevästi mahdollisimman alhaisiksi. Tavoitteena voidaan pitää alle 0,1 mg/l pääsyä (laskelmissa käytetyillä virtaamilla kuormitus olisi tällöin noin 1,6 kg/d). Hyvin puhdistetut vedet voidaan kuitenkin johtaa Rakkolanjokeen.
- Haapajärveen kohdistuvaa hajakuormitusta tulee pyrkiä vähentämään mahdollisimman paljon.
- Kuormituslaskelmien tulosten luotettavuuden lisäämiseksi Haapajärveen tulevien vesien määrää etenkin Rakkolanjoen osalta tulisi pyrkiä mittaamaan.
- Lisävesien johtamista voidaan kokeilla pienessä mittakaavassa, mutta yksinomaisena keinona se ei riitä. On myös huomattava, että järveen tulevan vesimäärän kasvaessa alapuolisen vesistön kuormitus kasvaa, sillä todennäköisesti järvipitoisuudet (ja edelleen poistuvien vesien) tulevat vähentymään hitaasti.
- Järven sisäisen kuormituksen vähentämiseen tähtääviin toimenpiteisiin ei kannata ryhtyä ennen kuin ulkoisen kuormituksen osuus on ratkaistu periaatteellisella tasolla. Pääargumenttina tähän ovat järven erittäin korkea ulkoinen kuormitus ja lyhyt viipymä, joiden takia järven voi olettaa palautuvan nopeasti ennen kunnostusta vallinneeseen huonoon tilaan. Ennen toimenpiteitä voidaan kuitenkin tehdä mm. pilottimittakaavan kokeita eri kunnostusmenetelmien (kuivatus, savipeitto, sedimentin stabilointi) onnistumismahdollisuuksista Haapajärven tapauksessa.

Kuopiossa 19.6.2006
Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd

Erkki Saarijärvi
Limnologi