



**Kymijoen**  
vesi ja ympäristö ry



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus

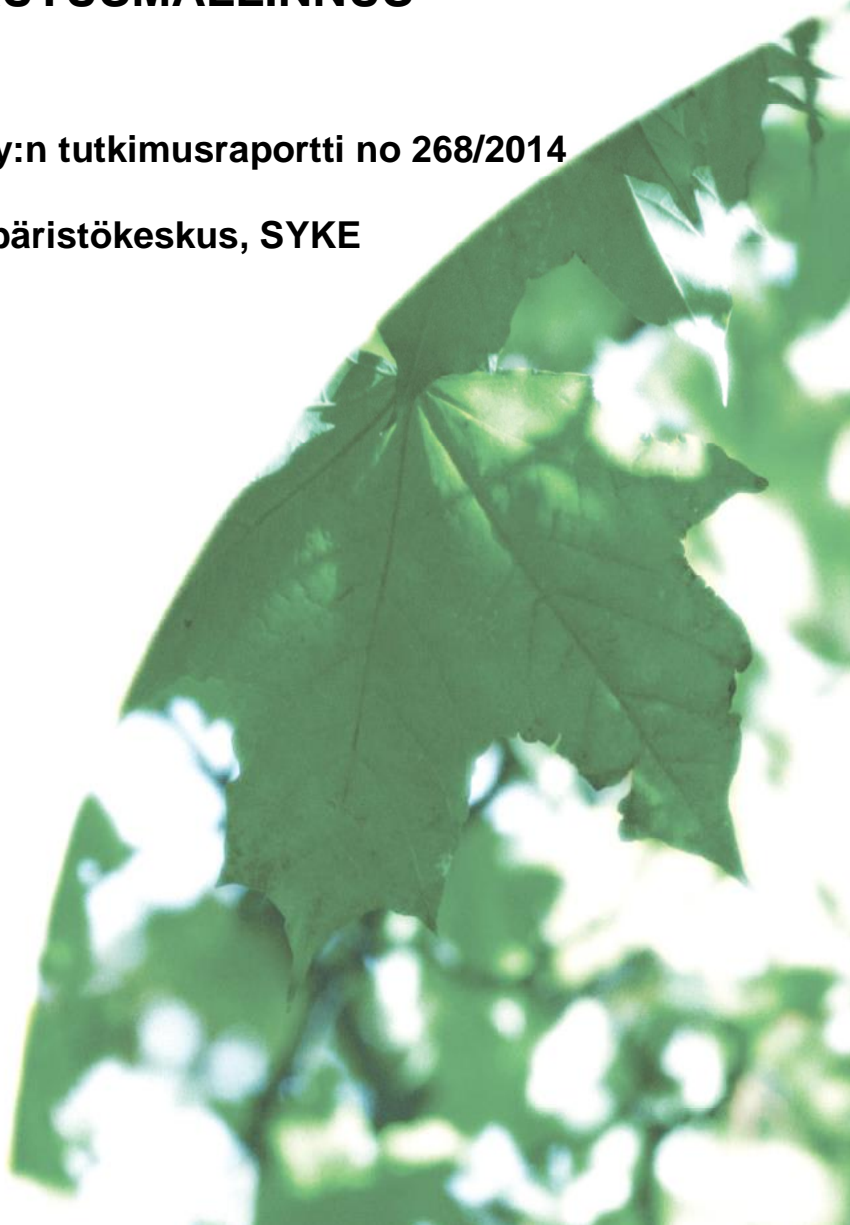


Euroopan maaseudun  
kehittämisen maatalousrahasto:  
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

## **SOMPASEN LLR-KUORMITUSVAIKUTUSMALLINNUS**

**Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 268/2014**

**Niina Kotamäki, Suomen ympäristökeskus, SYKE**



## JOHDANTO

Tämä työ on osa Kymijoen alueen järvikunnostushankkeessa laadittua Sompasen järven kunnostussuunnitelmaa. Työn tavoitteena on arvioida LLR-mallilla Sompasen ulkoisen kuormituksen määrää ja sen vähentämistarvetta, sekä arvioida sisäisen kuormituksen merkitystä järven tilaan ja kuormitusvähennyksiin. Mallin tuloksista saadaan tukea kunnostussuunnitelman toimenpidesuosituksen mitoittamiseen ja oikein kohdentamiseen.

LLR, eli Lake Load Response, on SYKEssä kehitetty mallinnustyökalu kuormitusvaikutusten arviointiin. LLR auttaa kuormitusvähennystarpeen arvioinnissa ja siten vesistöalueiden hoidon suunnittelussa ja siihen liittyvässä päätöksenteossa. LLR:llä lasketaan, miten ulkoinen kuormitus ja sen muutokset vaikuttavat vesimuodostuman kokonaisravinne- ja a-klorofyllipitoisuuksiin. LLR soveltuu erityisesti huonokuntoisten tai hyvän ja tyydyttävän tilan rajalla olevien järvien ja sisempien rannikkovesialueiden kuormitusvähennystavoitteiden laskemiseen sekä tueksi ekologisen tilan arviointiin.

LLR:n laskelmat perustuvat yksinkertaisiin yhteyksiin ravinnekuormituksen ja vedenlaadun välillä. Tunnettuihin ravinnetaseyhtälöihin perustuvan ravinteiden pidättymismallin avulla voidaan laskea vesimuodostuman kokonaisravinnepitoisuus. LLR:n fosforimalliin on lisätty myös sisäisen kuormituksen aiheuttama vaikutus. Ravinnekuormitusten avulla laskettuja kokonaisravinnepitoisuuksia käytetään vesimuodostuman a-klorofyllipitoisuuden laskentaan. Ravinteiden ja a-klorofyllin pitoisuuksien suhteesta saadaan edelleen johdettua yhteys kuormituksen ja a-klorofyllipitoisuuden välille. LLR:ssä olevien mallien tarkempi kuvaus ja sovellusesimerkkejä löytyy mm. seuraavista lähteistä Kotamäki (2014), Malve (2006) ja Pätynen (2009).

Lisätietoa myös SYKEN mallien ja työkalujen verkkosivuilla: [http://www.syke.fi/fi-fi/Tutkimus\\_kehittaminen/Itameri\\_vesistot\\_ja\\_vesivarat/Mallit\\_ja\\_tyokalut/Vesienhoidon\\_mallit/Kuormitusvaikutusmalli\\_LLRLR](http://www.syke.fi/fi-fi/Tutkimus_kehittaminen/Itameri_vesistot_ja_vesivarat/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Kuormitusvaikutusmalli_LLRLR)

## SYÖTTÖTIEDOT

Laskennan syöttötietoina tarvitaan tarkasteltavan vesimuodostuman keskisyvyys, tilavuus ja pintavesityyppi sekä mahdollisimman pitkät havaitut aikasarjat tulevasta kuormituksesta, lähtövirtaamasta ja edustavimman syvänteen kokonaisravinnepitoisuuksista. Lisäksi tarvitaan arvio sisäisen kuormituksen suuruusluokasta.

Nimi: Sompanen 14.121.1.001

Tyyppi: Pienet humusjärvet (Ph)

Tilavuus: 4,63 milj. m<sup>3</sup>

Keskisyvyys: 4,35 m

Viipymä: 1 vuosi (362 vrk)

Sisäisen P-kuormituksen alkuarvo: sisäinen kuormitus puolitoistakertainen ulkoiseen kuormitukseen verrattuna, eli tulevan P-kuorman mediaaniarvo 1,1 kg/d x 1,5.

Luokittelu (2006. 2012): Kokonaisluokka=Tyydyttävä, TotP=Hyvä, TotN=Hyvä, chl-a=Tyydyttävä

Kuormitusarvoina käytetään viipymäjaksolta arvioitua, järveen tulevaa keskimääräistä päivittäistä kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforikuormaa. Kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudeksi lasketaan viipymäjaksos keskiarvo, mutta laskennassa huomioidaan vain kasvukauden aikana tehtyjen näytteenottojen tulokset. Jos järvestä on havaintoja useasta eri paikasta, käytetään sen keskeisimmän syvänteen näytteenottotuloksia (tässä *Sompanen Huuhkajav 054*). Jos näytteenottotuloksia on lisäksi syvänteen eri syvyyksistä, lasketaan jokaiselle näytteenottokerralle niistä ensin erikseen tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 1).

Taulukko 1. Havaitut kokonaisfosfori- ja -tyypipitoisuudet pinnasta (1 m) ja pohjasta (7 m) sekä tilavuuspainotetut pitoisuudet.

vuosi	1m totN µg/l	7m totN µg/l	1m totP µg/l	7m totP µg/l	TILAVUUSPAINOTETUT	
					totN µg/l	totP µg/l
1994	360,0	310,0	32,0	23,0	359,5	31,9
1998	600,0	670,0	30,0	66,0	600,7	30,4
2000	690,0	860,0	34,0	35,0	691,7	34,0
2001	660,0	970,0	36,0	38,0	663,2	36,0
2002	785,0	1450,0	35,0	51,0	791,8	35,2
2003	635,0	1160,0	31,5	79,5	640,4	32,0
2004	980,0	1123,3	42,3	48,7	981,5	42,4
2005	755,0	1675,0	33,5	64,0	764,4	33,8
2006	645,0	580,0	22,5	21,5	644,3	22,5
2010	530,0	520,0	22,5	25,0	529,9	22,5
2013	703,3	1333,3	35,7	71,0	709,8	36,0
2014	610,0	700,0	27,0	48,0	610,9	27,2

Taulukkoon 2 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Sompaselle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia vuosikeskiarvoja ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko. syyskuu) keskiarvot. Kaikki tiedot ovat niiltä vuosilta, jolloin vesinäytteitä on otettu (vrt. Taulukko 1).

Taulukko 2. LLR-mallin syöttötiedot: kokonaistyyppikuormitus (LN, kg/d), kokonaisfosforikuormitus (LP, kg/d), tilavuuspainotettu kokonaistyyppipitoisuus (TotN, µg/l), tilavuuspainotettu kokonaisfosforipitoisuus (TotP, µg/l) ja lähtevä virtaama (Q, m<sup>3</sup>/s).

LN	LP	TotN	TotP	Q
15,96	1,58	359,49	31,91	0,13
17,46	1,18	600,72	30,37	0,18
31,03	2,33	691,74	34,01	0,19
10,19	0,75	663,17	36,02	0,14

10,82	0,63	791,79	35,16	0,12
14,27	0,90	640,36	31,99	0,09
18,31	1,05	981,46	42,40	0,20
15,64	0,94	764,40	33,81	0,14
30,95	2,12	644,34	22,49	0,14
14,77	0,62	529,90	22,53	0,11
18,53	1,34	709,77	36,03	0,13

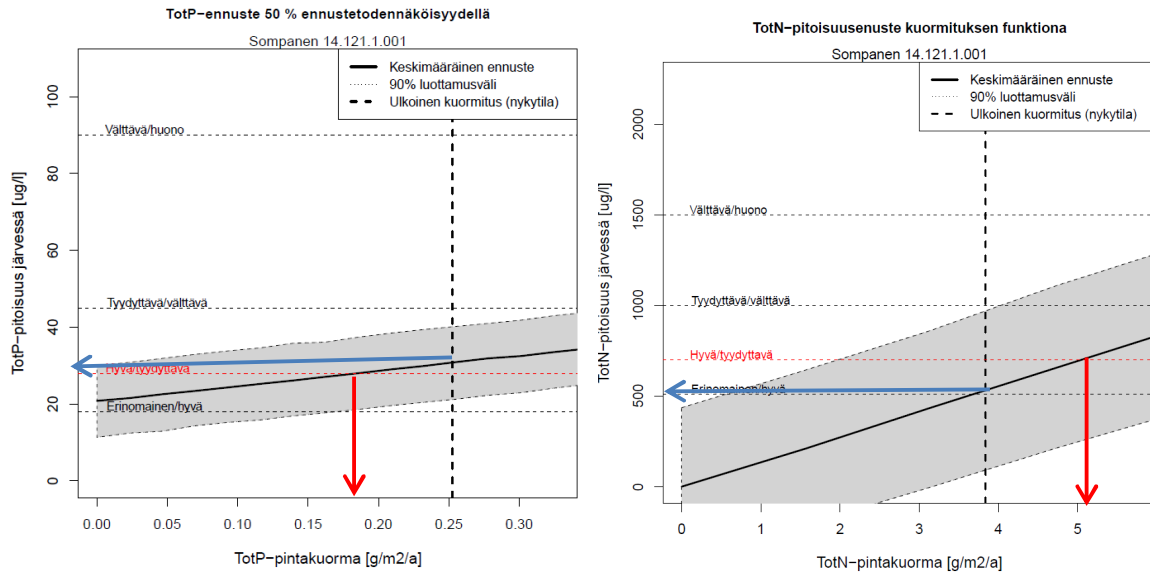
## TULOKSET

Taulukon 3 ja Kuvan 1 perusteella Sompasen keskimääräinen fosforipitoisuus on 31 µg/l eli järvi on tyydyttävässä tilassa fosforin perusteella. Kuormitus, jolla hyvään tilaan (H/T-raja-arvo 28 µg/l) päästään on 0,8 kg/d, eli noin 0,3 kg/d (27 %) vähemmän kuin nykyinen keskimääräinen kuormitus (1,1 kg/d). Annetun aineiston (Taulukko 2) ja sisäisen kuormituksen alkuarvon (1,1 kg/d x 1,5) perusteella malli laskee sisäisen kuormituksen arvoksi 2,2 kg/d. Typpipitoisuus on keskimäärin 530 µg/l, eli alle tavoitetaso.

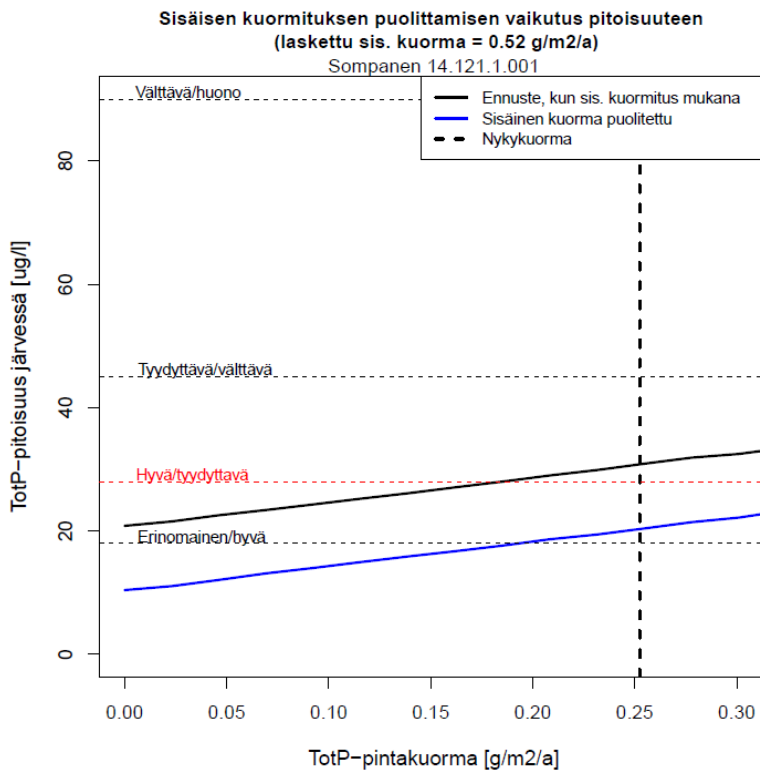
*Taulukko 3. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja typpikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m<sup>2</sup>/a). Pitoisuuden nykytilassa (µg/l) on mallin laskema keskimääräinen pitoisuus annetuilla kuormitustiedoilla. Sisäinen kuormitus on mallin laskema sisäisen kuormituksen arvo sekä päiväkuormana että pintakuormana.*

			Fosfori	Typpi	
Nykytila	Ulkoinen kuormitus	kg d <sup>-1</sup>	1,1	16	
		g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	0,25	3,84	
	Pitoisuusennuste		µg l <sup>-1</sup>	30,9	530
	Sedimentaationopeus (laskettu)		m d <sup>-1</sup>	0,061	0,011
	Sisäinen kuormitus	kg d <sup>-1</sup>	2,2	-	
g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>		0,52	-		
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d <sup>-1</sup>	0,8	20	
		g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	0,18	4,88	
	Pitoisuus (H/T-raja)		µg l <sup>-1</sup>	28	700
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d <sup>-1</sup>	0,3	-	
		g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	0,07	-	
		%	27	-	
	Pitoisuusvähennys		µg l <sup>-1</sup>	2,9	-

Sompasen sisäisen kuormituksen arvioitiin alustavasti olevan puolitoistakertainen ulkoiseen kuormitukseen verrattuna. Malli arvioi sisäisen kuormituksen annettujen lähtötietojen perusteella kuitenkin vielä jonkin verran suuremmaksi (0,52 g/m<sup>2</sup>/a, Kuva 2). Ilman ulkoisen kuormituksen vähentämistä mutta sisäisen kuormituksen puolittamisella tavoitetila voitaisiin saavuttaa, ja pitoisuusennuste olisi silloin n. 20 µg/l. Pienemmälläkin sisäisen kuorman vähennyksellä voitaisiin päästä hyvään tilaan.

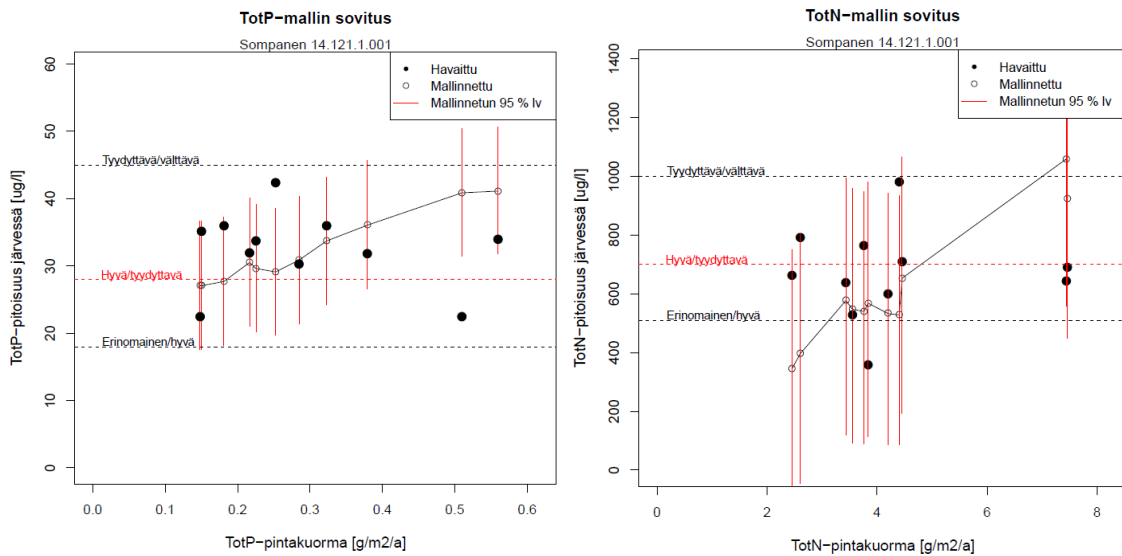


Kuva 1. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



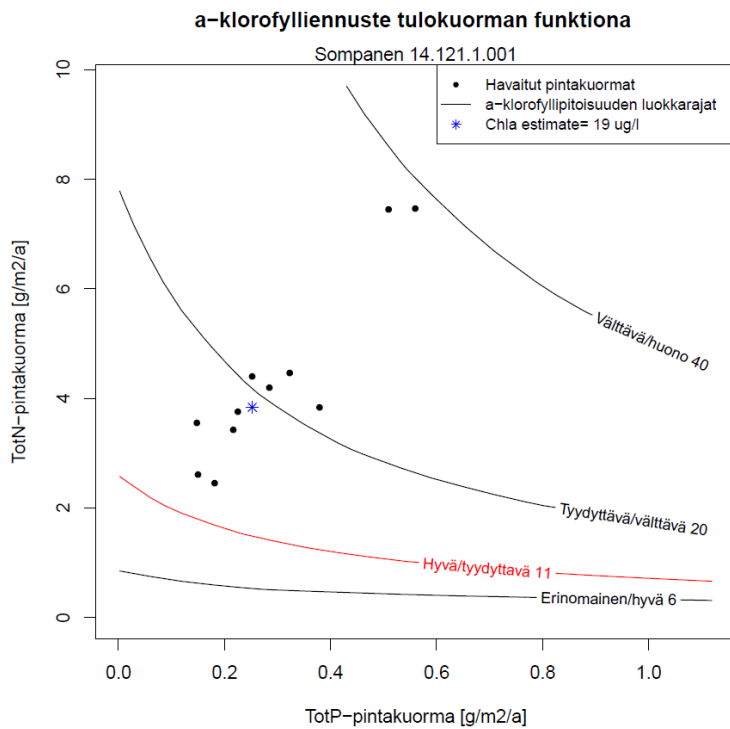
Kuva 2. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 3 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforimallin kuvasta nähdään, että fosforipitoisuuden vaste ulkoiseen fosforikuormitukseen on hyvin heikko. Näin ollen ulkoisen P-kuormituksen muutokset eivät vaikuta pitoisuuksiin kovin voimakkaasti. Tämä kuvastaa odotetusti sitä tilannetta, jossa sisäisellä kuormituksella on selkeä vaikutus järven fosforipitoisuuteen. Pitkän ajan fosforipitoisuudet vaihtelevat H/T-ajan molemmin puolin, enimmäkseen on mitattu kuitenkin tyydyttäviä pitoisuuksia (28. 45 µg/l). Typen osalta (Kuva 3, oikea) epävarmuus on suurempaa kuin fosforin osalta, heijastaen luonnollista vaihtelua sekä mallin ja havaintojen puutteellisuudesta aiheutuvaa epävarmuutta.

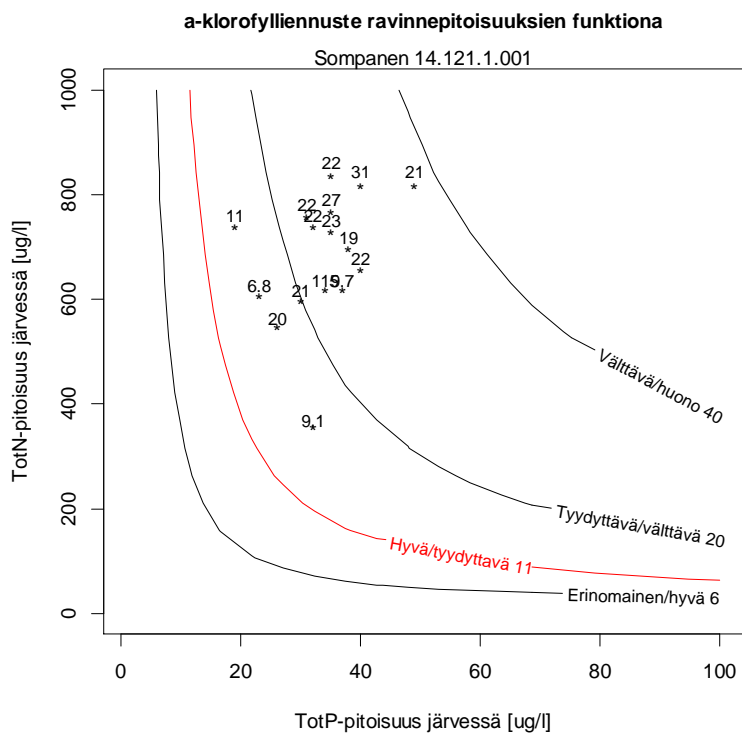


Kuva 3. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityyppikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

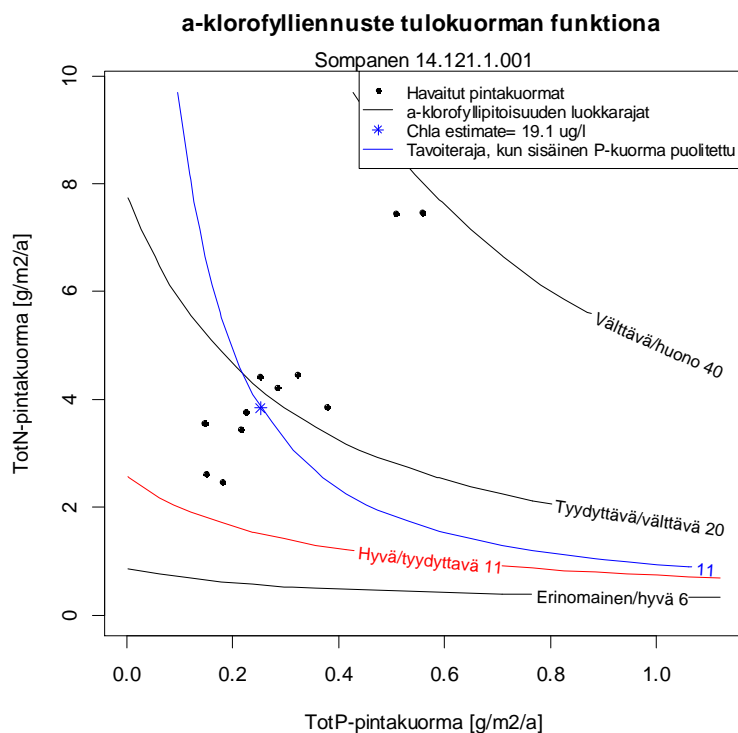
A-klorofyllipitoisuus annetuilla ulkoisen kuormituksen arvoilla on mallin mukaan 19 µg/l, joka siis ylittää selvästi raja-arvon (11 µg/l). Kuvasta 4 voidaan katsoa, minkälaisilla kuormitusyhdistelmillä päästäisiin tavoitettiin keskimäärin (punainen tasa-arvokäyrä). Tulosten mukaan tavoite saavutettaisiin tehokkaimmin vähentämällä typpikuormaa: jos fosforikuormitus ei muutu, niin typpikuormaa pitäisi vähentää yli 50 % nykyisestä. Tämä johtopäätös poikkeaa edellä esitetyistä ravinnepitoisuusvähennystuloksista, joiden mukaan typpikuormaa ei tarvitsisi vähentää lainkaan nykytasosta. Tämä ristiriita johtuu siitä, että sisäinen fosforikuorma puskuroi ulkoisen kuorman vaikutusta. Kuvan 4 mukaan järvi olisi siis typpirajoitteinen, mutta kun a-klorofyllipitoisuutta tarkastellaan ravinnepitoisuuksin suhteen, niin nähdäänkin selvä fosforirajoittuneisuus (Kuva 5). Näin ollen fosforipitoisuutta pienentämällä voidaan saavuttaa a-klorofyllin tavoitetilä. Kuvaan 6 on piirretty myös tavoitekuormituskäyrä tilanteessa, jossa sisäinen fosforikuormitus on puolitetty. Sisäisen kuorman puolittamisella a-klorofyllitavoite pystyttäisiin saavuttamaan.



Kuva 4. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyllipitoisuuden tyypikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitetila. Havaitut pintakuormayhdistelmät on merkitty pisteinä ja sininen tähti kuvastaa a-klorofyllipitoisuutta annetuilla keskimääräisillä kuormitusarvoilla.



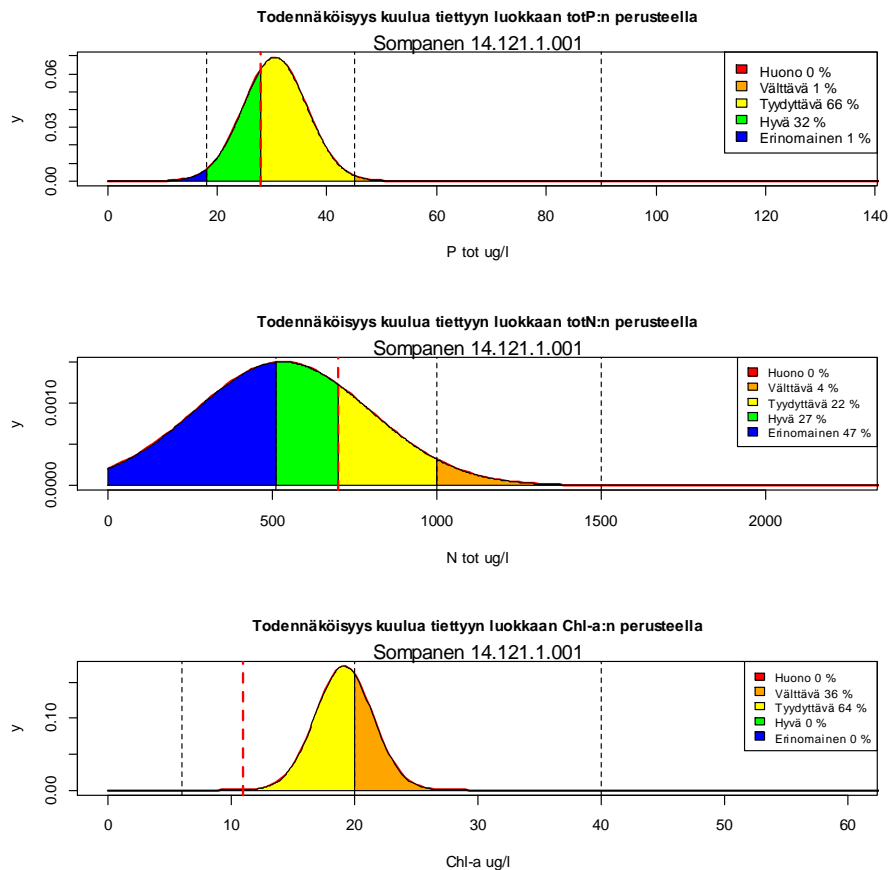
Kuva 5. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforipitoisuuksien funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyllipitoisuuden tyypikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitetila. Havaitut ravinnepitoisuusyhdistelmät on merkitty pisteinä ja lukuarvot ovat vastaavia havaittuja a-klorofyllipitoisuuksia.



Kuva 6. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyllipitoisuuden tyypikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitetilä alkuperäisillä ulkoisen ja sisäisen kuormituksen arvoilla ja sininen käyrä on tavoitetilä, kun sisäinen fosforikuorma olisi puolitettu. Havaitut pintakuormayhdistelmät on merkitty pisteinä ja sininen tähti kuvastaa a-klorofyllipitoisuutta annetuilla keskimääräisillä kuormitusarvoilla.

Kuvassa 7 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on 66 % todennäköisyydellä tyydyttävässä tilassa, mutta hyväkin tila saavutetaan 32 % todennäköisyydellä. Jotta järvi saataisiin keskimäärin hyvään tilaan, Taulukon 3 mukaiset ulkoisen fosforikuormituksen vähennykset tulisi tehdä (tai sisäisen kuormituksen vähennykset, Kuva 2). Typpipitoisuudet ovat suurimmaksi osaksi hyvää parempia (74 %), mutta tyydyttäviä ja välttäviä arvojakin mitataan annetuilla kuormilla (26 % varmuudella). Typpituloksen epävarmuus näkyy myös tässä leveänä jakaumana. A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset aiheuttavat liian suuria pitoisuuksia (tydyttävä 64 % ja välttävä 36 %).





Kuva 7. Kokonaisfosforin, -typen ja a-klorofyllin pitoisuuksien todennäköisyysjakaumat annetuilla kuormituksilla. Luokkarajat esitetty pystyviivoin (tavoiteraja, H/T, punainen katkoviiva) ja luokkien todennäköisyydet eri väreillä

## VIITTEET

Kotamäki, N., Pätynen A., Taskinen, A., Huttula, T. & Malve, O. Statistical Dimensioning of Nutrient Loading Reduction - LLR Assessment Tool for Lake Managers (Lähetetty Journal of Environmental Management -lehteen 8/2014)

Malve, O. & Qian, S. 2006. Estimating nutrients and chlorophyll *a* relationships in Finnish Lakes. Environ. Sci. Technol. 40:7848. 7853. DOI: 10.1021/es061359b

Pätynen, A. 2009. Tavoitekuormien määrittäminen vesipuitelaitosten mukaisessa vesialueiden hoidossa. Pro-gradututkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.