



Kymijoen
vesi ja ympäristö ry



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

MÄRKJÄRVEN LLR-KUORMITUSVAIKUTUSMALLINUS

Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 257/2014

Niina Kotamäki, Suomen ympäristökeskus, SYKE



JOHDANTO

Tämä työ on osa Kymijoen alueen järvikunnostushankkeessa laadittua Märkjärven kunnossuunnitelmaa. Työn tavoitteena on arvioida LLR-mallilla Märkjärven ulkoisen kuormituksen määrää ja sen vähentämistarvetta, sekä arvioida sisäisen kuormituksen merkitystä järven tilaan ja kuormitusvähennyksiin. Mallin tuloksista saadaan tukea kunnossuunnitelman 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 sovelusesimerkkejä 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

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: Märkjärvi 14.125.1.001

Tyyppi: Vähähumuksiset järvet (Vh)

Tilavuus: 18,28 milj. m³

Keskisyvyys: 4,35 m

Viipymä: 2 vuotta (792 vrk)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: 1,5-kertainen verrattuna ulkoisen kuormituksen mediaaniin (1,5*2,0 kg/d)

Luokittelu: Tyydyttävä (kokonaisluokka), (TotP=Hyvä, TotN=Hyvä, chl-a=Tyydyttävä)

Kuormitusarvoina käytetään viipymäjaksolta arvioitua, järveen tulevaa keskimääräistä päivittäistä kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforikuormaa. Kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudeksi lasketaan viipymäjakson keskiarvo, mutta laskennassa huomioidaan vain kasvukauden aikana tehtyjen näytteenottojen tulokset. Jos järvestä on havaintoja useasta eri paikasta, käytetään sen keskeisimmän syvänteen näytteenottotuloksia (tässä *Märkjärvi 034*). Koska näytteenottotuloksia on lisäksi syvänteen eri syvyyksistä (1 m, 8 m ja 14 m), lasketaan jokaiselle näytteenottovuodelle tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 1). Tilavuuspainotus on tehty käyttämällä järven hypsografian tilavuustietoja s.e että pohjan läheisen vesikerroksen ajatellaan olevan 1 m alimmaisena näytteenottosyvyyden molemmin puolin (13–15 m), 8 m näytteenottosyvyys edustaa vesikerrosta syvyyksien 7–13 m välillä ja pintakerros on joko 0–7 m tai 0–13 m riippuen siitä, onko 8 m:n näyte otettu vai ei.

Taulukko 1. Havaitut kokonaisfosfori- ja -tyyppipitoisuudet (µg/l) 1 m, 8 m ja 14 m syvyyksiltä, sekä näistä lasketut tilavuuspainotetut pitoisuudet.

vuosi	1m totN	8m totN	14m totN	1m totP	8m totP	14m totP	TILAVUUSPAINOTETUT	
							totN	totP
1998	410		950	22		64	416,4	22,5
2000	530		2500	22		330	553,3	25,6
2001	500		1325	18		161,5	509,7	19,7
2002	483,33		1210	19,5		125,5	491,9	20,8
2004	400		1000	16		38	407,1	16,3
2006	430		660	16		41	432,7	16,3
2007	570		880	19		45	573,7	19,3
2011	490	540	1300	18	27	48	505,3	19,4
2013	430		1000	18,5		56,5	436,7	18,9
2014	460	460	1045	15,5	17	130,5	466,9	17,0

Taulukkoon 2 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Märkjärvelle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia viipymääjan keskiarvoja ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko-syyskuu) keskiarvot. Viipymäaika on noin 2 vuotta, joten taulukon tiedot ovat kahden vuoden keskiarvoja 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, m³/s).

Jakso	LN	LP	TotN	TotP	Q
1998-1999	32,26	1,60	416,4	22,5	0,29
2000-2001	24,03	1,33	531,5	22,7	0,19
2002-2003	38,66	2,86	491,9	20,8	0,29
2004-2005	37,59	2,29	407,1	16,3	0,30
2006-2007	33,03	1,96	503,2	17,8	0,24
2010-2011	35,16	2,11	505,3	19,4	0,26
2012-2013	32,26	1,60	436,7	18,9	0,29

TULOKSET

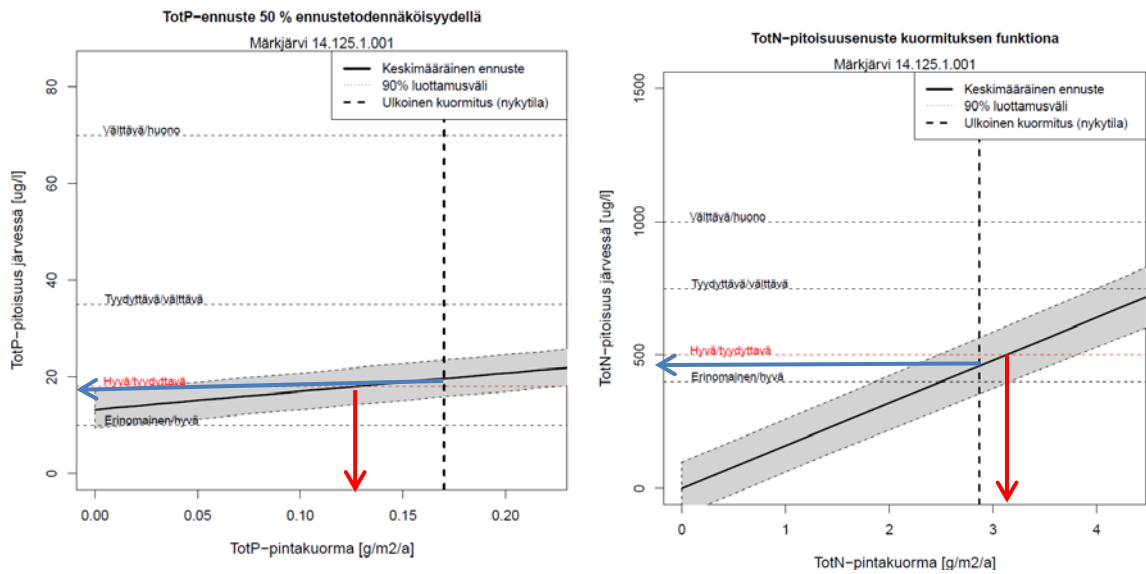
Taulukon 3 ja Kuvan 1 perusteella Märkjärven keskimääräinen fosforipitoisuus on 20 µg/l eli järvi on tyydyttävässä tilassa fosforin perusteella. Kuormitus, jolla hyvään tilaan (H/T-raja-arvo 18 µg/l) päästään on 1,5 kg/d, eli noin 0,5 kg/d (24 %) vähemmän kuin nykyinen keskimääräinen kuormitus (2,0 kg/d). Annetun aineiston (Taulukko 2) ja sisäisen kuormituksen alkuarvon (2,0 kg/d x 1,5) perusteella malli laskee sisäisen kuormituksen arvoksi 4,0 kg/d. Tyyppipitoisuus on keskimäärin 461 µg/l, eli jo alle tavoitetaso 500 µg/l.

Taulukko 3. LLR:n ravinne-mallin 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/m²/a). Pitoisuuden nykytilassa (µg/l) on mallin laskema keskimääräinen pitoisuus annetuilla kuormitustiedoilla. Sisäinen kuormitus on mallin laskema sisäisen kuormituksen arvo sekä päiväkuormana että pintakuormana.

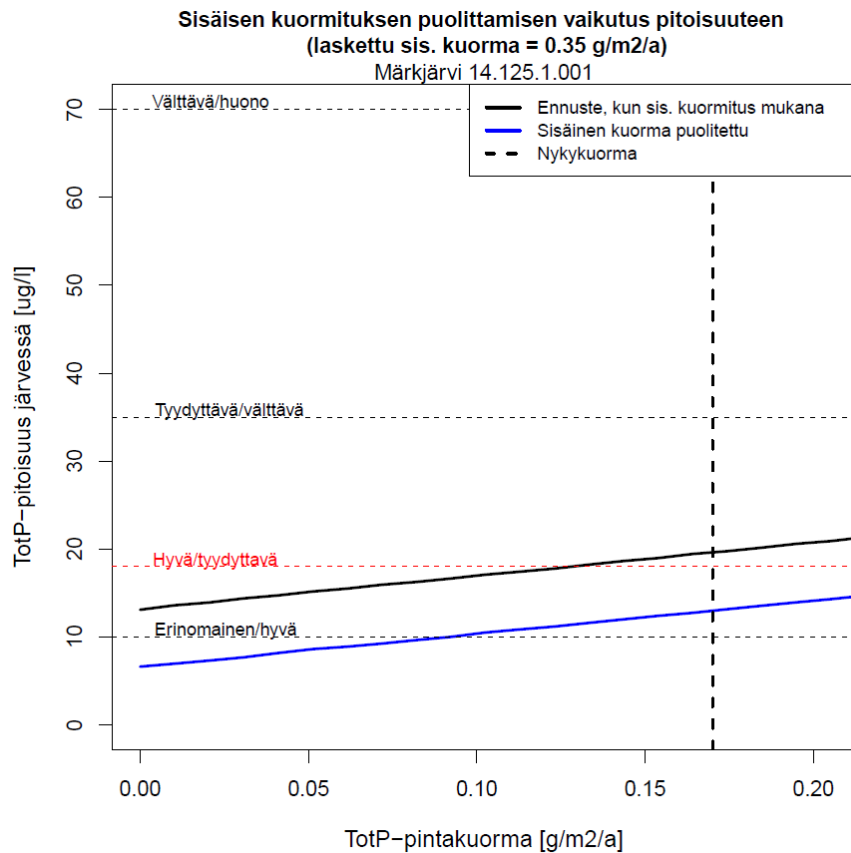
			Fosfori	Typpi	
Nykytila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	2	33	
		g m ⁻² a ⁻¹	0,17	2,87	
	Pitoisuusennuste		µg l ⁻¹	19,6	461,2
	Sedimentaationopeus (laskettu)		m d ⁻¹	0,067	0,012
	Sisäinen kuormitus	kg d ⁻¹	4		
g m ⁻² a ⁻¹		0,35			
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	1,5	35,8	
		g m ⁻² a ⁻¹	0,13	3,11	
	Pitoisuus (H/T-raja)		µg l ⁻¹	18	500
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,5		
		g m ⁻² a ⁻¹	0,04		
		%	24		
	Pitoisuusvähennys		µg l ⁻¹	1,6	

Märkjärven sisäisen kuormituksen arvioitiin alustavasti olevan puolitoistakertainen ulkoiseen kuormitukseen verrattuna (0,26 g/m²/a). Malli arvioi sisäisen kuormituksen annettujen lähtötietojen perusteella kuitenkin vielä jonkin verran suuremmaksi (0,35 g/m²/a, Kuva 2). Ilman ulkoisen kuormituksen vähentämistä, mutta sisäisen kuormituksen puolittamisella tavoitetila

voitaisiin saavuttaa, ja pitoisuusennuste olisi silloin n. 13 µg/l. Pienemmälläkin sisäisen kuorman vähennyksellä voitaisiin päästä hyvään tilaan.

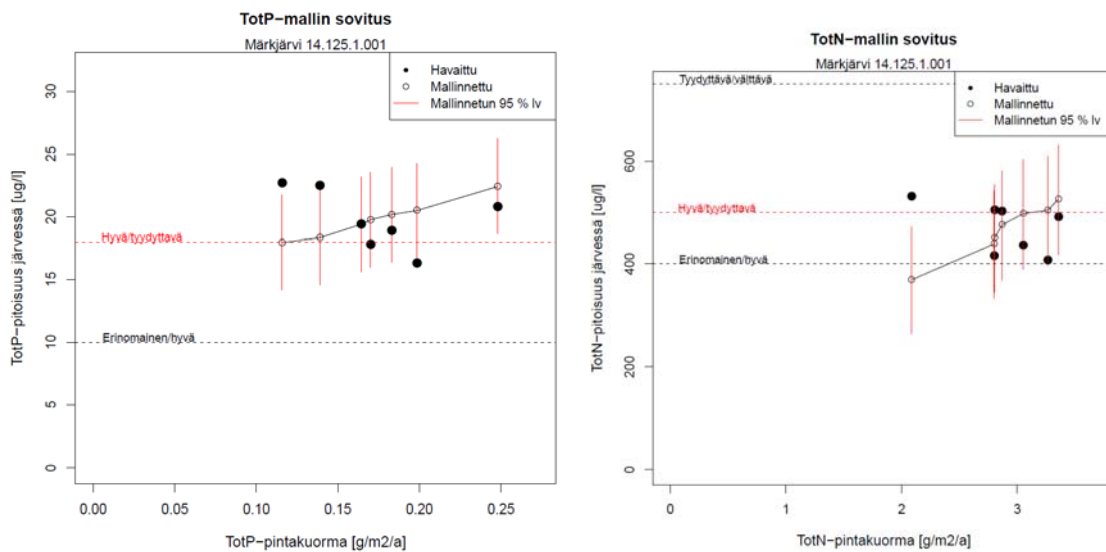


Kuva 1. kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



Kuva 2. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

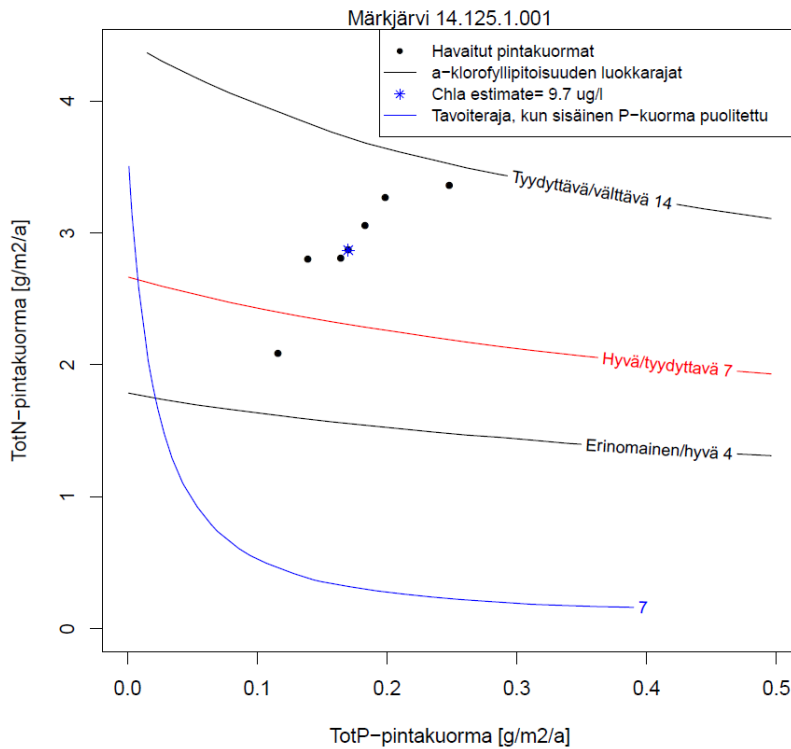
Kuvassa 3 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforimallin kuvasta nähdään, että fosforipitoisuuden vaste ulkoiseen fosforikuormitukseen on hyvin heikko. Näin ollen ulkoisen P-kuormituksen muutokset eivät vaikuta pitoisuuksiin kovin voimakkaasti. Tämä kuvastaa odotetusti sitä tilannetta, jossa sisäisellä kuormituksella on selkeä vaikutus järven fosforipitoisuuteen. Pitkän ajan fosforipitoisuudet vaihtelevat H/T-rajan tuntumassa, enimmäkseen on mitattu kuitenkin tyydyttäviä pitoisuuksia. Typen osalta (Kuva 3, oikea) havainnot vaihtelevat myös H/T-rajan molemmiin puoliin, painottuen kuitenkin hyvään tilaan. Kuvista nähdään, että epävarmuus on suurta (leveät luottamusvälit) 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.

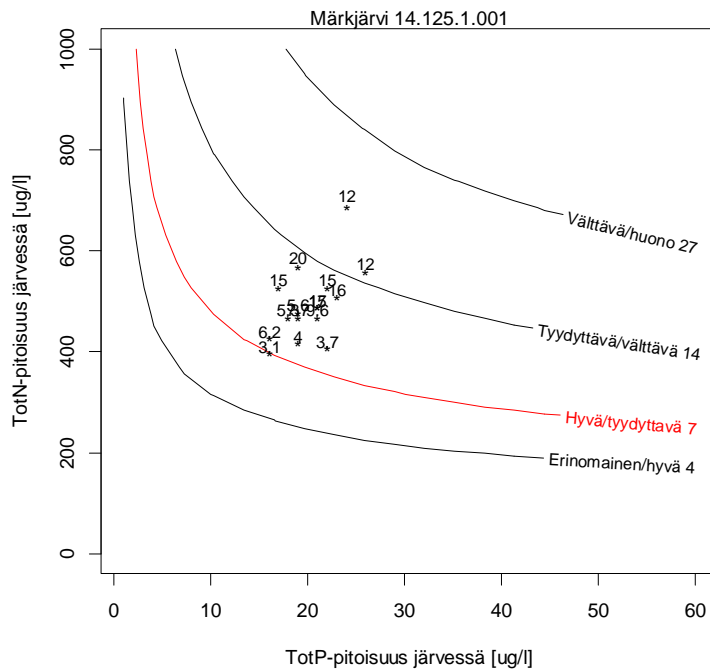
A-klorofyllipitoisuus annetuilla ulkoisen kuormituksen arvoilla on mallin mukaan 10 µg/l, joka siis ylittää raja-arvon (7 µg/l). Kuvasta 4 voidaan katsoa, minkälaisilla kuormitusyhdistelmillä päästäisiin tavoitettiin keskimäärin (punainen tasa-arvokäyrä). Tulosten mukaan tavoite saavutettaisiin tehokkaimmin vähentämällä typpikuormaa: jos fosforikuormitus ei muutu, niin typpikuormaa pitäisi vähentää vajaat 20 % 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 ravinnepitoisuuksien suhteen, niin nähdäänkin selvä fosforirajoittuneisuus (Kuva 5). Näin ollen myös fosforipitoisuutta pienentämällä voidaan saavuttaa a-klorofyllin tavoitetilä. Kuvaan 4 on piirretty myös tavoitekuormituskäyrä tilanteessa, jossa sisäinen fosforikuormitus on puolitetty. Todennäköisesti tavoitetilä pystyttäisiin saavuttamaan rajulla ulkoisen kuorman vähennyksellä, mutta järven sisäisten ja ulkoisten hoito- ja kunnostustoimenpiteiden tarkempi mitoitus ja kustannustehokas toteutus vaativat järven vesi- ja ravinnetaseiden ja vedenlaadun pidempiaikaista seurantaa.

a-klorofylliennuste tulokuorman funktiona



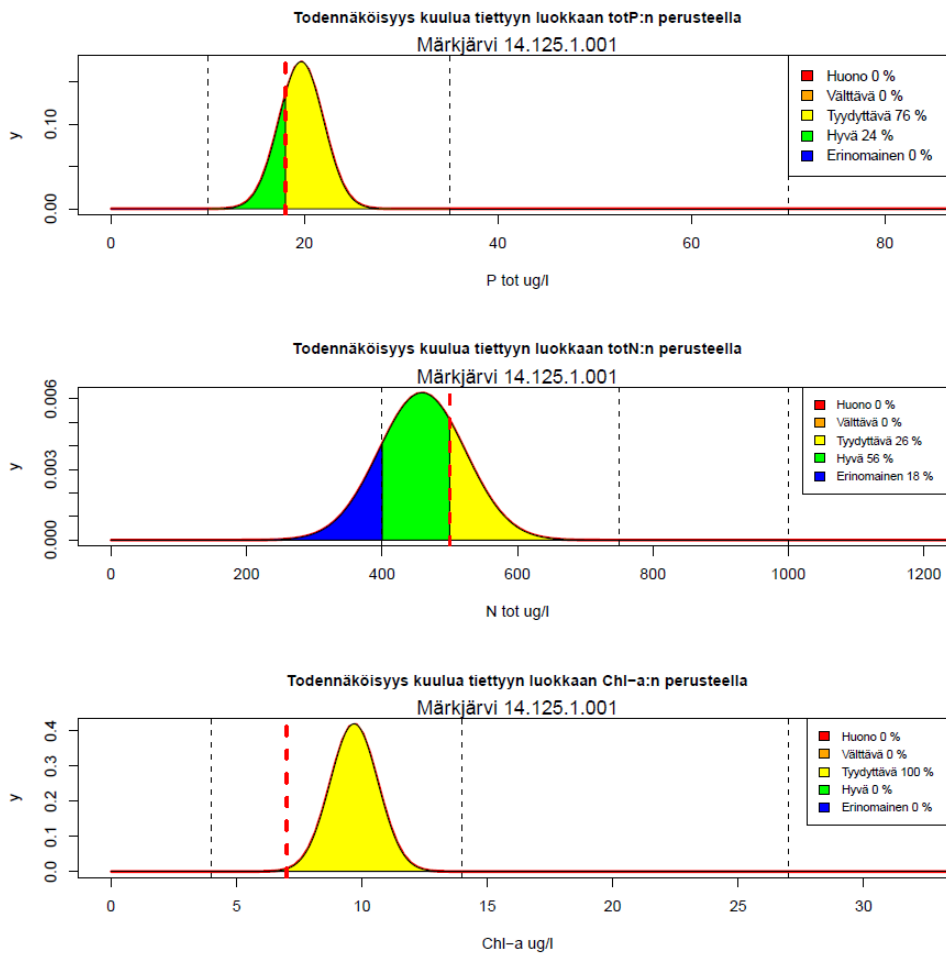
Kuva 4. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyllipitoisuuden tyypikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitetila alkuperäisillä ulkoisen ja sisäisen kuormituksen arvoilla ja sininen käyrä on tavoitetila, kun sisäinen fosforikuorma olisi puolitettu. Havaitut pintakuormayhdistelmät on merkitty pisteinä ja sininen tähti kuvastaa a-klorofyllipitoisuutta annetuilla keskimääräisillä kuormitusarvoilla.

a-klorofylliennuste ravinnepitoisuuksien funktiona



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.

Kuvassa 6 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on 76 % todennäköisyydellä tyydyttävässä tilassa, ja hyvä tila saavutetaan 24 % 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 hyviä tai erinomaisia (74 %), mutta tyydyttäviä ja välttäviä arvojakain mitataan annetuilla kuormilla (26 % varmuudella). A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset aiheuttavat liian suuria pitoisuuksia (tyydyttävä 100 %).



Kuva 6. 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 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 vesipuitedirektiivin mukaisessa vesialueiden hoidossa. Pro-gradututkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.