



Kymijoen
vesi ja ympäristö ry



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

SANIJÄRVEN, ENÄJÄRVEN JA PALONSELÄN LLR-KUORMITUSVAIKUTUSMALLINNUS

Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 289/2014

Niina Kotamäki, Suomen ympäristökeskus, SYKE



SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 SANIJÄRVI	1
2.1 SYÖTTÖTIEDOT	1
2.2 TULOKSET	3
3 ENÄJÄRVI	9
3.1 SYÖTTÖTIEDOT	9
3.2 TULOKSET	11
4 PALONSELKÄ	16
4.1 SYÖTTÖTIEDOT	16
4.2 TULOKSET	17
VIITTEET	21

1 JOHDANTO

Tämä työ on osa Kymijoen alueen järvikunnostushankkeessa laadittua Sani- ja Enäjärven ja Palonselän kunnostussuunnitelmaa. Työn tavoitteena on arvioida LLR-mallilla Enäjärven, Palonselän ja Sanijärven ulkoisen kuormituksen määrää ja sen vähentämistarvetta, sekä arvioida sisäisen kuormituksen merkitystä järvien tilaan ja kuormitusvähennyksiin. Mallin tuloksista saadaan tukea kunnostussuunnitelmien 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

2 SANIJÄRVI

2.1 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: Sanijärvi 13.002.1.009

Tyyppi: Matalat humusjärvet (Mh=8). Huom. edellisellä luokittelukierroksella Sanijärvi oli tyyppiä MRh (Matala runsashumuksinen järvi). A-klorofyllimallitarkastelu tehdään molemmille järvityypeille.

Tilavuus: 1,64 milj. m³

Keskisyvyys: 1,84 m

Viipymä: 1 vuosi (13 vrk, hyvin lyhytviipymäinen)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: puolet ulkoisesta

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 viipymäjaksos keskiarvo, mutta laskennassa huomioidaan vain kasvukauden aikana tehtyjen näytteenottojen tulokset. Sanijärvellä on kaksi lähellä toisiaan olevaa näytepistettä (*Sanijärvi 008 ja Sanijärvi 105*), joista on kaksi näytesyvyyttä ja kaksi näyttekertaa/vuosi. Laskentaa varten yhdistetään näiden näytepaikkojen tiedot. Koska näytteenottotuloksia on eri syvyyksistä, lasketaan jokaiselle näytteenottokerralle ensin erikseen tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 1). Tilavuuspainotus on tehty käyttämällä järven hypsografian tilavuustietoja s.e että pohjan läheinen vesikerros on alemman mittausyvyyden alla oleva vesi (3–4 m) ja loppu vesimassa (0–3 m) kuvaa pintahavainnon mukaista tilaa.

Taulukko 1. Havaitut kokonaisfosfori- ja -tyypipitoisuudet pinnasta ja pohjasta sekä tilavuuspainotetut pitoisuudet.

vuosi	Pinta totN µg/l	Pohja totN µg/l	Pinta totP µg/l	Pohja totP µg/l	TILAVUUSPAINOTETUT	
					totN µg/l	totP µg/l
1998	735	695	32	30	734,1	32,0
2000	620	746,67	28	29	623,0	28,0
2001	935	1260	37	47	942,7	37,2
2002	770	1030	33,67	32,33	776,1	33,6
2003	600	700	24	24	602,4	24,0
2004	1400	1400	38	31	1400,0	37,8
2005	730	730	28	26	730,0	28,0
2006	680	550	28	31	676,9	28,1
2007	900	620	25	23	893,4	25,0
2008	730	670	28	26	728,6	28,0
2009	590	730	29	30	593,3	29,0
2010	540	480	28	21	538,6	27,8
2011	620	1000	26	34	629,0	26,2
2012	640	640	35	30	640,0	34,9
2013	660	610	42	34	658,8	41,8

Taulukkoon 2 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Sanijärvelle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia vuosikeskiarvoja vuosilta 1998 sekä 2000–2013 ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko–syyskuu) keskiarvot vastaavilta vuosilta.

Taulukko 2. LLR-mallin syöttötiedot: kokonaistypikuormitus (LN, kg/d), kokonaisfosforikuormitus (LP, kg/d), tilavuuspainotettu kokonaistyyppipitoisuus (TotN, µg/l), tilavuuspainotettu kokonaisfosforipitoisuus (TotP, µg/l) ja lähtevä virtaama (Q, m³/s).

LN	LP	TotN	TotP	Q
118,21	4,53	734,1	32,0	1,42
121,33	4,41	623,0	28,0	1,55
88,67	3,57	942,7	37,2	1,11
75,18	2,98	776,1	33,6	0,90
67,22	3,15	602,4	24,0	0,91
155,82	5,99	1400,0	37,8	1,95
110,65	4,21	730,0	28,0	1,36
82,37	3,35	676,9	28,1	1,09
123,47	4,74	893,4	25,0	1,55
150,06	6,66	728,6	28,0	2,22
82,84	3,07	593,3	29,0	1,18
69,91	3,79	538,6	27,8	1,17
161,67	6,75	629,0	26,2	2,09
151,24	6,67	640,0	34,9	2,21
102,95	4,64	658,8	41,8	1,50

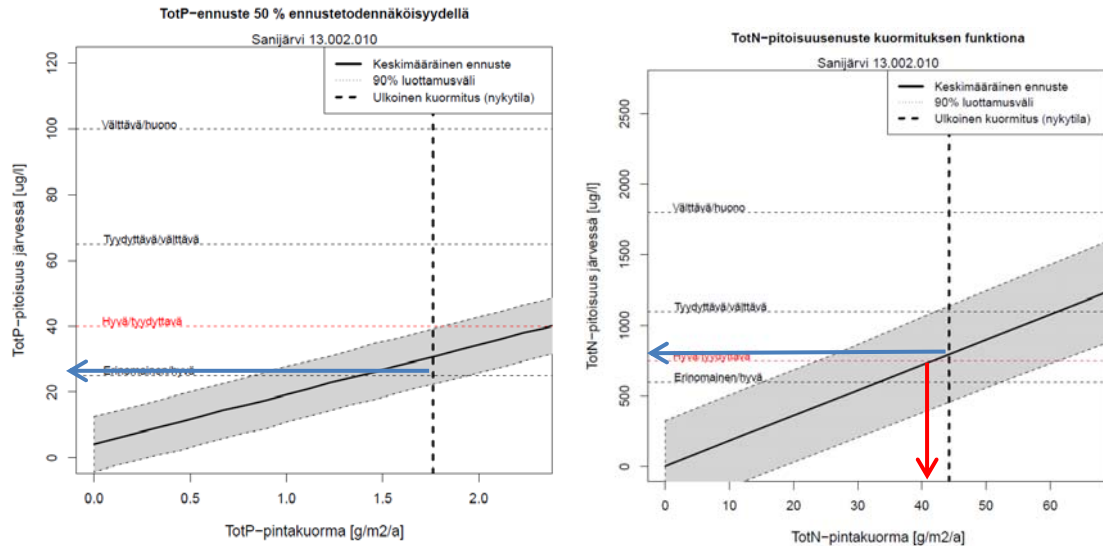
2.2 TULOKSET

Taulukon 3 ja Kuvan 1 perusteella Sanijärven keskimääräinen fosforipitoisuus on 30,8 µg/l eli järvi on keskimäärin hyvässä tilassa fosforin osalta (Mh-typin raja-arvojen perusteella). Tyyppipitoisuus on keskimäärin 797 µg/l, joka indikoi tyydyttävää tilaa kokonaistypen perusteella. Kuormitusvähennys tavoitteen (750 µg/l) saavuttamiseksi olisi 7 %, eli noin 8 kg/d.

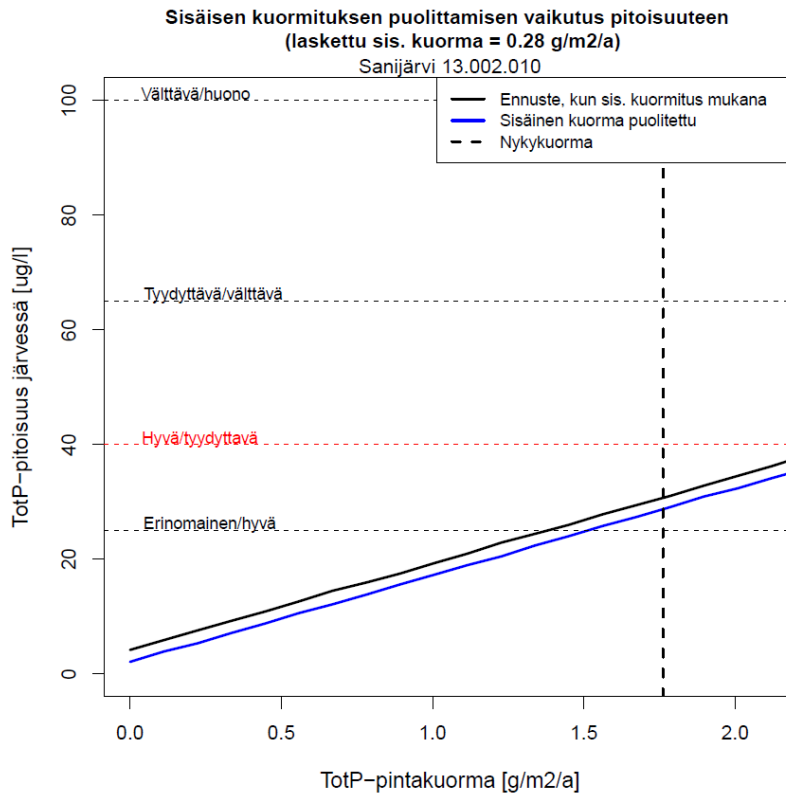
Taulukko 3. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja tyyppikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m²/a). Pitoisuuden nykytilassa (µg/l) on mallin laskema keskimääräinen pitoisuus annetuilla kuormitustiedoilla. Sisäinen kuormitus on mallin laskema sisäisen kuormituksen arvo sekä päiväkuormana että pintakuormana.

			Fosfori	Tyyppi	
Nykytila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	4,4	111	
		g m ⁻² a ⁻¹	1,76	44,23	
	Pitoisuusennuste		µg l ⁻¹	30,8	797
	Sedimentaationopeus (laskettu)		m d ⁻¹	0,047	0,016
	Sisäinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,7		
g m ⁻² a ⁻¹		0,28			
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	5,9	103	
		g m ⁻² a ⁻¹	2,37	41,25	
	Pitoisuus (H/T-raja)		µg l ⁻¹	40	750
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	-	8	
		g m ⁻² a ⁻¹	-	2,98	
		%	-	7	
	Pitoisuusvähennys		µg l ⁻¹	-	47

Sanijärven sisäisen kuormituksen arvioitiin alustavasti olevan puolet ulkoiseen kuormitukseen verrattuna (2,2 kg/d eli 0,88 g/m²/a). Malli arvioi sisäisen kuormituksen annettujen lähtötietojen perusteella vielä pienemmäksi (0,28 g/m²/a, Kuva 2). Sisäinen kuormitus ei vaikuttaisi tämän järven osalta olevan erityinen ongelma keskimääräisiä pitoisuuksia tarkasteltaessa.

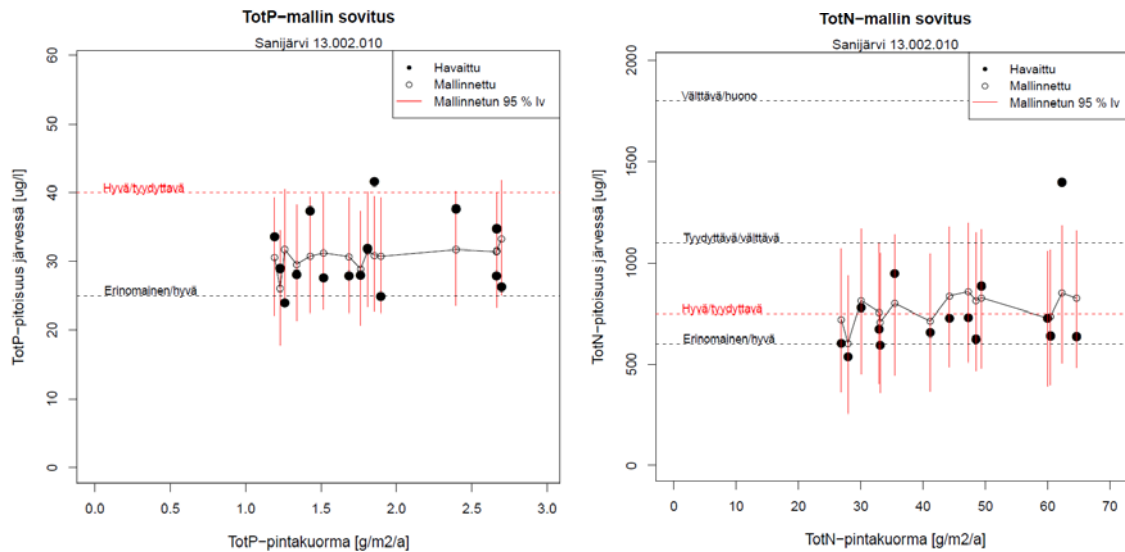


Kuva 1. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



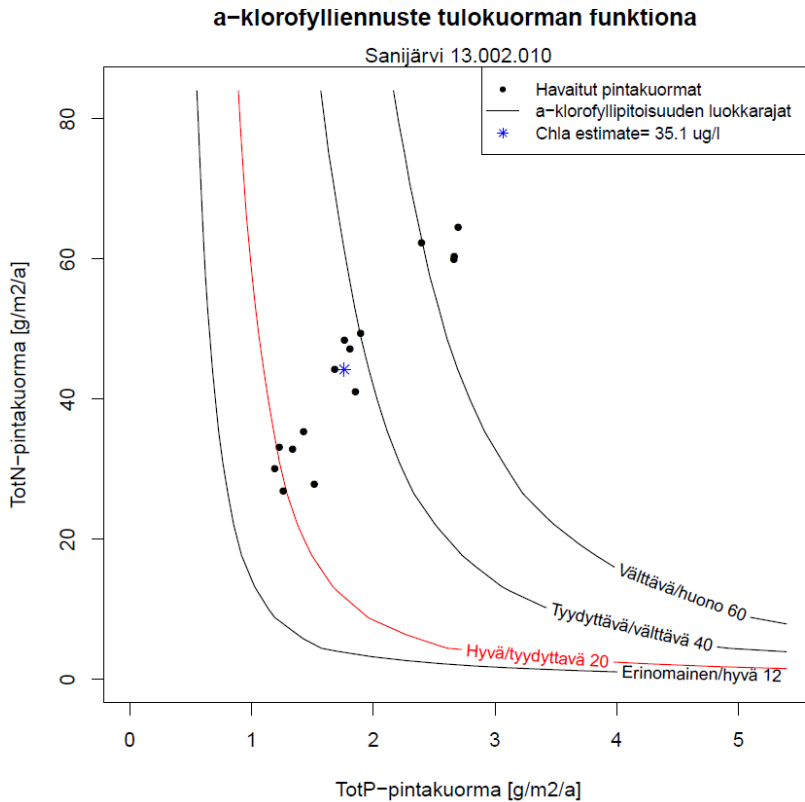
Kuva 2. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 3 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforimallin kuvasta (vasemmalla) nähdään, että fosforipitoisuuden vaste ulkoiseen fosforikuormitukseen ei ole kovin vahva ja vaihtelua on paljon. Näin ollen ulkoisen P-kuormituksen muutokset eivät vaikuta pitoisuuksiin kovin voimakkaasti. Toisaalta fosforin osalta pitkän ajan pitoisuudet ovat lähes poikkeuksetta H/T-rajan alapuolella. Tyypellä havainnot vaihtelevat erinomaisen ja välttävän tilan välillä (Kuva 3, oikea). Leveät luottamusvälit heijastavat sekä luonnollista vaihtelua että mallin ja havaintojen puutteellisuudesta aiheutuvaa epävarmuutta.



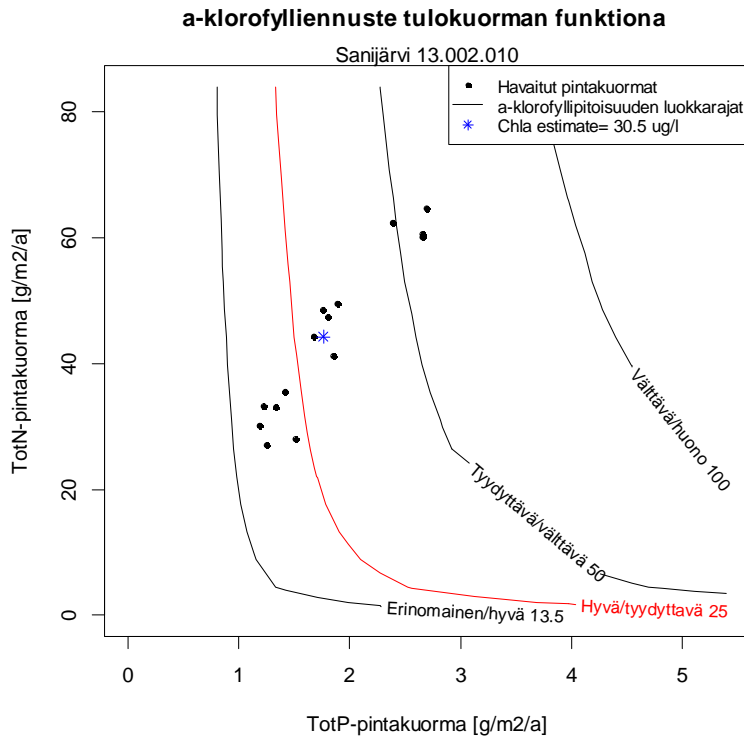
Kuva 3. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityyppikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

A-klorofyllin osalta Sanijärven kuormitusvähennyksiä tarkastellaan sekä nykyisen tyyppin (Mh), että toissijaisen tyyppin (MRh) perusteella. Kun Sanijärven on ajateltu olevan tyyppiä Mh, A-klorofyllipitoisuus annetuilla keskimääräisillä ulkoisen kuormituksen arvoilla on 35,1 µg/l, joka siis ylittää reilusti Mh-tyypin raja-arvon (20 µg/l). Kuvasta 4 voidaan arvioida, että vähentämällä fosforikuormitusta hieman yli 30 % päästäisiin hyvään tilaan a-klorofyllin osalta.



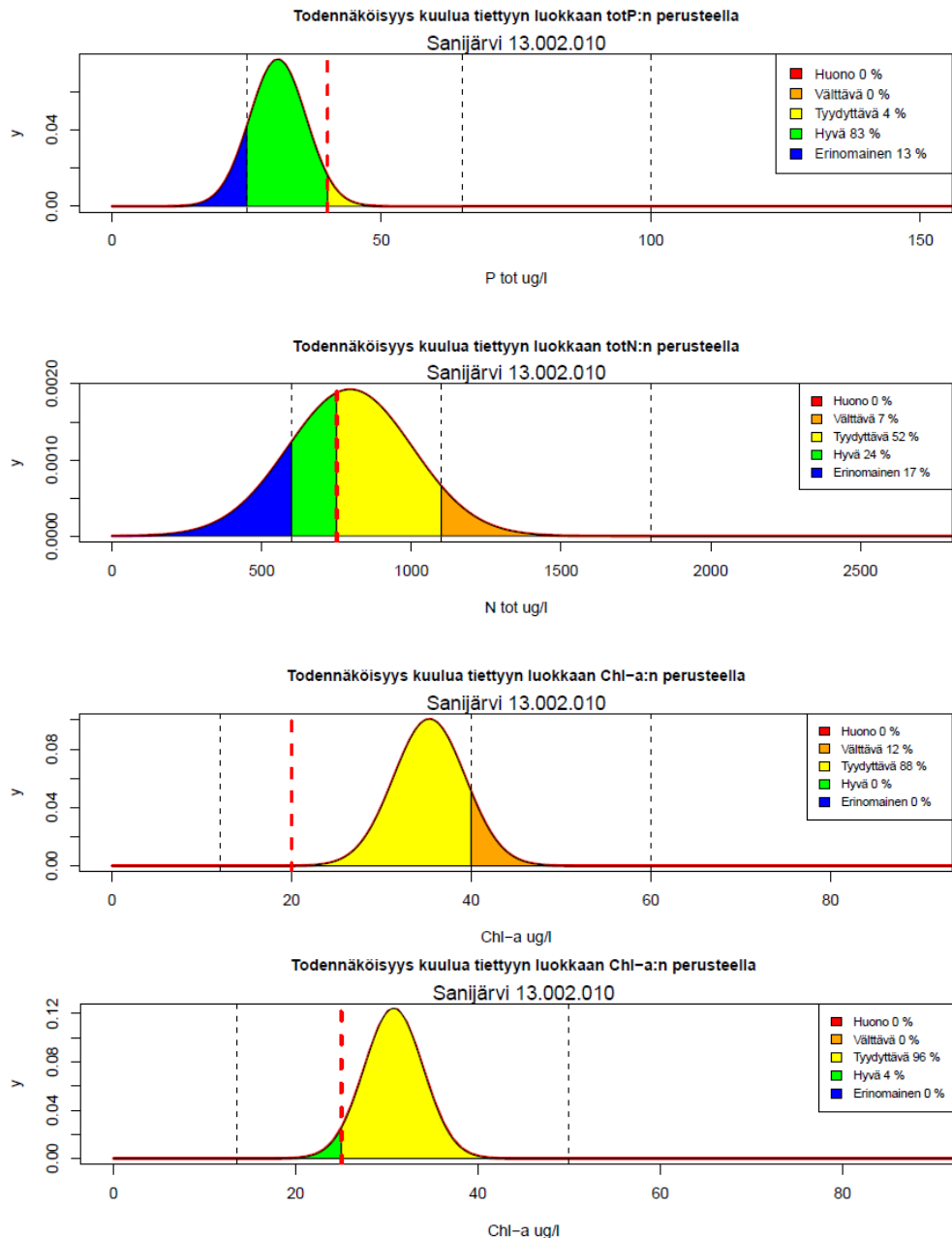
Kuva 4. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyllipitoisuuden tyyppikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitetila. Havaitut pintakuormayhdistelmät on merkitty pisteinä ja sininen tähti kuvastaa a-klorofyllipitoisuutta annetuilla keskimääräisillä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

Kun järven tyypiksi on asetettu MRh, niin fosforikuormitusvähennyksen tulisi olla vain reilut 10 % (Kuva 5). Tarvittava kuormitusvähennys on pienempi ensinnäkin siksi, että tyypin MRh raja-arvo on suurempi kuin Mh-tyypin raja-arvo. Lisäksi LLR:n klorofyllimalli huomioi järven tyypivaikutuksen klorofylliennusteessa. Kun järvi kuuluu MRh-tyyppiin, sen tyypikohtaiset korjaustermit ovat erilaiset kuin Mh-tyyppiin kuuluvalla järvellä.



Kuva 5. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona, kun järvi kuuluu tyyppiin matalat runsashumuksiset järvet (MRh). 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 nykyisellään.

Kuvassa 6 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on todennäköisimmin hyvässä tilassa (83 %). Typen osalta järvi on todennäköisimmin tyydyttävässä tilassa (52 %), vaikkakin raja-arvo alitetaan 41 %:ssa tapauksista. A-klorofylli on 88 % todennäköisyydellä tyydyttävä ja 12 % todennäköisyydellä välttävissä tilassa, kun järvi on tyyppiä Mh. Kun tyyppi on MRh, järvi on edelleen todennäköisimmin tyydyttävässä tilassa, mutta myös hyvän tilan saavuttamiseen on myös pieni todennäköisyys (4 %).



Kuva 6. Kokonaisfosforin, -typen ja a-klorofyllin pitoisuuksien todennäköisyysjakaumat annetuilla kuormituksilla. Luokkarajat esitetty pystyviivoin (tavoiteraja, H/T, punainen katkoviiva) ja luokkien todennäköisyydet eri väreillä. A-klorofyllin osalta todennäköisyysjakaumat ja raja-arvot on esitetty sekä tyyppiä Mh (ylempi klorofyllikuva) ja tyyppiä MRh (alempi klorofyllikuva).

3 ENÄJÄRVI

3.1 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: Enäjärvi 13.002.1.009

Tyyppi: Matalat runsashumuksiset järvet (MRh)

Tilavuus: 2,1 milj. m³

Keskisyvyys: 1,25 m

Viipymä: 1 vuosi (11 vrk, hyvin lyhytviipymäinen)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: puolet ulkoisesta keskimääräisestä fosforikuormituksesta, eli 4,2 kg/d

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

Kuormitusarvoina käytetään viipymäjaksolta arvioitua, järveen tulevaa keskimääräistä päivittäistä kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforikuormaa. Kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudeksi lasketaan viipymäjaksion keskiarvo, mutta laskennassa huomioidaan vain kasvukauden aikana tehtyjen näytteenottojen tulokset. Jos järvestä on havaintoja useasta eri paikasta, käytetään sen keskeisimmän syvänteen näytteenottotuloksia (*tässä Enäjärvi Kotoselkä 007*). Jos näytteenottotuloksia on lisäksi syvänteen eri syvyyksistä, lasketaan jokaiselle näytteenottokerralle niistä ensin erikseen tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 4). Tilavuuspainotus on tehty käyttämällä järven hypsografian tilavuustietoja s.e että pohjan läheinen vesikerros on alemman mittaussyvyyden alla oleva vesi (2–3 m) ja loppu vesimassa (0–2 m) kuvaa pintahavainnon mukaista tilaa.

Taulukko 4. Havaitut kokonaisfosfori- ja -tyyppipitoisuudet pinnasta (1m) ja pohjasta (2m) sekä tilavuuspainotetut pitoisuudet.

vuosi	Pinta totN µg/l	Pohja totN µg/l	Pinta totP µg/l	Pohja totP µg/l	TILAVUUSPAINOTETUT	
					totN µg/l	totP µg/l
1991	1300		41		1300,0	41,0
1992	540		49		540,0	49,0
1993	640		45		640,0	45,0
1994	810		53		810,0	53,0
1995	720		42		720,0	42,0
1996	1400		54		1400,0	54,0
1997	750	780	47	49	751,5	47,1
1998	1345	1700	72,5	140	1362,7	75,9
1999	600	600	49	48	600,0	49,0
2000	880	1000	40,33	45	886,0	40,6
2001	1215	1000	51	56	1204,3	51,2

2002	740	730	43	37	739,5	42,7
2003	1200	1100	41	44	1195,0	41,1
2004	1400	1400	55	61	1400,0	55,3
2005	1400	1300	48	48	1395,0	48,0
2006	710	780	58	56	713,5	57,9
2007	920	910	49	48	919,5	49,0
2008	780	770	51	53	779,5	51,1
2009	730	690	43	43	728,0	43,0
2010	860	760	55	55	855,0	55,0
2011	700	950	48	46	712,5	47,9
2012	950	900	67	62	947,5	66,8
2013	840	810	45	49	838,5	45,2

Taulukkoon 5 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Enäjärvelle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia vuosikeskiarvoja jaksolta 1991–2013 ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko-syyskuu) keskiarvot vuosilta 1991–2013.

Taulukko 5. LLR-mallin syöttötiedot: kokonaistypikuormitus (LN, kg/d), kokonaisfosforikuormitus (LP, kg/d), tilavuuspainotettu kokonaistyyppipitoisuus (TotN, µg/l), tilavuuspainotettu kokonaisfosforipitoisuus (TotP, µg/l) ja lähtevä virtaama (Q, m³/s).

LN	LP	TotN	TotP	Q
212,30	8,64	1300,0	41,0	2,18
202,95	8,32	540,0	49,0	2,08
125,02	5,27	640,0	45,0	1,34
207,47	8,41	810,0	53,0	2,08
229,59	9,56	720,0	42,0	2,44
200,12	9,98	1400,0	54,0	2,27
132,07	5,84	751,5	47,1	1,53
224,51	9,43	1362,7	75,9	2,32
134,91	6,28	600,0	49,0	1,48
206,55	8,36	886,0	40,6	2,24
154,65	6,58	1204,3	51,2	1,69
116,85	4,70	739,5	42,7	1,27
131,10	6,48	1195,0	41,1	1,40
286,36	12,12	1400,0	55,3	2,99
186,87	8,01	1395,0	48,0	2,02
149,56	6,34	713,5	57,9	1,59
220,45	9,82	919,5	49,0	2,36
294,27	13,29	779,5	51,1	3,33
154,16	6,57	728,0	43,0	1,77
145,71	7,20	855,0	55,0	1,75
309,67	13,82	712,5	47,9	3,20
294,31	13,90	947,5	66,8	3,41
200,44	9,14	838,5	45,2	2,29

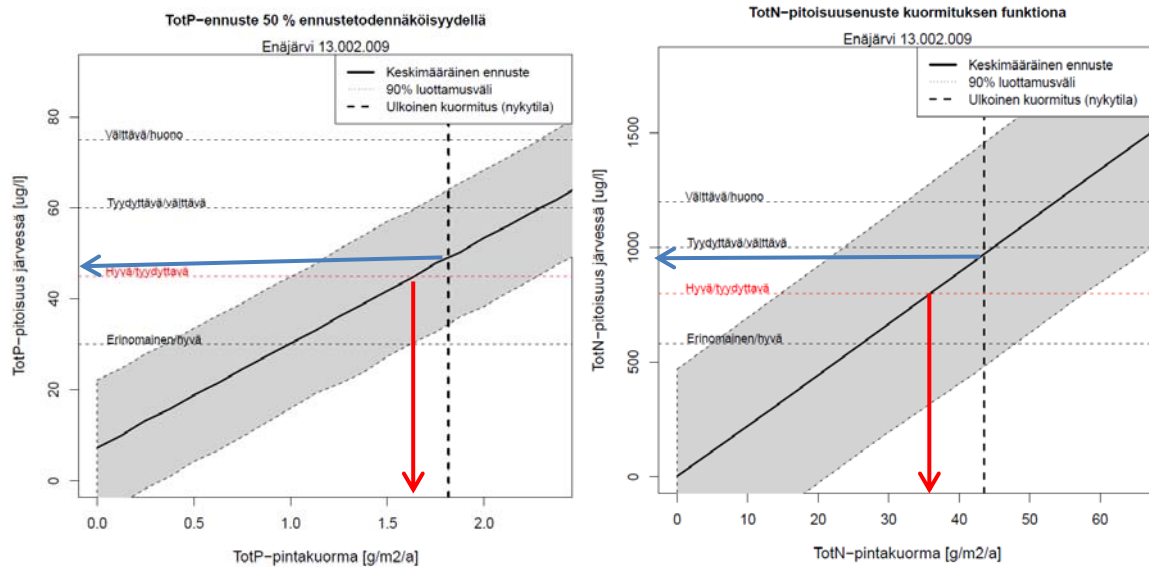
3.2 TULOKSET

Taulukon 6 ja Kuvan 7 perusteella Enäjärven keskimääräinen fosforipitoisuus on 49 µg/l eli järvi on keskimäärin tyydyttävässä tilassa. Kuormitus, jolla hyvään tilaan (H/T-raja-arvo 45 µg/l) päästään on 7,5 kg/d, eli noin 0,9 kg/d (10 %) vähemmän kuin nykyinen keskimääräinen kuormitus (8,4 kg/d). Annetun aineiston (Taulukko 5) ja sisäisen kuormituksen alkuarvon (4,2 kg/d) perusteella malli laskee sisäisen kuormituksen arvoksi 1,4 kg/d. Typpipitoisuus on keskimäärin 971 µg/l, joka indikoi tyydyttävää tilaa kokonaistypen perusteella. Kuormitusvähennys typpitavoitteen (800 µg/l) saavuttamiseksi olisi 19 %.

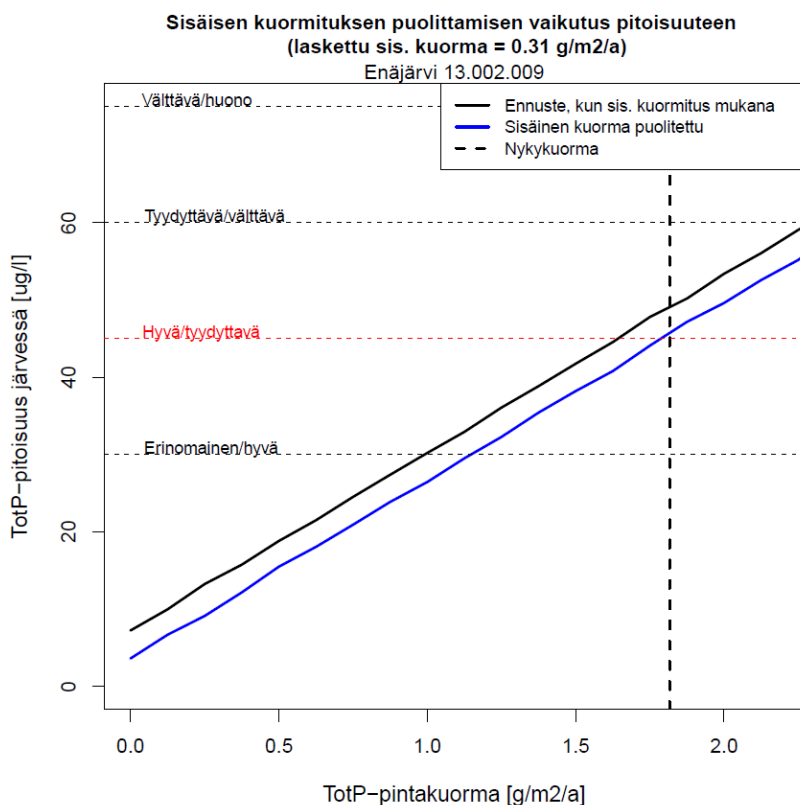
Taulukko 6. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja typpikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m²/a). Pitoisuusennuste 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	8,4	200	
		g m ⁻² a ⁻¹	1,82	43,55	
	Pitoisuusennuste		µg l ⁻¹	48,8	971
	Sedimentaationopeus (laskettu)		m d ⁻¹	0,012	0,014
	Sisäinen kuormitus	kg d ⁻¹	1,4		
g m ⁻² a ⁻¹		0,31			
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	7,5	163	
		g m ⁻² a ⁻¹	1,63	35,46	
	Pitoisuus (H/T-raja)		µg l ⁻¹	45	800
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,9	37	
		g m ⁻² a ⁻¹	0,19	8,09	
		%	10	19	
	Pitoisuusvähennys		µg l ⁻¹	3,8	171

Enäjärven sisäisen kuormituksen arvioitiin alustavasti olevan puolet ulkoiseen kuormitukseen verrattuna (4,2 kg/d eli 1,4 g/m²/a). Malli arvioi sisäisen kuormituksen annettujen lähtötietojen perusteella vielä jonkin verran pienemmäksi (0,31 g/m²/a, Kuva 8). Ilman ulkoisen kuormituksen vähentämistä, mutta sisäisen kuormituksen puolittamisella tavoitetila voitaisiin lähes saavuttaa.

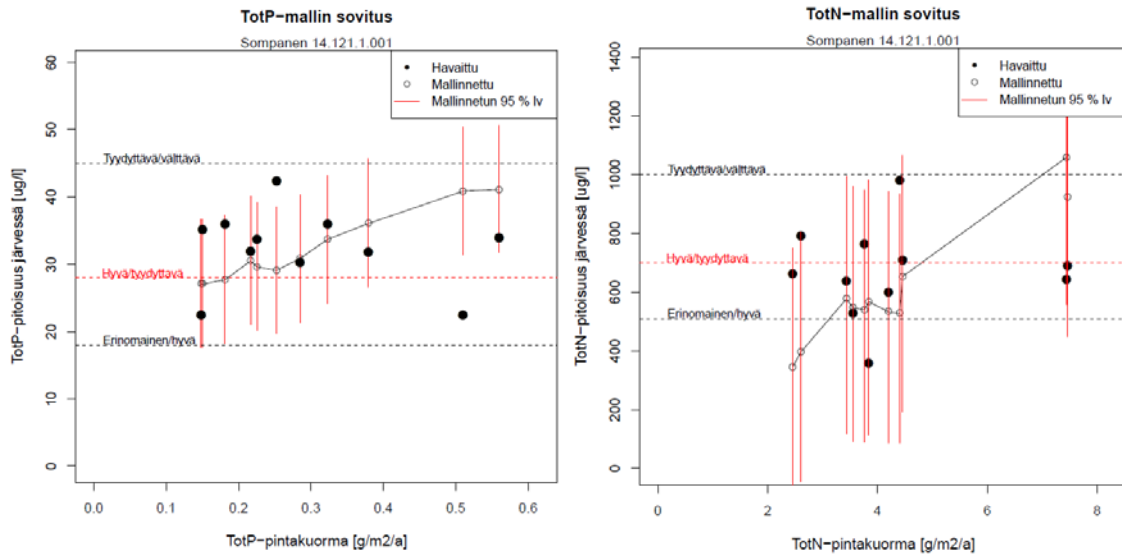


Kuva 7. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



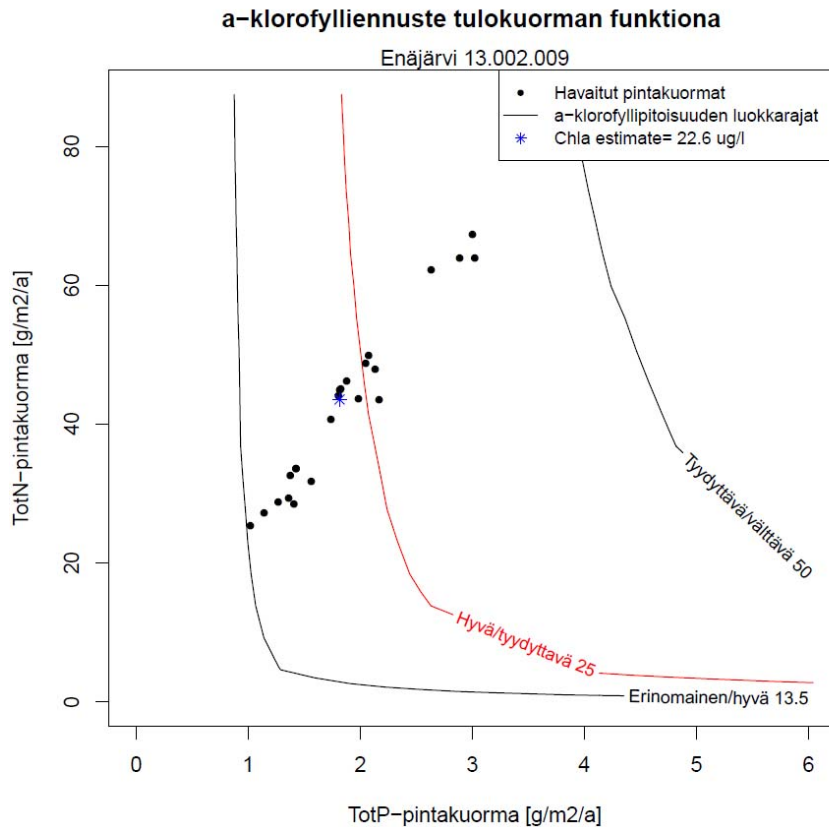
Kuva 8. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 9 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforimallin kuvasta (vasemmalla) nähdään, että fosforipitoisuuden vaste ulkoiseen fosforikuormitukseen ei ole kovin vahva ja vaihtelua on paljon. Näin ollen ulkoisen P-kuormituksen muutokset eivät vaikuta pitoisuuksiin kovin voimakkaasti. Fosforin osalta pitkän ajan pitoisuudet vaihtelevat H/T-rajan molemmin puolin. Typellä vaihtelu on jopa voimakkaampaa: havainnot vaihtelevat erinomaisen ja huonon tilan välillä (Kuva 9, oikea). Leveät luottamusvälit heijastavat sekä luonnollista vaihtelua että mallin ja havaintojen puutteellisuudesta aiheutuvaa epävarmuutta.



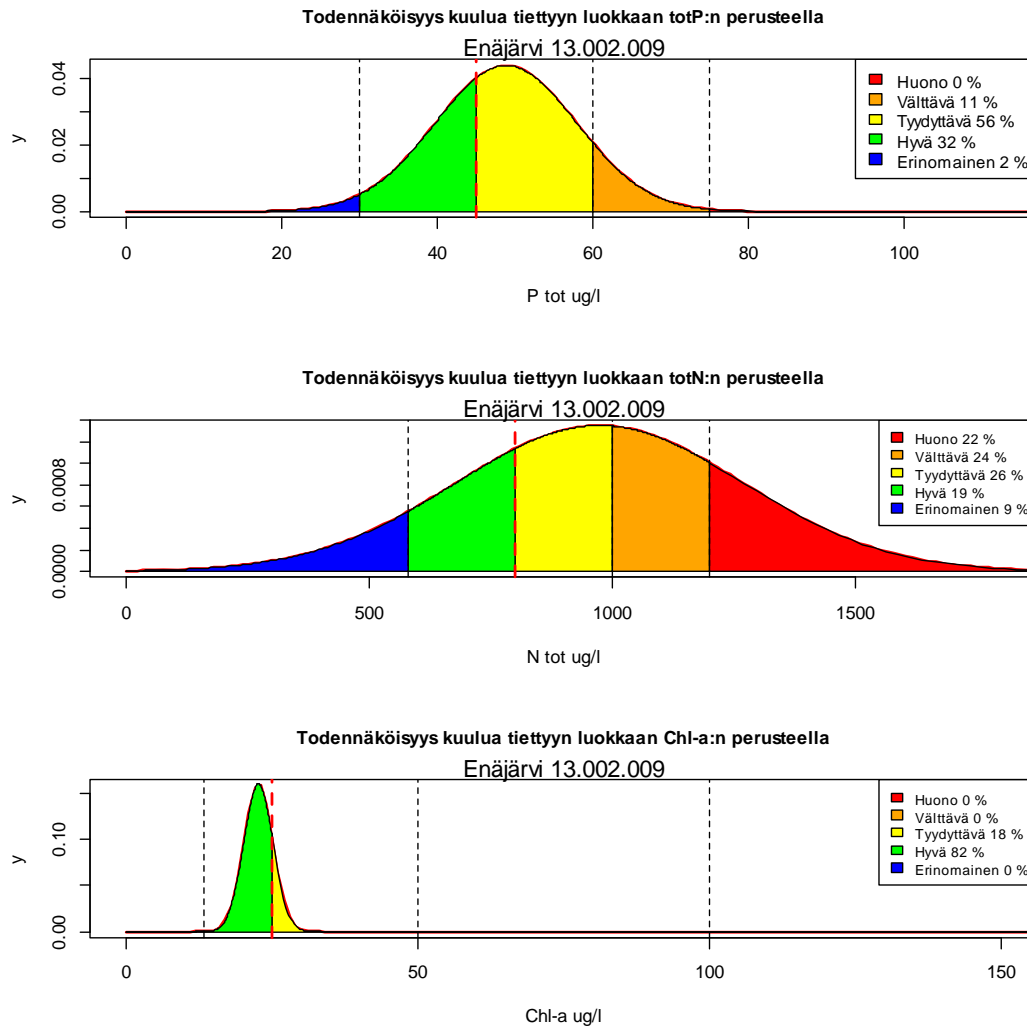
Kuva 9. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityyppikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

A-klorofyllipitoisuus annetuilla keskimääräisillä ulkoisen kuormituksen arvoilla on Enäjär-
vessä mallin mukaan 22,6 µg/l, joka siis alittaa raja-arvon (25 µg/l). Kuvasta 10 voidaan
katsoa, minkälaisilla muilla (kuin nykyisillä) kuormitusyhdistelmillä päästäisiin tavoitelaan
keskimäärin (punainen tasa-arvokäyrä). Järvi on Kuvan 10 perusteella selkeästi fosforira-
joitteinen, ja fosforikuormituksen muutokset vaikuttavat voimakkaasti a-klorofyllitasoon.



Kuva 10. A-klorofylliennuste typpi- ja fosforikuormitusten funktiona. Tasa-arvokäyrät ovat a-klorofyl-
lipitoisuuden tyypikohtaiset luokkarajat, punainen käyrä on tavoitelaan. Havaitut pintakuormayhdis-
telmät on merkitty pisteinä ja sininen tähti kuvastaa a-klorofyllipitoisuutta annetuilla keskimääräisillä
kuormitusarvoilla nykyisellään.

Kuvassa 11 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on 56 % todennäköisyydellä tyydyttävässä tilassa ja hyvä tila saavutetaan 32 % todennäköisyydellä. Jotta järvi olisi keskimäärin hyvässä tilassa, taulukon 3 mukaiset kuormitusvähennykset tulisi tehdä. Typpipitoisuudet ovat nykykuormalla suurimmaksi osaksi hyvää huonompia (yht. 72 %), mutta hyviä ja erinomaisia arvojakain mitataan annetuilla kuormilla (28 % varmuudella). A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset tuottavat mallin mukaan hyvän tilan 82 % varmuudella.



Kuva 11. Kokonaisfosforin, -typen ja a-klorofyllin pitoisuuksien todennäköisyysjakaumat annetuilla kuormituksilla. Luokkarajat esitetty pystyviivoin (tavoiteraja, H/T, punainen katkoviiva) ja luokkien todennäköisyydet eri väreillä

4 PALONSELKÄ

4.1 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: Palonselkä 13.002.1.007 (kuuluu Enäjärveen, mutta on oma vesimuodostumansa)

Tyyppi: Matalat runsashumuksiset järvet (MRh), tyyppi muuttunut edelliseltä luokittelukaudelta (jolloin oli Rh)

Tilavuus: 1,28 milj. m³

Keskisyvyys: 0,91 m

Luokittelu: Tyydyttävä. Luokka on arvioitu ryhmittelyperiaatteella Enäjärven luokittelun perusteella. (TotP, TotN ja chl-a ei luokiteltu erikseen)

Viipymä: 1 vuosi (6 vrk, hyvin lyhytviipymäinen)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: puolet ulkoisesta

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 *Enäjärvi Palonsens 005*). Jos näytteenottotuloksia on lisäksi syvänteen eri syvyyksistä, lasketaan jokaiselle näytteenottokerralle niistä ensin erikseen tilavuuspainotettu keskiarvo. Palonselältä on mittauksia ainoastaan yhdeltä syvyydeltä, joten tilavuuspainotuksia ei tehdä (Taulukko 7).

Palonselältä on kasvukauden aikaisia havaintoja viideltä vuodelta (1998, 2000, 2001, 2011 ja 2013). LLR-mallille syötetään vain pelkkiä havaintovuosia vastaavat tiedot. Aineiston vähyys tulee muistaa johtopäätöksiä tehtäessä.

Taulukko 7. Palonselän syöttötietoja LLR-malliin: kokonaistyyppikuormitus (LN, kg/d), kokonaisfosforikuormitus (LP, kg/d), mallinnetut ja havaitut kokonaistyyppi- (TotN, µg/l) ja kokonaisfosforipitoisuudet (TotP, µg/l) sekä lähtevä virtaama (Q, m³/s). Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemalamallin laskemia vuosikeskiarvoja ja pitoisuudet (TotN Vemala, TotP Vemala sekä TotN havaittu, TotP havaittu) ovat Vemalalla lasketut tai vastaavasti järvestä mitatut kasvukauden (touko-syyskuu) keskiarvot.

vuosi	LN	LP	TotN Vemala	TotN havaittu	TotP Vemala	TotP havaittu	Q
1991	226,2	9,2	941		41,3		2,3
1992	215,6	8,6	731		43,2		2,2
1993	130,7	5,4	744		42,1		1,4
1994	218,1	8,6	738		44,0		2,2
1995	248,5	10,1	973		50,7		2,6

1996	214,9	10,6	971		50,6		2,4
1997	139,7	6,0	709		42,2		1,7
1998	239,0	9,9	967	620	45,7	36	2,5
1999	140,7	6,3	755		46,0		1,5
2000	219,9	8,8	807	710	37,8	28,5	2,4
2001	161,4	6,8	903	1000	44,8	39	1,9
2002	121,8	4,7	783		38,8		1,4
2003	136,1	6,7	933		48,5		1,4
2004	308,4	13,0	1011		47,7		3,2
2005	195,3	8,3	993		44,9		2,2
2006	158,0	6,5	788		47,9		1,6
2007	231,7	10,3	855		42,8		2,5
2008	317,8	14,1	713		38,9		3,5
2009	164,5	6,9	796		40,4		1,9
2010	154,9	7,5	888		48,6		1,9
2011	327,9	14,5	825	650	45,3	45	3,2
2012	319,1	14,9	789		45,3		3,8
2013	212,6	9,5	637	780	42,1	43	2,3

Taulukkoon 8 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Palonselälle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia vuosikeskiarvoja ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut kasvukauden (touko–syyskuu) keskiarvot vuosilta 1998, 2000, 2001, 2011 ja 2013. Koska lähtöaineisto on näin suppea, tuloksiin tulee suhtautua varauksella.

Taulukko 8. LLR-mallin syöttötiedot: kokonaistypikuormitus (LN, kg/d), kokonaisfosforikuormitus (LP, kg/d), tilavuuspainotettu kokonaistyyppipitoisuus (TotN, µg/l), tilavuuspainotettu kokonaisfosforipitoisuus (TotP, µg/l) ja lähtevä virtaama (Q, m³/s).

	LN	LP	TotN	TotP	Q
	239,0	9,9	620	36	2,5
	219,9	8,8	710	29	2,4
	161,4	6,8	1000	39	1,9
	327,9	14,5	650	45	3,2
	212,6	9,5	780	43	2,3

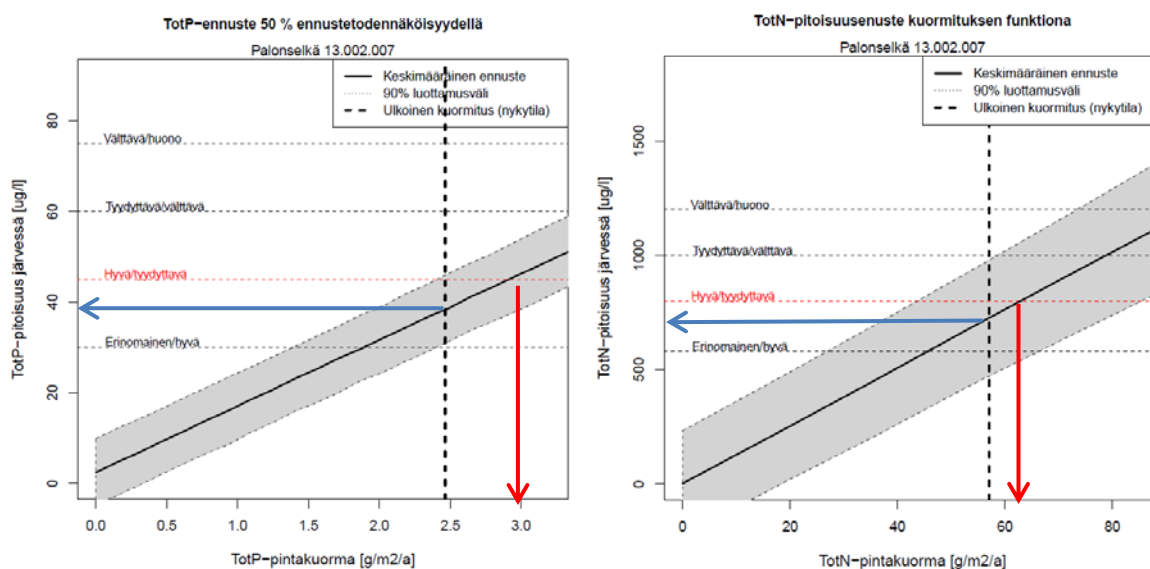
4.2 TULOKSET

Taulukon 9 ja Kuvan 12 perusteella Palonselän keskimääräinen fosforipitoisuus on 38 µg/l eli tulosten perusteella järvi on hyvässä tilassa. Typpipitoisuusennuste on 726 µg/l, joka merkitsee hyvää tilaa myös kokonaistypen perusteella.

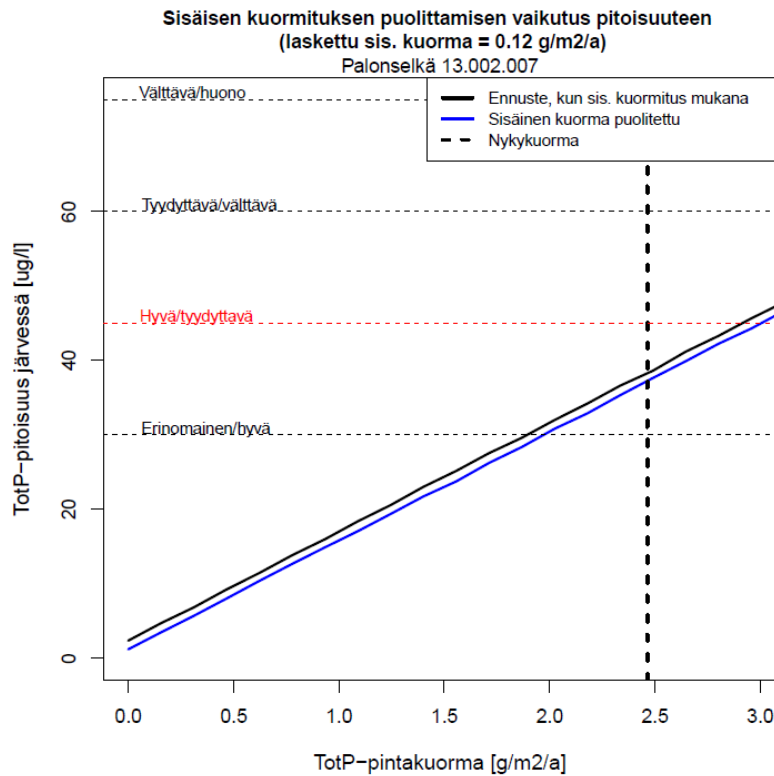
Taulukko 9. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja typpikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m²/a). Pitoisuusennuste 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	9,5	219,9
		g m ⁻² a ⁻¹	2,47	57,06
	Pitoisuusennuste	µg l ⁻¹	38,3	725,7
	Sedimentaationopeus (laskettu)	m d ⁻¹	0,037	0,066
	Sisäinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,5	NA
g m ⁻² a ⁻¹		0,12	NA	
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	11,2	239,7
		g m ⁻² a ⁻¹	2,91	62,21
	Pitoisuus (H/T-raja)	µg l ⁻¹	45	800
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	-	-
		g m ⁻² a ⁻¹	-	-
		%	-	-
	Pitoisuusvähennys	µg l ⁻¹	-	-

Palonselän sisäisen kuormituksen arvioitiin alustavasti olevan noin puolet ulkoiseen kuormitukseen verrattuna. Malli arvioi sisäisen kuormituksen annettujen lähtötietojen perusteella vielä pienemmäksi, noin 5 % ulkoisesta kuormituksesta (0,12 g/m²/a, Kuva 13).

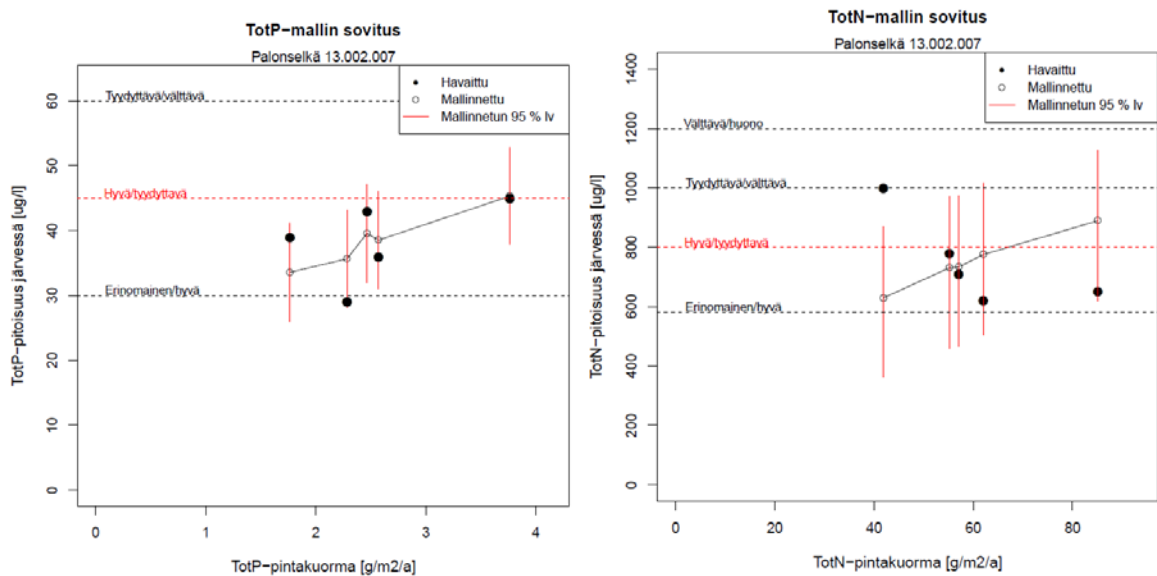


Kuva 12. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



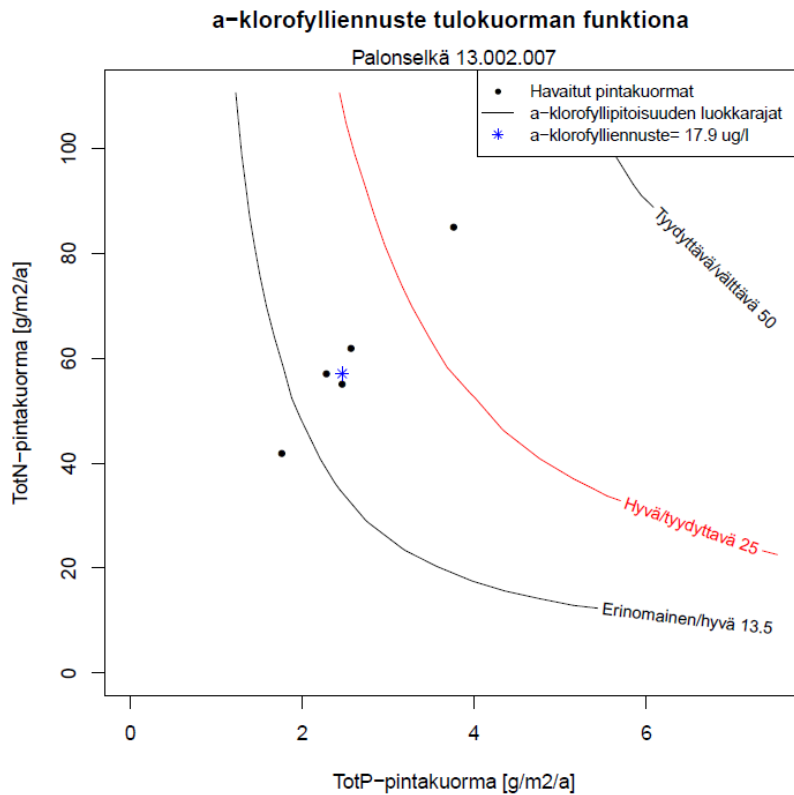
Kuva 13. Sisäisen kuorman puoltamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 14 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforin osalta havaitut pitoisuudet ovat H/T-rajan paremmalla puolella. Typen havainnot H/T-rajan molemmin puolin. Leveät luottamusvälit heijastavat sekä luonnollista vaihtelua että mallin ja havaintojen puutteellisuudesta aiheutuvaa epävarmuutta.



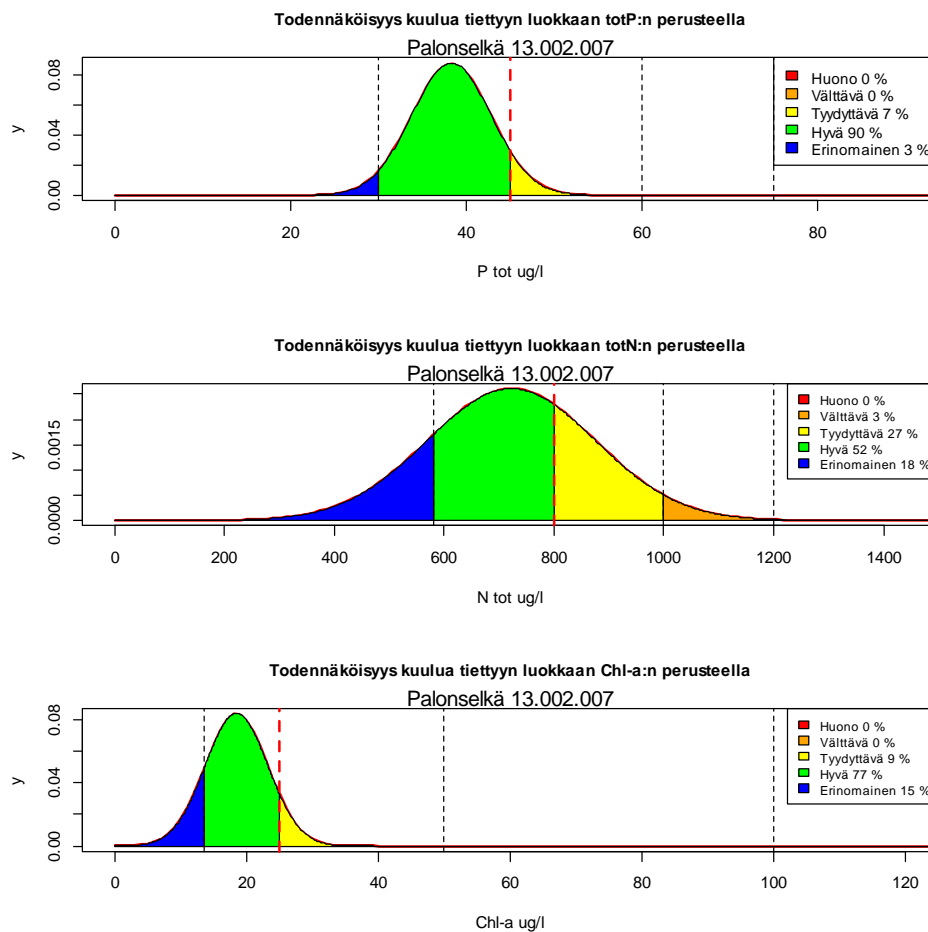
Kuva 14. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityyppikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

Kuvassa 15 on a-klorofylliennuste erilaisilla pintakuormitusten arvoilla. Nykyisillä keskimääräisillä ulkoisen kuormituksen arvoilla Palonselän a-klorofyllipitoisuus on mallin mukaan 18 µg/l, joka alittaa raja-arvon (25 µg/l).



Kuva 15. 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 nykyisellään.

Kuvassa 16 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on todennäköisimmin tavoitetilassa (hyvä 90 % ja erinomainen 3 %). Tyypellä epävarmuus on suurempaa, ja Palonselkä on 70 % todennäköisyydellä hyvää paremmassa tilassa, mutta alle tavoitetilassa kuitenkin 30 % todennäköisyydellä. A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset tuottavat mallin mukaan hyvän tilan 77 % ja erinomaisen tilan 15 % varmuudella.



Kuva 16. 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.