



Kymijoen
vesi ja ympäristö ry



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

URAJÄRVEN LLR-KUORMITUSVAIKUTUSMALLINNUS

Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 251/2014

Niina Kotamäki, Suomen ympäristökeskus, SYKE



JOHDANTO

Tämä työ on osa Kymijoen alueen järvikunnostushankkeessa laadittua Urajärven kunnossuunnitelmaa. Työn tavoitteena on arvioida LLR-mallilla Urajärven 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 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

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: Urajärvi 14.123.1.001

Tyyppi: Vähähumuksiset järvet (Vh)

Tilavuus: 62,81 milj. m³

Keskisyvyys: 4,4 m

Viipymä: ~5 vuotta (1694 vrk)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: puolet ulkoisen kuormituksen mediaanista, eli 2 kg/d
Luokittelu: Tyydyttävä (kokonaisluokka), (TotP=Tyydyttävä, 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 *Urajärvi 025*). Näytteenottotuloksia on syvänteen eri syvyyksistä s.e pinta- ja pohjanäytteiden (1 m ja 13 m) lisäksi on otettu yksi näyte välisyvyydestä (joko 5 m tai 10 m). Jokaiselle näytteenottovuodelle laskettiin tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 1). Tilavuuspainotus on tehty käyttämällä järven hypsografian tilavuustietoja siten, että pohjan läheisen vesikerroksen ajatellaan olevan syvyysvyöhykkeillä 12. 16 m ja pintakerros on joko 0. 3 m tai 0. 8 riippuen välikerroksen mittaussyvyydestä (joka 4. 11 m tai 9. 11 m).

Taulukko 1. Havaitut kokonaisfosfori- ja tyypipitoisuudet ($\mu\text{g/l}$) pinnasta, pohjasta ja välisyvyydeltä, sekä näistä lasketut tilavuuspainotetut pitoisuudet.

Vuosi	1m totP	5m totP	10m totP	13m totP	1m totN	5m totN	10m totN	13m totN	Tilavuuspainotetut	
									TotP	TotN
1993	17			17	410			400	17,0	410,0
1994	19,6			32,8	414			557,5	19,6	414,4
1995	14,4			29	430			1102	14,4	431,8
1996	16,2	17,6		43,8	567,5	524		1415	16,7	557,2
1997	16,8	21,3		35	490	520		1750	18,1	502,0
1998	20,7	15,0		25,3	533	463		920	19,0	514,2
2002	17	15		110	400	330		1200	16,7	382,0
2003	33	13,5		35	480	420		1100	27,4	464,4
2004	21	17		34,5	570	540		1160	19,9	562,9
2005	21	23		24	540	450		440	21,6	513,8
2006	19		19	41	500		630	890	19,1	503,9
2007	20		19	26	440		420	470	20,0	439,6
2008	24		18	29	480		410	680	23,9	479,0
2009	18		17,5	46	460		485	790	18,1	461,4
2010	16		13,5	47,5	435		450	895	16,0	436,6
2011	12		13	18	570		530	610	12,0	569,2
2012	23		16,5	80	440		520	1550	23,0	444,7
2013	14		15,5	37	520		585	980	14,1	522,7
2014	15,5		24,5	41	470		475	745	15,8	470,8

Taulukkoon 2 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Urajärvelle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia viipymääjan (5 v) keskiarvoja ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko-syyskuu) viipymääjan keskiarvot.

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

LN	LP	TotN	TotP	Q
59,9	2,8	17,6	483,9	0,4
66,5	3,2	21,3	477,4	0,4
66,9	3,8	20,5	484,0	0,4
63,2	4,2	16,2	485,1	0,5

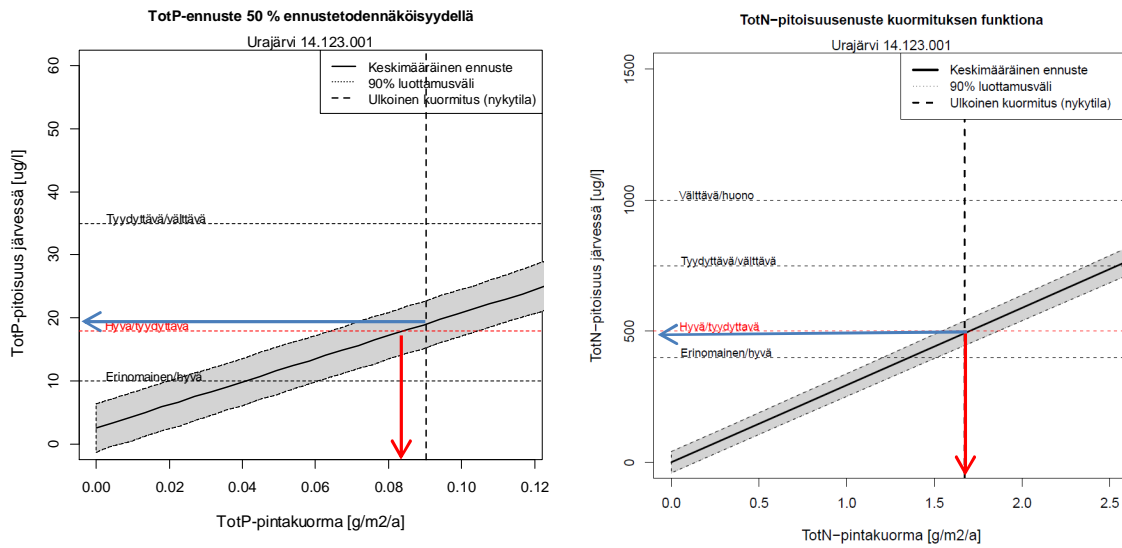
TULOKSET

Taulukon 3 ja Kuvan 1 perusteella Urajärven keskimääräinen fosforipitoisuus on 19 µg/l eli järvi on tyydyttävässä tilassa fosforin perusteella. Kuormitus, jolla hyvään tilaan (H/T-rajaa arvo 18 µg/l) päästään on 3,3 kg/d, eli noin 7 % vähemmän kuin nykyinen keskimääräinen kuormitus (3,5 kg/d). Nykykuormalla (65 kg/d) typpipitoisuus on keskimäärin 493 µg/l. Hyvän tilan raja on 500 µg/l, joten typen osalta järvi on keskimäärin hyvän tilan tuntumassa tai vähän sen alle.

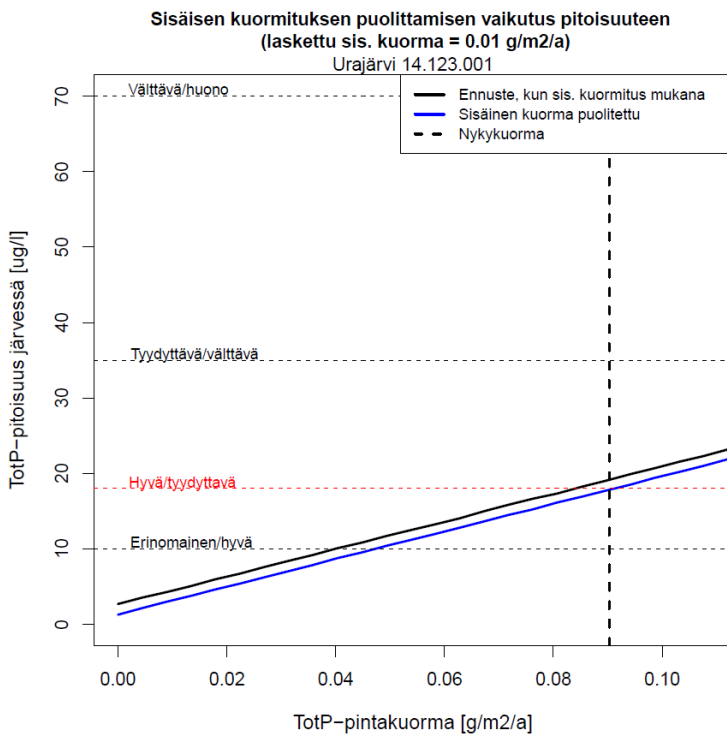
Taulukko 3. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja typpikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m²/a). Pitoisuusennuste 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	3,5	65	
		g m ⁻² a ⁻¹	0,09	1,7	
	Pitoisuusennuste		µg l ⁻¹	19,2	493
	Sedimentaationopeus (laskettu)		m d ⁻¹	0,013	0,007
	Sisäinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,6		
g m ⁻² a ⁻¹		0,01			
Tavoitetila	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	3,3	66	
		g m ⁻² a ⁻¹	0,08	1,7	
	Pitoisuus (H/T-rajaa)		µg l ⁻¹	18	500
Vähennystarve	Ulkoinen kuormitus	kg d ⁻¹	0,2		
		g m ⁻² a ⁻¹	0,01		
		%	7		
	Pitoisuusvähennys		µg l ⁻¹	1,2	

Kuvasta 2 nähdään sisäisen kuormituksen puolittamisen vaikutus järven fosforipitoisuuteen. Malli arvioi Uräjärven sisäisen kuormituksen olevan noin 17 % ulkoisesta kuormasta.

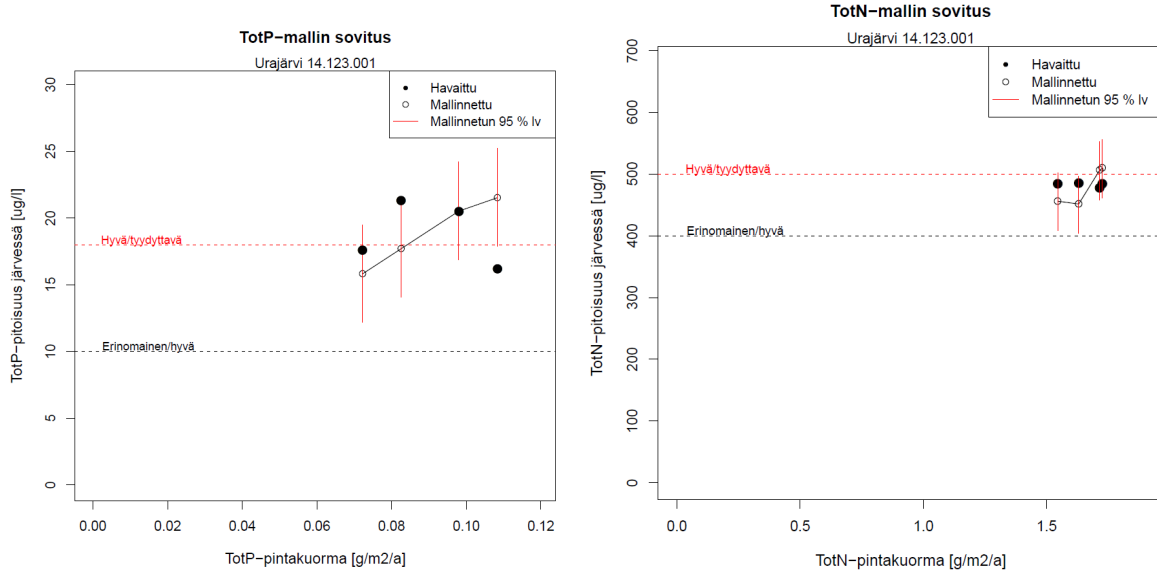


Kuva 1. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



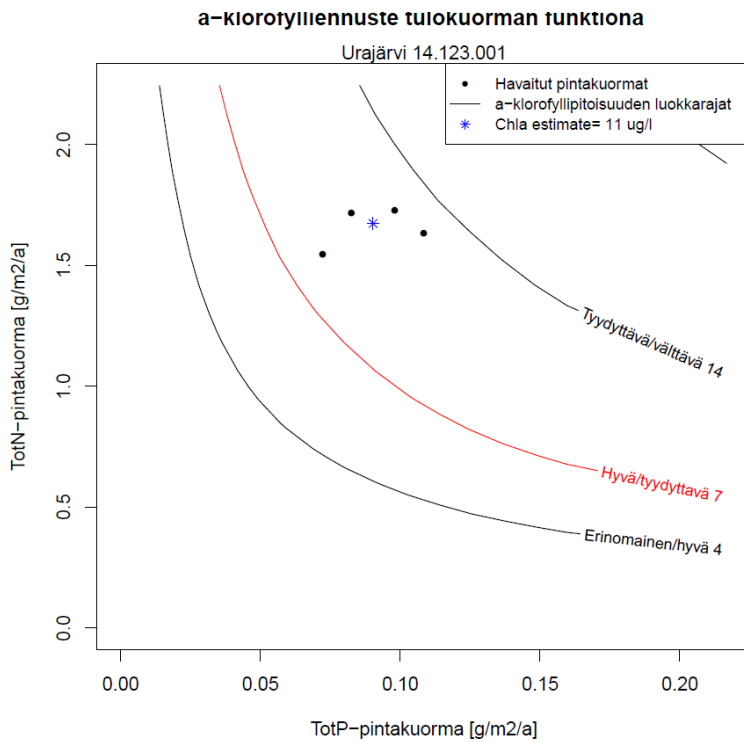
Kuva 2. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 3 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Pistepareja on vain neljä, koska pitkän viipymän vuoksi keskiarvostus on tehty viisivuotisjaksoille. Pitkän ajan keskimääräiset havaitut fosforipitoisuudet vaihtelevat hyvän ja tyydyttävän tilan välillä. Tyypen osalta (Kuva 3, oikea) havainnot ovat H/T-raján tuntumassa. Kuvista nähdään, että epävarmuus on suuri (leveät luottamusvälit). Tämä heijastaa sekä luonnollista vaihtelua että mallin ja havaintojen puutteellisuudesta johtuvaa epävarmuutta.



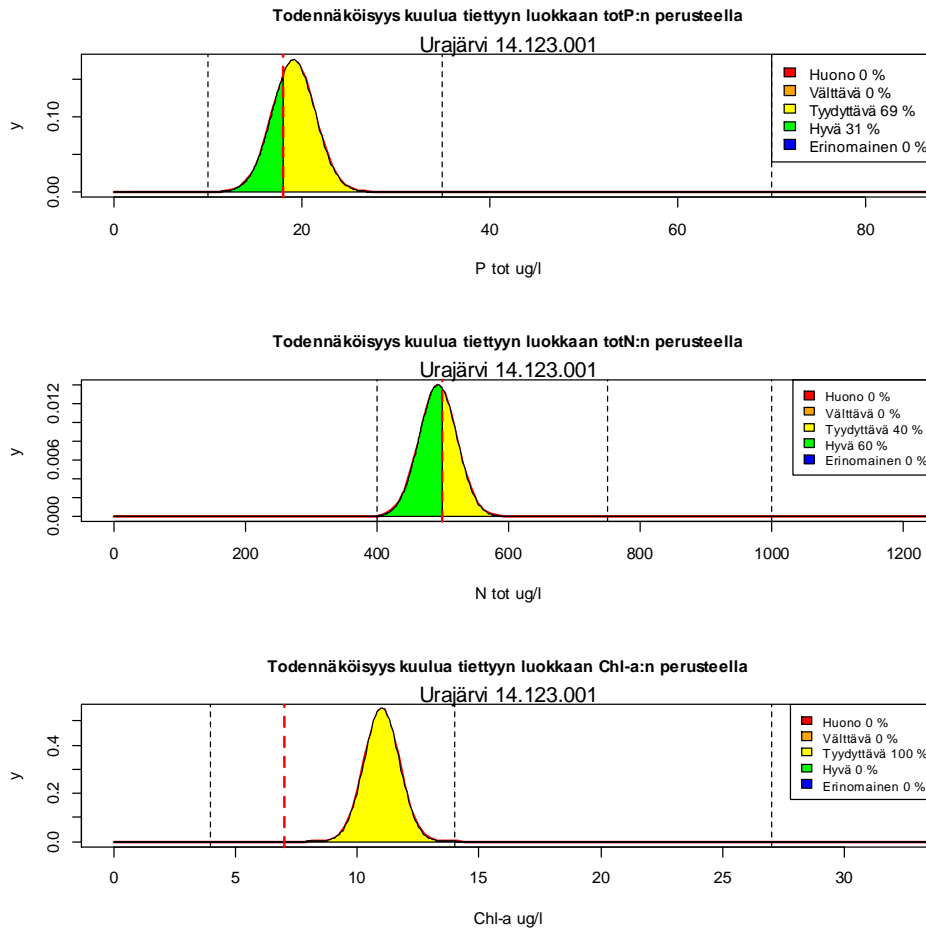
Kuva 3. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityyppikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

Kuvassa 4 on a-klorofyllipitoisuuden muuttuminen erilaisilla kuormitustasoilla. Keskimääräisillä fosforin ja typhen tulokuormilla (0,09 g/m²/a ja 1,7 g/m²/a) sekä arvioidulla sisäisen fosforikuormituksen arvolla a-klorofyllipitoisuus olisi mallin mukaan 11 µg/l, joka ylittää Vh-tyypin raja-arvon (7 µg/l). Tasa-arvokäyriä voidaan katsoa, minkälaisilla kuormitusyhdistelmillä päästäisiin tavoitettiin (punainen tasa-arvokäyrä). Tavoite saavutettaisiin tehokkaimmin vähentämällä fosforikuormaa: jos typpekuormitus ei muutu, niin fosforikuormaa pitäisi vähentää noin 40 % nykyisestä.



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

Kuvassa 5 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on 69 %:n todennäköisyydellä tyydyttävässä ja 31 %:n todennäköisyydellä hyvässä tilassa. Jotta järvi saataisiin keskimäärin hyvään tilaan, taulukon 3 mukaiset ulkoisen fosforikuormituksen vähennykset tulisi tehdä. Typen osalta todennäköisimmät tilat ovat hyvä (60 %) ja tyydyttävä (40 %) ja välttävä (36 %). A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset aiheuttavat liian suuria pitoisuuksia (tyydyttävä 100 %).



Kuva 5. 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. and 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 vesipuitteidirektiivin mukaisessa vesialueiden hoidossa. Pro-gradututkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.