



Kymijoen
vesi ja ympäristö ry



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

KANNUSJÄRVEN LLR- KUORMITUSVAIKUTUSMALLINNUS

Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 284/2014

Niina Kotamäki, Suomen ympäristökeskus, SYKE



JOHDANTO

Tämä työ on osa Kymijoen alueen järvikunnostushankkeessa laadittua Kannusjärven kunnostussuunnitelmaa. Työn tavoitteena on arvioida LLR-mallilla Kannusjärven 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

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: Kannusjärvi 12.005.1.006

Tyyppi: Pienet humusjärvet (Ph)

Tilavuus: 5,7 milj. m³

Keskisyvyys: 3,5 m

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

Viipymä: 1 vuosi (217 vrk)

Sisäisen kuormituksen alkuarvo: yhtä suuri kuin keskimääräinen ulkoinen kuormitus (eli 3,3 kg/d)

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 Kannusjärvi 106 439). Koska näytteenottotuloksia on syvänteen eri syvyyksistä (1 m, 2,5/3 m ja 7/8 m), lasketaan jokaiselle näytteenottovuodelle tilavuuspainotettu keskiarvo (Taulukko 1). Tilavuuspainotus on tehty käyttämällä järven hypsografian tilavuustietoja siten, että pohjan läheisen vesikerroksen ajatellaan olevan syvyysvyöhykkeillä 6-9 m ja pintakerros on 0-5 m.

Taulukko 1. Havaitut kokonaisfosfori- ja . tyypipitoisuudet ($\mu\text{g/l}$) pinnasta (1 m) ja pohjasta (7-8 m), sekä näistä lasketut tilavuuspainotetut pitoisuudet.

| vuosi | 1 m totP | 7/8 m totP | 1m totN | 7/8 m totN | TILAVUUSPAINOTETUT | |
|-------|-------------|---------------|------------|---------------|--------------------|------|
| | | | | | totN | totP |
| 1996 | 42,5 | 63 | 1450 | 1500 | 1455,1 | 44,6 |
| 1998 | 50 | 71 | 620 | 1300 | 689,9 | 52,2 |
| 1999 | 46 | 100 | 720 | 1200 | 769,4 | 51,6 |
| 2000 | 46 | 54,5 | 1073,3 | 1100 | 1076,1 | 46,9 |
| 2001 | 38,3 | 58,7 | 903,3 | 1266,7 | 940,7 | 40,4 |
| 2007 | 37,7 | 48 | 1106,7 | 1143,3 | 1110,4 | 38,7 |
| 2008 | 44,3 | 61,3 | 897,5 | 1030 | 911,1 | 46,0 |
| 2009 | 44 | 96,3 | 652,5 | 795 | 667,2 | 49,4 |
| 2010 | 36,2 | 79 | 582 | 796 | 604,0 | 40,6 |
| 2011 | 32 | 74,8 | 747,5 | 1110 | 784,8 | 36,4 |
| 2012 | 40,8 | 68 | 732,5 | 862,5 | 745,9 | 43,6 |
| 2013 | 27,8 | 94 | 640 | 1097,5 | 687,0 | 34,6 |

Taulukkoon 2 on koottu LLR-mallin syöttötiedot Kannusjärvelle. Kuormitukset (LN ja LP) sekä virtaama (Q) ovat Vemala-mallin laskemia viipymäajan keskiarvoja ja pitoisuudet (TotN ja TotP) ovat mitatut tilavuuspainotetut kasvukauden (touko-syyskuu) keskiarvot. Taulukon tiedot ovat 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, $\mu\text{g/l}$), tilavuuspainotettu kokonaisfosforipitoisuus (TotP, $\mu\text{g/l}$) ja lähtevä virtaama (Q, m^3/s).

| LN | LP | TotN | TotP | Q |
|------|-----|--------|------|------|
| 55,6 | 3,4 | 1455,1 | 43,9 | 0,30 |

| | | | | |
|------|-----|--------|------|------|
| 47,6 | 2,9 | 689,9 | 51,4 | 0,28 |
| 38,8 | 1,9 | 769,4 | 49,6 | 0,19 |
| 55,6 | 3,3 | 1076,1 | 46,6 | 0,31 |
| 42,7 | 2,3 | 940,7 | 39,7 | 0,26 |
| 61,9 | 3,9 | 1110,4 | 38,4 | 0,33 |
| 70,2 | 5,6 | 911,1 | 45,4 | 0,49 |
| 40,1 | 2,8 | 667,2 | 47,5 | 0,25 |
| 32,2 | 2,1 | 604,0 | 39,1 | 0,23 |
| 63,2 | 5,4 | 784,8 | 34,9 | 0,40 |
| 58,2 | 4,2 | 745,9 | 42,6 | 0,50 |
| 52,4 | 3,6 | 687,0 | 32,2 | 0,30 |

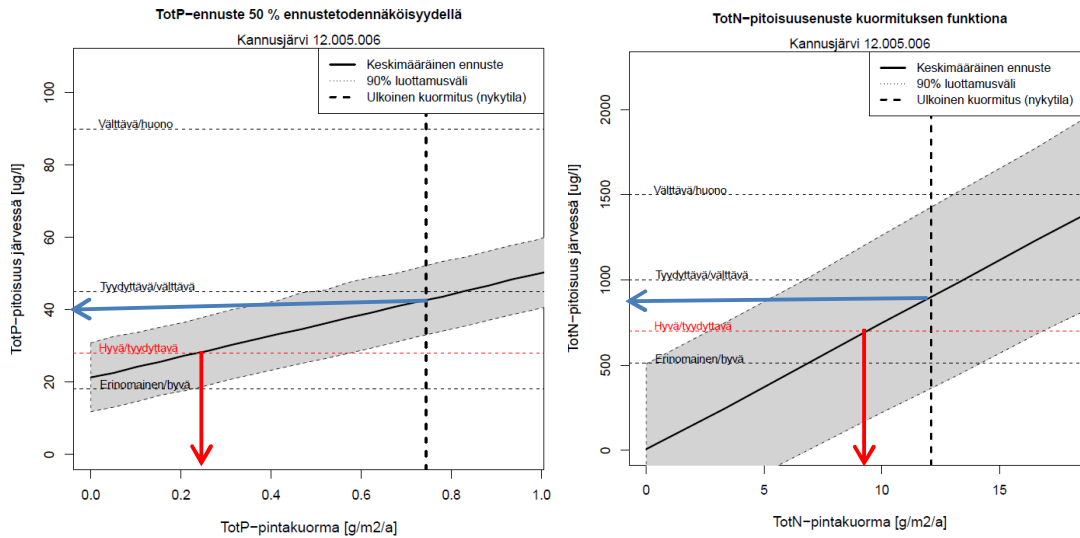
TULOKSET

Taulukon 3 ja Kuvan 1 perusteella Kannusjärven keskimääräinen fosforipitoisuus on 43 µg/l eli järvi on tyydyttävässä tilassa fosforin perusteella. Kuormitus, jolla hyvään tilaan (H/T-raja-arvo 28 µg/l) päästään on 1,2 kg/d, eli noin 65 % vähemmän kuin nykyinen keskimääräinen kuormitus (3,3 kg/d). Nykykuormalla (54 kg/d) typpipitoisuus on keskimäärin 910 µg/l. Vähintään tavoitepitoisuuteen (700 µg/l) pääsemiseksi on typpikuormitusta vähennettävä n. 14 kg/d, eli noin neljännes nykyisestä.

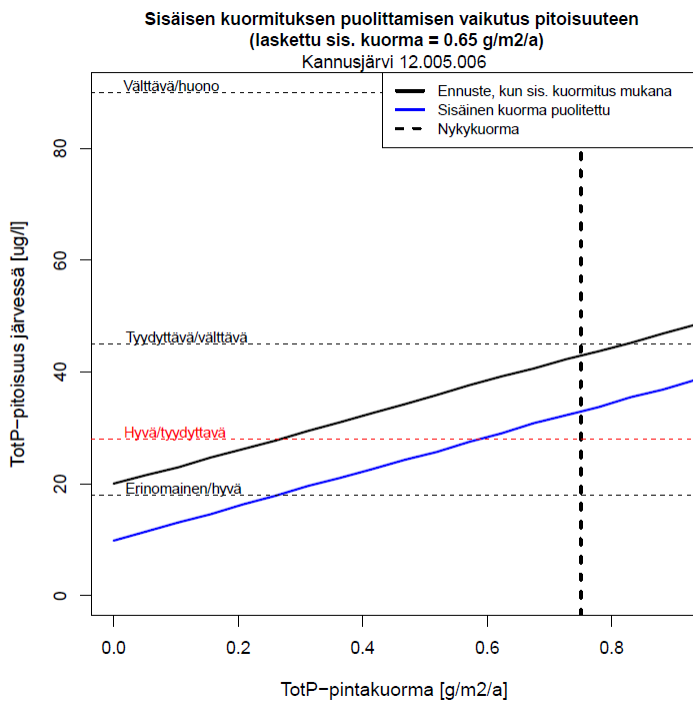
Taulukko 3. LLR:n ravinnemallin tuottama fosfori- ja typpikuormitusten ja -pitoisuuksien nykytila, tavoitetila ja tavoitteeseen pääsemiseksi tarvittava vähennys. Nykytilan ja tavoitetilan ulkoiset kuormitukset on esitetty päiväkuormana (kg/d) ja kuormana järvipinta-alaa kohden (g/m²/a). Pitoisuuden nykytilassa (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 | 3,3 | 54 | |
| | | g m ⁻² a ⁻¹ | 0,75 | 12,1 | |
| | Pitoisuusennuste | | µg l ⁻¹ | 42,8 | 910 |
| | Sedimentaationopeus (laskettu) | | m d ⁻¹ | 0,073 | 0,02 |
| | Sisäinen kuormitus | kg d ⁻¹ | 2,9 | | |
| g m ⁻² a ⁻¹ | | 0,65 | | | |
| Tavoitetila | Ulkoinen kuormitus | kg d ⁻¹ | 1,2 | 40,5 | |
| | | g m ⁻² a ⁻¹ | 0,26 | 9,09 | |
| | Pitoisuus (H/T-raja) | | µg l ⁻¹ | 28 | 700 |
| Vähennystarve | Ulkoinen kuormitus | kg d ⁻¹ | 2,1 | 13,5 | |
| | | g m ⁻² a ⁻¹ | 0,49 | 3,01 | |
| | | % | 65 | 25 | |
| | Pitoisuusvähennys | | µg l ⁻¹ | 14,8 | 210 |

Kuvasta 2 nähdään sisäisen kuormituksen puolittamisen vaikutus järven fosforipitoisuuteen. Malli arvioi Kannusjärven sisäisen kuormituksen olevan noin 90 % ulkoisesta kuormasta (2,9 kg/d, 0,65 g/m²/a). Jos sisäinen kuormitus saataisiin puolitettua, niin ulkoista kuormitusta tulisi vähentää vielä noin 20 % (0,15 g/m²/a).

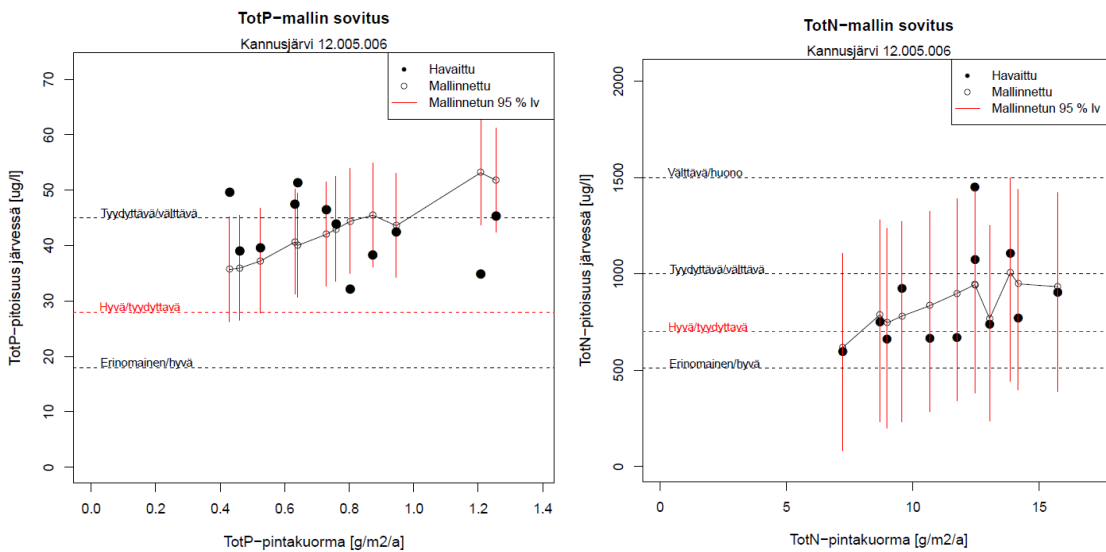


Kuva 1. Kokonaisfosforipitoisuuden (kuva vasemmalla) ja kokonaistyyppipitoisuuden (oikealla) keskimääräinen ennuste ja 90 % luottamusväli ulkoisen kuormituksen funktiona. Punainen nuoli osoittaa kuormaa, jolla tavoitepitoisuuteen päästään ja sininen nuoli kuvaa nykyisellä kuormitustasolla saatavaa pitoisuutta.



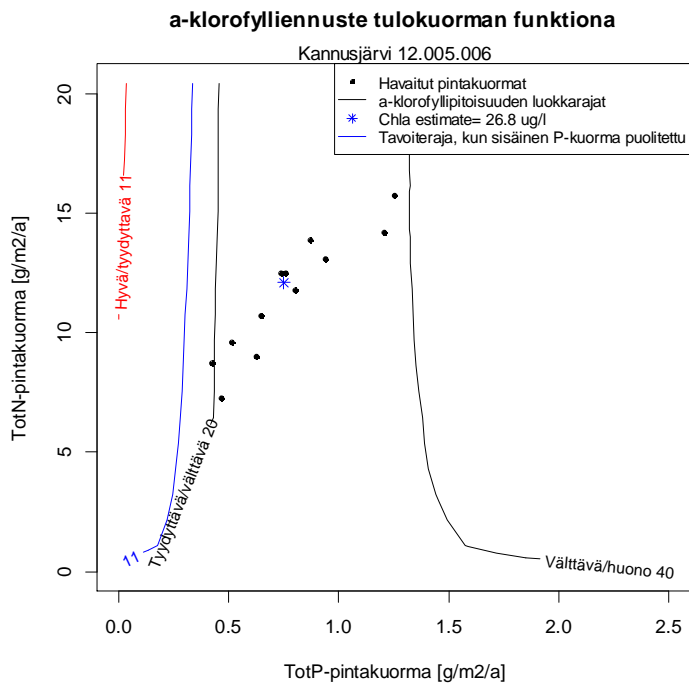
Kuva 2. Sisäisen kuorman puolittamisen vaikutus fosforipitoisuuteen ja kuormitusvähennystarpeeseen.

Kuvassa 3 on esitetty LLR-mallin sovitus annettuun lähtöaineistoon. Fosforimallin kuvasta nähdään, että fosforipitoisuuden vaste ulkoiseen fosforikuormitukseen on heikko. Tämä kuvastaa odotetusti sitä tilannetta, jossa sisäisellä kuormituksella on suuri vaikutus järven fosforipitoisuuteen. Pitkän ajan fosforipitoisuudet vaihtelevat tyydyttävän ja välttävän tilan välillä. Typen osalta (Kuva 3, oikea) havainnot vaihtelevat H/T-ajan molemmiin puolin, painotuen kuitenkin hyvään tilaan. Kuvista nähdään, että epävarmuus on suuri (leveät luottamusvälit). Tämä heijastaa sekä luonnollista vaihtelua että mallin ja havaintojen puutteellisuuksista johtuvaa epävarmuutta.



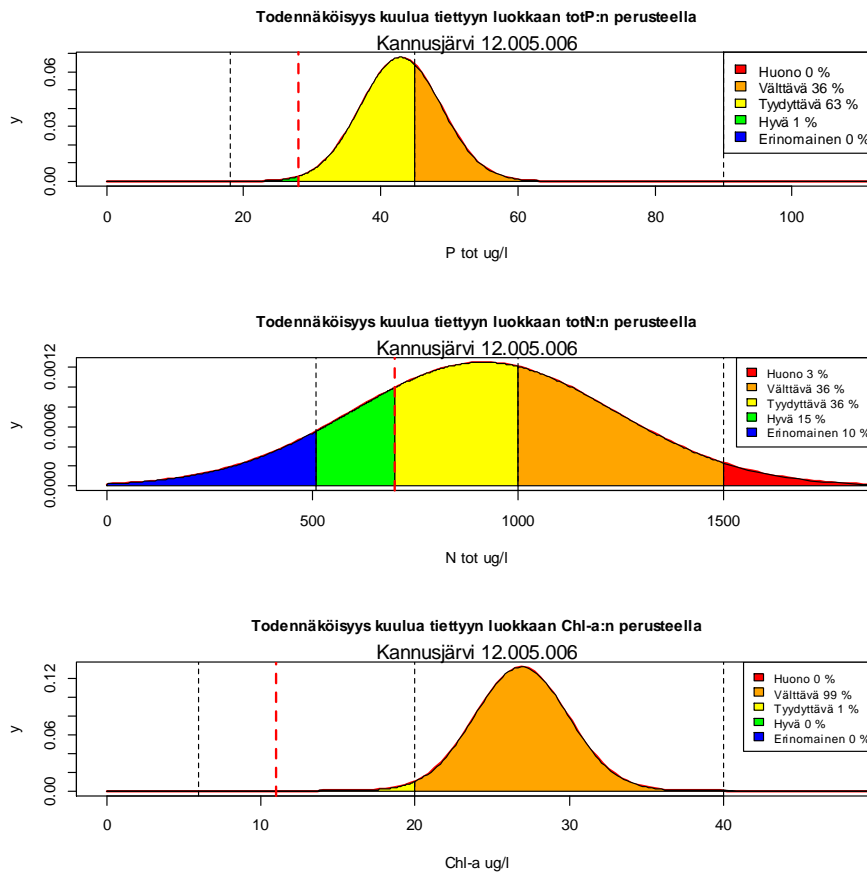
Kuva 3. Mallinnetut ja havaitut fosfori- (vasemmalla) ja typpipitoisuudet (oikealla) eri kuormituksilla. Järvityypikohtaiset luokkarajat on esitetty vaakasuorina katkoviivoina.

Kuvassa 4 on a-klorofyllipitoisuuden muuttuminen erilaisilla kuormitustasoilla. Keskimääräisillä fosforin ja typen tulokuormilla (0,75 g/m²/a ja 12,1 g/m²/a) sekä arvioidulla sisäisen fosforikuormituksen arvolla a-klorofyllipitoisuus olisi mallin mukaan 27 µg/l, joka ylittää raja-arvon (11 µg/l). Tasa-arvokäyriltä voidaan katsoa, minkälaisilla kuormitusyhdistelmillä päästäisiin tavoitetilään (punainen tasa-arvokäyrä). Tavoite saavutettaisiin tehokkaimmin vähentämällä fosforikuormaa: jos typpikuormitus ei muutu, niin fosforikuormaa pitäisi vähentää lähes 100 % nykyisestä. Tämä indikoi jälleen sitä, että pelkillä ulkoisen kuormitusten vähennyksillä tavoitetilään ei päästäisi kustannustehokkaasti. Kuvaan on piirretty myös tavoitekuormituskäyrä tilanteessa, jossa sisäinen fosforikuormitus olisi puolitettu. Tällöin ulkoisen fosforikuormituksen vähennystarve olisi noin 60 %.



Kuva 4. 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 5 on esitetty LLR-mallin tuottamat pitoisuusjakaumat ja eri luokkiin kuulumisen todennäköisyydet nykyisellä kuormitustasolla. Fosforipitoisuuksien perusteella järvi on 63 % todennäköisyydellä tyydyttävässä ja 36 % todennäköisyydellä välttävissä tilassa. Jotta järvi saataisiin keskimäärin hyvään tilaan, taulukon 3 mukaiset ulkoisen fosforikuormituksen vähennykset tulisi tehdä (tai sisäisen kuormituksen vähennykset, Kuva 2). Typpipitoisuuden todennäköisyysjakauma on hyvin laaja, todennäköisimmät tilat ovat tyydyttävä (36 %) ja välttävä (36 %). Tavoitetilaa päästään 25 % varmuudella. A-klorofyllin osalta annetut kuormitukset aiheuttavat liian suuria pitoisuuksia (välttävä 99 % ja tyydyttävä 1 %).



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. & 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.