

## MUISTIO

30.11.2023

Tekijä: Vesi-Eko Oy

Tilaaaja: Yara Siilinjärvi, Sulkavanjärven ja Juurusveden Kuuslahden kuormitusselvitykset YVA-prosessia varten

## Sulkavanjärven klorofylli-*a* -pitoisuuden mallinnus

### Tausta ja menetelmät

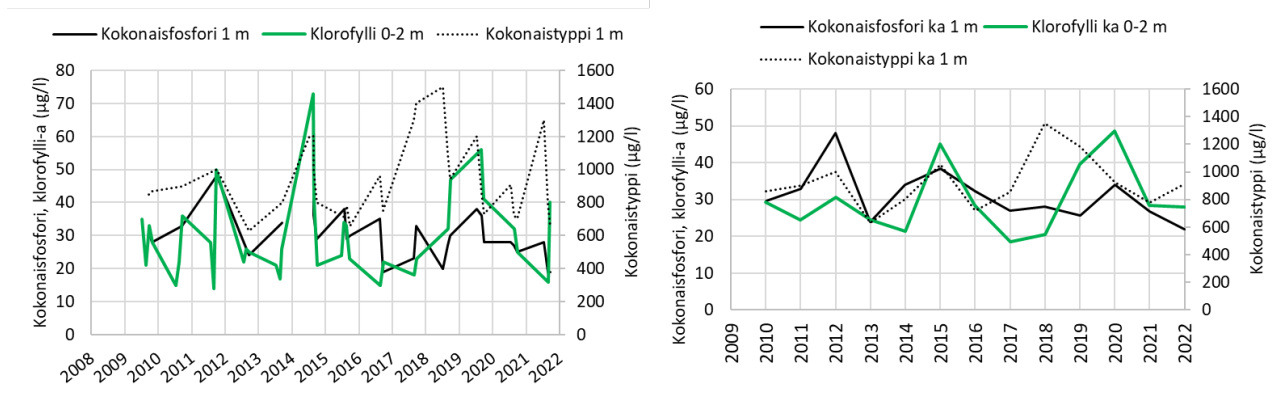
Tarkastelun päämääränä oli laatia malli, jonka avulla voidaan ennustaa levämäärästä kertovan klorofylli-*a*:n -pitoisuuksia ja niiden muutoksia kokonaisravinteiden pitoisuuksien perusteella. Tarkastelussa käytettiin lähtötietoina havaintopaikkojen Sulkavanjärvi 14 ja 16 klorofylli-*a*-, kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksia vuosilta 2010–2022. Aineisto on haettu Ympäristöhallinnon Avoin tieto -palvelun Hertta-tietokannasta. Käytetyt havaintosyvyydet olivat kokonaisravinteiden osalta 1 m ja klorofylli-*a*:n osalta 0–2 m (kokoomanäyte). Tuloksista laskettiin kesä-syyskuun keskiarvot. Ajanjakson valinta perustui siihen, että järven ekologisen tilan luokittelussa klorofylli-*a* -muuttuja tulee määrittää väliltä 1.6–30.9 (Aroviita ym. 2019). Keskiarvojen laskennassa käytettiin yhtäaikaaisesti tuloksia havaintopaikoilta 14 ja 16 (havaintopaikalta 16 dataa on saatavissa vuodesta 2019 lähtien). Dataa tarkasteltiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Analyysissä käytettiin Excel-ohjelmistoa. Lisäksi testattiin jo olemassa olevia malleja, joista kaksi (Phillips ym. 2008 ja Dillon & Rigler 1974) on esitetty tässä muistiossa.

### Tulokset

Aikasarjakuvasta (Kuva 1) havaitaan, että kokonaisravinteiden pitoisuudet eivät suoraan selitä klorofylli-*a* -pitoisuuksien vaihtelua, ja sama todettiin regressioanalyysien tuloksista. Sulkava on sekä typpi-fosforiravannesuhteen (N:P) että liukoisten ravinteiden suhteen (DIN:SRP; tulee sanoista *dissolved inorganic nitrogen* ja *soluble reactive phosphorus*) perusteella **fosforirajoitteinen järvi**. Tällöin fosforipitoisuuden perusteella voidaan yleensä ennustaa klorofylli-*a*:n pitoisuuksia. Sulkavan vedenlaatutulosten perusteella kokonaisfosforin ja klorofylli-*a*:n välinen yhteys ei ollut selkeä, mutta jokseenkin havaittavissa (Kuva 1). Kokonaistypen pitoisuudet puolestaan näyttivät ennustavan melko hyvin klorofyllipitoisuuksien vaihtelua, mutta tässäkin havaittiin merkittäviä poikkeuksia. Esimerkiksi vuonna 2018 kokonaistypen pitoisuus on poikkeuksellisen korkea, mutta klorofyllipitoisuuden nousua ei havaittu (Kuva 1). Lisäksi esimerkiksi vuonna 2020 kokonaistypen pitoisuudet ovat laskeneet, kun taas klorofyllipitoisuus on kasvanut. Huomionarvoista on myös se, että Sulkavassa klorofyllipitoisuudet voivat vaihdella voimakkaasti saman kesän aikana (Kuva 1), mikä kertoo järven tilanteen olevan epävakaa. Esimerkiksi vuonna 2022 klorofyllipitoisuus oli heinäkuun loppupuolella 16 µg/l ja elokuun puolivälissä 40 µg/l.

Klorofylli-*a*:n mittaustuloksissa voi olla myös epävarmuutta, sillä Sulkavassa on havaittu *Gonyostomum semen* -limalevää. Limalevää havaittiin pieni määrä (0,6 % kokonaisbiomassasta) vuoden 2022

kasviplanktontutkimuksessa<sup>1</sup>. Järvissä, jossa limalevää esiintyy, klorofylli-*a*:n pitoisuus ja kokonaisbiomassa voivat olla erittäin suuria, vaikka järvi ei olisikaan rehevä (Albert 2023). Tämä johtuu siitä, että limalevä sisältää muihin leviin verrattuna erityisen paljon klorofylliä. Sulkavan tapauksessa limalevän esiintyminen voi ainakin joissain klorofylli-*a* -näytteissä häiritä todellisia tuloksia. Tähän viittaisi myös se, että kirjallisuudesta haetut mallit antavat säännönmukaisesti selvästi pienempiä klorofyllipitoisuustuloksia todellisiin, mitattuihin arvoihin nähden (ks. kohta Valmiit mallit).

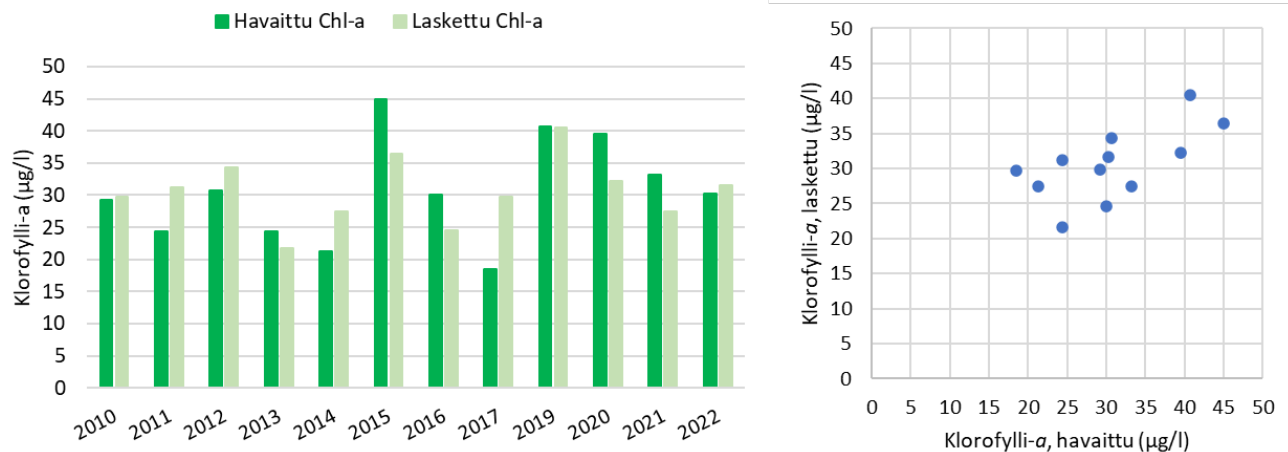


Kuva 1. Havaintopaikan **Sulkava 14** havaintokohtaiset (vas.) ja keskimääräiset (oik.) kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja klorofylli-*a* -pitoisuudet kesä-syyskuussa vuosina 2010-2022.

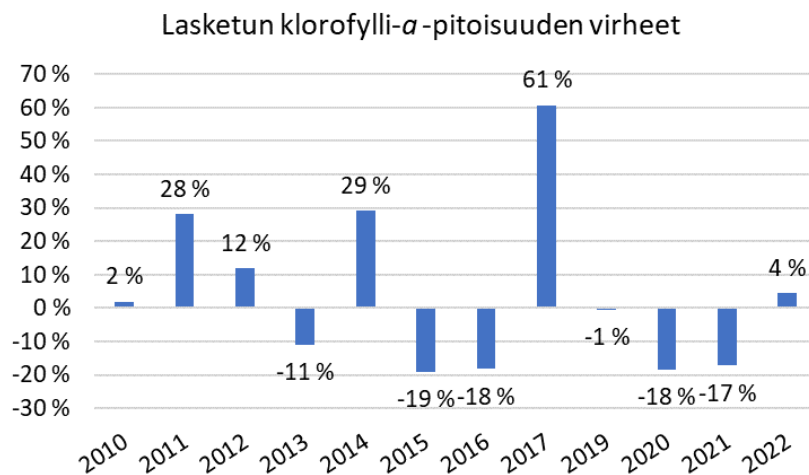
Aineistolle suoritettiin regressioanalyysi, jossa selittävinä muuttujina olivat kokonaisfosforin pitoisuus ja kokonaistypen pitoisuus ja selitettävänä muuttujana klorofylli-*a*:n pitoisuus (ks. tarkemmat tiedot 1. kpl Menetelmät). Malli ei toiminut ( $R^2=0,066$ ), joten seuraavasta tarkastelusta poistettiin selvä poikkeus, eli vuosi 2018. Tällöin selitysasteeksi saatiin 40,5 % ( $R^2=0,405$ ). Tulosten mukaan kokonaistypen pitoisuuden vaikutus klorofylli-*a*:n pitoisuuteen oli tilastollisesti merkitsevä ( $p<0,05$ ), mutta kokonaisfosforin ei ( $p>0,05$ ). Regressioanalyysiä häiritsevää multikollineaarisuutta ei korrelaatiotarkastelun perusteella ilmennyt selittävien muuttujien eli kokonaistypen ja -fosforin välillä ( $R^2=0,32$ ). Mallin yhtälö on seuraava:

$$y = -0,402 + (-0,029)x_1 + 0,036x_2 \quad (1),$$

jossa  $x_1$  = kokonaisfosforin pitoisuus ja  $x_2$  = kokonaistypen pitoisuus. Verrattaessa mallilla laskettuja klorofyllipitoisuuksia mitattuihin pitoisuuksiin virhe oli keskimäärin 18,3 % (vaihteluväli -19 – 61 %; Kuvat 2-3).



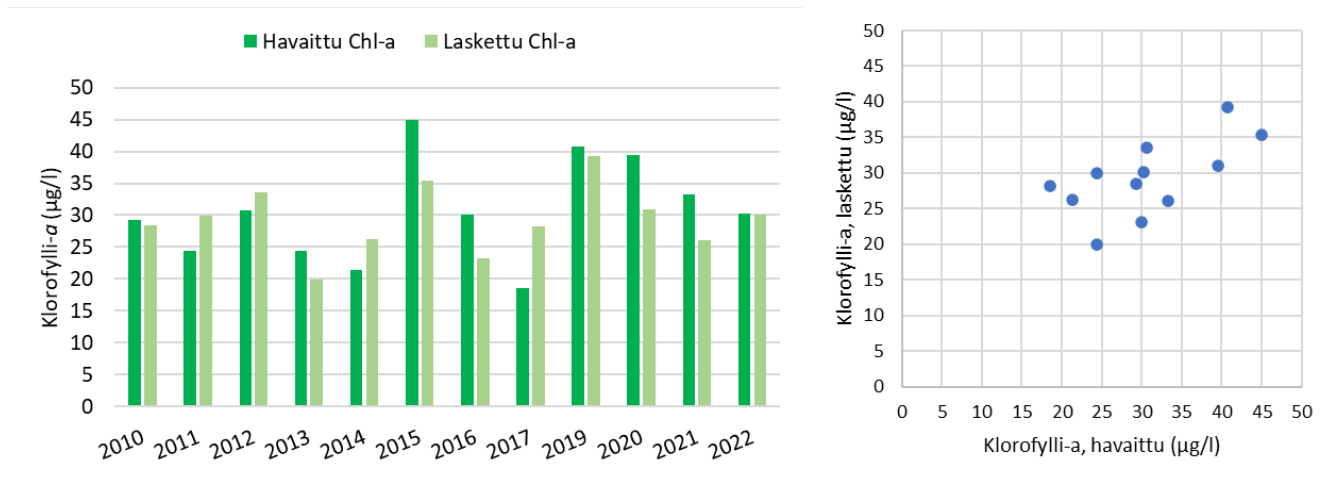
Kuva 2. Havaitut ja regressiomallilla lasketut klorofylli-a:n keskipitoisuudet vuosina 2010-2022 (pois lukien vuosi 2018). Selittävinä muuttujina kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuudet.



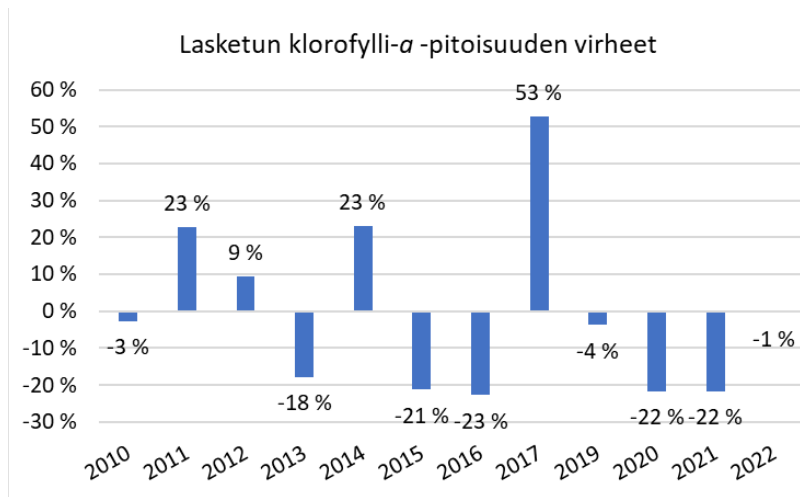
Kuva 3. Regressiomallilla laskettujen klorofylli-a:n keskipitoisuuksien virheet vuosina 2010-2022 (pois lukien vuosi 2018). Selittävinä muuttujina kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuudet.

Kun selittävänä muuttujana käytettiin pelkästään kokonaistyppeä (Kuva 4), selitysaste parani ( $R^2=0,476$ ;  $p<0,05$ ). Virheet ovat suunnilleen samaa luokkaa (vaihteluväli -23 % – 53 %; ka 18,5 %) kuin kahden selittävän muuttujan mallissa (Kuva 5). Kokonaistyyppi-klorofylli -mallin yhtälö on seuraava:

$$y = -3,185 + 0,037x \quad (2)$$



Kuva 4. Havaitut ja regressiomallilla lasketut klorofylli-a:n keskipitoisuudet vuosina 2010-2022 (pois lukien vuosi 2018). Selittävänä muuttujana kokonaistypen keskipitoisuudet.



Kuva 5. Regressiomallilla laskettujen klorofylli-a:n keskipitoisuuksien virheet vuosina 2010-2022 (pois lukien vuosi 2018). Selittävänä muuttujana kokonaistypen keskipitoisuudet.

Pelkästään kokonaisfosforipitoisuuden käyttäminen selittävänä muuttujana ei anna toimivaa mallia ( $R^2=0,034$ ;  $p>0,05$ ). On kuitenkin huomioitava, että myös kokonaistypen pitoisuuden käyttämisessä klorofyllipitoisuutta ennustavana tekijänä on epävarmuutta. Suurilla pitoisuuksilla kokonaistypen pitoisuus ei enää nosta klorofyllipitoisuutta. Tästä kertoo mm. vuoden 2018 tulokset, jolloin kokonaistypen pitoisuus oli erityisen korkea, mutta klorofyllipitoisuudet eivät nousseet. Eli vaikka typen pitoisuus nousi moninkertaiseksi, eivät klorofyllipitoisuudet seuraa typpipitoisuuksien kasvun mukana.

Logaritmimuunnosten käyttö regressioanalyysissä antoivat malleille heikompia selitysasteita.

### Valmiit mallit

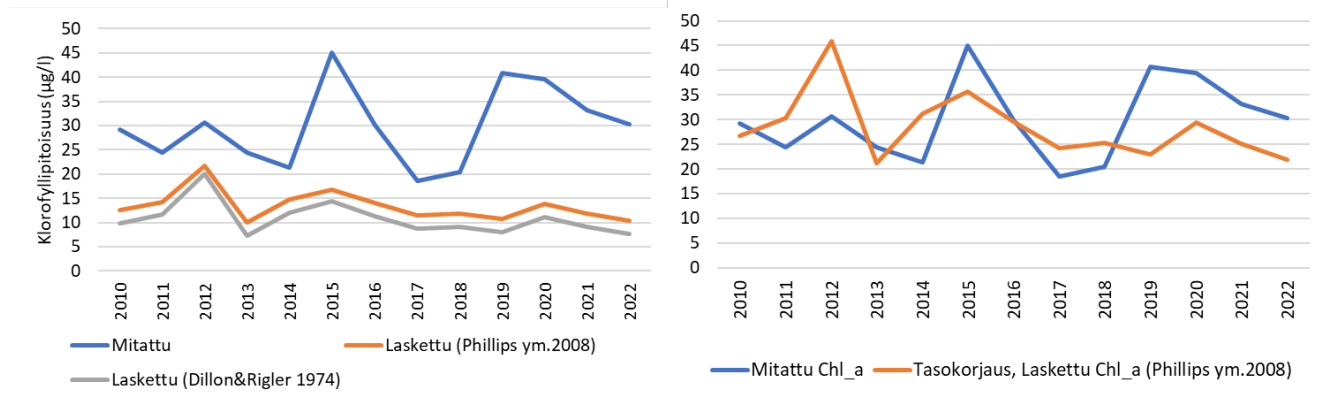
- Phillips ym. (2008). *Matala tai melko matala alkaliteetti, matalat (3-15 m) tai erittäin matalat (< 3 m) järvet*

$$\text{Log}_{10}[\text{Chl}] = -0.528 + 1.108 \text{Log}_{10}[\text{TP}] \quad (3)$$

- Dillon & Rigler (1974)

$$\log_{10}[\text{Chl}] = -1,136 + 1,449 * \log_{10}[\text{TP}] \quad (4)$$

Kirjallisuudesta haettujen fosfori-klorofyllimallien mukaan klorofyllipitoisuuksien pitäisi olla selkeästi pienempiä, kuin ne todellisuudessa Sulkavassa ovat (Kuva 6). Myöskään mallien skaalaamisella (tasokorjauksella) ei saatu kovin hyvää tulosta (Kuva 6, oik.).



Kuva 6. Havaitut ja kirjallisuudesta haettujen fosfori-klorofyllimallien avulla lasketut klorofylli-a:n pitoisuudet vuosina 2010-2022 (vas.). Havaitut ja kirjallisuudesta haetun mallin (Phillips ym. 2008) avulla lasketut, pienimmän neliösumman menetelmällä tasokorjatut klorofyllipitoisuudet (oik.).

## Johtopäätökset

Tässä selvityksessä pyrittiin laatimaan malli Sulkavanjärven klorofyllipitoisuuksien ennustamiseen kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuuksien perusteella. Aineistona käytettiin Ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta haettuja Sulkavanjärven kokonaistypen ja kokonaisfosforin sekä klorofylli-*a*:n pitoisuuksia. Tarkastelussa käytettiin 1 m syvyydestä otettujen typpi- ja fosforinäytteiden keskipitoisuuksia ja 0-2 m syvyydestä otettujen klorofylli-*a* -näytteiden keskipitoisuuksia kesä-syyskuussa 2010-2022. Aineistoa tarkasteltiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Lisäksi testattiin olemassa olevia fosfori-klorofyllimalleja.

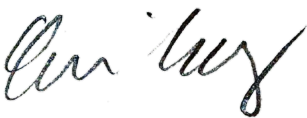
Kokonaisfosforin pitoisuuden käyttäminen ainoana klorofyllipitoisuuksia selittävänä muuttujana ei antanut toimivaa mallia, eli klorofyllipitoisuuksia ei voitu ennustaa pelkästään kokonaisfosforin pitoisuuden avulla. Kun kokonaistyyppi otettiin kokonaisfosforin lisäksi toiseksi selittäväksi muuttujaksi, pystyttiin luomaan malli, jonka avulla klorofyllipitoisuuksien tasoa voitiin ennustaa tiettyyn pisteeseen saakka. Mallin selitysaste jäi kuitenkin melko matalaksi (40 %), ja laskettujen klorofyllipitoisuuksien virhe vaihteli paljon (-19 % – 61 %, ka 18,3 %). Pelkän kokonaistypen käyttäminen selittävänä muuttujana paransi hieman selitystasetta (selitysaste 48 %) verrattuna kahden muuttujan malliin. Keskimääräinen virhe oli samaa tasoa (18,5 %) kuin kahden muuttujan mallissa. Molemmista malleista piti poistaa yksi poikkeava havainto (vuosi 2018). Kyseisenä vuonna kokonaistypen pitoisuus oli erityisen korkea, kun taas klorofylli-*a*:n pitoisuus jäi jopa keskimääräistä matalammaksi.

Kokonaistyyppipitoisuus näyttäisi siis selittävän kokonaisfosforipitoisuutta selvästi paremmin klorofylli-*a*:n pitoisuuksia, mutta tietyn pisteen jälkeen typpipitoisuuden kasvu ei enää nosta klorofyllipitoisuuksia. **Selkeästi fosforirajoitteiseksi todetussa järvessä myös fosforilla on merkitystä levien kasvuun, joten myös kokonaisfosforipitoisuuden sisällyttäminen malliin on aiheellista, vaikkakin se heikensi hieman mallin selitystasetta.** Koska liukoisen fosfaattifosforin sekä nitraattitypen saatavuudella on oleellinen merkitys levien kasvuun, ei pelkkien kokonaisravinteiden perusteella voida erityisen hyvin kuvata klorofyllipitoisuuksia Sulkavanjärven epävakaassa systeemissä. Lisäksi on huomioitava, että Sulkavanjärvessä havaittu *Gonyostomum semen* -limalevä voi häiritä klorofylli-*a*:n mittaustuloksia ja sitä myöten myös mallin toimivuutta. Lisäksi mukana voi olla muita klorofyllipitoisuuksiin vaikuttavia muuttujia, joita ei pystytty olemassa olevan datan perusteella tunnistamaan.

**Lineaarisen regressiomallin, jossa selittävinä muuttujina käytetään sekä kokonaistypen että kokonaisfosforin keskipitoisuuksia 1 m havaintosyvyydellä kesä-syyskuussa, voidaan todeta antavan suuntaa antavaa tietoa Sulkavanjärven klorofylli-*a*:n pitoisuuksista. Mallin selkein rajoite on erityisen suuret (selvästi yli 1000 µg/l) typpipitoisuudet.**

Kuopio 30.11.2023

Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd



Erkki Saarijärvi

Limnologi, toimitusjohtaja

30.11.2023

## **Lähteet**

Albert, R-L. 2023. Ecomonitor Oy. Yara Oy:n latvavesitarkkailun kasviplanktonnäytteitä vuodelta 2022.

Dillon, P.J. & Rigler, F.H. 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 5, doi: 10.4319/lo.1974.19.5.0767

Phillips, G. 2008. Chlorophyll-nutrient relationships of different lake types using a large European dataset. *Aquatic Ecology* 42. doi: 10.1007/s10452-008-9180-0.