

MUISTIO

3.1.2024

Tekijä: Vesi-Eko Oy

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

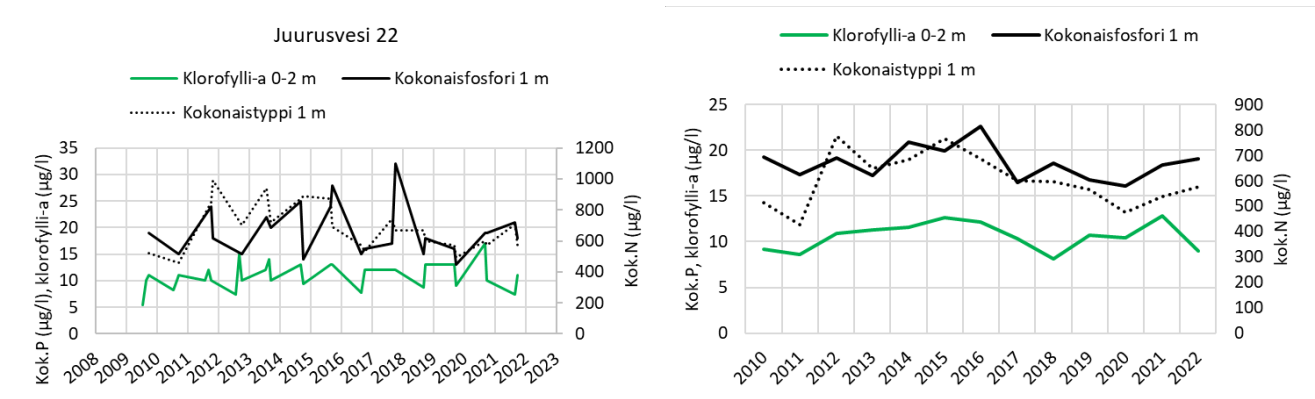
Juurusveden Kuuslahden klorofylli-*a* -pitoisuuden mallinnus

Tausta ja menetelmät

Tarkastelun päämääränä oli laatia malli, jonka avulla voidaan ennustaa levämäärästä kertovan klorofylli-*a*:n -pitoisuuksia ja niiden muutoksia kokonaisravinteiden pitoisuuksien perusteella Juurusveden Kuuslahdessa. Tarkastelussa käytettiin lähtötietoina velvoitetarkkailun havaintopaikkojen Juurusvesi 1, 2, 2A, 3, 4, 6, 8, 13A sekä 15 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 kaikilta havaintopaikoilta. Dataa tarkasteltiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Analyysissä käytettiin Excel-ohjelmistoa. Lisäksi testattiin jo olemassa olevia malleja, joista yksi (Phillips ym. 2008) on esitetty tässä muistiossa.

Tulokset

Aikasarjakuvasta (Kuva 1) havaitaan, että klorofyllipitoisuudet mukailevat jokseenkin kokonaisravinteiden pitoisuuksia. Kuuslahti on typpi-fosforiravintenesuhteen (N:P) perusteella **fosforirajoitteinen**. Tällöin fosforipitoisuuden perusteella voidaan yleensä ennustaa klorofylli-*a*:n pitoisuuksia. Kuuslahden vedenlaatutulosten perusteella kokonaisfosforin ja klorofylli-*a*:n välinen yhteys oli havaittavissa, mutta myös poikkeuksia esiintyi. Klorofyllipitoisuudet näyttivät seuraavan myös kokonaistyyppipitoisuuksien vaihtelua. Selvimät poikkeukset olivat vuodet 2018 ja 2022, jolloin kesän keskimääräiset klorofyllipitoisuudet olivat matalampia kuin mitä kokonaisravinnepitoisuuksien perusteella voisi arvioida (Kuva 1).



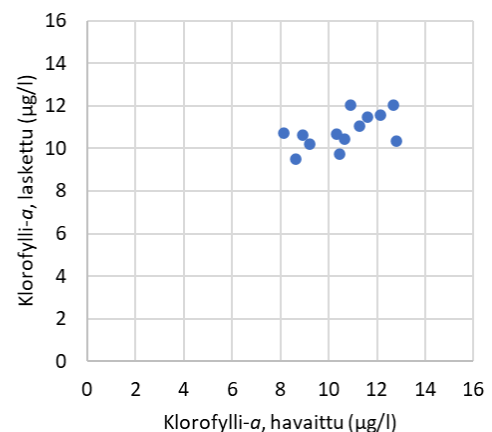
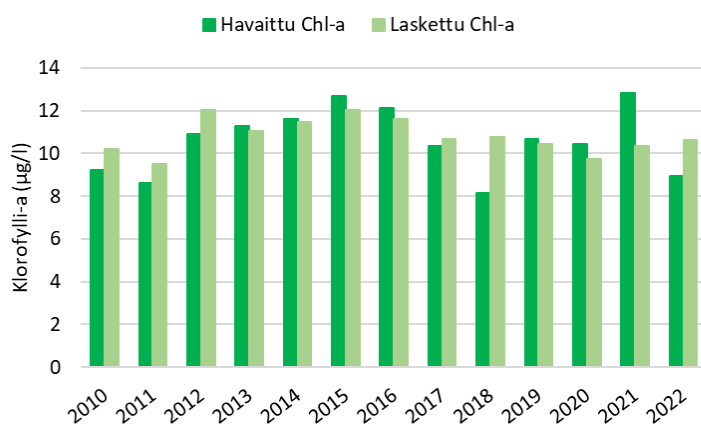
Kuva 1. Havaintopaikan **Juurusvesi 22** havaintokohtaiset (vas.) ja kaikkien velvoitetarkkailupisteiden 1, 2, 2A, 3, 4, 6, 8, 13A ja 15 keskimääräiset (oik.) kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja klorofylli-a -pitoisuudet kesäsyyskuussa vuosina 2010-2022.

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). Mallin selitysaste jäi matalaksi ($R^2=0,29$), joten seuraavasta tarkastelusta poistettiin selvä poikkeus, eli vuosi 2018. Tällöin selitysasteeksi parani hieman (36 %). Pitoisuuksille suoritettiin vielä logaritimuunnokset ennen regressioanalyysiä, mikä paransi edelleen selitysastetta (39 %). P-arvojen mukaan kummankaan kokonaisravinteen vaikutus klorofyllipitoisuuteen ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä ($p>0,05$), mutta analyysin perusteella tyyppipitoisuudet näyttäisivät paremmin selittävän klorofyllipitoisuuksia. Regressioanalyysiä häiritsevää multikollineaarisuutta ei korrelaatiotarkastelun perusteella ilmennyt selittävien muuttujien eli kokonaistypen ja -fosforin välillä ($R^2=0,57$). Mallin yhtälö on seuraava:

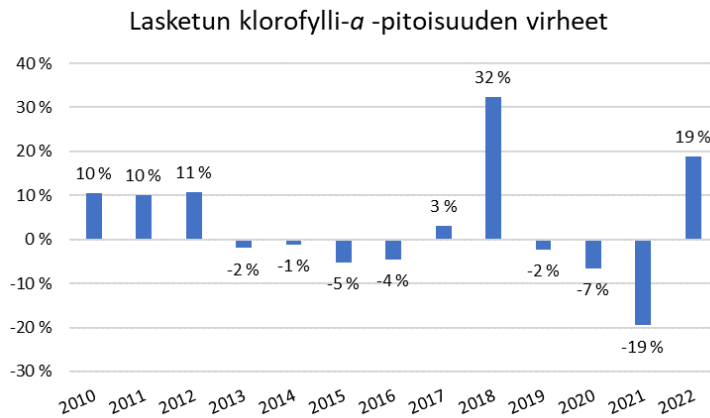
$$\text{Log}_{10}(y) = (-0,210) + 0,012 \cdot \text{Log}_{10}(x_1) + 0,442 \cdot \text{Log}_{10}(x_2) \quad (1),$$

jossa x_1 = kokonaisfosforin pitoisuus ja x_2 = kokonaistypen pitoisuus. Verrattaessa mallilla laskettuja klorofyllipitoisuuksia mitattuihin pitoisuuksiin virhe oli keskimäärin 10 % (vaihteluväli -20–32 %; Kuvat 2-3).

Pelkästään kokonaisfosforipitoisuuden käyttäminen selittävänä muuttujana ei anna toimivaa mallia ($R^2=0,15$; $p>0,05$).



Kuva 2. Havaitut ja regressiomallilla lasketut klorofylli-a:n keskipitoisuudet vuosina 2010-2022. Selittävinä muuttujina kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuudet.



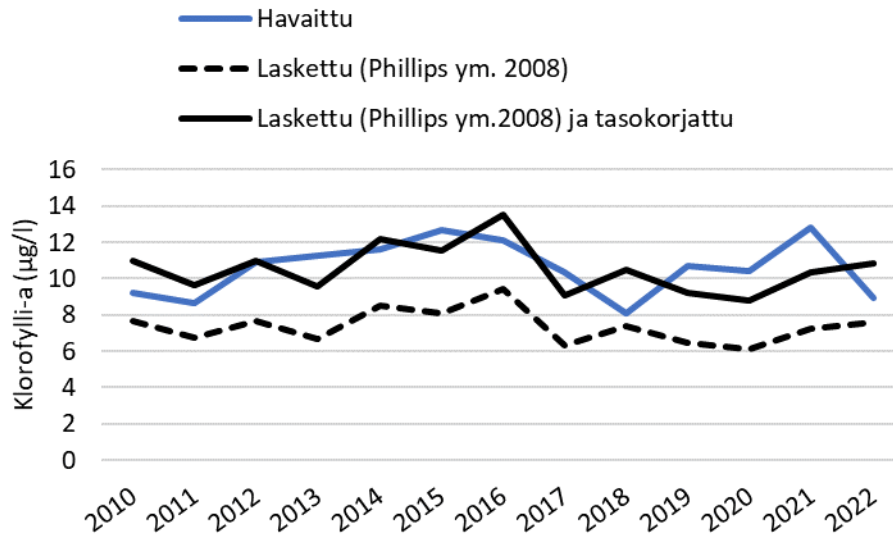
Kuva 3. Regressiomallilla laskettujen klorofylli-a:n keskipitoisuuksien virheet vuosina 2010-2022. Selittävinä muuttujina kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuudet. Mallista pois jätetty vuosi 2018 oli poikkeuksellinen klorofyllipitoisuuksien ollessa alhaisemmat, kuin mitä kokonaisravinnepitoisuuksien perusteella olisi voinut odottaa.

Valmiit mallit

- Phillips ym. (2008; *Matala alkaliniteetti, syvä humusjärvi*)

$$\text{Log}_{10}[\text{Chl}] = -0,733 + 1,261 \text{ Log}_{10}[\text{TP}] \quad (3)$$

Kirjallisuudesta haettujen fosfori-klorofyllimallien mukaan Kuuslahden klorofyllipitoisuuksien pitäisi olla pienempiä, kuin ne todellisuudessa Kuuslahdessa ovat. Mallin (Phillips ym. 2008) skaalaamisella (tasokorjauksella) saatiin parannettua sen toimivuutta Kuuslahden tapauksessa (Kuva 4), mutta virheet olivat silti suuremmat (ka 14 %), kuin Kuuslahdessa havaittujen kokonaisravinnepitoisuuksien perusteella laaditussa mallissa.



Kuva 4. Havaitut ja kirjallisuudesta haetun fosfori-klorofyllimallin avulla lasketut klorofylli-a:n pitoisuudet vuosina 2010-2022.

Mallinnetut klorofyllipitoisuudet Kuuslahdella

Yara Suomi Oy on teettänyt osana Tulevaisuudessakin leipää -hankkeen (TULE)-hanketta Envineer Oy:llä vedenlaatumallinnuksen, jossa on laskettu eri hankevaihtoehtojen vaikutuksia Kuuslahden ravinnepitoisuuksiin (Envineer 2024). Yllä kuvatun, Kuuslahden aineiston perusteella laaditun klorofyllimallin (1) perusteella laskettiin mallinnetut klorofylli-a -pitoisuudet vastaaville vaihtoehdoille (taulukko 1).

Mallinnuksen perusteella suurimmat klorofyllipitoisuudet ovat sateisina vuosina 13-14 µg/l suuruusluokkaa, myös nollavaihtoehdossa. Laskennallinen muutos olisi siten havaittuun sateisen vuoden 2015 tilanteeseen noin yhden µg/l luokkaa.

Taulukko 1. Kuuslahden mallinnetut kokonaisravinnepitoisuudet sekä niistä edelleen lasketut klorofylli-a-pitoisuudet. Taulukossa hankevaihtoehtojen mallinnetut pitoisuudet ilmoitettu sekä pitoisuuslisäyksiä että loppupitoisuuksina ("tausta"-tunniste).

Keskiarvo (0 - 2 m)	Fosfori µg/l	Typpi µg/l	Havaittu klorofylli- a-pitoisuus	Laskennallinen klorofyllipitoisuus µg/l
1.6. - 30.9.				
Havaittu tav (2016)	24,4	782	12,1	12,1
Havaittu_sat (2015)	22,5	858	12,7	12,6
Havaittu_kuiva (2019)	17,1	610	10,7	10,8
Nykytila	0,7	182		
Nykytila_sat	0,6	268		
Nykytila_kuiva	0,3	72		
Nykytila_tav_ tausta	23,7	600		10,8
Nykytila_sat_ tausta	21,9	590		10,7
Nykytila_kuiva_ tausta	16,8	538		10,2
VE0_sat	1,1	390		
VE0_sat+tausta	23,0	980		13,4
VE1_sat	1,3	414		
VE1_sat+tausta	23,2	1004		13,5
VE4_sat	1,0	440		
VE4_sat+tausta	23,0	1030		13,7
VE0_kuiva	0,4	142		
VE0_kuiva+tausta	17,2	680		11,4
VE1_kuiva	0,5	224		
VE1_kuiva+tausta	17,3	762		11,9
VE4_kuiva	0,8	305		
VE4_kuiva+tausta	17,6	843		12,5

Johtopäätökset

Tässä selvityksessä pyrittiin laatimaan malli Juurusveden Kuuslahden klorofyllipitoisuuksien ennustamiseen kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskipitoisuuksien perusteella. Aineistona käytettiin Ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta haettuja Kuuslahden 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 kovinkaan 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. Mallin selitysaste jäi kuitenkin melko matalaksi (39 %), ja laskettujen klorofyllipitoisuuksien virhe vaihteli paljon (-20 %–32 %, ka 10 %). Mallista poistettiin yksi poikkeuksellinen vuosi (2018). Kyseisenä vuonna kesän keskimääräinen klorofyllipitoisuus oli alimmillaan koko tarkastelujakson aikana, vaikka kokonaisfosforin pitoisuus oli puolestaan noussut

3.1.2024

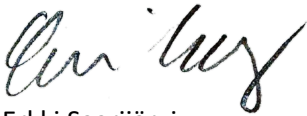
edelliskesästä ja kokonaistypen pitoisuus oli keskimääräisellä tasolla. Samankaltainen ilmiö havaittiin Sulkavanjärven tapauksessa, joten poikkeavan vuoden poistaminen mallien aineistoista katsottiin perustelluksi.

Kokonaistyyppipitoisuus näyttäisi selittävän hieman kokonaisfosforipitoisuutta paremmin klorofylli-*a*:n pitoisuuksia, mutta **fosforirajoitteiseksi todetun järven tapauksessa kokonaisfosforipitoisuuden sisällyttäminen malliin on aiheellista**. Koska liukoisen fosfaattifosforin sekä nitraattityypen saatavuudella on oleellinen merkitys levien kasvuun, ei pelkkien kokonaisravinteiden perusteella voida erityisen hyvin kuvata klorofyllipitoisuuksia Kuuslahdessa. Lisäksi mukana voi olla muita klorofyllipitoisuuksiin vaikuttavia muuttujia, joita ei pystytä 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 Kuuslahden klorofylli-*a*:n pitoisuuksista.

Kuopio 3.1.2024

Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd



Erkki Saarijärvi

Limnologi, toimitusjohtaja

Lähteet

Envineer Oy, 2024: Kuuslahden 3D-virtaus ja kulkeutumismallinnus. Kuopio 2024 -LUONNOS

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