



Kukkianvirran perkaamisen vaikutus Kukkian vedenkorkeuteen



Kirsi Kuoppamäki
Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry
Vauhtia vesienhoitoon III -hanke

Tekijä: Kirsi Kuoppamäki (FT, Dosentti), ympäristöasiantuntija, tutkija
 Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry.
 Vauhtia vesienhoitoon III -hanke, www.kvvy.fi/vvh
Tilaaaja: Kukkian Suojeluyhdistys ry

Johdanto

Kukkianvirtaa perattiin 1990-luvulla, tarkoituksena todennäköisesti edistää veneliikennettä Kukkian ja Iso-Roineen välillä. Käytännössä Vihavuodenkoski kuitenkin estää liikenteen näiden kahden järven välillä (Aho 2020). Perkaustöitä tehtiin tiettävästi vuosien 1994 ja 1995 aikana (Kukkian suojeluyhdistys ry, suullinen tiedonanto). Kuivina aikoina Kukkian vedenpinnan on sittemmin havaittu laskevan haitallisen alas ja vedenpinnan korkeuden vaihtelun äärevöityminen koetaan häiritsevänä. Tiettävästi ei ole kuitenkaan vielä tutkittu kuinka suuri muutos vedenpinnan vaihtelussa on todella tapahtunut ja miten selkeä yhteys sillä on perkaamistoiimiin. Asiaa on kuitenkin mahdollista arvioida, sillä Kukkian vedenpinnan korkeutta on mitattu jo 1900-luvun alkupuolelta (Hertta-tietokanta, Suomen ympäristökeskus SYKE).

Vedenpinnan korkeuden vaihtelu on sinänsä luontainen ja monille järville tyypillinen piirre. Siihen vaikuttaa ihmistoiminnan ohella tietenkin myös sääolosuhteet: sadanta, haihdunta, lämpötila. Järviekosysteemien eliöstö on sopeutunut ilmiöön ja monille lajeille se on jopa elinehto. Esimerkiksi hauki nousee keväällä tulvarannoille kutemaan. Mitä matalampi järvi, sitä suurempi osuus litoraalista eli rantavyöhykkeestä on ajoittain veden peittämä, ajoittain kuivillaan. Tämä vaihtelu vaikuttaa esimerkiksi eroosioon, rantavyöhykkeen tuotantoon ja ravinteiden kiertoon (Wetzel 2001). Suuri vedenkorkeuden vaihtelu voi aiheuttaa ravinteiden sisäistä kuormitusta rantavyöhykkeestä (Zohary & Ostrovsky 2011). Kukkian vedenlaadussa on ilmennyt aikojen saatossa kehityssuunta mm. fosforipitoisuudella mitattuna ja ilman vesiensuojelullisia toimenpiteitä järven ekologisen tilan on arvioitu olevan uhattuna (Kuoppamäki 2023). Ajoittaisia sinileväkukintoja on havaittu matalilla alueilla, ei välttämättä niinkään selkäalueilla. Kenties vedenpinnan korkeuden vaihtelulla voi olla osuutta asiaan, mutta keskeisin syy on valuma-alueelta tuleva kuormitus.

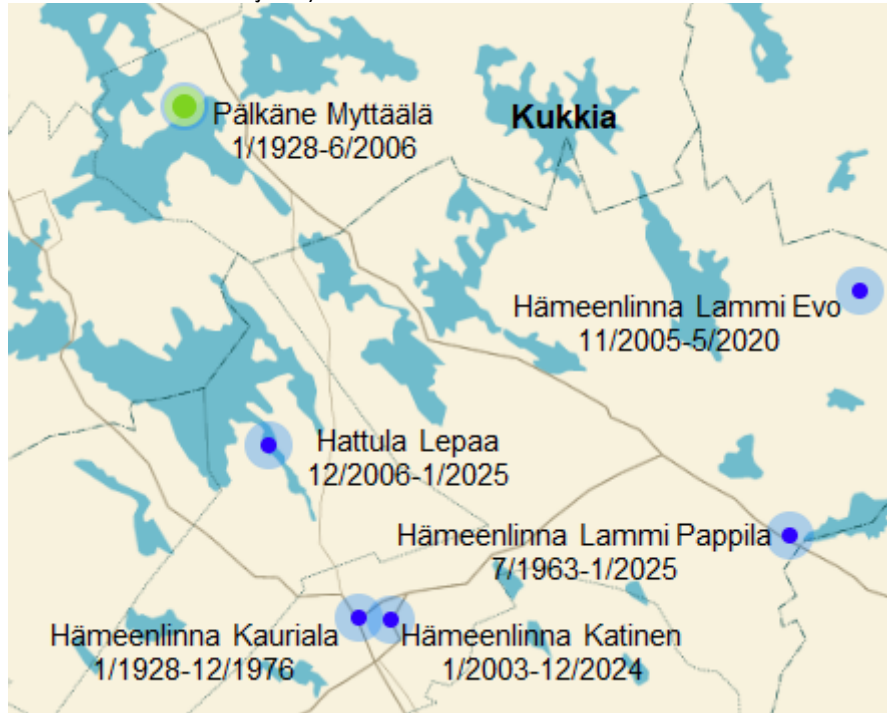
Humuspitoisuutta, tummumista osoittavat veden väri ja kemiallinen hapenkulutus on ollut hivenen nousujohteinen. Samalla veden pH ja alkaniniteetti on kohonnut, mikä viittaa vähentyneeseen happamaan laskeumaan (Kuoppamäki 2023). Se on yksi syy siihen, miksi orgaaninen hiili esiintyy aiempaa enemmän liukoissa muodossa ja pääsee siten huuhtoutumaan valuma-alueelta vesistöihin aiheuttamaan tummumista (Monteith ym. 2007). Kukkialla tämän tekijän merkityksen on kuitenkin nähty olevan vähäinen ja merkittävimäksi syyksi tummumiseen on arvioitu metsänhakkuut (Rankinen ym. 2023). Vedenlaadun muutokset selittyvät siis valtaosin valuma-alueelta tulevalla kuormituksella. Vedenkorkeuden vaihtelun vaikutus voi olla lähinnä ajoittainen ja paikallinen.

Ihmistoiminnan aiheuttama voimistunut tai vähentynyt vedenpinnan korkeuden vaihtelu muuttaa etenkin rantavyöhykkeen biologisia ja fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. Äärevöitynyt vedenpinnan vaihtelu haittaa myös ihmistoimintaa, mukaan lukien järven virkistyskäyttö, kuten Kukkiallakin on koettu. Siksi Kukkian suojeluyhdistyksen esityksestä KVVY Yhdistyksessä osana Vauhtia vesienhoitoon III -hanketta (www.kvvy.fi/vvh) tehtiin pienimuotoinen tutkimus Kukkianvirran vedenpinnan korkeustietoihin perustuen (Kuoppamäki 2024). Kyseisessä katsauksessa huomioitiin Kukkianvirran perkauksen ohella selittävänä tekijänä sadanta. Keskeinen asiaan vaikuttava tekijä on myös haihdunta, mutta sen määrittäminen on huomattavasti haastavampaa kuin sadannan mittaaminen. Haihduntaan vaikuttaa käytettävissä olevan veden määrä ja lämpötila.

Tähän jatkotutkimukseen veden korkeutta selittäväksi tekijäksi otettiin sadannan lisäksi mukaan ilman lämpötila, josta on saatavilla päivittäistä tietoa Ilmatieteen laitoksen sääasemilta ja joka epäsuorasti ilmentää myös haihduntaa. Ilmastomuutos kohottaa lämpötilaa ja siten kasvattaa myös haihduntaa. Kukkian valuma-alueella vuoden keskilämpötila onkin kasvanut 2 °C vuodesta 1985, mutta vastaavana ajanjaksona vuosittaisessa sadannassa ei ole tapahtunut muutoksia (Rankinen ym. 2023). Sadannan on toisaalta ennustettu kasvavan Suomessa ilmastomuutoksen seurauksena peräti 30 prosentilla, etenkin talvisaikaan (Ruosteenoja ym. 2016). Kukkian vedenpinnan korkeuden vaihtelun ja koetun haitan kannalta olennaisempaa onkin kesän kuin talven tilanne.

Aineisto ja menetelmät

Kukkian vedenkorkeutta on mitattu vuorokausittain jo vuodesta 1911 asti. Tulokset löytyvät ympäristöhallinnon ylläpitämästä Hertta-tietokannasta, mistä aineisto (N2000-korkeustaso) ladattiin tätä tarkastelua varten. Sademäärät ja ilman keskilämpötilat haettiin Ilmatieteen laitoksen tietokannasta (www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!), mistä ladattiin lähimpänä Kukkiaa sijaitsevien säähavaintoasemien aineistot: Pälkäneen Myttäälä -pisteestä löytyi dataa vuosilta 1928-2006, Hämeenlinna Katinen -pisteestä vuosilta 2006-2013 ja Hattula Lepaa -pisteestä vuosilta 2014-2025 Kuva 1). Nämä kolme aikasarjaa yhdistettiin tätä tutkimusta varten.



Kuva 1. Ilmatieteen laitoksen sääasemat Kukkian lähiseudulla. Suurin osa tähän tarkasteluun otetusta sade- ja lämpötilamittauksista on tehty Pälkäne Myttäälä -asemalla (vihreä ympyrä), mutta koska sen aineistot päättyivät kesäkuuhun 2006, sitä jatkettiin Hattula Lepaa -aseman aineistolla, jota löytyi joulukuusta 2006 näihin päiviin ja joka sijaitsee noin 25 km etelään. Lyhyt katkos näiden kahden aseman aineistossa vuonna 2006 täydennettiin datalla Hämeenlinna Katinen -pisteestä. Kunkin mittauspisteen viereen on merkitty sen nimi ja ajanjakso, jolta aineistoa on olemassa.

Työhön käytettävissä olevan ajan puitteissa aineisto päätettiin karkeista kuukausitasolle vuorokausikohtaisen tarkastelun sijasta. Toinen perustelu tälle rajaukselle on oletamus että vuorokausitason vaihtelut säätilassa tuskin näkyvät näin nopealla aikataululla Kukkian kokoisen järven vedenkorkeudessa. Niinpä korkeusmittauksista ja lämpötilamittauksista laskettiin kuukausikohtainen keskiarvo ja mediaani sekä sademääristä kuukausittainen sadesumma. Lisäksi laskettiin vedenkorkeuden vuorokausikohtaiset minimi- ja maksimit per kuukausi. Kuukauden minimi otettiin mukaan tähän tarkasteluun.

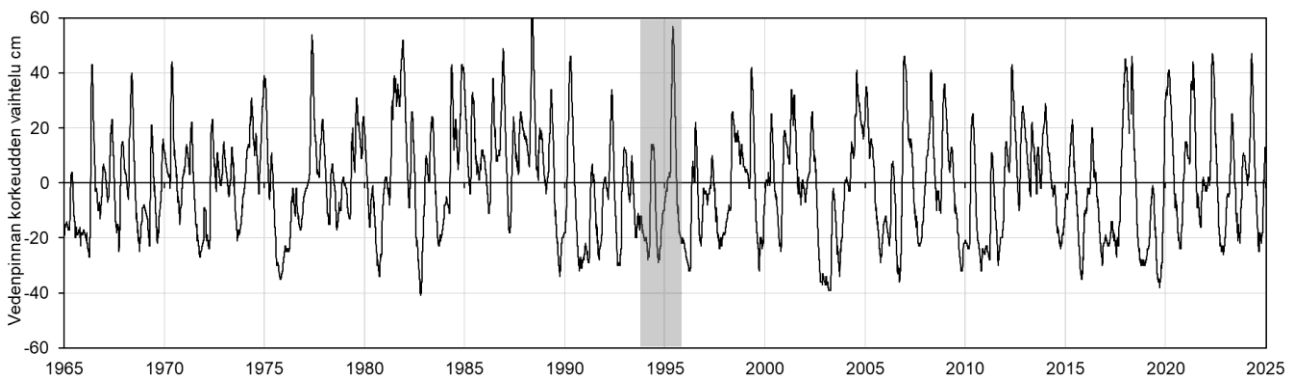
Jotta voitiin arvioida Kukkianvirran perkaamisen vaikutusta vedenkorkeuteen, verrattiin vedenpinnan korkeutta ja vaihtelua ennen ja jälkeen vuosien 1994-1995 perkausajankohdan. Vedenkorkeuden mittaustuloksia perkaamisen jälkeen vuosina 1996-2024 (yhteensä 29 vuotta) verrattiin toimenpidettä edeltäneiden vuosien 1965-1993 (yht. 29 vuotta) tuloksiin. Alkuperäisten mittaustulosten lisäksi käsiteltiin myös koko ajanjaksolle 1965-2024 normalisoituja vuosikohtaisia arvoja pitkän aikavälin kehityksen havainnollistamiseksi. Se saatiin laskemalla ko. ajanjakson keskiarvo, josta vuosittaiset arvot vähennettiin (vrt. Zohary & Ostrovsky 2011).

Aineistoa tarkasteltiin aluksi koko kalenterivuosien tasolla. Kukkian vedenpinnan on havaittu laskevan haitallisen alas kuivina aikoina ja se koetaan häiritseväksi – todennäköisesti ajankohtana, jolloin vesistön äärellä vietetään aikaa: uidaan, veneillään, kalastetaan etenkin kesällä. Siksi aineiston tarkastelu rajattiin kesäaikaan tutkimalla vedenkorkeuksia, sadantaa ja ilman lämpötilaa a) kesä-heinä-elokuussa, b) heinä-elo-syyskuussa ja c) heinä-elokuussa.

Mahdolliset tilastolliset merkitsevyydet vedenkorkeudessa, sadannassa ja ilman lämpötilassa ennen ja jälkeen uoman perkaamisen tutkittiin parittaisten (riippuvien otosten) t-testillä kun ensin oli tarkistettu aineiston normalisuus ja samalla myös varianssien yhtäsuuruus (IBM SPSS Statistics, versio 91.0.1.0. (171)). Mikäli t-testin oletukset eivät toteutuneet, tehtiin vastaava ei-parametrinen Wilcoxonin testi.

Tulokset

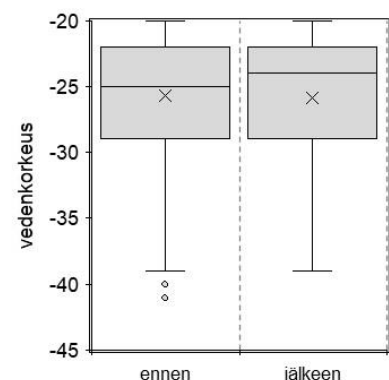
Kun tarkastellaan vuorokausikohtaisia mittaustuloksia (Kuva 2) ja sitä kuinka usein vedenpinnan korkeus alittaa pitkän aikavälin (1965-2024) keskiarvon, ns. nollatason, ennen Kukkienvirran väylän perkaamisajankohtaa (1994-1995) sellaisia mittauksia löytyy 5075 vuorokaudelta. Toimenpiteen jälkeen vastaavanlaisia <0 cm mittaustuloksia on tehty 5761 päivänä eli näin arvioituna eroa ei juurikaan ole. Jos valitaan kriteeriksi -20 cm tai sitä alempi vedenpinnan taso verrattuna pitkän aikavälin keskiarvoon, ennen perkausta tällaisia mittauksia tehtiin 1501 vuorokautena, jälkeen perkauksen 2578 vuorokautena eli 1,7 kertaa enemmän.



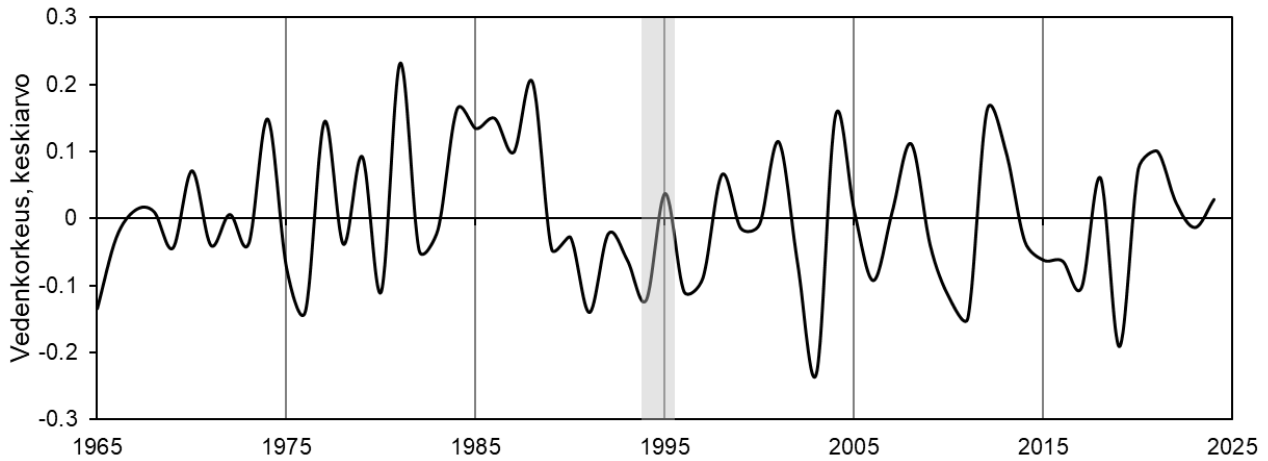
Kuva 2. Kukkienvirran vedenkorkeuden vuorokauden aikaisen vaihtelun poikkeama vuosien 1965-2024 keskiarvosta, joka laskettiin kuukausikohtaisista keskiarvoista. Se asetettiin kuvan 0-tasoksi. Harmaa palkki osoittaa Kukkienvirran väylän perkaamisen oletetun ajankohdan.

Kun verrataan valittuja -20 cm tai sitä alempia lukemia keskenään, absoluuttinen vuorokausikohtainen vedenkorkeus ei kuitenkaan poikkea perkaamistoimien jälkeisenä ajanjaksona verrattuna sitä edeltävään ajanjaksoon (Kuva 3).

Kuva 3. Pitkän aikavälin (1965-2024) keskiarvon -20 cm tai sitä enemmän alittavat vuorokausikohtaiset vedenkorkeudet ennen Kukkienvirran uoman perkaamista (vuosina 1965-1993; n = 29) ja sen jälkeen (vuosina 1996-2024; n = 29). Ruksit (x) osoittavat keskiarvon, vaakaviivat mediaanin, laatikoiden alareuna on 1. kvartaali, yläreuna 3. kvartaali ja hajontaviivat osoittavat minimin ja maksimin.

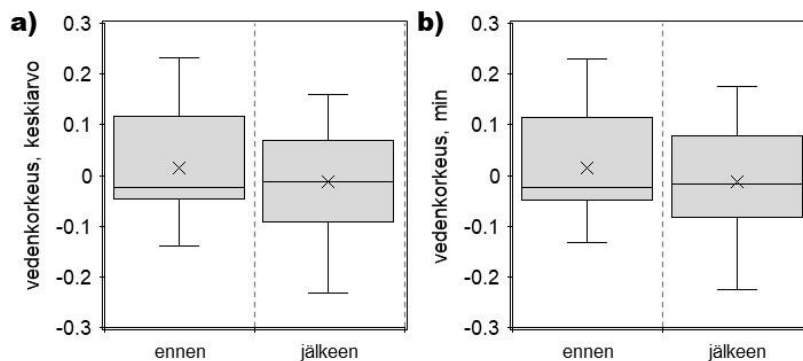


Kun aineistoa tarkastellaan vuorokausikohtaisia havaintoja karkeammin vuositasolla, keskiarvoista lasketun aineiston mukaan Kukkienvirran väylän perkaamisen (1995-1996) jälkeen on muutamina vuosina mitattu koko ajanjakson keskiarvoon verrattuna aikaisempaa alhaisempia vedenpinnan keskiarvon tasoja (Kuva 4). Pitkäaikaisen keskiarvon alittavia eli negatiivisia vuosikeskiarvoja molempina ajanjaksoina on ollut kuitenkin täsmälleen yhtä monta: 16 vuonna.



Kuva 4. Vedenkorkeuden vuosittainen vaihtelu Kukkiassa vuosina 1968-2023 aineiston keskiarvon (nollataso) molemmin puolin aineistojen keskiarvon (nollataso) molemmin puolin ennen ja jälkeen Kukkiavirran uoman perkaamisajankohdan (harmaa palkki).

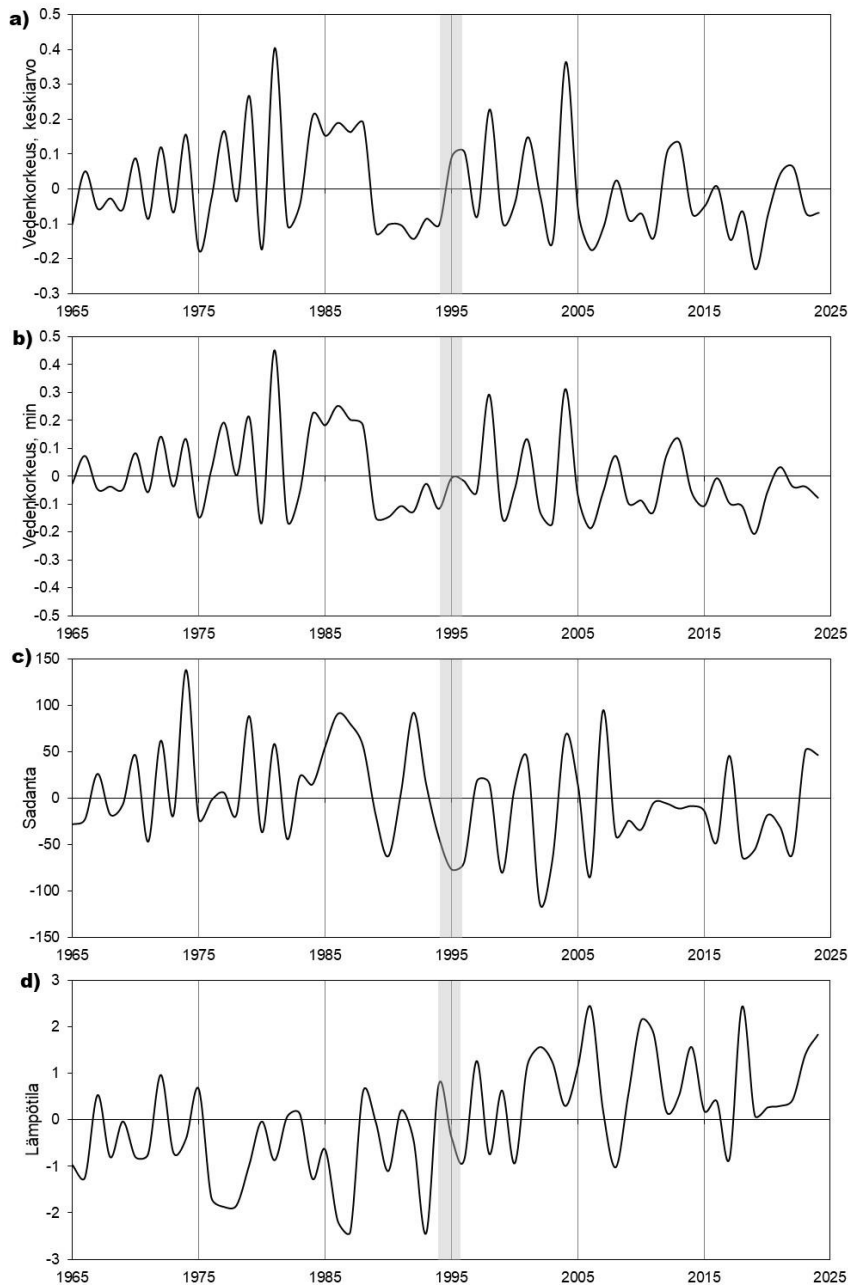
Kokonaisten kalenterivuosien tasolla vedenkorkeudet eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0,05$; Wilcoxonin testi) ennen ja jälkeen Kukkiavirran perkaamisen (Kuva 5a). Tilastollista eroa ei löytynyt myöskään silloin kun tarkastellaan alimpia mitattuja arvoja, ns. vedenpinnan minimi-mittauksia (Kuva 4b), joiden on koettu voimistuneen perkaamisen jälkeen. Kuitenkin vaihteluväli (minimi vs. maksimi) on siirtynyt alemmalle tasolle perkaamisen jälkeen verrattuna tilanteeseen ennen toimenpidettä (Kuvat 5a,b).



Kuva 5. Vedenkorkeuden vaihtelun a) keskiarvojen ja b) minimien ero vuosien 1965-2024 keskiarvosta ennen (vuosina 1965-1993; $n = 29$) ja jälkeen (vuosina 1996-2024; $n = 29$) Kukkiavirran uoman perkaamisen. Ruksit (x) osoittavat keskiarvon, vaakaviivat mediaanin, laatikoiden alareuna on 1. kvartaali, yläreuna 3. kvartaali ja hajontaviivat osoittavat minimin ja maksimin.

Kukkian vedenkorkeuden vaihtelu kesällä ja suhteessa sään vaihteluun

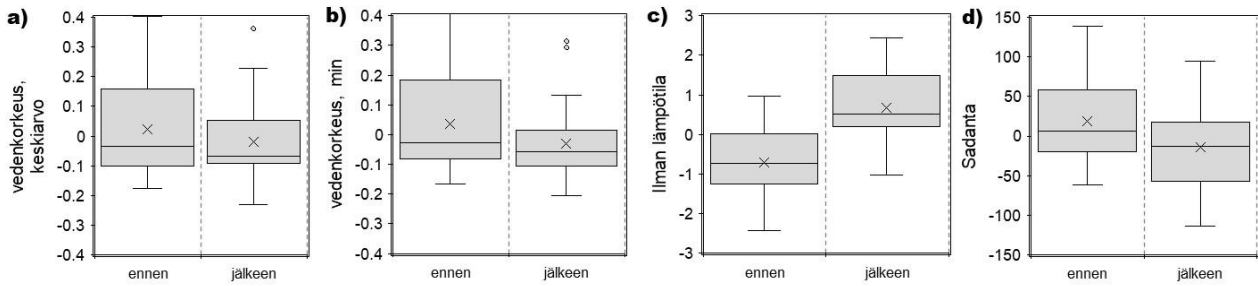
Kukkianvirran perkaamisella ei siis näyttäisi olevan merkittävää yhteyttä Kukkiavirran vedenpinnan korkeuteen ainakaan vuositasolla, joskin vaihteluväli on toimenpiteen jälkeen hieman madaltunut aiempaan verrattuna. Kesän tilanne voi kuitenkin erota suuresti koko vuoden tasolla tehtyihin havaintoihin. Aikasarjoja tarkastellen voidaan nähdä vuosien välinen suuri vaihtelu Kukkiavirran vedenpinnan korkeudessa heinä-, elo- ja syyskuussa sekä samalla korkeimpien arvojen väheneminen etenkin viimeisten noin 20 vuoden aikana (Kuva 6a,b). Vastaavasti kesät ovat olleet muuttumassa vähäsateisemmiksi samalla kun ilman lämpötilat kohoavat (Kuva 6c,d).



Kuva 6. Vedenkorkeuden vuosittainen vaihtelu Kukkiassa heinä-, elo- ja syyskuun a) keskiarvoina ja b) minimitasoina sekä c) sadanta ja d) ilman lämpötila vuosina 1968-2023 aineistojen keskiarvon (nollataso) molemmin puolin ennen ja jälkeen Kukkienvirran uoman perkaamisajankohdan (harmaat palkit).

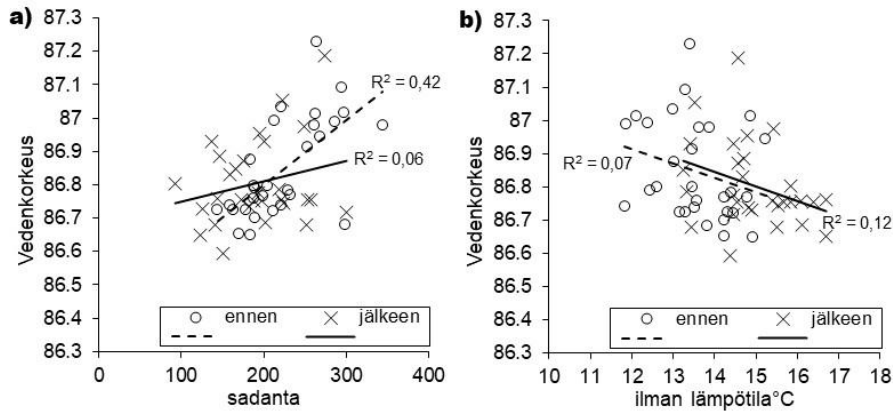
Tähän tarkasteluun valikoituina kolmena kesäkauden ajanjaksona (kesä-heinä-elokuu, heinä-elosyyskuu ja heinä-elokuu) Kukkiän vedenkorkeus ei kuitenkaan eronnut merkittävästi perkauksen jälkeisenä ajanjaksona verrattuna sitä edeltävään ajanjaksoon (Wilcoxonin testi; $p > 0,05$).

Tutkituista kolmella eri tavalla rajatuista kesäkausista eniten eroja vedenkorkeudessa havaittiin kun tarkasteltiin heinä-, elo- ja syyskuun aineistoa (Kuva 7a,b), vaikkakaan se ei siis ollut tilastollisesti merkitsevä. Vastaavina ajanjaksoina säätilassa on kuitenkin tapahtunut merkitseviä eroja: ilman lämpötila on ollut merkittävästi korkeampi (t-testi; $p < 0,001$) ja sadanta vähäisempi (t-testi; $p = 0,010$) perkausajankohdan jälkeen kuin ennen sitä (Kuva 7c,d). Niinpä voidaan olettaa, että ilman lämpötilan kohoamisen seurauksena haihdunta on voimistunut ja kun samaan aikaan myös kesän aikainen sadanta on vähentynyt, Kukkiän vedenpinnan korkeuteen vaikuttaa todennäköisesti suurelta osin säätila.



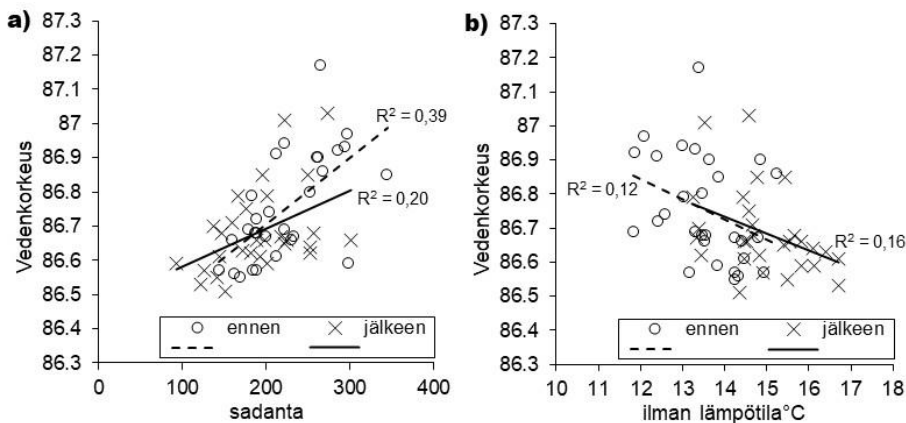
Kuva 7. Vedenkorkeuden vaihtelun a) keskiarvojen ja b) minimien ero sekä c) ilman lämpötilan ja d) sadannan ero heinä-, elo- ja syyskuussa ennen (vuosina 1965-1993; $n = 29$) ja jälkeen (vuosina 1996-2024; $n = 29$) Kukkianvirran uoman perkaamisen.

Sadesummalla heinäkuusta syyskuuhun on positiivinen suhde Kukkian vedenpinnan korkeuden keskiarvoihin ja selittää sitä selvästi enemmän (42 %) ajanjaksona ennen Kukkianvirran perkaamista kuin sen jälkeen (6 %) (Kuva 8a). Luonnollisesti mitä enemmän sataa sitä korkeampi on vedenpinnan taso, toisin kuin on tilanne ilman lämpötilan suhteen: mitä lämpimämpää kesällä on, sitä enemmän on haihduntaa, mikä vaikuttaa vedenpinnan korkeutta alentavasti (Kuva 8b). Lämpötila selittää pinnankorkeutta heikommin kuin sadanta ajanjaksolla ennen Kukkianvirran perkaamisen mutta toisaalta jälkimmäisellä ajanjaksolla lämpötilan selitysaste on hieman parempi kuin sadannan.



Kuva 8. Kukkian vedenpinnan korkeuden mittaustulosten keskiarvojen suhde a) sadantaan ja b) ilman lämpötilaan ennen Kukkianvirran perkaamisen ja sen jälkeen. R^2 -arvo on selitysaste: mitä suurempi sen enemmän vedenkorkeus selittyy tutkituilla sääparametreillä.

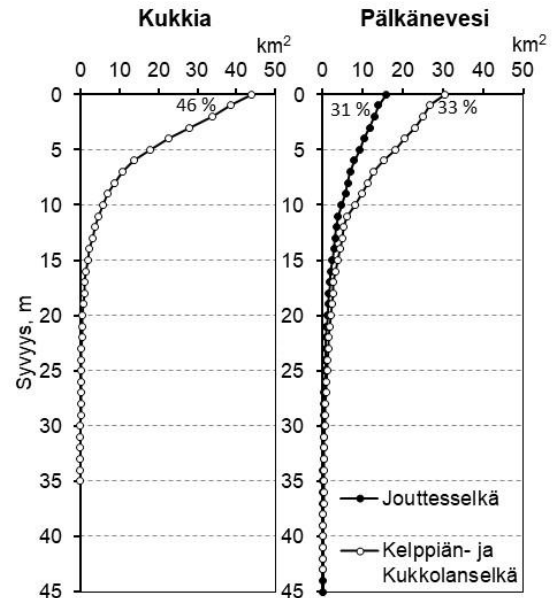
Verrattuna vesipinnan mittausten keskiarvoihin (Kuva 8), Kukkian vedenpinnan korkeuden alimmilla mittaustuloksilla on vahvempi suhde sadantaan (Kuva 9a) ja ilman lämpötilaan (Kuva 9b). Häiritseväksi koettu usein liian alas laskeva vedenpinnan korkeus selittyy siis paljolti sääolosuhteilla.



Kuva 9. Kukkian vedenpinnan korkeuden alhaisimpien mittaustulosten suhde a) sadantaan ja b) ilman lämpötilaan ennen Kukkianvirran perkaamisen ja sen jälkeen. R^2 -arvo on selitysaste: mitä suurempi sen enemmän vedenkorkeus selittyy tutkituilla sääparametreillä.

On lisäksi huomattava, että Kukkian mataluus (Kuva 10) vaikuttaa kokemukseen vedenpinnan korkeuden vaihtelusta. Kukkialla kaksi metriä syvien ja sitä matalampien vesialueiden osuus on varsin suuri (peräti 46 %) verrattuna esimerkiksi Pälkäneveeteen (31-33 %). Käytännössä se tarkoittaa mm. sitä, että kun veden pinnankorkeus on alimmillaan, Kukkialla suhteessa suurempi osa ranta-alueista voi kärsiä veden vähyydestä tai olla jopa kuivillaan verrattuna Pälkäneveeteen. Se voi toki aiheuttaa haittaa virkistyskäytölle. Lisäksi ilmiö vaikuttaa esimerkiksi siihen millaista kasvillisuutta ranta-alueiden eri vyöhykkeillä voi esiintyä.

Kuva 10. Kukkian ja Pälkäneveden (erikseen Jouttesselkä sekä Kelppiän- ja Kukkolanseikä) ns. hypsografiset käyrät eli eri vesisyvyyksien pinta-alat metrin välein pinnasta pohjaan. %-luvut osoittavat kaksi metriä ja sitä matalampien vesialueiden osuuden järvien pinta-alasta.



Tulosten tarkastelua

Kukkian vedenpinnan korkeudessa on havaittavissa alenemista ajanjaksona Kukkianvirran perkaamisen jälkeen (1996-2024) verrattuna toimenpidettä edeltävään, vastaavan pituiseen ajanjaksoon (1965-1993). Erot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä vuositasolla eikä myöskään kesällä ja alkusyksystä (heinä-, elo- ja syyskuussa). Näiltä osin tämän tarkastelun tulos ei muuttunut edellisestä arviosta (Kuoppamäki 2024). Vuorokausitasolla ajankohdat, jolloin vedenpinta on ollut 20 cm tai sitä enemmän alempana kuin koko tarkastelujakson (1965-2024) keskiarvo, on toisaalta kasvaneet noin 1,7-kertaisesti. Kun mittaustuloksia suhteutettiin sadantaan ja ilman lämpötilaan, ne näyttivät selittävän kohtalaisesti Kukkian vedenpinnan korkeuden vaihteluita.

Vaikka Rankinen ym. (2023) eivät havainneet muutoksia sadannassa Kukkian alueella viimeisten noin kolmen vuosikymmenen aikana vuositasolla, kesäaikainen sadanta on kuitenkin vähentynyt, kuten tässä tarkastelussa arveltiin. 1990-luvun puolivälin jälkeen kesät ovat olleet merkitsevästi vähäsateisempia kuin kolme sitä edeltävää vuosikymmentä, mihin ilmeisin syy on ilmastomuutos. Samalla myös kesäaikainen lämpötila on kohonnut. Kukkian pintaveden lämpötilasta olisi myös kiinnostavaa tehdä pitkäaikainen tarkastelu. Siitä löytyy muiden vedenlaatuparametrien ohella ulappa-alueelta mittaustuloksia vuodesta 1964 alkaen ympäristöhallinnon tietokannasta. Ainakin kesäisin Kukkian vedenpinnan korkeuksien vaihteluihin suurin syy on todennäköisesti säässä tapahtuneet muutokset ilmastomuutoksen seurauksena ja sikäli tässä saadut tulokset tukevat järvellä tehtyjä havaintoja. Ainakin matalilla ranta-alueilla tällä saattaa toisinaan olla yhteyksiä myös vedenlaadussa havaittuihin ilmiöihin sisäisen kuormituksen kautta (vrt. Zohary & Ostrovsky 2011), kuten sinileväkukintoihin, joita Kukkialla on ajoittain havaittu. Niiden taustalla suurimpana tekijänä on kuitenkin valuma-alueelta huuhtoutuva ravinnekuormitus. Kukkialla alivesijaksoina koetut haitat voivat johtua myös matalien ranta-alueiden suuresta pinta-alasta suhteessa koko järven pinta-alaan kun verrataan tilannetta esimerkiksi viereiseen Pälkäneveeteen, missä matalien vesialueiden osuus on huomattavasti pienempi.

Kirjallisuus

- Aho, J. 2020. Pro-Kukkia – Kukkian Suojeluyhdistys ry: Kukkianvirran ja Vihavuodenkosken mallinnus, osa 1. Kukkianvirta. Ympäristötekniikan insinööritoimisto Jami Aho, 4 s.
- Kuoppamäki, K. 2023. 13 järven tila Pälkäneellä. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, Tutkimusraportti 2023/81.
- Kuoppamäki, K. 2024. Tarkastelu Kukkian vedenkorkeuden vaihtelusta. Tutkimusraportti. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry.
- Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C.D., de Wit, H.A., Forsius, M., Høgåsen, T., Wilander, A., Skjelkvåle, B.L., Jaffries, D.S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, J. & Vesely, J. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450, 537-541.
- Pfleiderer, P., Schleussner, C.-F., Kornhuber, K. & Coumou, F. 2019. Summer weather becomes more persistent in a 2 °C world. *Nature Climate Change*. 9, 666–671.
- Rankinen, K., Junttila, V., Futter, M., Bernal, J.E.C., Butterfield, D & Holmberg, M. 2023. Quantification of the effect of environmental changes on the brownification of Lake Kukkia in southern Finland. *Ambio* 52, 1834-1846.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M., 2016. Climate projections for Finland under the RCP Forcing scenarios. *Geophysica* 51, 17–50.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*. Academic Press, 3. painos.
- Zohary, T. & Ostrovsky, I. 2011. Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes, *Inland Waters*, 1, 47-59.