

Metsätalouden vaikutukset latvapurojen pohjaeläinyhteisöihin boreaalisella kasvillisuusvyöhykkeellä

Kaisa Palomäki

LuK-tutkielma

Biologian tutkinto-ohjelma, ekologia

Oulun Yliopisto

Helmikuu 2022

Sisältö

1. Johdanto	4
2. Pohjaeläimet.....	6
3. Metsätalous ja maankäyttö.....	7
3.1. Fysikaaliset muutokset	9
3.2. Kemiaaliset muutokset	10
4. Pohjaeläinten vasteet häiriöille	11
4.1. Monimuotoisuus	12
4.2. Yhteisörakenne	13
4.3. Toiminnalliset vasteet.....	15
5. Pohdinta	17
Lähteet.....	19

Tiivistelmä

Kasvavan puunkysynnän myötä kiihtyvä metsätalous uhkaa biodiversiteettiä ympäri maapalloa. Puuta käytetään raaka-aineena rakennus- ja pakkausmateriaalin lisäksi energiantuotannossa. Metsät luetaan yhdeksi uusiutuvan energian lähteeksi, joka ilmastonmuutoksen kiihtyessä edelleen lisää metsiin kohdistuvaa painetta. Tämä aiheuttaa luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä metsäekosysteemeissä, sekä useissa metsiin kytkeytyneissä ekosysteemeissä. Yksi näistä kytkeytyneistä ekosysteemeistä on jokiverkoston latvapurot, jotka sijaitsevat tyypillisesti metsäisillä alueilla ollen alttiita maa- ja metsätalouden toimenpiteille. Tämän työn tarkoituksena on selvittää millaisia vaikutuksia metsätalouden ja siihen liittyvän maankäytön toimenpiteillä, erityisesti suojavyöhykkeen muokkaamisella ja metsämaiden ojittamisella, on latvapuroihin ja niiden pohjaeläinyhteisöihin.

Latvapuroilla on tärkeä merkitys koko jokiverkoston säätelyssä, sekä resurssien ylläpidossa. Näiden avainhabitaattien merkitystä erilaisten vesistöjen ekosysteemeille ei ole tunnustettu laajalti, ja ne kärsivät suojelun puutteesta luonnonsuojeluohjelmissa. Euroopan Unionissa seurataan jäsenvaltioiden pintavesien ekologista tilaa ottamatta kuitenkaan huomioon ympäristönmuutoksille hauraita latvapuroja. Latvapurojen ekosysteemien muutosten vaikutus heijastuu kuitenkin suoraan suurempiin vesistöihin etenkin, jos suuri osa latvapuroverkostosta altistuu häiriöille.

Latvapurojen pohjaeläimet tuottavat koko jokiverkostolle ravinteita ja ovat näin ollen merkittävä osa ekosysteemitason säätelyä. Metsätaloudellisten toimenpiteiden seurauksena pohjaeläinten monimuotoisuus vähenee ja yhteisörakenteet yksipuolistuivat. Lisäksi tarkastellessa vasteita häiriöille erilaisten pohjaeläimien toiminnallisten ominaisuuksien kautta, voidaan selvästi todeta useiden ominaisuuksien suhteellisten määrien vähenevän purossa. Nämä vaikutukset heikentävät purojen biodiversiteetin lisäksi alajuoksun uomien ekosysteemien toimintaa ja heikentävät jokien virkistyskäyttöä, kuten kalastusta.

Latvapurot tulisi tulevaisuudessa liittää luonnonsuojelun piiriin. Tämän päivän metsätalous, ei ole ekologisesti kestävä. Metsänhoidolliset muutokset, kuten suojavyöhykkeiden jättäminen ja ennallistaminen, uudisojitusten lopettaminen ja harvennushakkuiden suosiminen avohakkuiden sijasta, toisivat merkittäviä vaikutuksia puroekosysteemien ja niitä ympäröivien metsäekosysteemien toiminnalle.

1. Johdanto

Koko maapallon vesivaroista vain 2,8 % on makeita vesiä. Nämä makeat vedet sijaitsevat makeanvedenvarastoissa jäätiköissä, järvissä, pohjavesivarastoissa ja virtavesissä. Virtavesien osuus koko maapallon vesivaroista on vain 0,001 %, mutta tästä huolimatta niillä on tärkeä merkitys eri ekosysteemeille sekä ihmiselle (Neary ym., 2009). Tärkeän asemansa vuoksi ihmisen toimet, kuten patoaminen ja teollisuus, muokkaavat niiden luonnollista, hierarkkista virtausta. Nämä toimet muuttavat edelleen niin virtavesien sisäisiä, kuin myös niistä riippuvaisia ekosysteemejä. Jotta virtavesiekosysteemit säilyttäisivät arvonsa, on tärkeää ylläpitää niiden sisäistä luonnollista toimintaa (Allan & Castillo, 2007).

Yksittäiset virtavesisysteemit voidaan luokitella uoman ominaisuuksien perusteella hierarkkisiin tasoihin. Matalimman hierarkkisen tason (1) uomaa kutsutaan latvapuroksi, joka on kokoluokaltaan pienin (Allan & Castillo, 2007). Latvapurojen merkityksen koko jokiverkoston monimuotoisuuden ja toiminnan säätelyssä uskotaan olevan suuri, vaikkakin ne tunnetaankin heikommin alajuoksun suuriin uomiin verrattuna (Bishop ym., 2008). Latvapurot toimivat koko jokiverkoston avainhabitaatteina säädellen alavirran resursseja. Ne muodostavat 80–90 % koko jokiverkoston pituudesta. Tästä huolimatta latvapurot kärsivät suojelun puutteesta kansallisissa ja kansainvälisissä ympäristönsuojeluohjelmissa (Jyväskylä ym., 2020). Latvapurot ovat jokiverkoston hierarkkisista tasoista vahvimmin kytkettyneitä niitä ympäröivän maaekosysteemin kanssa, ja sijaitsevat tyypillisesti alueilla, joihin kohdistuu paljon maa- ja metsätalouden toimenpiteitä ja maanmuokkausta altistaen ne jatkuvalla häiriöllä (Kuglerová ym., 2020).

Metsätalouden kiihtyminen borealisella kasvillisuusvyöhykkeellä alkoi 1800-luvun lopulla, ja on edelleen nykypäivän trendi, sekä tärkeä taloudellinen tulonlähde niin yksityisille elinkeinonharjoittajille, kuin metsätalousvaltioille. Puuta on käytetty lämmön ja energian lähteenä Suomessa kautta aikojen, mutta teollisuuden kehittyessä puuta opittiin hyödyntämään myös rakennusmateriaalina, sekä paperin raaka-aineena (Kuuluvainen ym., 2004). Nykypäivänä puuainesta käytetään lisäksi uusiutuvana energialähteenä ja ilmastokriisin kiihtyessä biotalouden merkitys kasvaa entisestään (Rajakallio ym., 2021). Lisäksi käyttömateriaalina puuhun kohdistuu uudenlaista kiinnostusta, kun luonnon saastumista yritetään ehkäistä, esimerkiksi, korvaamalla muovituotteet biohajoavilla puupohjaisilla pakkauksilla.

Suomen metsistä, jotka kattavat 67 % maamme pinta-alasta, on suojeltuja vain yhdeksän prosenttia, kun taas loput 91 % ovat puuntuotantoalueita, eli talousmetsiä (Rajakallio ym., 2021). Suomen metsälaki (1093/1996) edellyttää luonnon monimuotoisuuden turvaamista, mutta Suomessa metsätalouden ympäristövaikutusten hallinta on hankalaa, metsien ollessa omistussuhteiltaan pirstoutuneita aloja, joista valtaosa (60 %) on vielä yksityisomistuksessa. Metsätalouden uhkaama metsien ja latvapurojen välinen suojavyöhyke on tärkeä monimuotoisuuden lähde sekä metsä-, että puroekosysteemille (Kuuluvainen ym., 2004). Suomen metsälaki edellyttää suojavyöhykkeiden suojelua kuitenkin määrittelemättä esimerkiksi vesistön ja päätehakkoon väliin jätettävän suojavyöhykkeen laatua tai kokoa. Vastuulliset metsänomistajat voivat sertifioida metsänsä, joka kertoo kuluttajalle, että metsänhoidossa on otettu huomioon ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys. Metsäisen suojavyöhykkeen leveys on määritelty suojelutavoitteiltaan tiukemmassa FSC-sertifikaatissa (Forest Stewardship Council, 2010) jätettävän vähintään 15 metriä leveäksi hakkuun ja puron välillä, kun taas PEFC-sertifikaatissa (Program for the Endorsement of Forest Certification, 2014) vastaava leveys on vain viisi metriä, jonka lisäksi suojavyöhykkeen sisällä tapahtuva puuston harvennus on sallittua. Kuitenkin useissa tutkimuksissa on todettu, että monimuotoisuuden turvaamiseksi suojavyöhykkeen leveys tulisi olla paljon leveämpi, mitä sertifikaatit edellyttävät (Jyväsjärvi ym., 2020; Kuglerová ym., 2020; Sweeney & Newbold, 2014). Suojavyöhyke tarjoaa puron ekosysteemille suojaa ja ravinteita. Rantapuuston tuottama lehtikarike on tärkeä ravinnonlähde puron eliöyhteisöille. Lisäksi korkeat puut varjostavat puroa estäen sen lämpenemisen, ja kaatuneet puut ja niiden oksat muodostavat puroon virtausta monipuolistavia rakenteita mahdollistaen monimuotoisen habitaattikirjon pohjaeläinyhteisölle (Kiffney ym., 2003; Kuuluvainen ym., 2004).

Latvapurojen pohjaeläinyhteisöt ovat tärkeä osa jokiverkoston säätelyä ja toimintaa. Orgaanisen aineksen hajoaminen latvapuroissa pitää yllä ravinteiden kiertoa vaikuttaen koko jokiverkoston eliöyhteisöön (Clarke ym., 2008; Kuglerová ym., 2020). Pohjaeläinyhteisöt ovat yleisesti ottaen herkkiä ympäristön muutoksille, ja niitä käytetäänkin Euroopan Unionin jäsenvaltioiden pintavesien ekologisen tilan seurannassa ja luokittelussa (2000/60/EY; Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, 2000). Vesipolitiikan puitedirektiivi edellyttää jäsenmailtaan pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan seurantaan. Valitettavasti tähän seurantaan sisältyy kuitenkin ainoastaan yli 10 neliökilometrin valuma-alueen virtavedet, jättäen tärkeät latvapurot seurannan ja lainsäädännön ulkopuolelle (Hämäläinen ym., 2007).

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää, kuinka metsähakkuut ja niiden ohessa tehtävät maanmuokkaukset vaikuttavat boreaalisten latvapurojen pohjaeläinyhteisön koostumukseen, sekä millaisia vaikutuksia erityyppisillä hakkuumenetelmillä ja niiden jälkeisellä maankäytöllä on puron pohjaeläinyhteisöjen rakenteeseen ja monimuotoisuuteen. Latvapurojen ekologisen tilan heijastellessa koko jokiverkoston ekologista tilaa (Kuglerová ym., 2020), tulisi seurantaa ja suojelutoimenpiteitä suunnata enenevässä määrin näihin hauraisiin monimuotoisuuden keskittymiin niiden biodiversiteetin ja hyvinvoinnin turvaamiseksi.

2. Pohjaeläimet

Virtavesien pohjaeläimet ovat monimuotoinen ja hyvin tunnettu eliöryhmä, joka koostuu selkärangattomista eläimistä (Menezes ym., 2010), jotka ovat tietyssä elinkiertonsa vaiheessa riippuvaisia uoman pohjasta. Niiden merkitys virtavesiekosysteemille on huomattava. Monimuotoisuuden rikastamisen lisäksi ne toimivat ravinnonlähteenä ylemmän trofiatason eläimille, sekä tuottavat ravinteita ekosysteemin kiertoon hajottamalla kuollutta orgaanista ainesta sekä latvapurojen, että alajuoksun ravintoverkoille (Allan & Castillo, 2007).

Jokiverkosta tarkasteltaessa habitaateissa, kuten eliöstössäkkin, voidaan havaita tietynlainen jatkumo (The River Continuum Concept, jokijatkumomalli; Vannote ym., 1980). Latvapuroissa eliöstön ravinnonlähde on tyypillisesti alloktonista, ja koostuu pitkälti rantavyöhykkeeltä peräisin olevasta lehtikarikkeesta. Jokiverkosta alaspäin mentäessä ravinteiden partikkelikoko pienenee ja akvaattisten perustuottajien osuus ravintoketjussa kasvaa. Saatavilla olevan ravinnon koostumuksen ja uoman muodon muuttuessa myös pohjaeläinyhteisön rakenne muuttuu. Jokijatkumomallin mukaan pohjaeläinten monimuotoisuus on suurimmillaan keskikokoisissa virtavesissä, missä on tarjolla runsaasti erilaisia habitaatteja ja ravinnonlähteitä (Vannote ym., 1980). Latvapurot ovat kuitenkin ominaisuuksiltaan muista uoman osista poikkeavia, ja ainutlaatuisia tarjotessaan elinympäristön myös lajeille, joita ei tavata alemmilla joen hierarkiatasoilta (Finn ym., 2011). Pohjaeläinyhteisöjä tutkittaessa on todettu, että latvapurot pystyvät näin ollen myös toimimaan turvapaikkoina pohjaeläimille jokiverkoston kohdatessa suuria häiriöitä (Clarke ym., 2008).

Saatavilla olevan ravinnon lisäksi uoman pohjan rakenne, pohjan raekoko, virran nopeus ja suurikokoisen puumateriaalin määrä, sekä veden lämpötila ja valon määrä vaikuttavat pohjaeläinten lajikoostumukseen. Näiden fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi veden kemialliset ominaisuudet, kuten ravinnepitoisuus, pH ja happitaso määrittävät pohjaeläinyhteisön rakennetta. Latvapuron pohja muodostuu geologisten muotojen lisäksi erikokoisista kivistä, sekä elävästä ja kuolleesta orgaanisesta materiaalista. Kivet ja suuret puun osat, kuten rungot ja oksat toimivat suojana voimakkaalta virtaukselta, sekä kasvualustana leville ja sammalille. Hidastunut virtaus kivien ympärillä mahdollistaa orgaanisen aineksen, kuten lehtikarikkeen kasaantumisen muodostaen tärkeitä ravinto- ja elinalustoja. Lisäksi erilaisille pinnoille kasvavat sammalet ja levät ovat sekä elinympäristöjä, että tärkeitä ravinnonlähteitä pohjaeläimille (Allan & Castillo, 2007). Uoman pohjan rakenne ja sen pohja-aineen koostumus vaikuttavat myös pohjaeläinten levittäytymiskykyyn, joka on yksi ekosysteemin monimuotoisuuden perustuskivistä (Clarke ym., 2008).

3. Metsätalous ja maankäyttö

Tehostetun metsätalouden myötä avo- ja harvennushakkuut vakiintuivat hakkuumenetelminä Suomessa 1950-luvulta lähtien. Harvennushakkuussa metsästä kaadetaan kohdistetulta alueelta valitut suuret puut pyrkien välttämään suuria avonaisia alueita. Avohakkuussa koko suunniteltu hakkuualue kaadetaan, olivatpa puut nuoria tai vanhoja. Taloudellisessa metsänhakkuussa maanmuokkaukset, kuten ojitus ja lannoitus ovat tyypillisiä metsän tuottavuutta parantavia hoitomenetelmiä. Metsähakkuu voi olla myös niin sanottu päätehakkuu, jossa puusto poistetaan ja ala voidaan kuivattaa pelloksi tai siihen kylvetään taimikko. Metsien pelloksi kuivattamista harjoitetaan harvoin nykypäivänä, mutta sen tilalle on tullut uudisasutuksen uhka (Kuuluvainen ym., 2004).

Avohakkuut yleistyivät Suomessa puun kasvavan kysynnän ja metsäteollisuuden kasvun myötä. Avohakkuilla pystyttiin vastaamaan lisääntyneeseen puunkysyntään tehokkaammin kuin harvennushakkuilla. Metsätalouden edelleen kasvaessa Suomen lukuisia soita ja kosteikkoja alettiin kuivattaa ojittamalla (Kuuluvainen ym., 2004). Avohakkuun ja ojituksen yhteisvaikutus on latvapurojen ekosysteemille tuhoisa; se kadottaa habitaatteja, heikentää ekosysteemien toimintaa ja hävittää monimuotoisuutta (Rajakallio ym., 2021). Yksistään ojituksen negatiiviset vaikutukset purolle jatkuvat vielä 60 vuoden jälkeen

ojituksesta (Nieminen ym., 2017), ja ovat erittäin vaikeasti hallittavissa. Pelkän avohakkuun negatiiviset vaikutukset kestävät 5–10 vuotta ja tasaantuvat metsän saavuttaessa tietyn iän. Suojavyöhykkeellä on kyky lieventää avohakkuun negatiivisia vaikutuksia latvapuroille ja sen leveyttä säätelemällä pystytään vaikuttamaan vahingon määrään (Rajakallio ym., 2021).

Latvapurot ja niissä elävät pohjaeläinyhteisöt ovat herkkiä metsähakkuiden ja maankäytön vaikutuksille niiden pienen koon (vesimäärän), vähäravinteisuuden ja rakenteen vuoksi (Kuuluvainen ym., 2004). Latvapuro- ja rantametsäekosysteemien raja voi olla toisinaan vaikeasti määriteltävissä. Etenkin pienimmissä latvapuroissa (norot) rajan määrittäminen voi olla mahdotonta, kun rannan ja puron ekosysteemit ovat muodostaneet poikkeuksellisen vahvan vuorovaikutussuhteen. Suojavyöhykkeen muokkaamisella on osoitettu olevan huomattava vaikutus puron ekosysteemille (Jyväsjärvi ym., 2020). Rantakasvillisuudesta peräisin oleva lehtiaines on elintärkeä ravinnonlähde puroekosysteemille (Kreutzweiser ym., 2010). Latvapuron vastaanottaessa suurimman osan ravinteistaan näistä ulkopuolisista lähteistä, kutsutaan sitä allotrofiseksi ekosysteemiksi, kun taas autotrofinen ekosysteemi tuottaa puron eliöstön vaatimat ravinteet sisäisistä lähteistä, kuten kasvien ja levien perustuotannosta (Allan & Castillo, 2007). Metsätalouden toimenpiteistä aiheutuvan ravinnepulssin vuoksi perustuottajien, kuten levien määrä lisääntyy puroissa, joka ajaa puroekosysteemin toimintaa autotrofiseksi (Jyväsjärvi ym., 2020). Toisaalta esimerkiksi Kreutzweiser ym. (2010) tutkimuksen mukaan suojavyöhykkeen varovaisella harvennuksella ei katsota olevan kuitenkaan merkittäviä negatiivisia vaikutuksia latvapurojen ekosysteemille. Etenkin havupuuvaltaisella suojavyöhykkeellä neulaset saattavat happamoittaa puroa, ja niiden korvautuminen sukkessiovaiheen lehtipuuvaltaisilla lajeilla lisää vapautuvan lehtikarikkeen määrää puroihin (Kreutzweiser ym., 2010).

Luonnontilaisen metsän maaperällä ja kasvillisuudella on kyky pidättää vesimassoja tehokkaasti ja pintavalunnat ovat harvinaisia. Metsissä vesi kulkeutuu maanpinnan alapuolella maanalaisena virtauksena, jossa ravinteiden imeytyminen ja veden puhdistusprosessi on tehokasta. Maaperässä mikrobit hajottavat orgaanisia aineita epäorgaanisiksi ravinteiksi, josta kasvillisuus ottaa ne juurillaan veden mukana. Maaperämikrobeilla on myös kyky puhdistaa vettä ja maaperää haitallisista aineista. Metsätalouden maanmuokkauksen myötä tapahtuva maaperän rikkoontuminen aiheuttaa pintavalunnan määrän kasvun myötä poikkeuksetta negatiivisia vaikutuksia latvapuroekosysteemeille (Neary ym., 2009).

3.1. Fysikaaliset muutokset

Metsähakkuiden ja -ojitusten fysikaaliset vaikutukset kohdistuvat muutoksiin latvapurojen virtaamassa ja hienojakoisten sedimenttien lisääntyvään määrään puroissa (Rajakallio ym., 2021) sekä johtavat karkean ja hienojakoisen orgaanisen materiaalin (CPOM ja FPOM) määrän vähenemiseen puroissa (Jyväsjärvi ym., 2020). Hienojakoisen kiintoaineen (hiekkä ja siltti) lisääntyminen latvapuroissa on todettu olevan tuhoisimpia häiriöitä pohjaeläimille aiheuttaessaan habitaattien yksipuolistumista. Hiekka ja siltti tukkivat elintärkeitä raot pohjasoraikossa ja suurina määrinä peittävät alleen suurempikokoiset rakenteet (kivet, puut ym.), sekä erilaisten uoman pintojen sammalpeitteet, jolloin uoman pohjasta muodostuu sileä matto (Turunen, 2015).

Maanmuokkauksen myötä tapahtuva maanalaisen virtauksen korvautuminen pintavalunnalla lisää virtaamaa puroissa, ja näkyy aiempaa äärevämpinä virtaamahuippuina muun muassa valuma-alueelle osuvien sateiden jälkeen. Virtaamahuippujen kasvun lisäksi lisääntyvä pintavalunta altistaa puron kuivumiselle sateettomina kausina, koska maaperällä ei ole kykyä pidättää vettä pitkiä aikoja (Ide ym., 2013). Puroissa virtaamahuippujen voimakkuus riippuu sateiden määrän lisäksi puroympäristön kaltevuudesta, valuma-alueen topografiasta ja mahdollisen ojituksen suunnasta ja etäisyydestä suhteessa latvapuroon. Lisääntynyt vesimassa puroissa voi kiihdyttää eroosiota, joka on haitallista sen ekosysteemin toiminnalle ja pohjaeläinyhteisölle (Allan & Castillo, 2007). Eroosioon ja sen voimakkuuteen vaikuttaa ympäristön maannoksen tyyppi. Suojavyöhykkeellä voi olla merkittävä rooli eroosion estämisessä sen kasvillisuuden juuriston tukiessa maaperää (Turunen, 2015).

Suojavyöhykkeen muokkaaminen aiheuttaa myös puron pohjalle osuvan valon määrän lisääntymistä ja veden lämpötilan nousua varjostuksen määrän muuttuessa. Lämpö- ja valo-olosuhteiden muuttuminen aiheuttaa puron pohjaeläinyhteisössä rakenteellisia muutoksia, kun tiettyihin olosuhteisiin sopeutuneet pohjaeläimet eivät ehdi tai kykene sopeutumaan muutoksiin. Näihin olosuhteisiin vaikuttaa myös puroihin kulkeutuva humus ja sen sisältämä liuennut orgaaninen hiili (DOC), joka saa aikaan veden värin tummumisen. Tummumisella on todettu olevan haitallisia vaikutuksia puron pohjaeläimille (Jyväsjärvi ym., 2020). Osaltaan suojavyöhykkeen muokkaaminen ja kaventaminen myös moninkertaistavat metsähakkuun ja ojituksen aiheuttamia vaikutuksia. Esimerkiksi metsätaloudelle ja maanmuokkaamiselle altistuneissa latvapuroissa on huomattu suuren puumateriaalin vähenemistä uomassa, joka osaltaan köyhdyttää biodiversiteettiä elinympäristöjen vähenemisen kautta (Kreutzweiser ym.,

2010). Jyväskylä ym. (2020) osoittivat tutkimuksessaan, että kapea, alle 15 metriä leveä suojavaiohyke on riittämätön suojelemaan latvapuroja metsähakkuun aiheuttamilta häiriöiltä.

3.2. Kemialliset muutokset

Puroveden luontaisen kemiallisen tasapainon häiriintyminen johtuu ravinteiden, kiintoaineen ja liuennon orgaanisen hiilen pitoisuuksien kasvamisesta, sekä happamuuden muutoksista ja happitasojen vaihtelusta. Erityisesti ojituksen seurauksena, sekä siitä johtuvan lisääntyneen pintavalunnan ja humuskuormituksen mukana puroihin päätyy myös raskasmetalleja, rautaa ja elohopeaa, sekä muita haitallisia aineita ympäristöstä (Lasota ym., 2020).

Luonnontilaisessa metsässä sijaitsevien latvapurojen vesi on tyypillisesti vähäravinteista. Metsähakkuuta seuraava ravinnepulssi sekoittaa puron normaalia ravinteiden kiertoa. Kun ravinteita onkin saatavilla enemmän ja eri muodossa, puron perustuotanto alkaa kiihtymään. Kiihtymistä edistää edelleen valointensiteetin ja lämpötilan nousu (Kiffney & Richardson, 2010). Tämä voi aiheuttaa purossa rehevöitymistä ja liettymistä, jotka voivat edelleen johtaa happitasapainon vinoumaan ja hypoksiaan (Palviainen ym., 2014). Merkittäviä puron autotrofiaan johtavia ravinteita ovat typpi (N) ja fosfori (P), jotka ovat useimmissa ympäristöissä vähäisten pitoisuuksien vuoksi perustuottajien kasvua rajoittavia tekijöitä (Ågren ym., 2012).

Ravinteet päätyvät puroihin herkästi metsähakkuun ja ojituksen jälkeen, sillä aiemmin näitä ravinteita hyödyntäneet puut ja muu kasvillisuus poistetaan, jolloin ne vapautuvat kiertoon. Ravinteita vapautuu sekä maaperästä, että hakkuualueelle jääneestä hakkuutähteestä, jota maaperämikrobit hajottavat ajan kuluessa. Ojitus voimistaa ravinteiden päätymistä latvapuroihin, ja niitä kulkeutuu puroihin eniten ensimmäisinä vuosina hakkuiden jälkeen, mutta selvää ravinne määrän nousua pystytään havaitsemaan vielä yli 10 vuoden jälkeenkin hakkuusta. Tämän jälkeen vaikutukset vähenevät uudistetun metsän ollessa siinä tilassa, että kasvillisuuden ravinteiden absorptio maaperästä on tasapainossa maaperässä olevien ravinteiden määrän kanssa (Palviainen ym., 2014).

Raskasmetallit päätyvät latvapuroihin sitoutuneina liuenneeseen orgaaniseen hileen (Lasota ym., 2020). Liljaniemi ym. (2002) mittasivat tutkimuksessaan valuma-alueella tehtyjen metsätaloustoimien vaikutusta latvapurojen olosuhteisiin ja havaitsivat, että erityisesti raudan, alumiinin ja magnesiumin pitoisuudet olivat huomattavasti suuremmat metsätalouden muokkaamilla alueilla. Turvemaiden humuspitoiset maannokset voivat toimia ympäristössä merkittävinä raskasmetallivarastoina, mutta niiden kohdatessa häiriötä, kuten ojitusta, ne muuttuvat raskasmetallien päästölähteeksi (Lasota ym., 2020). Humus vaikuttaa paitsi veden laatuun, myös puron veden happojen ja emästen tasapainoon aiheuttaen muutoksia pH-tasossa. Boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen maaperän tyypillinen maannos, podsoli, on jo lähtökohtaisesti hapanta havupuiden neulasten happamoittavan vaikutuksen vuoksi. Myös boreaaliselle kasvillisuusvyöhykkeelle tyypilliset suot happamoittavat ympäristöään luonnollisesti (Kuuluvainen ym., 2004). Ojituksen seurauksena humus pääsee kulkeutumaan ympäristöön ja edelleen latvapuroihin. Näiden tekijöiden vuoksi boreaalisella vyöhykkeellä metsätalouden vaikutukset näkyvät veden pH-tason laskuna (Liljaniemi ym., 2002).

4. Pohjaeläinten vasteet häiriöille

Metsäpurojen pohjaeläinlajikoostumusta ja niihin kohdistuvia häiriöitä voidaan tarkastella suurella, alueellisella tasolla, jolloin niihin vaikuttavat alueellisesti tyypilliset ympäristöolot, kuten geologiset piirteet ja kasvillisuuden sekä ilmaston ominaisuudet (Mykrä ym., 2007). Kuitenkin purokohtainen tieto antaa usein tarkemman kuvan pohjaeläimiin vaikuttavista paikallisista tekijöistä (Heino ym., 2003). Häiriöiden aiheuttamien muutosten ja niiden voimakkuuden tutkiminen latvapuroissa voi olla ongelmallista vertailuolosten vähäisyyden vuoksi. Vertailuolot tulisi edustaa luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia puroja ja ihmisen aiheuttamien häiriöiden vaikutus tulisi täten olla minimoitu. Boreaalisella kasvillisuusvyöhykkeellä metsätalous ja siihen liittyvä maanmuokkaus on kuitenkin ollut jo pitkään voimakasta, jonka vuoksi häiriöiden arvioinnissa on otettava huomioon myös vaikeasti arvioitavat pitkäaikaisvaikutukset (Jonsson ym., 2017; Liljaniemi ym., 2002; Rajakallio ym., 2021).

Latvapurojen ympäristössä tapahtuvat muutokset heijastuvat puron ekosysteemeihin lähes poikkeuksetta (Jonsson ym., 2017). Suojavyöhykkeen ominaisuudet, pohjan kiintoaines ja sen muodostamat habitaatit sekä veden ravinnepitoisuus ja pH arvo ovat keskeisimpiä pohjaeläincoostumusta sääteleviä tekijöitä (Heino ym., 2002; Jonsson ym., 2017). Puroekosysteemin kohdatessa metsätaloudesta aiheutuvia häiriöitä pohjaeläincoostumus alkaa muuttamaan suhteessa muutosten voimakkuuteen (Jyväskylä ym., 2020). Suurin osa aiheutuneista muutoksista kohdistuvat muutoksiin pohjaeläinlajien ravinnon saatavuudessa ja habitaatin rakenteessa. Pohjaeläinten ominaisuuksien ollessa tiukasti kytkeytyneitä ympäristön kanssa, tarjoaa tämä mahdollisuuden tutkia pohjaeläimille aiheutuneita vahinkoja ympäristössä tapahtuneiden muutosten kautta (Rajakallio ym., 2021).

Pohjaeläinten tutkimuksessa perustana käytetään useimmiten niiden taksonomista luokittelua. Pohjaeläimet voidaan kuitenkin luokitella taksonomian lisäksi erilaisiin taksonirajat ylittäviin toiminnallisiin ryhmiin, jotka kuvaavat niiden biologisia ja ekologisia ominaisuuksia. Tämän luokittelun avulla voidaan arvioida ominaisuuksien monimuotoisuutta puroissa ja niiden suhdetta ympäristöön, sekä häiriön jälkeisiä muutoksia yhteisössä. (Menezes ym., 2010).

4.1. Monimuotoisuus

Metsätalousvaikutteisissa latvapuroissa pohjaeläinten monimuotoisuuden on todettu useissa tutkimuksissa vähenevän metsänhakkuiden seurauksena. Myös muut metsätalouden toimenpiteet (suojavyöhykkeen kapeneminen, hakkuualueen ojitus) muuttavat pohjaeläinyhteisöjä yksipuolisemmiksi, tiettyjen häiriötä sietävien taksoneiden vallitsemiksi yhteisöiksi (Rajakallio ym., 2021). Metsätalouden toimenpiteille altistuneissa puroissa monimuotoisuuden vasteesta on saatu myös poikkeavia tutkimustuloksia. Sillä on todettu olevan negatiivisten vasteiden lisäksi neutraaleja ja jopa positiivisia vasteita häiriöihin (Richardson & Béraud, 2014). Näitä eroja selittänevät esimerkiksi tutkimusten väliset erot hakkuualueiden koossa ja suojavyöhykkeen leveydessä. Monimuotoisuuden säilyvyyteen vaikuttaa positiivisesti hakkuualueen pienenevä koko ja suojavyöhykkeen kasvava leveys (Rajakallio ym., 2021). Monimuotoisuuden vaihdellessa pohjaeläinten kokonaisbiomassa ja -tiheys ei juurikaan muuttunut häiriötä edeltävään aikaan tai vertailuoloihin verrattuna. Kokonaisbiomassan heikko

vaste selittyy pääasiassa häiriön jälkeen vähenevien taksonien korvautumisella häiriötä sietävien taksonien yksilöillä (Jyväsjärvi ym., 2020; Melody & Richardson, 2004; Rajakallio ym., 2021).

Avohakkuu, ojitus ja suojavyöhykkeen muokkaaminen voivat vaikuttaa kaikki pohjaeläinten monimuotoisuuteen eri tavoin, mutta niiden yhteisvaikutuksen on todettu olevan kaikista haitallisista pohjaeläinten monimuotoisuudelle (Rajakallio ym., 2021). Monimuotoisuuden vähenemiseen vaikuttaa erityisesti avohakkuun koko suhteessa valuma-alueen kokoon (Kreutzweiser ym., 2010), suojavyöhykkeen leveys ja laatu (Jyväsjärvi ym., 2020), sekä valuma-alueen aiemmat metsähoidolliset toimenpiteet. Esimerkiksi aiemmin ojitetun metsän avohakkuulla voi olla moninkertaiset vaikutukset puroon ja sen eliöiden monimuotoisuuteen, verrattuna ojitamattoman alueen avohakkuuseen (Rajakallio ym., 2021).

4.2. Yhteisö rakenne

Latvapurojen pohjaeläinten yhteisö rakenne muuttuu ympäristön ominaisuuksien mukaan (Clarke ym., 2008). Kun ympäristöä muokataan metsätaloudellisin keinoin, sen aiheuttamat häiriöt karsivat tai suosivat yhteisössä esiintyviä lajeja. Häiriön jälkeen pohjaeläinyhteisössä on erotettavissa suhteellisten osuuksien kasvua taksonissa, jotka ovat ominaisuuksiltaan sopeutuneet muutokseen (Rajakallio ym., 2021) ja toisaalta suhteellisten osuuksien laskua taksonissa, jotka eivät sopeudu häiriöön. Yhteisörakenteet muotoutuvat ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksesta, mutta usein voidaan erottaa myös yksittäisiä kemiallisia tai fysikaalisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat merkittävästi yhteisörakenteeseen ja tiettyjen lajien esiintyvyyteen. Tämän lisäksi taksonitasolla voidaan havaita tiettyjä säännönmukaisuuksia niiden vasteessa häiriöön (Jonsson ym., 2017).

Päivänkorentojen (Ephemeroptera), koskikorentojen (Plecoptera) ja vesiperhosten (Trichoptera) lahkojen muodostama taksoniryhmä EPT on tyypillisesti herkkä häiriöille (Rosenberg & Resh, 1993) ja sen onkin todettu tutkimuksissa vähenevän metsätalouden aiheuttamien häiriöiden seurauksena. EPT-taksonit toimivatkin hyvänä indikaattoriryhmänä latvapuroissa tapahtuville muutoksille. Sen sijaan surviaissäskien (Chironomidae) ja mäkärien (Simuliidae) heimoon kuuluvat lajit ovat usein toleranteja

erilaisille ympäristön häiriöille ja niiden suhteelliset määrät yhteisössä runsastuvat usein häiriön jälkeen (Jonsson ym., 2017; Kiffney ym., 2003).

Jonsson ym. (2017) totesivat tutkimuksessaan mäkärien heimon olevan kaikista tolerantein muuttaville olosuhteille, kun otettiin samanaikaisesti huomioon useita häiriöitä. Heidän tutkimuksessaan purojen pohjaeläinyhteisökoostumuksia vertailtiin eri ikäisten metsien vallitsevilla valuma-alueilla ja mäkärien heimon suhteelliseen esiintyvyyteen vaikutti positiivisesti pH-tason lasku, matala veden syvyys sekä homogeeninen pohjanrakenne. Kun olosuhteet olivat päinvastaiset ja rantakasvillisuus varjosti uomaa, EPT-lajit ja kovakuoriaisten lahkoon (Coleoptera) yksilöt runsastuivat (Jonsson ym., 2017).

Suojavyöhykkeen kapenemisen on todettu muuttavan yhteisörakennetta yksipuolisemmaksi (Jyväsjärvi ym., 2020) ja siitä hyötty tyypillisesti vain pieni osa lajeista, kuten esimerkiksi surviaissääskien heimon lajit (Kiffney ym., 2003). Kiffneyn ym. (2003) mukaan surviaissääskien suhteellinen määrä yhteisössä kasvoi, kun suojavyöhyke kapeni ja he päättelivät tämän johtuvan lisääntyneen valon määrän ja veden lämpötilan nousun vauhdittamasta perustuotannon määrän lisääntymisestä, joka tarjosi surviaissääsken toukille lisää ravintoa. Negatiiviset vaikutukset kohdistuivat merkittävästi EPT-taksoniryhmään (Kiffney ym., 2003). Kiffney ym. (2003) totesivat lisääntyvän valon määrän ja siitä johtuvat lämpötilan nousun johtavan etenkin päivänkorentojen (Ephemeroptera) suhteellisen määrän laskuun. Lisäksi Jyväsjärvi ym. (2020) havaitsivat merkittävän osan EPT-ryhmän taksoneista puuttuvan latvapuroista, joihin jätettiin kapea suojavyöhyke verrattaessa tutkimuksessa käytettyihin metsätaloustoimien vaikutuspiirin ulkopuolella oleviin vertailupuroihin.

Avohakkuusta ja ojituksesta aiheutuvat pohjan rakenteen homogenisoituminen ja veden pH arvon lasku ovat liitetty tutkimuksissa tekijöiksi, jotka muokkaavat voimakkaasti pohjaeläinten yhteisörakenteita (Jonsson ym., 2017). Rajakallio ym. (2021) totesivat tutkimuksessaan näiden häiriöiden vähentävän kovakuoriaisten ja päivänkorentojen suhteellisia määriä pohjaeläinyhteisössä, ja osittain jopa hävittävän niitä kokonaan. Lisääntyneestä hienosedimenttikuormasta hyöttyivät eniten koskikorennot, joiden runsaus kasvoi suhteessa muihin taksoneihin. Joidenkin koskikorentojen lahkoon kuuluvien lajien on todettu sietävän hyvin tämän tyyppisiä häiriöitä elinympäristössään (Rajakallio ym., 2021).

4.3. Toiminnalliset vasteet

Perinteisen taksonomian lisäksi häiriön aiheuttamien muutosten arvioinnissa käytetään usein toiminnallisia ryhmiä. Toiminnallisuus kuvaa ominaisuutta, joka kertoo lajin adaptaatiosta ympäristöönsä. Toiminnallisten ryhmien ulottuessa taksonirajojen yli, ne muodostavat monimuotoisuutta ja yhteisörakennetta täydentävän katsauksen pohjaeläinyhteisöihin, ja kertovat niiden vaatimista elinolosuhteista. Tutkittaessa toiminnallisten ryhmien vasteita häiriöille, saadaan samalla monipuolista tietoa häiriön vaikutuksesta pohjaeläinyhteisön monimuotoisuuteen sekä niiden kiinteästä suhteesta ympäristöönsä (Menezes ym., 2010). Metsätaloudesta ja maanmuokkauksesta johtuvat häiriöt heijastuvat eri tavoin toiminnallisten ryhmien runsauksiin. Ryhmät voivat sietää, tai jopa hyötyä häiriöistä ympäristössä, jolloin ne yleistyvät puroekosysteemissä, kun taas häiriöille epäsuotuisia ominaisuuksia sisältävät ryhmät häviävät (Rajakallio ym., 2021).

Toiminnalliset ryhmät jaetaan biologisiin ja ekologisiin ryhmiin ominaisuuksien mukaan. Tyypillisesti luokittelun pohjana käytetään esimerkiksi pohjaeläinten ruokailutapoja (biologinen), joihin lukeutuvat mm. pilkkojat, kaapijat, pohjakerääjät ja pedot (Usseglio-Polatera ym., 2000). Ruokailutavat kertovat tärkeää tietoa ryhmien käyttämän ravinnon saatavuudesta, niiden vaatimista habitaateista sekä käyttäytymisen ja morfologian adaptaatioista ympäristöön (Allan & Castillo, 2007). Ryhmittelyjä voidaan tehdä myös pohjaeläinten elinkiertoon ja sen vaiheisiin liittyvillä ominaisuuksilla, kuten lepomuoto ja levittäytymistapa (Usseglio-Polatera ym., 2000). Yksittäisten ominaisuuksien tarkastelun lisäksi tai sijasta, voidaan tarkastella myös useammasta toiminnallisesta ominaisuudesta koostuvaa yhdistelmää yksilössä. Tämä lähestymistapa ilmentää tyypillisesti herkemmin ympäristössä tapahtuvaa muutosta (Rajakallio ym., 2021).

Metsätalouden aiheuttamien häiriöiden, kuten hienojakoisen sedimentin ja liunneen orgaanisen hiilen lisääntymisen on todettu vaikuttavan negatiivisesti metsäpurojen pohjaeläinten toiminnallisiin ominaisuuksiin, joita ovat esimerkiksi liikkuminen ryömimällä, pitkä elinkierto ja lepomuotona muna (Rajakallio ym., 2021). Lisäksi häiriöt on voitu yhdistää negatiivisesti etenkin kaapjoiden ruokailuryhmiin (Brown ym., 2019).

Rajakallio ym. (2021) päätyivät tutkimuksessaan luokittelemaan pohjaeläimet 13 erilaiseen toiminnalliseen ryhmään. Luokittelussa käytetyt ominaisuudet olivat aiempien tutkimusten perusteella todettu olevan herkkiä reagoimaan elinympäristöön kohdistuviin

metsätalouden ja maankäytön aiheuttamiin häiriöihin (Dolédec ym., 1999; Usseglio-Polatera ym., 2000). Nämä ominaisuudet ilmentävät herkästi erityisesti lisääntyntä hienojakoisen sedimentin kuormitusta metsäpuuroissa. Ruokailutapojen (3 kpl) lisäksi ryhmiä oli liikkumistapa ja suhde kiintoaineen kasvuun, levittäytymistapa (dispersaali, 4 kpl), elinkierron pituus, maksimikoko, hengitystapa, lisääntymistapa ja lepomuoto (Rajakallio ym., 2021). Tulokset osoittivat selviä negatiivisia vaikutuksia viidessä toiminnallisessa ryhmässä; elinkierron pituus > 1 vuotta, liikkuminen ryömimällä, aktiivinen levittäytyminen vedessä, eläminen osittain soraikon sisässä ja kiinteiden munien muniminen. Ruokailutapoja tarkastellessa voimakkaimmin metsätalouden vaikutuksiin negatiivisesti vastasivat kaapijoiden ryhmä. Tutkimuksessa ainoa positiivinen toiminnallinen vaste metsätalouden toimiin oli kaivautuminen. Tämän ominaisuuden runsastuminen kertoo selvästi hienojakoisen hiekan ja siltin lisääntymisestä uoman pohjassa (Rajakallio ym., 2021).

Heino ym. (2002) tutkivat metsäpuurojen pohjaeläinyhteisöjen rakenteen kytkeytyneisyyttä Suomen kasvillisuusvyöhykkeisiin. Tutkimuksessa yhtenä mittarina käytettiin pohjaeläinten ruokailutapoja kuvaamaan ympäristömuutoksia. Tutkimus osoitti, että paikalliset fysikaaliset ja kemialliset tekijät selittivät pohjaeläinyhteisön koostumusta vyöhykkeellistä jakoa paremmin. Ojituksen seurauksena lisääntyvä humuspitoisen materiaalin kulkeutuminen aiheuttaa veden värin tummumista. Tämä heikentää levien kasvua, kun valo-olosuhteet muuttuvat. Tutkimuksissa on todettu, että levien vähenevä määrä vaikuttaa negatiivisesti kaapijoiden esiintyvyyteen (Heino ym., 2002; Rajakallio ym., 2021). Metsätaloudellisten toimien on todettu levien esiintyvyyden laskun lisäksi vaikuttavan negatiivisesti sammalien esiintyvyyteen purossa, erityisesti, jos hakkuun ja puron väliin jätettävä suojavyöhyke jää liian kapeaksi. Sammalpeitteet toimivat tärkeinä suojapaikkoina pohjaeläimille (Jyväsjärvi ym., 2020), jonka lisäksi niille kertyvä kuollut orgaaninen aines, detritus (< 1 mm), toimii pohjakerääjien ravinnonlähteenä (Allan & Castillo, 2007).

Pilkkojen tiheyksiin veden ruskistuminen ei niinkään vaikuta niiden ollessa riippuvaisia lehtikarikkeesta ravintonaan. Pilkkojen vasteet metsätalouden häiriöille ovat olleet moninaisia eri tutkimuksissa. Esimerkiksi Brown ym. (2019) huomasivat hienojakoisen siltin ja hiekan lisääntymisen vaikuttavan selvästi negatiivisesti pilkkojen runsaussuhteisiin. Sen sijaan Rajakallio ym. (2021) eivät havainneet muutoksia pilkkojen suhteellisissa määrissä verrattaessa vertailuolosuhteisiin. Lehtikarikkeen hajoamisnopeutta voidaan tutkia lehtipussikokeilla, joiden avulla voidaan arvioida pilkkojen runsautta purossa. Myös lehtipussikokeiden osalta tutkimustulokset ovat olleet moninaisia, ja vaihdelleet alueellisesti.

Syynä alueelliselle vaihtelulle voidaan pitää esimerkiksi aluekohtaista maankäytön historiaa (Jyväsjärvi ym., 2020; Kreutzweiser ym., 2010).

5. Pohdinta

Jokiverkoston latvapurot ovat tärkeistä ominaisuuksistaan huolimatta laiminlyötyjä suojelun näkökulmasta ja altistuneet voimakkaalle muokkaukselle jo vuosikymmenten ajan. Metsä- ja maatalouden toimenpiteitä tulisi kehittää kestävämmiksi niin, että myös latvapurojen tila ja lajistollinen monimuotoisuus pystyttäisiin turvamaan tulevaisuudessa tehokkaammin. Tukeutuminen Suomessa käytössä oleviin metsäsertifikaatteihin (PEFC ja FSC) ei pelkästään riitä, sillä ne ovat jo itsessään riittämättömiä suojaamaan puroja metsätalouden vaikutuksilta. Jo sertifikaattien parantamisella, kuten suojavyöhykkeen leventämisellä, olisi merkittävä vaikutus latvapuroille suojelun näkökulmasta. Leveän suojavyöhykkeen jättäminen täysin koskemattomaksi ei ole tarpeellista, kuten Jonsson ym. (2017) määrittelevät tutkimuksessaan, mutta sillä tulisi sallia vain varovainen puuston harvennus. Näiden lisäksi laadukkaiden suojavyöhykkeiden on todettu tarjoavan ekologisia käytäviä lajeille, jotka eivät kykene kulkeutumaan hakkuualojen läpi. Käytävät mahdollistavat parhaassa tapauksessa niistä riippuvien lajien levittäytymisen ja lisäävät monimuotoisuutta sekä ympäristön elinvoimaisuutta (Marczak ym., 2010).

Metsäpuroihin kohdistuvan häiriön voimakkuuteen ja puron eliöstön vasteeseen häiriölle liittyy vahvasti alueellisten vaihteluiden lisäksi alueen maankäytön historia. Nämä yhdessä aiheuttavat vaikeasti ennustettavia vaikutuksia puron ekosysteemissä ja sen toiminnassa (Jyväsjärvi ym., 2020). Tämän vuoksi metsänhoidon tulisi erityisesti ottaa huomioon ympäristön topografia ja maannoksen tyyppi suhteessa puron sijaintiin, sekä lopettaa äärimmäiset ja vesistöille haitallisiksi todetut maanmuokkaustoimenpiteet, kuten metsämaiden uudisojitus. Avohakkuualan kokoon tulisi myös kiinnittää huomiota, sillä pienemmän hakkuualan on todettu aiheuttavan vain vähäisiä häiriötä metsäpuroille, mikäli niiden väliin on jätetty riittävän leveä suojavyöhyke (Palviainen ym., 2014).

Muita mahdollisia suojelutoimenpiteitä metsäpuroille on esimerkiksi kosteikkojen rakentaminen, sekä jo olemassa olevien, huonokuntoisten kosteikkojen ja soiden kunnostustoimenpiteet, jotka vähentäisivät puroon kulkeutuvan hienojakoisen sedimentin

määrää. Kosteiden alueiden kunnostamistoimenpiteet saattaisivat kuitenkin lisätä puroon kulkeutuvien ravinteiden määrää, sekä liuenneen orgaanisen hiilen määrää (Rajakallio ym., 2021). Ravinteiden liiallinen määrä ajaa puroekosysteemiä autotrofiseksi, kun perustuottajien määrä kasvaa (Jyväsjärvi ym., 2020). Mikäli yksittäisen jokiverkoston useat latvapurot altistuvat kasvavalle ravinnekuormalle, voi vaikutukset kumuloitua joen alajuoksulla muuttaen myös niiden monimuotoisuutta, ekosysteemien toimintaa, sekä ekosysteemipalveluja (mm. virkistyskäyttö).

Tulevaisuudessa tutkimusta metsäpuroista tarvitaan lisää, jotta voitaisiin ymmärtää vielä paremmin, miten ne ja niiden eliöstö reagoivat ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Esimerkiksi pitkäaikaisvaikutukset, joita nykyinen metsätalous aiheuttaa, kuten hakkuiden jatkuva syklinen kierto, ovat tuntemattomia, ja niitä tulisi seurata, jotta vesistöjä voitaisiin suojella paremmin (Palviainen ym., 2014). Lisäksi muuttuva ilmasto ja lisääntyvä ihmistoiminta tuo tullessaan vielä tuntemattomia vaikutuksia luonnolle. Se, voidaanko kasvavaa ympäristöön kohdistuvaa vastuullisuutta ihmisten keskuudessa pitää toivonpilkahduksena, jää nähtäväksi.

Lähteet

- Ågren, G. I., Wetterstedt, J. Å. M., & Billberger, M. F. K. (2012). Nutrient limitation on terrestrial plant growth - modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. *New Phytologist*, 194(4), 953–960. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04116.x>
- Allan, J. D. & Castillo, M. M. 2007. Stream Ecology; Structure and function of running waters. Springer. Netherlands.
- Bishop, K., Buffam, I., Erlandsson, M., Fölster, J., Laudon, H., Seibert, J., & Temnerud, J. (2008). Aqua Incognita: The unknown headwaters. *Hydrological Processes*, 22(8), 1239–1242. <https://doi.org/10.1002/hyp.7049>
- Brown, L. E., Aspray, K. L., Ledger, M. E., Mainstone, C., Palmer, S. M., Wilkes, M., & Holden, J. (2019). Sediment deposition from eroding peatlands alters headwater invertebrate biodiversity. *Global Change Biology*, 25(2), 602–619. <https://doi.org/10.1111/gcb.14516>
- Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N., & Lake, P. S. (2008). Macroinvertebrate diversity in headwater streams: A review. *Freshwater Biology*, 53(9), 1707–1721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02041.x>
- Dolédec, S., Statzner, B., & Bournard, M. (1999). Species traits for future biomonitoring across ecoregions: Patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology*, 42(4), 737–758. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00509.x>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista. *Euroopan yhteisöjen virallinen lehti* 327: 1–72.
- Finn, D. S., Bonada, N., Múrria, C., & Hughes, J. M. (2011). Small but mighty: Headwaters are vital to stream network biodiversity at two levels of organization. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4), 963–980. <https://doi.org/10.1899/11-012.1>
- Forest Stewardship Council, 2010*. Retrieved January 5, 2022, from <https://fsc.org/en>
- Heino, J., Muotka, T., & Paavola, R. (2003). Determinants of macroinvertebrate diversity in headwater streams: Regional and local influences. *Journal of Animal Ecology*, 72(3), 425–434. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00711.x>
- Heino, J., Muotka, T., Paavola, R., Hämäläinen, H., & Koskenniemi, E. (2002). Correspondence between regional delineations and spatial patterns in macroinvertebrate assemblages of boreal headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 21(3), 397–413. <https://doi.org/10.2307/1468478>
- Hämäläinen, H., Aroviita, J., Koskenniemi, E., Bonde, A., & Kotanen, J. 2007. Suomen jokien tyypittelyn kehittäminen ja pohjaeläimiin perustuva ekologinen luokittelu. Länsi-Suomen Ympäristökeskus. Juvenes Print, Tampere.
- Ide, J., Finér, L., Laurén, A., Piirainen, S., & Launiainen, S. (2013). Effects of clear-cutting on annual and seasonal runoff from a boreal forest catchment in eastern Finland. *Forest*

Ecology and Management, 304, 482–491.
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2013.05.051>

- Jonsson, M., Burrows, R. M., Lidman, J., Fältström, E., Laudon, H., & Sponseller, R. A. (2017). Land use influences macroinvertebrate community composition in boreal headwaters through altered stream conditions. *Ambio*, 46(3), 311–323.
<https://doi.org/10.1007/s13280-016-0837-y>
- Jyväsjarvi, J., Koivunen, I., & Muotka, T. (2020). Does the buffer width matter: Testing the effectiveness of forest certificates in the protection of headwater stream ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 478. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118532>
- Kiffney, P. M., & Richardson, J. S. (2010). Organic matter inputs into headwater streams of southwestern British Columbia as a function of riparian reserves and time since harvesting. *Forest Ecology and Management*, 260(11), 1931–1942.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.016>
- Kiffney, P. M., Richardson, J. S., & Bull, J. P. (2003). Responses of periphyton and insects to experimental manipulation of riparian buffer width along forest streams. *Journal of Applied Ecology*, 40(6), 1060–1076. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2003.00855.x>
- Kreutzweiser, D., Muto, E., Holmes, S., & Gunn, J. (2010). Effects of upland clearcutting and riparian partial harvesting on leaf pack breakdown and aquatic invertebrates in boreal forest streams. *Freshwater Biology*, 55(11), 2238–2252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02410.x>
- Kuglerová, L., Jyväsjarvi, J., Ruffing, C., Muotka, T., Jonsson, A., Andersson, E., & Richardson, J. S. (2020). Cutting Edge: A Comparison of Contemporary Practices of Riparian Buffer Retention Around Small Streams in Canada, Finland, and Sweden. *Water Resources Research*, 56(9). <https://doi.org/10.1029/2019WR026381>
- Kuuluvainen, T., Saaristo, L., Keto-Tokoi, P., Kostamo, J., Kuuluvainen, J., Kuusinen, M., Ollikainen, M., & Salpakivi-Salmaa, P. 2004. Metsän kätköissä – Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. Edita Publishing Oy. Helsinki.
- Lasota, J., Błońska, E., Łyszczarz, S., & Tibbett, M. (2020). Forest Humus Type Governs Heavy Metal Accumulation in Specific Organic Matter Fractions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4450-0>
- Liljaniemi, P., Vuori, K.-M., Ilyashuk, B., & Luotonen, H. (2002). Habitat characteristics and macroinvertebrate assemblages in boreal forest streams: Relations to catchment silvicultural activities. *Hydrobiologia*, 474(1), 239–251.
<https://doi.org/10.1023/A:1016552308537>
- Marczak, L. B., Sakamaki, T., Turvey, S. L., Deguise, I., Wood, S. L. R., & Richardson, J. S. (2010). Are forested buffers an effective conservation strategy for riparian fauna? An assessment using meta-analysis. *Ecological Applications*, 20(1), 126–134.
<https://doi.org/10.1890/08-2064.1>
- Melody, K. J., & Richardson, J. S. (2004). Responses of invertebrates and algae of a boreal coniferous forest stream to experimental manipulation of leaf litter inputs and shading.

Hydrobiologia, 519(1–3), 197–206.
<https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026506.16929.e1>

- Menezes, S., Baird, D. J., & Soares, A. M. V. M. (2010). Beyond taxonomy: A review of macroinvertebrate trait-based community descriptors as tools for freshwater biomonitoring. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 711–719.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01819.x>
- Mykrä, H., Heino, J., & Muotka, T. (2007). Scale-related patterns in the spatial and environmental components of stream macroinvertebrate assemblage variation. *Global Ecology and Biogeography*, 16(2), 149–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00272.x>
- Neary, D. G., Ice, G. G., & Jackson, C. R. (2009). Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258(10), 2269–2281.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.027>
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. M., & Sarkkola, S. (2017). Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment*, 609, 974–981.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Launiainen, S., Piirainen, S., Mattsson, T., & Starr, M. (2014). Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: Long-term paired catchment studies from eastern Finland. *Ambio*, 43(2), 218–233. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0439-x>
- Program for the Endorsement of Forest Certification, 2014*. Retrieved January 5, 2022, from <https://pefc.fi/>
- Rajakallio, M., Jyväsjärvi, J., Muotka, T., & Aroviita, J. (2021). Blue consequences of the green bioeconomy: Clear-cutting intensifies the harmful impacts of land drainage on stream invertebrate biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 58(7), 1523–1532.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13889>
- Richardson, J. S., & Béraud, S. (2014). Effects of riparian forest harvest on streams: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1712–1721. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12332>
- Rosenberg D. M., & Resh V. H. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, London and New York.
- Sweeney, B. W., & Newbold, J. D. (2014). Streamside Forest Buffer Width Needed to Protect Stream Water Quality, Habitat, and Organisms: A Literature Review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 560–584.
<https://doi.org/10.1111/JAWR.12203>
- Turunen, J. (2015). *Responses of biodiversity and ecosystem functions to land use disturbances and restoration in boreal stream ecosystems* (Doctoral dissertation, University of Oulu)

- Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., & Tachet, H. (2000). Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: Relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology*, 43(2), 175–205.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00535.x>
- Vannote, R., Minshall, W., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. (1980). The River Continuum Concept. *Journals of Fisheries and Aquatic Science*, 130–137.
<https://ww2.coastal.edu/jjhutche/BIO481/Vannote1980-CJFAS-RiverContinuumConcept-R0715.pdf>