

Auli Lämsä

VALOON LIITTYVIÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA JA NIIDEN VÄHENTÄMISEN KEINOT OSANA KAUPUNGIN KEHITTÄMISTÄ

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Auli Lämsä
Työn nimi	Valoon liittyviä ympäristövaikutuksia ja niiden vähentämisen keinot osana kaupungin kehittämistä
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2024
Sivut	52 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Johanna Koponen, Arto Sormunen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä esitellään valon ja valon energiantuotannon ympäristövaikutuksia. Energiantuotannon vaikutusten arviointia tehtiin tarkastelemalla puubiomassan polttoon perustuva energiantuotannon ympäristövaikutuksia, sillä se on Mikkelissä toimivan Pursialan voimalaitoksen pääpolttoaine.

Työn tuloksia hyödynnettiin systeemitasoisen muutoksen keskittyvän ja valosaasteen torjuntaan pohjautuvan Pimeyden Pääkaupunki -konseptin jatkokehityksessä, jota varten tietoa ensisijaisesti kerättiin. Pimeyden Pääkaupunki kehitettiin alun perin tukemaan Mikkelin kaupungin vetovoimaa ja tunnettavuutta, ja tämän perusteella tehtiin myös esimerkiksi energiantuotantomuodon valinta: millaista energiaa kaupungissa tuotetaan.

Tieto kerättiin narratiivisen kirjallisuuskatsauksen avulla ScienceDirect -tietokannasta ja artikkeleita rajattiin sisäänotto- ja poissulkukriteerien avulla. Haut tuottivat kymmeniä ja satoja artikkeleita, joista valittiin kumpaankin tutkimuskysymykseen noin kaksikymmentä artikkelia. Näistä karsittiin vielä artikkeleita pois laajemman sisältöanalyysin perusteella. Otanta opinnäytetyössä on pieni ja tarkemmat tieteelliset päätelmät vaatisivat laajempaa tutkimusta ja myös erilaisten energiantuotantomuotojen arvioimista, mutta saadut tulokset soveltuvat aiottuun käyttötarkoitukseen tällä laajuudella.

Ihmisen toiminta aiheuttaa melkein kaikilla maapallon alueilla merkittävän määrän valosaastetta. Keinovalo vaikuttaa suoraan esimerkiksi lintujen aktiivisuuteen ja pesimisen onnistumiseen, puiden silmujen puhkeamisen ajankohtaan sekä maaperän prosesseihin. Valolla on myös epäsuoria ympäristövaikutuksia esimerkiksi energiantuotannon kautta, kuten elinympäristöjen heikentyminen ja lajikato. Valon suorat vaikutukset ja sen energiantuotanto myös esimerkiksi pirstaloivat elinympäristöjä: mekanismit ovat erilaisia, mutta lopputulos on sama.

Asiasanat: valosaaste, Pimeyden Pääkaupunki, haittavalo, valosaasteen luontovaikutukset, biodiversiteetti, puubiomassa, metsäteollisuus, keinovalo, antroposeeni, kaupunkiympäristö

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Auli Lämsä
Thesis title	The environmental effects related to light and ways to reduce them as part of city development
Commissioned by	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Time	2024
Pages	52 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Johanna Koponen, Arto Sormunen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to collect information about the environmental effects of light and its energy production, based on the current scientific study. The evaluation of the energy production was done by focusing on woody biomass and its usage in thermal energy production as it is the main fuel for Purssala power plant in Mikkeli.

The results of the thesis were used in the development of the Capital of Darkness -concept and light pollution prevention. Capital of Darkness is a project aimed to develop Mikkeli region in South-Savo and the energy production method, that was evaluated, was chosen based on what type of energy is produced in the city.

The information was collected by the means of narrative literary review from one online database: ScienceDirect. Inclusion and exclusion criteria were used in narrowing down the search results. The searches resulted in tens and hundreds of articles from which approximately twenty were chosen for each of the two research questions. From these, further elimination was done with wider content analysis. The sample size of this thesis is small and more accurate scientific conclusions would require wider research as well as evaluation of more than one method of the energy production, but these results suffice the need and scope of this thesis.

Human action causes significant amounts of light pollution in almost all areas of the globe. Increasing bird activity and declining nesting success and changes in bud burst and in soil processes are a few examples of the direct effects of artificial light in nature. Light has also indirect environmental effects through its energy production, such as habitat deterioration and biodiversity loss. There are also similar or same effects between the two, for example light and woody biomass production both fragment ecosystems: the mechanisms might be different, but the result is the same.

Keywords: light pollution, Capital of Darkness, ALAN, environmental effects of light pollution, biodiversity, wood biomass, forest industry, artificial light, Anthropocene, urban environment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEOREETTINEN VIIITEKEHYS.....	7
2.1	Mikkelin kaupungin tilanne.....	7
2.2	Demola.....	8
2.3	Valo ja valosaaste.....	9
2.4	Valon energiantuotanto.....	12
2.4.1	Puunpolton ilmastovaikutuksista.....	13
2.4.2	Metsäteollisuuden luontovaikutuksista.....	15
2.5	Biodiversiteetti.....	16
2.6	Biodiversiteetti kaupunkiluonnossa.....	18
3	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	20
3.1	Narratiivinen yleiskatsaus.....	20
3.2	Strategia ja hakusanat.....	20
3.3	Hakuprosessi.....	22
3.4	Aineiston analysointi.....	23
4	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TULOKSET.....	24
4.1	Valon ympäristövaikutuksia.....	24
4.1.1	Valo ja kasvit.....	26
4.1.2	Valo ja linnut.....	28
4.1.3	Valo ja hyönteiset.....	29
4.2	Valaisun energiantuotannon ympäristövaikutuksia.....	31
4.2.1	Puubiomassan elinkaariarviointi.....	31
4.2.2	Metsätalous ja ympäristö.....	33
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	36
6	PIMEYDEN PÄÄKAUPUNKI.....	39
6.1	Uusi kaupunkibrändi.....	39
6.2	Matkailu.....	41

6.3 Tutkimus ja koulutus	43
LÄHTEET.....	45

LIITTEET

Liite 1. Valitut artikkelit: valo

Liite 2. Valitut artikkelit: energia

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on havainnollistaa valosaasteen ja valon energiantuotannon ympäristövaikutuksia perustuen tutkimustuloksiin. Tätä tietoa tullaan hyödyntämään Pimeyden Pääkaupunki -innovaation jatkokehittämisessä sekä valosaasteeseen liittyvän tiedon lisäämisessä.

Tutkimuskysymykset, joihin tiedonhaulla etsittiin vastauksia, olivat seuraavat:

- Mitä ympäristövaikutuksia valolla on?
- Millaisia ympäristövaikutuksia valaisun energiantuotannolla on? (Puubiomassan polttoon perustuva energiantuotanto.)

Vaikka sitä ei yleensä sellaiseksi mielletä, valosaaste on yksi näkyvimmistä ympäristöongelmista ja sen määrän on arvioitu kasvavan globaalisti noin kahden prosentin vuosivauhtia. EU:ssa ja Yhdysvalloissa huonosti suunnatut ja tarpeettoman voimakkaat valot aiheuttavat vuosittain noin 20 miljoonan henkilöauton verran hiilidioksidipäästöjä valosaasteen suorien vaikutuksien lisäksi. (Eklöf 2022, 26.) Valosaasteella on havaittu olevan yhteys esimerkiksi ihmisten masennukseen ja unihäiriöihin (Falchi ym. 2019, Pauleyn 2004; Haimin & Portnovin 2013; Hatorin ym. 2017, mukaan) sekä eläinten lisääntymiskäyttäytymiseen sekä navigointiin (Falchi ym. 2019, Richin & Longcoren 2005, mukaan). Lisäksi nykyisissä katuvaloissa käytettyjen LED-valojen sinisempi spektri on luonnolle ja ihmisille haitallisempi, kuin aiempien hehku- ja suurpainenatriumlamppujen kellertävämpi valo (Falchi ym. 2019, American Medical Associationin 2016; Aubén ym. 2013, mukaan).

Tässä opinnäytetyössä esitellään kootusti valosaasteen sekä valon energiantuotannon ympäristövaikutuksia. Lisäksi esitellään lyhyesti systeemitason muutokseen keskittyvä ja valosaasteen torjuntaan pohjautuva Pimeyden Pääkaupunki -konsepti, jonka jatkokehityksestä tarve tälle työlle nousi. Pimeyden Pääkaupungissa viimeinen lähtijä ei sammuta valoja, vaan olemme ensimmäisiä, jotka tekevät niin. Pimeyden Pääkaupungin ja tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tiedon tuottamisen ja alueen vetovoiman kehittämisen lisäksi osallistaa asukkaita ja yrityksiä toimimaan aktiivisesti

systemitason muutoksen tekijöinä. Tähän pyritään lähestymällä tarvittavaa muutosta innostavasti ja ilman sitä, että odottaisimme ylhäältäpäin tulevaa ohjausta saadaksemme aikaan kestäväää kehitystä.

Pimeyden Pääkaupunki -konsepti kehitettiin Demola Globalin innovaatio-pintojaksolla Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa, jossa tiimimme tehtävänä oli kehittää Mikkelin seudun vetovoimaa lisäävä innovaatio. Kehitys rakentui kolmelle kantavalle teemalle: valosaaste, Mikkelin kaupungin jo pidempään jatkunut negatiivinen väestönkehitys ja kaupungissa vuosina 2022–2023 öisin sammuvat katuvalot. Tästä syystä työn teoreettinen viitekehys ei rajoitu ainoastaan valosaasteeseen, vaan siinä esitellään myös Mikkelin tämänhetkinen tilanne, eli konteksti, jossa innovaatiota kehitettiin.

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

2.1 Mikkelin kaupungin tilanne

Mikkelin kaupungin väestönkehitys on vuodesta 2016 alkaen ollut jyrkästi laskusuunnassa. Maahanmuuton osalta Mikkelin on ollut muuttopositivinen, mutta se ei yksin riitä kompensoimaan väestökatoa. Vuoteen 2040 mennessä kaupungin asukasmäärän ennustetaan pienenevän 18 prosenttia. Mikkelistä muuttaa tällä hetkellä edelleen pois etenkin nuoremmat ikäluokat, joten yli 75-vuotiaiden ikäluokka kasvaa suhteellisesti eniten. Väestön ikärakenteen vanhentuessa esimerkiksi sosiaali- ja terveyspalveluiden menot alueella kasvavat. Koko Suomessa ei ole arvioiden mukaan vuoden 2035 jälkeen enää yhtään kuntaa, jossa syntyvyys ylittäisi kuolleisuuden, mikäli syntyvyys pysyy nykyisen kaltaisena. Vanheneva väestö on ongelma kaikissa länsimaissa ja se heijastuu ikääntyvissä kaupungeissa esimerkiksi palveluihin: nuoremmat ikäluokat käyttävät niihin keskimäärin enemmän rahaa, koska heillä on usein isommat kuukausitulot. Tulevaisuuden kannalta olisikin tärkeää, että Mikkelin kaltaisten kaupunkien veto- ja pitovoimaa saataisiin kasvatettua, etenkin nuorten aikuisten silmissä. (Kumpusalo 2020.)

Mikkelin kaupungin talous on ollut myös vuosia alijäämäinen. Vuonna 2024 kuitenkin uutisoitiin, että talouden tilanne oli odotettua parempi ja vuoden 2023 tulos olikin melkein 20 miljoonaa ylijäämäinen. Kaupungin taloudellinen tilanne on kuitenkin edelleen haasteellinen, sillä siihen tulevat vaikuttamaan vuonna

2023 ilmoitetut valtion osuuksien leikkaukset. Kaupungin tavoitteena on tasapainottaa käyttötalous vuoteen 2027 mennessä. Yhtenä isona talouden tasapainottamistoimena on Etelä-Savon energian vähemmistöosuuden myyminen, mutta kaupunki on suunnitellut ja tehnyt myös muita laajoja säästötoimia. (Vironen & Bonnor 2024.) Osana näitä säästötoimenpiteitä Mikkelin kaupungin katuvalot on sammutettu keskusta-alueen ulkopuolelta 2.1.2023 alkaen kello 23:00–5:00 (Mikkelin kaupunki 2022a).

2.2 Demola

Demola on suomalainen yritys, joka on nimensä mukaisesti keskittynyt demojen ja konseptien kehittämiseen. Projekteja Demolan kautta on tehty jo vuodesta 2008 ja niiden aiheet valikoituvat sen mukaan mitkä asiat esimerkiksi alueen yrityksiä kiinnostavat. Innovaatiotyössä keskitytään monialaisuuteen ja tämän vuoksi tiimeihin valitaan korkeakouluopiskelijoita eri aloilta, kampuksilta ja tutkintotasoilta. Tiimit rakentuvat opiskelijoiden hakemuksien perusteella ja siinä otetaan huomioon kunkin hakijan kiinnostuksenkohteet ja motivaatio aihetta kohtaan. Projektien aikana tiimiläiset tekevät yhteistyötä myös eri sidosryhmien kanssa ja he saavat ideoistaan säännöllistä palautetta projektin ajan.

Yrityksille ja organisaatioille Demola tarjoaa mahdollisuuden pureutua tulevaisuuden tärkeisiin aiheisiin joko tekemällä tiimien kanssa enemmän yhteistyötä tai käymällä lyhyempää ajatustenvaihtoa heidän konseptiinsa liittyen. (Rintaniemi 2024.)

Projektit ovat kestoltaan noin kaksi kuukautta ja ne rakentuvat Demolan omalle prosessille. Projektien aikana tiimit työskentelevät itsenäisesti, mutta tapaavat toisiaan myös paikan päällä muutaman kerran. Tiimit päättävät itse työskentelytavat ja -ajat, mutta Demolalta saa yhteydenpitoa varten eri alustoja. Projektin aikana saa myös apua Demolan työntekijöiltä. (Rintaniemi 2024.) Projektin lopuksi innovaatiot esitellään alueen sidosryhmien edustajille ja jokainen tiimi saa päättää lähteekö kehittämään innovaatiota vielä pidemmälle lopputapahtuman jälkeen.

2.3 Valo ja valosaaste

Ihminen on monin tavoin näköaististaan riippuvainen päivaeläin, jonka takia olemme taipuvaisia valaisemaan ympäristöämme kotipihoista teollisuusalueisiin. Valaistut asutuskeskukset loistavat avaruuteen asti ja ne on kudottu toisiinsa katuvalojen verkostolla. Elämme nyt antroposeenia, eli ihmisten aikaa, ja taivaita valaiseva kaupunkien hohde on tästä yksi näkyvimmistä todisteista. Geeni- ja kulttuuriperimässämme kulkee myös pimeän pelko, joka lisää ihmisten halua tuoda valoa luonnolliseen pimeyteen. Ihmiselle kehittyy luonnollisessa tilanteessa pimeänkö noin puolessa tunnissa, mutta tämä on nykyään useissa asuinpaikoissa mahdotonta, koska pienikin valoaltistus tuhoaa silmissämme kehittyvän rodopsiinipigmentin. Vaikka ei kokisi luonnollisen pimeyden menettämistä ongelmana, tutkimukset ovat osoittaneet, että liiallisesta valosta on haittaa myös ihmiselle. (Eklöf 2021, 24–28.) Kuva 1 havainnollistaa taivaan valaisevaa kaupungin hohdetta Mikkelissä talvella 2024.



Kuva 1. Valosaastetta Mikkelin Laajalammella (Lämsä 2024).

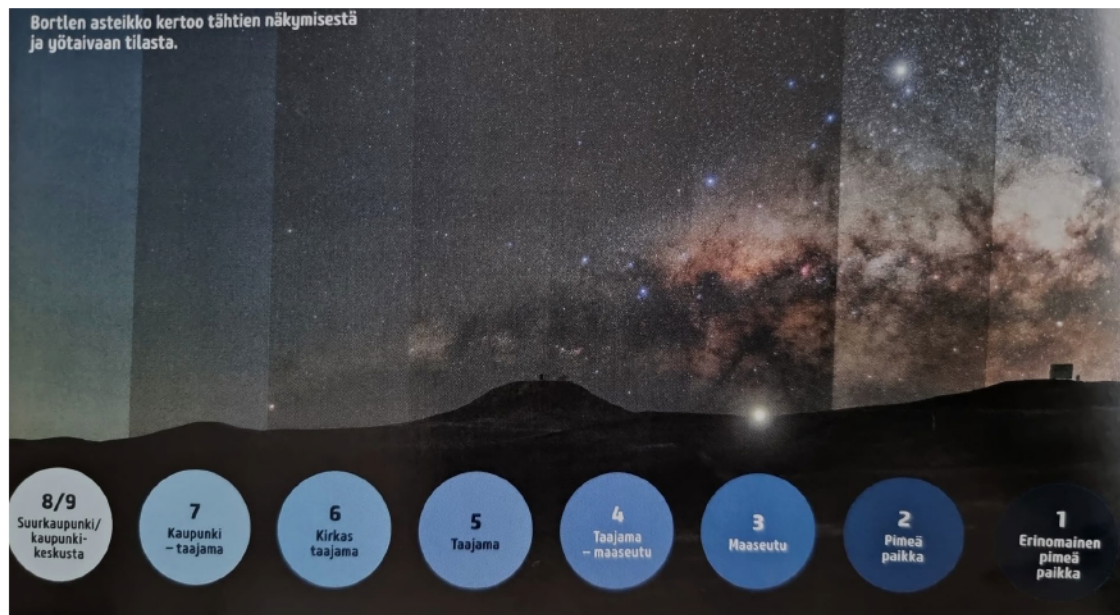
Valo on yksi nopeimmin leviävistä ympäristöhaitoista ja tähän on suhtauduttava vakavasti. Miljoonien vuosien aikana maapallolla kehittynyt elämä on sopeutunut luontaiseen valon ja pimeän vaihteluun ja alle kaksi vuosisataa taivaitamme valaissut keinovalo on evolutiivisesti täysin uudenlainen asia. Valon on annettu levitä yhteiskunnissa, sillä se on koettu positiivisena asiana, eikä siihen ole liitetty riskejä isoihin

ympäristökatastrofeihin. Valosaasteen ajatellaankin usein olevan lähinnä tähtitieteen harrastamiseen liittyvä ongelma. Haitoista tunnetaan tällä hetkellä kunnolla vain helppoiten havaittavat: pitkäaikaisvaikutuksista sekä valon ja muiden ympäristöongelmien yhteisvaikutuksista tietoa on vielä vähän. (Lyytimäki & Rinne 2013, 18–19.) Akateemisessa tutkimuksessa on jo 2000-luvulla todettu valosaasteen ja terveyshaittojen välinen yhteys, jolloin yhdysvaltalaiset tutkijat tunnistivat vuorotyön kasvattavan ihmisten syöpäriskiä. Muista lajeista tunnetuin, mutta ei suinkaan ainoa, joka kärsii merkittävästi valosaasteesta, on merikilpikonna, jonka pesintään rannoille ja taivaalle asutuksista lankeava valo vaikuttaa vahingollisesti. (Myllymäki 2022.)

Pohjoisemmassakin on runsaasti lajeja, joille valosaaste on haitallista. Maapallolla on arviolta miljoonia hyönteislajeja. Kaikista hyönteisistä puolet elää öisin ja ne tarvitsevat ainakin pari tuntia yhtäjaksoista pimeyttä vuorokaudessa. Yön pimeys on näiden hyönteisten suoja ja tähtien ja kuun valo niiden kompassi, lisäksi yötaivaan heikko valo on yhteydessä niiden hormonitoimintaan. Kaikenlaiset häiriöt valon ja pimeyden luonnollisessa vaihtelussa ovat siis suora uhka yöaktiivisten hyönteisten olemassaololle. Useimmat näistä hyönteisistä hyödyntävät suunnistamiseen tähtien ja kuun polarisoitunutta valoa ja esimerkiksi yöperhonen lentää suoraan voimakkaimman valonlähteen, eli normaalisti kuun, avulla. Jos yöperhonen kohtaa lentomatkallaan lampun, se alkaa pikkuhiljaa kääntyä valoa kohti jääden spiraalimaiselle kiertoradalle lampun ympärille. Valon vangeiksi jääneet hyönteiset kuolevat usein uupumukseen ennen aamunkoittoa. Tehokas hyönteispopulaatioiden tuhoaja on myös asfaltin, betonin tai lasin heijastama keinovalo, joka houkuttelee hyönteisiä itseään kohti veden aaltojen heijastaman kuunvalon lailla. Näiden hyönteisten lisääntyminen riippuu siitä, saavatko ne laskettua munansa veteen ja yhden yön aikana työmaiden heijastavat asfalttikentät voivat tuhota koko populaation niiden eksytyä väärään paikkaan. (Eklöf 2021, 33–35.)

Maapallon ihmisistä 80 prosenttia ja eurooppalaisista 99 prosenttia elää alueilla, jotka altistuvat pimeän tullen valosaasteelle. Länsi-Euroopassa on vain pieniä alueita, jotka ovat valosaasteen ulottumattomissa ja vain pienellä osalla ihmisistä on mahdollisuus nähdä Linnunrata paljain silmin. (Dark Sky International 2016.) Valosaasteella on erilaisia muotoja: häikäisevä valo

(glare): valo, joka aiheuttaa haittaa näkökyvylle; hehku (sky glow): asutusalueiden yllä taivaalla näkyvä, usein oranssi, hehku; väärin suunnattu valo (light trespass): valo, joka lankeaa alueille missä sitä ei tarvita tai minne sitä ei ole tarkoitettu; valoryhmät (clutter): sekalaiset, liialliset ja kirkkaat valot tai valaisinryhmät. (Dark Sky International s.a.) Yötaivaan tilaa voidaan arvioida esimerkiksi Bortlen asteikolla, jonka eri luokitukset ovat nähtävissä kuvassa 2.



Kuva 2. Bortlen asteikko, jonka avulla voidaan havainnollistaa yötaivaan tilaa (Pekkola 2023, 34–39)

Vaikka tutkittu tieto ongelmasta lisääntyy, esimerkiksi Suomesta ja Euroopan Unionin alueelta puuttuu silti edelleen valosaastetta käsittelevä lainsäädäntö. Tämä voi Suomen ympäristökeskuksen johtavan tutkijan, Jari Lyytimäen, mukaan johtua siitä, että muista ympäristöhaitoista poiketen arvostamme valoa. (Myllymäki 2022.) Toisaalta joissain Suomen kaupungeissa haittavaloon on viime aikoina alettu havahtua, kun se on alkanut häiritä esimerkiksi kaupunkilaisten unta. Tampereella valosaasteen vähentämiseksi on tehty peräti kaksi aloitetta, valtuustoaloite ja kuntalaisaloite, joiden pohjalta kaupunki aloitti vuonna 2022 selvitystyön (Tanninen 2022).

Vuonna 2024 uutisoitiin, että valaisun määrä on Suomessa jatkuvasti kasvanut halpojen led-valojen myötä ja samalla ilmoitukset haittavalosta ovat olleet kasvussa. Valomainosten sääntelyä ovat työstäneet isoista kaupungeista ainakin Helsinki ja Oulu, huolimatta kansallisen lainsäädännön

puuttumisesta. Häiritsevää valoa kaupunkialueilla syntyy kuitenkin myös katuvaloista ja rakennustyömaiden valaistuksesta, jotka häiritsevät ympäristön havaitsemista ja alueen läheisyydessä asuvien unta. Ihmisiä häiritsee eniten oman kodin ympäristön häirtävalaistus, johon liittyy myös ilmoituksia häirtävalosta tehdään eniten. (Hurme 2024.)

2.4 Valon energiantuotanto

Valosaasteen suorien haittojen lisäksi siihen liittyy myös useita epäsuoria haittoja. Näistä isoin on valon energiantuotantotapa ja sen luonto- sekä ilmastovaikutukset. Luontovaikutuksia havaitaan energiantuotantolaitoksen välittömän läheisyyden lisäksi myös niillä alueilla, joista laitokseen tuodaan polttoainetta sekä siellä, johon laitosten päästöt kulkeutuvat. Vuonna 2022 tehdyssä kaupunginhallituksen päätöksessä Mikkelin kaupungin energiantuottajaksi valittiin Lumme Energia Oy ajalle 1.1.2023 – 31.12.2024 (Mikkelin kaupunki 2022b). Lumme Energian vuoden 2022 myydyn sähkön alkuperäksi listataan: ydinvoima (12 %), fossiiliset energialähteet ja turve (48 %) ja uusiutuvat energialähteet (40 %) (Mistä sähkömme tulee? s.a.).

Valtakunnan sähköverkossa ei voi erotella, millä tavalla tuotettua sähköä siellä liikkuu, eikä eri tuotantomuodoille ole olemassa omia sähköverkkoja. Alkuperätakuujärjestelmän avulla voidaan kuitenkin laskennallisesti varmistaa, että tietty osuus sähköstä tulee tietystä lähteestä eli ostajalle voidaan taata tämän saavan sähköä laskennallisesti juuri siitä lähteestä, mikä on sopimukseen merkitty. Mikäli sähkön myyjä myy tai käyttää markkinoinnissaan uusiutuvaa energiaa tai ydinvoimaa, sen täytyy myös varmistaa sähkön alkuperä. Lumme Energia hankkii alkuperätakuuta mm. Kissakosken ja Vaajakosken vesivoimalaitoksista sekä Pursialan voimalaitoksesta, josta on hankittu biovoiman alkuperätakuut pääsääntöisesti Lumme Energialle. (Mikä on alkuperätakuu? s.a.)

Mikkelissä toimivassa Pursialan voimalaitoksessa sähköä ja lämpöä tuotetaan heidän omien sivujensa mukaan puun- (80 %) ja turpeen poltolla (19 %) sekä öljyllä (1 %) (Etelä-Savon Energia s.a.). Näistä biopolttoaineeksi lasketaan ainoastaan puupohjaiset polttoaineet. Vaikka puubiomassan polttaminen lasketaan edelleen uusiutuvaksi energiaksi, on metsien uusiutuminen verraten hidasta. EU:n parlamentti meinasikin rajata puubiomassan uusiutuvan

energian ulkopuolelle vuonna 2022, mutta pyörsi lopulta päätöksensä (Toivonen 2022). Polttoaineena käytetty puuainees tulee pääsääntöisesti puunjalostus- ja metsäteollisuuden sivuvirroista. Puupolttoaineiden osuus on viime vuosina ollut yli neljänneksen Suomen energian kokonaistuotannosta ja yksi merkittävimmistä puupohjaisista polttoaineista on sellun valmistuksesta syntyvä mustalipeä. Metsäteollisuuden sivu- ja tähdevirtojen käytön kasvu on vaikuttanut puupolttoaineiden käytön yleistymiseen, sillä niillä on pyritty korvaamaan fossiilisia polttoaineita. (Maa- ja metsätalousministeriö s.a.)

Joissain lähteissä mainitaan, ettei Suomessa kasvatettaisi puuta pelkästään energiantuotantoa varten. Kuitenkin jopa puolet hakatusta metsästä päätyy energiantuotantoon tavalla tai toisella, joten ei ole mielekäästä puhua myöskään pelkästään sivuvirroista. EU vaatii bioenergian tuotantoa, jota Suomessa tehdään pääosin puusta ja turpeesta: jätteitä ja tähteitä ei kuitenkaan synny ilman alkutuotantoa, eikä niiden määrää voida lisätä ilman alkutuotannon lisäämistä. Mikäli bioenergian tuotantoa halutaan lisätä, täytyy hakkuitakin siis lisätä, menipä kaadetusta puusta käyttöön sivutuotteet tai koko puu. (Kauppinen 2019, 129.) Vuonna 2023 Suomen metsistä hakattiin 68,6 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta, joista 86 prosenttia meni kuitupuuksi ja sahatteellisuuteen. Loput, eli 9,7 miljoonaa kuutiometriä, poltettiin suoraan energiaksi lämpö- ja voimalaitoksissa sekä pienpoltossa. (Pennanen 2024.) Puuta päätyi siis myös suoraan energiantuotantoon, vaikka sitä ei varsinaisesti energiantuotantoa varten kasvateta.

2.4.1 Puunpolton ilmastovaikutuksista

Energiantuotantoon kokonaisuutena liittyviä ympäristövaikutuksia ovat mm. happamoituminen, ilmastonmuutos, vesistövaikutukset ja jätteiden syntyminen. Ympäristövaikutuksia syntyy tuotantoketjun kaikissa vaiheissa polttoaineen tuotannosta varsinaiseen energiantuotantoprosessiin sekä jätteiden käsittelyyn. (Energiateollisuus s.a.)

Energiantuotannon puubiomassa valmistetaan esimerkiksi metsiin jäävistä hakkuutähteistä. Hakkuiden jälkeen metsistä kerätään pois jalostettava puuainees ja jäljelle jää runsaasti hakkuutähteitä, kuten kantoja ja oksia. Hakkuutähteet vapauttavat sisältämänsä hiilidioksidin ilmakehään joko hitaasti

lahotessaan vuosikymmenien aikana tai nopeasti, kun ne viedään tuotantolaitoksiin poltettavaksi. Kasvaessaan metsä imee fotosynteesissä hiilidioksidia eli toimii hiilinieluna ja mikäli hakkuujätteet jätetään metsän pohjalle, niiden vapauttama hiilidioksidi sitoutuu ajan mittaan kasvavaan metsään. (Ukkola 2010.) Hakkuiden jälkeen kasvava metsä alkaa toimia hiilinieluna kuitenkin vasta noin 17 vuoden kuluttua ja kasvun päätyttyä metsä toimii hiilivarastona eli metsien puut ja maaperä sitovat hiiltä päästämättä sitä ilmakehään. (UPM s.a.) Metsään hakkuissa syntynyt hiilivelka korvaantuu viiveellä sitä mukaa, kun poistuma korvaantuu uudella kasvulla; metsien uusiutumisenopeus vaihtelee puulajin, maantieteellisen sijainnin ja kasvuolosuhteiden perusteella suuresti. (Seppälä ym. 2015, 21.)

Metsien hiilitaseen energiatarkastelut ovat osoittaneet, että metsiin hakkuiden kautta synnytetty hiilivaje on paikattavissa hitaasti, vaikka otettaisi huomioon metsäenergian korvaushyödyt fossiilisiin polttoaineisiin. Hiilivajeen palautumisenopeus luo perustan biomassan hyödyntämisen ilmastovaikutuksien tarkastelulle. Korvaushyödyt tarkoittavat ilmastovaikutuksien arvioinnissa hyötyjä, joita polttoaineella tai tuotteella saadaan aikaan, kun niillä korvataan kasvihuonekaasupäästöiltään suurempia tuotteita tai polttoaineita. Metsäenergian hiilitaseen palautuvuutta heikentää jo alkutilanteessa se, että puubiomassa vapauttaa palaessaan enemmän hiilidioksidia synnyttämäänsä energiaa kohti, kuin fossiiliset polttoaineet. Elinkaarilaskennassa bioenergian päästökerroin on 109,6 g CO₂/MJ, kun se on esimerkiksi kivihielelle 93,3 g CO₂/MJ. Muiden elinkaarivaiheiden välillä päästöissä ei käytännössä ole eroa öljyn, puun ja kivihien välillä. Puubiomassan elinkaaren muut vaiheet, kuin poltto, ovat sen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä vain 2–3 prosenttia. (Seppälä ym. 2015, 23–25.)

Poltettaessa hakkuutähteistä vapautuva hiilidioksidi ei ehdi sitoutua takaisin metsiin ja se päätyy ilmakehään: hiilipäästöjen ja hiilensidonnan tasapaino saavutetaan vasta ajan kuluessa metsien uusiutuessa hakkuiden jälkeen ja alkaessa sitoa hiiltä tehokkaasti fotosynteesissä. Etenkin kantojen polttaminen nostaa metsätähteen hiilidioksidipäästöjä verrattuna niiden lahoamiseen. Kantojen polttamisen vaikutus kasvihuonekaasujen nettomäärään putoaa

kivihiiilen päästöjen tasolle noin 30–40 vuodessa ja oksien polttamisen 10 vuodessa. (Ukkola 2010.)

2.4.2 Metsäteollisuuden luontovaikutuksista

Luonnonvarakeskuksen mukaan esimerkiksi Etelä-Suomen metsien hiilensidontakyky on heikentynyt vuosikymmeniksi metsäteollisuuden takia ja joissain osin Suomea metsät ovat muuttuneet jopa päästölähteiksi. Kaakkois-Suomessa metsiä hakataan niin paljon, että ne eivät enää pysty sitomaan hakkuista syntyvää hiilidioksidia. Metsäteollisuuden hakkuiden hillitsemistä varten on olemassa suurimman kestävän hakkuun raja, mikä esimerkiksi Etelä-Karjalassa on ylitetty jo useana vuotena yli 20 prosentilla. Nykyisillä hakkuumäärillä hiilensidonta paranee ainoastaan Pohjois-Suomessa ja mikäli ne jatkuvat nykyisen kaltaisina puun saatavuus heikentyy esimerkiksi Kaakkois-Suomessa eivätkä hiilinielut riitä Suomen hiilineutraaliustavoitteeseen. (Ikävalko 2023.)

Nykyisellä maankäytöllä Suomen hiilineutraaliustavoite vuodelle 2035 ei ole saavutettavissa (maankäyttösektori tarkoittaa metsätalouden, maatalousmaan ja muun maankäytön muodostamaa kokonaisuutta). Luonnonvarakeskuksen uusimman arvion mukaan maankäyttösektori tulee pysymään vielä vuonna 2035 merkittävänä päästölähteenä ja tähän on syynä se, että metsää on hakattu ja tullaan arvioiden mukaan hakkaamaan niin paljon, ettei se kykene sitomaan tarpeeksi hiilidioksidia. Metsien sitoman hiilidioksidin määrä tulee jäämään noin viidennekseen vuoden 2035 tavoitteesta, eikä maatalouden päästöjäkään saada tuona aikana tarpeeksi hillittyä. Metsänielu pysyy historiallisen pienenä ainakin seuraavat kymmenen vuotta puuntarpeen kasvaessa, kun samaan aikaan kasvua ei saada lisättyä. Hakkuiden vähentäminen kasvattaisi hiilinielua nopeasti pitkäksi aikaa. (Ikävalko 2024.)

Metsäteollisuus ry ja Sahateollisuus ry ovat julkaisseet tiekartan, joka kannustaa puuteollisuutta tekemään toimia biodiversiteetin parantamiseksi. Suomen lajeista noin puolet ovat metsälajeja ja vuonna 2019 julkaistun uhanalaisuusraportin mukaan 9 prosenttia, eli 833, on arvioitu uhanalaisiksi. Uhanalaisten lajien määrä on myös raportin mukaan kasvussa. Puuteollisuus lupaa edistää monimuotoisuutta esimerkiksi varmistamalla riittävän lahopuun

määrän ja turvaamalla arvokkaita elinympäristöjä. (Ali-Hokka 2023.) Metsien lajeista esimerkiksi hömötiainen tarvitsee lahopuuta. Vuoden 2010 uhanalaisuusluokituksessa hömötiainen oli luokiteltu elinvoimaiseksi, mutta vuonna 2019 laji oli jo erittäin uhanalainen. Hömötiäisistä on kolmen sukupolven aikana kadonnut pesimälintulaskentojen mukaan 53 prosenttia ja talvilintulaskentojen mukaan 68 prosenttia. Uhanalaisuus terminä tarkoittaa todennäköisyyttä kadota eli mitä uhanalaisempi laji on, sitä suurempi riski sillä on kuolla sukupuuttoon. (Kauppinen 2019, 74.)

Energiateollisuus ry. on julkaissut myös oman biodiversiteettikartan energiateollisuudelle sekä omat suosituksensa esimerkiksi metsäenergian käyttöön. Lisäksi metsäteollisuuden yrityksillä on myös omia tavoitteita monimuotoisuuden lisäämiseksi ja turvaamiseksi. Nämä ovat kuitenkin vain suunnitelmia ja todelliset teot mitataan sillä, miten hyvin monimuotoisuutta todellisuudessa tuetaan. Energiaa ei tietenkään tuoteta ainoastaan katuvaloja tai julkisten tilojen valaistusta varten, mutta ylimääräisen- ja ylikulutuksen vähentämisellä on suoria vaikutuksia energiantarpeeseen ja tätä kautta energiantuotannon luontovaikutuksiin. Yhteiskunnan sähköistyminen ja pyrkimykset siirtyä pois fossiilisista polttoaineista kasvattavat energiantarvetta jatkuvasti ja sitä suuremmalla syyllä tulisi tarkastella energiankäytön tarpeellisuutta ja myös niitä tapoja, joilla energiaa tuotetaan ja millä keinoilla fossiilisista polttoaineista pyritään irtaantumaan.

2.5 Biodiversiteetti

Ero talousmetsän ja luonnonmetsän välillä on siinä, että luonnonmetsä uusiutuu satojen vuosien aikana luonnollisesti ja tuulenkaatojen tai kuolleiden puiden tilalle valikoituu pohjalla kasvava uusi taimi: yksi väistyy ja toinen tulee tilalle. Siksi luonnonmetsässä on runsaasti eri ikäisiä, -kokoisia ja -lajisia puita. Talousmetsä puolestaan hakataan matalaksi yhdellä kertaa ja tilalle istutetaan taimikko, josta kasvaa monokulttuurimetsä: puut ovat samaa lajia, samankokoisia ja samanikäisiä. Vaikka tätä koitetaan rikkoa esimerkiksi jättämällä hakkuuaukeille lahopuita, ei talousmetsä yllä monimuotoisuudessa lähellekään luonnonmetsiä. Etenkin Etelä-Suomessa luonnonmetsät ovat erittäin harvassa. Elinympäristön heikentyminen on hakkuiden suora seuraus: kun metsäalue hakataan, tuhotaan samalla alueen koko ekosysteemi, jonka kehittyminen ja erikoistuminen on kestänyt satoja ja jopa miljoonia vuosia.

Hakatusta alueesta tulee asuinkelvoton monille lajeille. Ihmisen harjoittama elinympäristöjen heikentäminen on luonnon monimuotoisuutta eniten koko maailmassa hävittävä ilmiö. (Kauppinen 2019, 121, 133, 143.)

Aikana, jolloin ihminen on ollut Suomen luontoa seuraamassa, täältä on hävinnyt 312 eliölajia. Lajeja ovat esimerkiksi metsiimme pitkälle erikoistuneet kuoriaiset ukkokauniainen ja verihärö. Ratkaisevat muutokset luonnossamme ovat tehneet sen mahdottomaksi paikaksi elää yli 300 lajille, mutta joitain meiltä hävinneistä lajeista tavataan edelleen muualla. Mitä väliä lajin katoamiselle Suomesta sitten on, jos sitä on vielä muualla? Lajien uhanalaistumisen jatkuminen on merkki jatkuvasta trendistä ja vaikka tarkastelussa huomioidaan vain kyseinen laji, tulee muistaa, että se kertoo myös toimivien ekosysteemien heikentymisestä. Katoavat populaatiot vievät mukanaan osia luonnon monimuotoisuudesta ja tulevaisuudesta, ja tarpeeksi kauan jatkuttuaan ne alkavat vaikuttaa myös ihmisiin ensin paikallisesti ja lopulta globaalisti. Lajin uhanalaisuus tarkoittaa siis, että suuri osa lajin populaatiosta on kadonnut ja ekosysteemit ovat nyt tätä lajia köyhempiä. Metsälintujen tapauksessa tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että ne eivät ole enää syömässä tiettyjen hyönteislajien munia ja toukkia, joka taas johtaa näiden lajien lisääntymiseen ekosysteemissä ja lopputulos voi olla arvaamaton. (Kauppinen 2019, 79–81.)

Luonnon biodiversiteetin heikkenemistä ei välttämättä ole aina helppoa ymmärtää ja sitä hahmottaakseen on yleensä koitettava käsittää monia asioita samanaikaisesti. Biodiversiteetin heikentymisen kokonaisvaikutuksia voi tarkastella esimerkiksi juuri ravintoketjujen kautta: mikäli vedestä katoaa hyönteisen toukat, lohikalat eivät saa syötävää ja samanaikaisesti katoavat pölyttäjät, jonka takia metsien marjat eivät pölyty ja tästä seuraa se, että karhuilla ei ole syötävää, koska karhujen pääasiallinen ravinnonlähde ovat marjat ja lohikalat. Hyönteisistä pölyttäjien katoaminen uhkaa jo ihmiskuntaa: kadotessaan joltain alueelta ne vievät mukanaan ruoantuotannon, vaikka lajit olisivat edelleen luokitukseltaan elinvoimaisia globaalisti. Biodiversiteetin heikentymistä voidaankin mitata myös rahassa: pölyttäjien tekemän työn arvo on vuosittain noin 500 miljardia dollaria ja mikäli ne katoavat, on tilalle palkettava ihmisiä tekemään niiden työt, että ruoantuotanto saadaan turvattua edes joltain osin. (Kauppinen 2019, 80, 182–183.)

Palataan vielä hömötiaiseen ja siihen, miksi laji on taantunut 2010-luvulla niin radikaalisti. Lintu ei löydä talousmetsistä ruokaa, eikä saa kerrytettyä rasvavarastoaan, sillä esimerkiksi metsänhoitotoimena tehtävä kuusikon aluskasvuston poistaminen heikentää ruoan löytämistä. Lisäksi vanhojen puiden määrä on metsissä vähentynyt, mikä tarkoittaa puiden pinnalla kasvavien jäkälien ja naavojen vähentymistä, joihin hömötiaiset tekevät tyypillisesti ruokavarastoja talven varalle. Myös pesäkolojen kaivertaminen on vaikeutunut, koska talousmetsissä lahoppuun määrä on vähentynyt radikaalisti ja pienellä nokalla pesäkolon saa tehtyä juuri pehmeään lahoppuuhun: etenkin lahot pötkelöt tuhoutuvat avohakkuissa. Myös lämpenevä ilmasto ajaa lajia pohjoisemmaksi. Nuoren talousmetsän päällyskasvien puute heijastuu myös muihin lajeihin ja alueen ekosysteemiin, jotka ovat jokaisessa maassa ja jokaisella alueella erikoistuneet juuri sille kyseiselle alueelle eikä niitä tavata muualla. Tähän kaikkeen voidaan vaikuttaa esimerkiksi jatkuvan kasvatuksen lisäämisellä sekä metsien suojelulla. Hömötiaisen selviämisen kannalta nämä toimet ovat välttämättömiä ja Suomella on lajista erityisvastuu, koska neljännes kaikista hömötiaisista asuu täällä. (Koskinen 2019.)

Mikäli metsistä halutaan tulevia mullistuksia kestäviä, runsaita ekosysteemeitä: ainoa keino tähän on kasvattaa metsä, jossa on tarjolla kaiken lajisia ja kaikenikäisiä puita. Metsään jätetyt lahoppuut ovat ainoastaan hyvää tarkoittava ajatus, mutta sillä ei pelasteta eikä luoda terveen metsän lajirikkuutta. Luonnontilaisen metsän lajisto ylittää monimuotoisuudellaan ihmisten mielikuvituksen, emmekä edes tunne siitä kuin pienen osan. (Kauppinen 2019, 157.)

2.6 Biodiversiteetti kaupunkiluonnossa

Ihmisestä tuli urbaani laji vasta vuonna 2008, kun kaupunkilaisten määrä ylitti globaalisti 50 prosenttia ja erilaisten ennusteiden mukaan tämä prosenttiosuus kasvaa edelleen jatkuvasti. Ihmisiä vetää maalta kaupunkiin työpaikat ja muut vetovoimatekijät, kun alkutuotannon työpaikat vähenevät maaseudulla. Biodiversiteetti yksin ei välttämättä ole tarkasteltavan alueen luonnon kokonaislaadun mittari: vanhojen metsien lajisto voi olla kaupunkimetsiin nähden monimuotoisuudeltaan heikompi, sillä vain harvat lajit ovat vuosien

saatossa sopeutuneet niiden olosuhteisiin ja elinympäristöihin. Toisaalta biodiversiteetiltään runsaita alueita voidaan löytää myös epäsuotuisilta vaikuttavista kohteista, kuten joutomailta, kaupungeista ja kaatopaikoilta. (Saarikivi 2020, 166–167.)

Kaupungin luonnon rakenne on tyypillisesti pirstaleista ja vettä läpäisevää pintaa on vähemmän, kuin niiden ulkopuolella. Kaupungit ovat myös muuta ympäristöä joitain asteita lämpimämpiä, koska niissä on lämpöä varastoivaa pintaa. Ne ovat myös muuta ympäristöä valoisampia ja meluisampia ja niissä on tyypillisesti paljon tulokas- ja vieraslajeja. Urbaaneille lajeille on tyypillistä tehokas lisääntyminen ja leviäminen uusille alueille, ne ovat myös opportunisteja. Monet näistä lajeista ovat jo sopeutuneet kaupunkeihin ja niiden käytös on kaupunkien ulkopuolella asuviin saman lajin yksilöihin verrattuna toisenlaista: esimerkiksi monet linnut eivät enää muuta talveksi etelään, vaikka valtaosa lajista niin tekisikin. Kaupunkien lajiston runsastuminen tarkoittaa myös sitä, että osa lajeista ei enää pärjää kaupunkien elinympäristöissä, kuten matelijat, jotka eivät pärjää kaupunkien kasvaville lintukannoille. Toisaalta erikoistuneille lajeille, jotka ovat esimerkiksi riippuvaisia lahopuista, kaupunkien laajeneminen voi tarkoittaa elinalueiden supistumista edelleen. Kaupunkiluonnon pirstaleisuus tuo puolestaan mukanaan haasteita ja ongelmia kaupunkien lajeille. (Saarikivi 2020, 168–171.)

Vaikka kaupunkien luonto olisikin monimuotoista, se ei tarkoita, etteikö luontoa voisi kaupunkiympäristöissäkin olla enemmän ja ihmisen toiminta niissä luonnonmukaisempaa. Monimuotoisilla ympäristöillä on positiivisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, mutta niillä voidaan myös edistää urbaanien lajien hyvinvointia. Monimuotoinen ympäristö on myös osa ilmastonmuutokseen varautumista, koska esimerkiksi viheralueet voivat toimia kaupunkitulvien ennaltaehkäisyssä. (Saarikivi 2020, 172.) Luonnollisten alueiden lisääminen urbaaniin ympäristöön vaatii hallinnollisten ja rakenteellisten toimien lisäksi asukkaiden omaa aktiivisuutta ja osallisuutta. Tarvittavat muutokset ovat pitkälti poisoppimista totutusta ja sen tueksi tarvitaan lisää tietoa: ihmisten täytyy tehdä parempia valintoja yksilöinä, mutta myös systeemien kaikkien muiden osien tulee muuttua samanaikaisesti.

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Narratiivinen yleiskatsaus

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on yksi yleisimpiä kirjallisuuskatsauksen perustyypeistä. Kyseessä on yleiskatsaus, jota eivät rajoita tarkat säännöt. Aineistot voivat olla laajoja, eivätkä metodiset säännöt rajaa sitäkään, mitä aineistoa voidaan valikoida mukaan. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa myös tutkimuskysymykset ovat väljempää ja tutkittavaa ilmiötä pyritään kuvaamaan laaja-alaisesti, sekä tarvittaessa tekemään tutkittavan ilmiön ominaisuuksien luokittelua. Kuvailevasta kirjallisuuskatsauksesta on olemassa kaksi hieman toisistaan poikkeavaa orientaatiota: narratiivinen ja integroiva katsaus. Näistä kahdesta metodisesti kevyempi on narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Narratiivisesta kirjallisuuskatsauksesta erotetaan joskus vielä kolme eri tyyppiä: toimituksellinen, kommentoiva ja yleiskatsaus; näistä laajin on yleiskatsaus. Narratiivisen yleiskatsauksen analyysin muoto on kuvaileva synteesi. Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan tuottaa tietoa esimerkiksi opetusta varten; lopputulos ei kuitenkaan ole välttämättä analyttinen ja täysin puolueeton. (Salminen 2011, 6–7.)

Vaikka narratiivisessa yleiskatsauksessa ei ole tiedonhauulle tiukkoja sääntöjä, hauissa käytettiin rajaavia sisäänotto- ja poissulkukriteereitä. Aineistomäärää rajattiin vuosi- ja kielirajauksilla sekä maantieteeseen perustuvilla rajauksilla, jotta löydettiin tutkimustietoa, joka on mahdollisimman hyvin kohdistunut juuri Suomen olosuhteisiin. Rajauksilla pidettiin tarkasteltavan tiedon määrä hallittavana ja haettava tieto saatiin kohdennettua mahdollisimman hyvin Mikkelin seutuun sekä niihin asioihin, joihin innovaation keinoilla pyritään vaikuttamaan.

3.2 Strategia ja hakusanat

Tutkimusaineisto koottiin tietokantahakujen avulla ScienceDirect - tietokannasta. Molempiin tutkimuskysymyksiin käytettiin samoja sisäänotto- ja poissulkukriteereitä, jotka ovat nähtävillä taulukoista 1 ja 2. Näiden kriteerien lisäksi mukaan valikoitiin vain tutkimuksia, joiden tulokset soveltuvat Suomen oloihin eli tehtiin maantieteeseen perustuvaa rajausta.

Taulukko 1. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit tutkimuskysymykseen: "Mitä ympäristövaikutuksia valolla on?".

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Tutkimus enintään 10 vuotta vanha	Tutkimus on yli 10 vuotta vanha
Saatavissa koko tekstinä	Tutkimusta ei ole saatavissa kokonaan
Tutkimus on suomeksi tai englanniksi	Tutkimus on muulla kielellä, kuin suomeksi tai englanniksi
Tutkimus on ilmainen	Tutkimus on maksullinen
Tutkimus ei ole kirjallisuuskatsaus	Tutkimus on kirjallisuuskatsaus

Valon haittoja on tutkittu etenkin ulkomailla, joten valoon liittyviä artikkeleita valittaessa kiinnitettiin etenkin huomiota lajeihin, joita tutkimuksissa on tutkittu. Huomioon otettiin myös muut paikalliset olosuhteet, joilla saattoi olla valon kanssa sellaisia yhteisvaikutuksia, että tulokset eivät välttämättä sovellu Suomen oloihin.

Taulukko 2. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit tutkimuskysymykseen: "Millaisia ympäristövaikutuksia valaisun energiantuotannolla on?".

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Tutkimus enintään 10 vuotta vanha	Tutkimus on yli 10 vuotta vanha
Saatavissa koko tekstinä	Tutkimusta ei ole saatavissa kokonaan
Tutkimus on suomeksi tai englanniksi	Tutkimus on muulla kielellä, kuin suomeksi tai englanniksi
Tutkimus on ilmainen	Tutkimus on maksullinen
Tutkimus ei ole kirjallisuuskatsaus	Tutkimus on kirjallisuuskatsaus

Valaisun energiantuotantotavan luontovaikutuksien arviointia varten energiantuotantotavaksi valikoitui puubiomassan polttaminen, sillä se on Pursialan voimalaitoksen yleisin energiantuotantotapa. Tämä rajaus tehtiin, jotta opinnäytetyön pituus saatiin pidettyä hallittuna. Puubiomassa, jota energiateollisuudessa käytetään, on Suomessa suurimmalta osin peräisin metsäteollisuudesta. Tästä syystä tarkastelussa otettiin huomioon metsäteollisuuden luontovaikutukset itse puun polton vaikutuksien lisäksi.

3.3 Hakuprosessi

Hakuprosessi toteutettiin kahdessa osassa: haut ja artikkelien valinta tehtiin kummallekin tutkimuskysymykselle erikseen. Ensin tehtiin valittuihin hakusanoihin ja kriteeristöön perustuvia hakuja, jonka jälkeen saadusta aineistosta valittiin tarkasteluun artikkeleita niiden tiivistelmän perusteella. Kunkin tutkimuskysymyksen hakusanat on listattu taulukoissa 3 ja 4. Taulukoihin on kirjattu saadut hakutulokset sekä valittujen artikkelien määrä. Hakujen ja alustavien valintojen jälkeen karsintaa tehtiin vielä edelleen artikkelien tarkemman sisällön perusteella: mukaan valitut artikkelit on taulukoitu opinnäytetyön loppuun.

Taulukko 3. Hakusanat ja artikkelit tutkimuskysymykselle: "Mitä ympäristövaikutuksia valolla on?".

Käytetyt hakusanat	Saadut tulokset	Valitut artikkelit
Light pollution, insects, urban	16	2
Light pollution, urban, plants, ALAN	6	4
Light pollution, urban, wildlife, ALAN	6	4
Light pollution, urban environments, ALAN	19	2
Light pollution, biodiversity, effects	53	2
ALAN, natural environments	19	3
ALAN, environment	47	3
Yhteensä	166	20

Valosaasteeseen ja valoon liittyviä hakuja tehtiin kohdentamalla haut esimerkiksi hyönteisiin ja kasveihin erikseen, sekä tekemällä laaja-alaisempia hakuja, kuten valosaaste ja biodiversiteetti tai valosaaste ja luonto. Yhtenä hakuterminä käytetty ALAN tulee sanoista Artificial Light at Night, lyhenne on yksi valosaasteesta käytetyistä termeistä englanninkielisessä kirjallisuudessa. Valon ja valosaasteen vaikutuksia käsitteleviä artikkeleita valikoitui tarkasteluun sisällön perusteella lopulta yksitoista

Taulukko 4. Hakusanat ja artikkelit tutkimuskysymykselle: "Millaisia ympäristövaikutuksia valaisun energiantuotannolla on?".

Käytetyt hakusanat	Saadut tulokset	Valitut artikkelit
Forestry, biodiversity, Finland	45	5
Woody biomass, energy production, sustainability	74	2
Forestry, climate change, Finland	33	4
Forest, carbon sink, Finland	23	3
Finland, biodiversity, forests	99	1
Woody biomass, GHG	47	2
Logging residue, GHG	11	2
Yhteensä	332	19

Valon energiantuotantoon liittyviin hakuihin käytettiin termejä, jotka mukailivat teoreettiseen viitekehykseen kerättyä tietoa. Metsäteollisuuden vaikutuksia ja puunpoltoon perustuvaa energiantuotantoa on tutkittu enemmän, kuin valosaastetta, ja tutkimusta on tehty ympäri maailmaa arvioimalla metsäteollisuuden ympäristövaikutuksia eri maissa: tämä näkyi artikkelimäärissä. Tulos oli odotettavissa, sillä valosaastetta ei ole globaalisti tutkittu kovin paljon ja metsäteollisuuden vaikutuksia puolestaan on. Puubiomassan ympäristövaikutusten arvioinnissa haut keskittyivät energiantuotannon, poltto, ympäristövaikutusten lisäksi metsäteollisuuden ympäristövaikutuksiin ja tämä otettiin huomioon hakusanoissa. Puubiomassaa ja metsäteollisuutta koskevia artikkeleita valikoitui tarkasteluun lopulta yhdeksän.

3.4 Aineiston analysointi

Aineiston analyysin kulku noudatteli Tampereen Yliopiston Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirjassa esiteltyä analyysin kulkua:

1. Kerätty aineisto jaettiin tutkimuskysymyksiin mukaan kahteen teemaan jo hakujen aikana. Hakujen lopuksi mukaan valitut artikkelit luettiin läpi ja niistä tehtiin vielä tarkempaa karsintaa sisällön kriittisen arvioinnin perusteella.

2. Artikkeleista tunnistettiin niiden tärkein sisältö ja etsittiin yhteyksiä artikkelien välillä teemojen sisällä: tukivatko tai täydensivätkö tulokset toisiaan?
3. Kolmannessa vaiheessa etsittiin mahdollisia aukkoja tai ristiriitaisuuksia artikkelien tuloksissa ja tunnistettiin aiheita, jotka vaativat vielä lisätutkimusta.
4. Neljännessä vaiheessa luotiin kirjallisuuteen perustuvat synteetit, joiden avulla pyrittiin muodostamaan artikkeleiden pohjalta yleiskuva tutkittavasta aiheesta.
5. Synteetien avulla vastattiin tutkimuskysymyksiin sekä tehtiin johtopäätökset.
6. Vastauksien etsimisen jälkeen arvioitiin tutkimusprosessia ja käytettyä menetelmää sekä tulosten luotettavuutta ja sitä, soveltuvatko tulokset aiottuun tarkoitukseen. (Tampereen yliopisto 2021.)

Molempien kysymysten aineistot analysoitiin erikseen samalla menetelmällä. Kovin laajoja johtopäätöksiä ei artikkelien määrän perusteella voitu muodostaa, mutta tavoitteena ollut yleiskuva toteutui. Valoon ja energiantuotantoon liittyvien tutkimuksien tulokset mukailivat teoreettista viitekehystä, eli mitään yllättävää artikkeleista ei paljastunut: ne tukivat ja syvensivät teoreettiseen viitekehykseen koottua tietoa. Molempien tutkimuskysymysten artikkeleiden sisällä toistuivat samat yleiset teemat, joten yhteyksiä niiden välillä oli helppo muodostaa. Tutkimusten välillä ei ollut ristiriitaisuuksia, mutta metsäteollisuutta käsitelleissä artikkeleissa tuloksiin tai tulosten tulkintaan vaikutti pitkälti se, oliko metsäteollisuutta lähestytty talouden vai luonnonsuojelun näkökulmasta. Valon tutkimuksessa tällaista ei ollut, koska sitä oli tutkittu puhtaasti ympäristöhaittana, ilman taloudellista näkökulmaa.

4 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TULOKSET

4.1 Valon ympäristövaikutuksia

Keinovalo ja valosaaste muuttavat luonnollista pimeän ja valon vaihtelua, joka on yhteydessä ja säätelee monia elävien organismien toimintoja puiden silmujen puhkeamisesta aina eläinten käyttäytymiseen. Tämän lisäksi

valosaaste pilkkoo luonnoneläinten elinympäristöjä sekä vaikuttaa esimerkiksi ruoan löytämiseen ja heikentää lajien mahdollisuuksia piiloutua saalistajilta. (Candolin 2024, 1.) Coxin ym. 2023, tekemässä tutkimuksessa arvioitiin, kuinka iso osa alueista (environmental space, joka viittaa ihmisten käyttöön soveltuviin resursseihin) altistuu valosaasteelle globaalisti. Vuonna 2012 valosaastetta havaittiin jopa kolmessa neljästä kaikista näistä alueista, mutta suhteellisesti eniten trooppisilla alueilla. Vuoteen 2022 mennessä valosaasteen määrä oli lisääntynyt etenkin alueilla, joissa sitä oli jo alunperinkin ja kun valosaasteen arvioinnissa huomioitiin myös hehku (skyglow), täysin luonnollisia pimeän ja valon vaihtelun (maa)alueita oli globaalisti vain 13,2 prosenttia. (Cox & Gaston 2023, 1,7.)

Kaikki alueet, joilla asuu ihmisiä tuottavat yleensä ekologisesti merkittäviä määriä valosaastetta. Se on globaalisti ongelma etenkin siellä, missä väestötiheys on korkea. Suoralle valosaasteelle altistuneita alueita on eniten Euroopassa: koko pinta-alasta 43,1 prosenttia. Afrikassa, Aasiassa ja Etelä-Amerikassa merkittäviä valosaasteen lähteitä ovat öljynjalostamot ja maakaasun käsittelylaitokset, jotka tuottavat alueilla samanaikaisesti myös metaani ja hiilipäästöjä. Euroopassa samanlaisia, voimakkaita valosaasteen lähteitä ovat esimerkiksi Alankomaiden isot kasvihuoneet. Tällaiset tuotantolaitokset toimivat yleensä kaupunkien ulkopuolella, mutta tuottavat maaseutujen kokonaisvalosaasteesta laskennallisesti merkittävän osan. Maaseudulla valon ongelmat liittyvät myös valonlähteiden hajautumiseen harvassa olevien talojen ja valaistun maantieverkoston takia; samaan aikaan tiiviimmin asutuissa kaupungeissa esimerkiksi yhden alueen katuvaloista hyötyy useampi ihminen. Voidaankin siis ajatella, että henkilöä kohden tuotettu valosaasteen määrä saattaa harvaan asutuilla alueilla olla korkeampi, kuin kaupungeissa. (Cox ym. 2022, 5–8.)

Kaupungeissa valosaasteen määrä vaihtelee ajallisesti ja paikallisesti vähentyen siirryttäessä pois päin keskustoista. Myös valon spektri vaihtelee mainostaulujen värivaloista katuvalojen kellertävään tai valkoiseen valoon. Nykyään energiansäästöyistä suosittujen LED-valojen sinisempi spektri häiritsee esimerkiksi melatoniinin tuotantoa ja vaikuttaa näin eliöiden vuorokausirytmiiin ja tätä kautta myös esimerkiksi lisääntymiseen. Kaupungeissa on valosaasteen lisäksi myös muita häiriö- ja stressitekijöitä,

kuten muuta ympäristöä korkeampi lämpötila, melu ja saasteet: vuorovaikutuksessa toistensa kanssa kaikki stressitekijät voimistavat toisiaan ja näin syntyy erilaisia yhteisvaikutuksia. Valosaaste voi myös vaikuttaa suoraan esimerkiksi muuttoon, kasvien biologiaan tai talvehtimiseen. Jos kukka kukkii aiemmin, pölyttäjät saapuvat aiemmin ja tämä voi puolestaan vaikuttaa muuttolintujen ravinnonsaantiin ja lisääntymiseen. Lajien välisen vuorovaikutuksen häiriintymisellä voi olla laajoja vaikutuksia koko ekosysteemiin ja tätä kautta myös lajit, jotka eivät kärsi valosaasteen suorista negatiivisista vaikutuksista, saavat myös osansa valosaasteesta sen epäsuorien vaikutuksien kautta. (Candolin 2024, 1–3.)

4.1.1 Valo ja kasvit

Kasvit havaitsevat katuvaloista lähtevän valon ja se vaikuttaa tämän vuoksi niiden vuorokausirytmiiin. Kasvin elinaikana pimeyden ja valon vaihtelu vaikuttaa sen kasvuun ja kehitykseen; vaikka valo onkin kasveille tärkeää se voi olla myös merkittävä stressitekijä. (Czaja & Kolton 2022, 1–2.)

Selvitäkseen talvesta lehtipuille on kehittynyt tietynlaisia biologisia vaiheita, jotka mm. valmistelevat ne lepotilaan talvea varten: näitä vaiheita ohjaavat esimerkiksi päivän pituus ja ilman lämpötila. Näin ollen esimerkiksi ilmaston lämpenemisellä on merkittäviä vaikutuksia kasvien biologiaan ja tämä onkin jo näkyvässä pidentyneenä kasvukautena ympäri maailmaa. (Vilhari ym. 2013, Roxasin ym. 2021; Yun ym. 2016; Hännisen ym. 2019; Czajan & Koltonin 2022, 2, mukaan.) Silmujen ja nuppujen puhkeamisen ajankohta on yksi vuodenaikojen vaihteluihin liittyvä merkittävä biologinen tapahtuma, jonka muutokset voivat vaikuttaa merkittävästi kasvien ja eläinten väliseen vuorovaikutukseen. Ilmaston lämmitessä valon vaihtelu ja sen määrän lisääntyminen tarjoavat kasveille lämpötilan vaihtelua luotettavampia signaaleita vuodenaikojen vaihtumisesta ja valojaksojen häiriintyminen onkin merkittävä uhka esimerkiksi lehtipuille. (Bigler & Bugmann 2018, Malyshevin ym. 2018; Wayn & Montgomeryn 2015; Czajan & Koltonin 2022, 2, mukaan.)

Kontrolloiduissa oloissa tehdyssä tutkimuksessa, jossa tutkittiin valosaasteen vaikutuksia kaupunkialueiden lehtipuihin, havaittiin valolla olevan suoria vaikutuksia esimerkiksi lehtien kehittymiseen. Tutkimuksessa tutkittiin useita Keski-Euroopan puulajeja, joista yksi esiintyy myös Suomessa: Rauduskoivu

(*Betula pendula*). Puut olivat tutkimuskäyttöön kontrolloiduissa oloissa kasvatettuja ja niitä tutkittiin altistamalla ne ryhmittäin erilaisille valon aallonpituuksille erimittaisia ajanjaksoja. Kokeessa oli huomioitu sekä päivä-että yöajan valojakson pituuden ja valon tyypin vaihtelu koeryhmien välillä. Kontrolliin verrattuna valosaaste vaikutti kaikkiin puulajeihin mm. aikaistaen silmujen kehittymistä ja lehtien aukeamista, joskin lajikohtaisia eroja oli siinä, kuinka paljon valoaltistus lehtien kehittymistä nopeutti. Lehtien ja nuppujen aikainen kehittyminen altistaa puita esimerkiksi pakkasvaurioille ja vaikuttaa puiden ja hyönteisten väliseen vuorovaikutukseen. (Czaja & Kolton 2022, 3–6.)

Valolla on vaikutuksia kasveihin myös maaperän mikrobiston kautta. Maaperän mikrobiomi on osa monia ekosysteemipalveluita, kuten alkuaineiden kierto, orgaanisen aineen kierto ja kasvien tuottavuus (Delgado-Baquerizo ym. 2020, Lin ym. 2023, mukaan). Kaupunkien maaperän mikrobiomi on myös osa kaupunkiterveyttä, johon liittyy ihmisten, eläinten, kasvien ja ekosysteemien terveys. Maaperän mikrobit ovat herkkiä ihmisen toiminnan vaikutuksille; ihmisen toiminta voi esimerkiksi heikentää maaperän ekosysteemipalveluita, kuten hiilensidontaa. (Banerjee & van der Heijden 2023, Lin ym. 2023, mukaan.)

Yöajan valaistus vaikuttaa maaperän mikrobiston rakenteeseen ja toimintaan. Lin ym. tekemässä maaperätutkimuksessa havaittiin esimerkiksi, että kasvien patogeeniset sienet lisääntyivät, jotkin maaperäbakteerit vähenivät (Proteobacteria ja Actinobacteria) ja jotkin sienilajit lisääntyivät (Ascomycota), kun maa-alue altistettiin keinovalolle. Muutokset maaperän koostumuksessa muuttivat mikrobiston toimintaa: esimerkiksi denitrifikaatioprosessien ja yöajan valaistuksen välillä oli huomattava negatiivinen korrelaatio eli valon intensiteetin lisääntyminen vaikutti negatiivisesti typen kiertoon maaperässä. Valoaltistuksen havaittiin myös lisäävän maaperässä olevia kasvien patogeenisiä sieniä. (Li ym. 2023, 6–7.) Valon vaikutuksesta johtuvilla mikrobien toiminnan muutoksilla voi olla kaskadivaikutuksia ekosysteemeissä. Esimerkiksi typen kierron häiriintyminen vaikuttaa kasveihin ja heikentää niiden yhteyttämistä, se vaikuttaa ekosysteemissä kasvinsyöjiin ja tätä kautta myös ravintoketjussa pidemmälle.

4.1.2 Valo ja linnut

Kaupungistumisen laajeneminen altistaa jatkuvasti uusia lajeja kaupunkiympäristön stressitekijöille, kuten valolle ja melulle, ja niiden yhteisvaikutuksille. Useissa tutkimuksissa on havaittu ero saman lajisten, mutta eri elinympäristöissä asuvien yksilöiden välillä esimerkiksi käyttäytymisessä (Parteke 2013, Albertietin ym. 2017; Watsonin ym. 2017; Gillin & Brummin 2013; Magle ym. 2012; Dominonin ym. 2019, 1, mukaan). Talitiaisilla (*Parus major*) tehdyssä tutkimuksessa havaittiin valon edistävän vuorokautista aktiivisuutta joillain yksilöillä jopa kaksi tuntia ja yöajan aktiivisuuskin lisääntyi linnuilla keskimäärin tunnin. Toisaalta melualtistuksen havaittiin vähentävän päiväaktiivisuutta. Valo ja melu yhdessä lisäsivät lintujen kokonaisaktiivisuutta sekä yöajan aktiivisuutta, mutta vähensivät sitä päivällä. Tämä voi olla merkki siitä, että yöaikaan aktiiviset linnut lepäävät enemmän päivällä. Metsälintujen ja kaupunkilintujen välillä havaittiin eroja siinä, että kaupunkilinnut ovat herkempiä melulle ja metsälinnut puolestaan valolle. Kaupunkilintujen sirkadiaaninen rytmi oli myös jonkin verran metsälintuja lyhempi. (Dominoni ym. 2019 1, 6–7.)

Lintujen aktiivisuuden muutoksien lisäksi valo saattaa vaikuttaa myös niiden pesän valintaan ja lisääntymiseen. Lintujen laulu ja laulun ajankohta vaikuttaa suoraan niiden kumppanin valintaan ja lisääntymisen onnistumiseen. Aikaistunut laulu voi häiritä kumppanin löytymistä, jos lintujen välinen vuorovaikutus valosaasteen takia häiriintyy. Toisaalta valolla saattaa olla pesimisen onnistumiseen ja lisääntymiseen liittyviä positiivisia vaikutuksia. Valosaasteella näyttäisi olevan positiivinen vaikutus esimerkiksi pääskysen (*Hirundo rustica*) lisääntymiseen: yöajan valoaltistus lisää poikasten kerjäämistä, helpottaa ravinnonhakua ja saattaa lisätä poikasten vuorokautista ruoansaintia. Tämä positiivinen vaikutus näkyy kuitenkin vain ensimmäisessä poikueessa, mikä voi kertoa siitä, että emolinnut nukkuvat liian vähän ja lisääntyneen aktiivisuuden negatiiviset fysiologiset vaikutukset alkavat näkyä pesimäajan loppupuolella mahdollisten uusien poikueiden kohdalla. (Wang ym. 2021, 1,5–6.)

Tällä hetkellä kaupungeissa ympäri maailmaa siirrytään laajamittaisesti LED-valoihin, joiden spektri poikkeaa merkittävästi aiemmin käytetyistä

katuvaloista. LED valo on valkoista, laajaspektristä valoa, jossa on esimerkiksi suurpainenatriumlamppuihin verrattuna enemmän sinistä aallonpituutta. (Elvidge ym. 2010; Aubé ym. 2013; Luginbuhl ym. 2014, McNaughtoning ym. 2020, 1, mukaan.) Uudessa-Seelannissa tehdyssä tutkimuksessa alueilla, joissa vanhat katuvalot vaihdettiin uusiin LED-valoihin, havaittiin jonkin verran muutoksia tutkimusalueen lintujen lajistossa. Joillain tutkimusalueiden lajeista aamuaktiivisuus lisääntyi niin, että linnut aloittivat laulamisen aiemmin. Toisaalta joillain lajeilla aamuaktiivisuus väheni. Valojen vaihtuessa havaittiin myös, että maassa elävien hyönteisen määrä väheni alueilla, jotka altistuivat LED valolle; hyönteiset olivat kuitenkin aktiivisempia. Hyönteisten lisääntynyt aktiivisuus ei kuitenkaan esimerkiksi vaikuttanut hyönteissyöjiin, mikä voi selittyä välttämiskäyttäytymisellä. Valon vaikutukset kuitenkin vaihtelevat laji- ja aluekohtaisesti, eikä tässä tutkimuksessa välttämättä huomattu kaikkia lajien ja lajien välisiä muutoksia, jotka saattavat valojen vaihtamisesta aiheutua. (McNaughton ym. 2020, 8–10.)

4.1.3 Valo ja hyönteiset

Elinympäristöjen muuttumisella tiedetään olevan vaikutuksia bioottisiin yhteisöihin (tietyn alueen eliöiden muodostama kokonaisuus) ja niiden toiminnallisiin ominaisuuksiin. Kaupungistuminen muuttaa elinympäristöjä monella tavalla radikaalisti ja tällä on vaikutuksia etenkin hyönteisiin. Elinympäristöjen muuttuminen vaikuttaa esimerkiksi hyönteisten ja eläinten käyttäytymiseen, joka voi myös edistää niiden selviytymistä uudessa ympäristössä. (Trigos-Peral ym. 2024, 1.) Hyönteiset ovat ekosysteemin tärkeä osa ja muurahaiset soveltuvat erinomaisesti elinympäristön tilan arviointiin, sillä ne reagoivat muutoksiin nopeasti. (Scudder 2017, Carpienron & Reyez-Lópezin 2014; Guénardin ym. 2015; Brassardin ym. 2021; Trigos-Peralin ym. 2024, mukaan). Trigos-Peralin ym. tekemässä tutkimuksessa havaittiin yöllisen valaistuksen yhdessä korkeamman lämpötilan kanssa lisäävän sokerimuurahaisten (*Lasius niger*) yöajan aktiivisuutta; tämä vaihteli tutkimusalueittain, johon yksi selittävä tekijä voi olla paikallinen ilmasto. Lämpötila voi vaikuttaa positiivisesti yhdyskunnan kehittymiseen, mutta se voi johtaa myös työläisten ylikuolleisuuteen. Valon havaittiin olevan yön lämpötilan vaikutuksien tehostaja ja vaikuttavan etenkin ruoanhakukäyttäytymiseen. Kaupunkiympäristöjen on kokonaisuutena

havaittu vaikuttavan muurahaisten käyttäytymiseen niin, että ne ovat verrokkejaan vähemmän rohkeita: tämä tosin voi selittyä esimerkiksi resurssien runsaudella. (Trigos-Peral ym. 2024, 7,9–10.)

Vaikka yöllinen valaistus voi vaikuttaa osin positiivisestikin joihinkin hyönteislajeihin, sen on todettu olevan merkittävä tekijä pölyttäjien kantojen pienenemiseen globaalisti. (Straka ym. 2021, 1.) Katuvalot ovat kaupunkien suurimpia keinovalon lähteitä, mutta niiden aallonpituus vaikuttaa siihen, miten paljon ne vetävät hyönteisiä puoleensa (Elvidge ym. 2010, Strakan ym. 2021, mukaan). Katuvalot, joiden valossa on myös ultraviolettivalon spektriä (100–400 nm), kuten suurpainenatriumlamput, vetävät puoleensa enemmän lentäviä hyönteisiä, kuin LED-valot (Elvidge ym. 2010, van Langevelden ym. 2011; Wakefieldin ym. 2016; Strakan ym. 2021, mukaan). Ulkovalojen valinnalla voidaan siis suoraan vaikuttaa esimerkiksi yöaktiivisten pölyttäjälajien monipuolisuuteen sekä runsauteen (Plummer ym. 2016, Strakan ym. 2021, mukaan).

Hyönteislajin katoamisella ekosysteemistä voi olla kaskadivaikutuksia ravintoketjussa molempiin suuntiin. Noin 60 prosenttia kaikista hyönteisistä on yöaktiivisia lajeja ja yöllisellä valaistuksella on vaikutuksia etenkin lajeihin, jotka liikkuvat kohti valoärsykeitä. (Hölker ym. 2010, Frankin 1988; Hsiaon 1973; van Langevelden ym. 2018; Strakan ym. 2021, mukaan.) Strakan ym. tutkimuksessa tutkittiin valon vaikutuksia yöperhosiin, joka on yksi yöaktiivinen pölyttäjärühmä, jonka käyttäytymistä valoärsykkeet häiritsevät. Yöperhoset lentävät valoa kohti ja jäävät kiertämään valonlähdettä: tämä johtaa lopulta uupumiseen ja kuolemaan sekä altistaa ne saalistajille (Eisenbeis 2006, Grubisicin ym. 2018; MacGregorin ym. 2015; Strakan ym. 2021, mukaan).

Katuvalojen havaittiin olevan suurempi yöperhosiin vaikuttava tekijä, kuin kaupunkien taustavalot. LED-valojen ei havaittu vaikuttavan niihin lainkaan, kun taas suurpainenatriumvaloilla oli perhosiin valoansa -tyyppinen vaikutus. Valojen ja puuston välillä oli myös yhteys: alueilla, joilla oli enemmän puita, havaittiin enemmän erilajisia yöperhosia. Puiden arveltiin tarjoavan perhosille suojaa saalistajilta ja levähdyspaikkoja sen lisäksi, että ne vähensivät valon suoraa vaikutuksia ympäristössä. Tämän tutkimuksen valossa LED-valot olisivat ainakin yöperhoslajeille parempi vaihtoehto, kuin aiemmat

valaisintyyppit: paras vaihtoehto olisi kuitenkin luonnollisen pimeyden alueet. Myös puuston lisäämisellä olisi positiivisia vaikutuksia ja se myös suojaisi alueita valojen vaikutuksilta. Puita ei kuitenkaan saa istuttaa niin, että ne varjollaan heikentävät pölytettävien kasvien mahdollisuuksia; eikä LED-valotkaan ole parempi vaihtoehto, jos niiden käyttö alkaa kustannussyistä lisääntyä hallitsemattomasti. (Straka ym. 2021, 6–7.)

4.2 Valaisun energiantuotannon ympäristövaikutuksia

4.2.1 Puubiomassan elinkaariarviointi

Puubiomassaa saadaan joko suoraan energiapuusta tai hakkuutähteistä, mutta sen alkuperä on aina metsä. Elinkaarianalyseissä puubiomassa on perinteisesti nähty matalahiilisenä tai hiilineutraalina energialähteenä, koska niissä on oletettu, että hakatun metsän tilalle kasvava uusi metsä sitoo kaiken energiantuotannossa vapautuvan hiilen. Tämä oletus kuitenkin vääristää analyysituloksia. Sen lisäksi, että puubiomassa ei ole hiilineutraalia, jatkuvilla hakkuilla on laajoja ekologisia- ja ympäristövaikutuksia, koska ne aiheuttavat häiriöitä metsien tilaan. Luonnontilaiset metsät sitovat aina enemmän hiiltä kuin tuottavat uusiutuessaan luonnollisesti. Juuri metsien uusiutumiskyky, oli se sitten luonnontilaisessa metsässä tai hakkuiden jälkeen, onkin johtanut oletukseen puubiomassan hiilineutraaliudesta. (Nian 2016, 1069,1074.) Puubiomassan vaikutukset lämpötilojen nousuun vuosisadan loppuun mennessä riippuvat käytettyjen hakkuutähteiden hajoamisnopeudesta, bioenergian käyttöönoton ajankohdasta sekä bioenergian tuotannon strategioista. Hitaasti hajoavien hakkuutähteiden käyttö bioenergiana ei hidasta ilmastonmuutosta vuosisadan loppuun mennessä verrattuna esimerkiksi nykyisiin maakaasujärjestelmiin. (Giuntoli ym. 2015, 9–10.)

Zubizarreta-Gerendianin ym. tekemässä simulaatiossa havaittiin, että metsäteollisuuden hiilitase parani 3–9 %, kun avohakkuiden tähteistä 70 % korjattiin pois ja käytettiin biopoltoaineena. Toisaalta hakkuutähteiden korjaaminen heikentää uusien puiden kasvua, koska sen mukana poistuu ravinteita ja tätä on kompensoitava lannoittamisella (Helmisaari ym. 2011; Mason ym. 2012, Zubizarreta-Gerendianin ym. 2015, mukaan). Kantojen poistaminen voi puolestaan muuttaa metsien maaperän mikrobiston toimintaa, joka voi johtaa orgaanisen aineksen kasvavaan hajoamisnopeuteen.

Maaperän lannoittamisen ja muuttuneen hajoamisnopeuden takia tutkimuksessa havaittu positiivinen hiilitasevaikutus voi olla todellisuudessa pienempi, kuin 3–9 %. Metsäteollisuuden hiilitaseeseen vaikuttaa hakkuutähteiden korjaamista positiivisemmin nuoren metsän myöhempi harvennus, sekä yläharvennuksen käyttö alaharvennuksen sijasta. (Zubizarreta-Gerendiani ym. 2015, 175.)

Elinkaarianalyysissä arvioitavalle systeemille asetetaan aina erilaisia rajoja, kuten mitkä syötteet laskuissa otetaan huomioon tai puubiomassan kohdalla minkä pituinen tarkastelujakso metsien uusiutumisessa huomioidaan, ja näihin on olemassa omat ohjeensa analyysien tekijälle. Puubiomassaan pohjautuvan energiantuotannon elinkaarianalyyseissä yksi virhelähde onkin ajallisen rajauksen virheellinen muotoilu: puiden sitoma hiilimäärä riippuu siitä ajasta, jonka metsä saa kasvaa ja myös puulajista niin, että nopeammin kasvavat lajit sitovat tietyssä ajassa enemmän hiiltä, kuin hitaammin kasvavat. Puu ei sido hiiltä ensimmäisien kasvuvuosien aikana, eikä uusiutuessaan kaikkia siitä saadun puubiomassan elinkaaren aikana syntyviä hiilipäästöjä ja nämä tulee arvioissa huomioida myös. Jos kaikki yhden puuta polttoaineenaan käyttävän voimalan käyttöiän aikana tuotettu hiilidioksidi halutaan sitoa takaisin metsään, tulisi koko käytön aikana hyödynnetyn metsäalan saada kasvaa voimalan käytön päättymisen jälkeen vielä 45 vuotta. Mikäli hiilineutraalius halutaan saavuttaa voimalaitoksen käyttöiän aikana, hakatun alan lisäksi tulee lisätä metsitystä: esimerkiksi jokaista hakattua mänty-yksikköä kohden tulisi istuttaa 2 yksikköä uutta puuta. (Nian 2016, 1077, 1078.)

Nianin elinkaarianalyysin 1 gigawatin esimerkkivoimala kulutti 30 vuodessa 284 000 hehtaaria mäntyjä, 182 000 hehtaaria poppeleita ja 210 000 hehtaaria pajua. Jos tämän voimalan käyttöiän aikana halutaan saavuttaa tuotannon hiilineutraalius, tulisi hakkuiden tilalle istutettavan metsän lisäksi istuttaa myös 568 000 hehtaaria mäntyjä, 273 000 hehtaaria poppeleita ja 315 000 hehtaaria pajuja. Tämä on teknisesti täysin mahdollista, mutta usein ylimääräinen metsitys on kuluerä, joka ei tuo lisätuloja metsänomistajalle tai metsäyhtiölle. (Nian 2016, 1078.)

Puubiomassaa polttavien voimaloiden päästöihin vaikuttaa käytetyn puun kosteus niin, että mitä korkeampi kosteusprosentti puulla on, sitä enemmän

päästöjä syntyy. Hakkuutähteistä valmistetun biomassan irtotiheys ja energiapitoisuus ovat matalia, mikä tarkoittaa, että rekkakuormallisessa biomassaa on biomassan määrään verrattuna vähän energiaa. Kuljetuksen aikaisiin päästöihin vaikuttaa myös esimerkiksi matkan pituus, käytetty polttoaine ja auton paino. Polton aikaisiin päästöihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi puuta kuivattamalla. Kuljetetun energian määrään puolestaan pystytään vaikuttamaan sillä, kuljetetaanko tähteet haketettavaksi tehtaisiin vai haketetaanko ne ennen kuljetuksia. (Thakur ym. 2014, 6–7.)

Puubiomassan hiilivaikutus on arvioissa riippuvainen myös siitä, mitä teknologioita tai polttoaineita sillä korvataan. Jåstadin ym. tekemässä tutkimuksessa puubiomassan käytön energian- ja lämmöntuotannossa havaittiin vähentävän kokonaishiilipäästöjä, mutta päästövähennysten määrä oli riippuvainen hiilen hinnasta ja siitä, mitkä teknologiat ovat energiasektorilla käytössä eli mitä puubiomassalla korvataan. Tutkimuksessa ei kuitenkaan huomioitu puubiomassan koko elinkaaren päästöjä tai metsien hiilensidontaa, vaan ainoastaan hiilivaikutuksia suhteessa hiilen hintaan sekä eri teknologioihin. Siinä arvioitiin myös, miten sähkön hinta kehittyisi tulevaisuudessa, jos biomassaa ei käytettäisi tuotannossa lainkaan ja tulos oli, että puubiomassan käyttö alentaa energian hintoja vihreän siirtymän edetessä eli sen käyttö yhdessä uusiutuvien energiamuotojen kanssa on taloudellisesti perusteltua. Tämä arvio on kuitenkin tehty nykyteknologioille ja tilanne voi muuttua teknologian kehittymisen myötä. (Jåstad ym. 2020, 1,11.)

4.2.2 Metsätalous ja ympäristö

Ilmastonmuutoksen odotetaan näkyvän selkeimmin boreaalisella kasvillisuusvyöhykkeellä, pohjoisten alueiden biodiversiteetin muutoksissa toinen avaintekijä on metsätalous. Pohjois-Euroopassa lähes kaikki suojelualueiden ulkopuoliset metsät ovat järjestelmällisen metsienhoidon kohteena. (Virkkala ym. 2023, 1.) Metsien hoitaminen aiheuttaa jatkuvia häiriöitä niiden ekologiaan ja pitää ne muutoksen tilassa. Vakaassa tilassa oleva iäkkäämpi metsä on keskeisessä asemassa alueellisen ja globaalin ilmaston säätelyssä, ilmansaasteiden hillitsemisessä ja tietenkin hapen tuotannossa. Jatkuva metsän muokkaaminen häiritsee niiden toimintoja, joka voi johtaa haitallisiin vaikutuksiin ympäristössä laajemmin. (Nian 2016, 1078.)

Hakkuutähteiden kerääminen metsähakkuiden yhteydessä vaikuttaa puolestaan negatiivisesti ilmanlaatuun, biodiversiteettiin ja metsien maaperän toimintaan (Giuntoli ym. 2015, 1).

Virkkalan ym. tutkimuksessa seurattiin metsänhoidon ja ilmastonmuutoksen takia lintuyhteisöissä tapahtuneita muutoksia kolmenkymmenen vuoden ajan. Tutkimuksen aikana esimerkiksi pitkän muuttomatkan linnut vähenivät tarkasteltavalla alueella 44 % ja lyhyen muuttomatkan linnut 29 %, lintujen kokonaistiheys väheni noin prosentin vuosivauhtia. Avohakkuut olivat tärkein selittävä tekijä lintukantojen heikkenemiselle, toisena tärkeänä tekijänä oli keskilämpötilan nousu. Koko tutkittavasta alueesta avohakattiin 41 %, eli alueen kaikki puusto on hakattu kertaalleen 73 vuodessa, mikä on Suomessa tyypillinen talousmetsän kiertoaika. Vaikka kaikkea puustoa ei hakattu kerralla, alueen lintupopulaatiot eivät palautuneet avohakkuista ennalleen, joka tarkoittaa, että avohakkuiden ympärille jäävät metsäalueet eivät pysty täysin kompensoimaan menetettyjä elinalueita. (Virkkala ym. 2023, 1, 6.) Aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että metsissä, joiden puuston korkeus on yli 11 metriä, lintujen lajisto on rikkainta (Fraixedas ym. 2015; Lehikoinen ym. 2017, Virkkalan ym. 2023, mukaan).

Uhanalaiset sammalat ja jäkälät jäävät myös maankäyttösektorin jalkoihin Suomessa. Etelä-Suomessa tehdyssä 18 vuotta kestäneessä seurantatutkimuksessa havaittiin, että 82 prosenttia tutkituista lajeista oli kadonnut tarkasteltavilta alueilta tutkimuksen aikana. Suurimmassa osassa tapauksista, 73 % populaatioista, katoamisen syynä oli elinympäristön täysi tuhoutuminen ja 22 % tapauksista syynä oli elinympäristöjen heikkeneminen. Elinympäristöjen muutoksien taustalla olivat suurelta osin maa- ja metsätalous, muita syitä olivat rakentaminen, kaivosteollisuus sekä saasteet. Tutkimuksen tuloksien mukaan ihmisen aiheuttamat tuhot elinympäristöissä ovat niin merkittävä syy uhanalaisten sammal- ja jäkälälajien katoamiselle, että muita teoreettisesti tärkeitä syitä voidaan pitää merkityksettöminä. (Pykälä 2019, 1,6–7.) Metsien vesitalous on sammalista riippuvainen: ne estävät eroosiota pidättämällä sadevettä sekä jarruttavat veden haihtumista sekä ylläpitävät maaperän lämpötilaa. Sammalet tarjoavat myös elinympäristön maaperän typensitojabakteereille. Puiden runkojen sammal- ja jäkäläpeite sitoo sadevettä ja ilmankosteutta, rungoilta vesi vapautuu hitaasti maahan

sateiden loputtua. Puunrungon tuuhea peite voi sitoa hehtaarilla jopa 30 000 litraa vettä. (Enroth 2022.)

Boreaalinen metsä on maailman isoin kasvillisuusvyöhyke (Niemelä 2005, Mikkosen ym. 2023, mukaan). Havumetsien biodiversiteetin jatkuva heikkeneminen korostaa ekologisen metsänkätösuunnittelun tarvetta (Mikkonen ym. 2023, 1). Metsienhoito suojelualueiden ulkopuolella onkin tärkeässä osassa biodiversiteettiä suojeltaessa (Blattert ym. 2022, Mikkosen ym. 2023, mukaan). Suomessa on runsaasti tärkeitä metsäelinympäristöjä, mutta ne ovat pirstoutuneena talousmetsien seassa, ja niitä jää nykyisten suojelualueiden ulkopuolelle myös huomattava määrä. Suomen metsien biodiversiteetti heikkenee jatkuvasti ja koska metsistä on suojeltu vain hyvin pieni osa, ei voida olettaa, että nykyiset suojelualueet riittävät pysäyttämään tätä heikkenemistä. (Mikkonen ym. 2023, 1.) Esimerkiksi lintukantojen heikkeneminen talousmetsissä heijastuu myös niiden seassa oleville suojelualueille: mitä pienempi suojeltu ala on, sitä voimakkaammin hakkuut heikentävät myös suojelualueiden lintukantoja. Tämä näkyy erityisesti Etelä-Suomessa, jossa suojeltujen metsien osuus on pieni. (Frilander 2020.)

Metsistä kaikki eivät ole biodiversiteetiltään yhtä rikkaita, vaan on olemassa niin kutsuttuja korkeimman prioriteetin alueita. Nämä alueet eivät ole jakautuneet Suomen sisällä tasaisesti, ja niistä merkittävä osa on suojelualueiden ulkopuolella. Korkean arvon metsäalueet ovat sitä pirstoutuneempia, mitä etelämpänä Suomessa ollaan: Keski- ja Etelä-Suomessa lajistot kärsivät maankäytön takia myös yleisesti eniten elinympäristöjen heikkenemisestä. Mikkosen ym. tekemän tutkimuksen mukaan biodiversiteetin suojelemiseksi suojelualueita pitäisi liittää yhteen yhteneväksi verkostoksi pirstaleisten yksittäisten suojelualueiden sijasta, tämän lisäksi alueiden ympärillä tulisi olla puskurivyöhyke. Myös suojelemattomia korkean arvon metsiä pitäisi tunnistaa entistä tarkemmin ja liittää ne suojelualueiden verkostoon. (Mikkonen ym. 2023, 8–10.)

Kiertometsätalouden ja jatkuvan kasvatuksen vertailussa on myös osoittautunut, että jatkuva kasvatusta on biodiversiteetille ja metsien ekosysteemipalveluille parempi vaihtoehto. Jatkuvaan kasvatukseen perustuva metsänhoito paransi esimerkiksi metsien hiilensidontakykyä 100

vuoden mallinnuksessa verrattuna kiertometsätalouteen ja tarjosi korkeampia arvoja viidessä kahdeksasta vertailusta ekosysteemipalvelusta. Muiden ekosysteemipalveluiden kohdalla havaittiin, että paras tulos saavutetaan kiertometsätaloutta ja jatkuvaa kasvatusta yhdistelemällä. Toisaalta luonnontilaisessa verrokkimetsässä esimerkiksi hiilensidonta on huomattavasti talousmetsiä korkeammalla tasolla riippumatta siitä, miten talousmetsää hoidetaan. Talouden kannalta tarkasteltuna jatkuvan kasvatuksen metsästä saadaan korkeampia tuloja: tämä perustuu siihen, että tällaisesta metsästä saadaan enemmän arvokkaampaa tukkipuuta ja metsitys- sekä harvennushakkuukustannukset ovat pienemmät. Jatkuvan kasvatuksen metsien elinympäristöt olivat verraten paremmat, kuin kiertometsätalousmetsissä; toisaalta hoidetun metsän puiden korkeus ja lahopuun määrä ei yllä kummassakaan luonnontilaisen metsän tasolle. (Peura ym. 2017, 104, 107–110.)

Hoitamattomat, luonnontilaiset metsät ovat avainasemassa ekosysteemipalveluiden tuottamisessa sekä biodiversiteetin ylläpitämisessä. Yksi mahdollisuus lisätä luonnontilaisia metsiä on ”kolmas kolmannesta”, jossa maisemasta kolmasosa on monikäyttöistä metsää ja tästä kolmannes on edelleen suojeltua. Jatkuva kasvatusta sopisi nimenomaan monikäyttömetsään. Jatkuvalla kasvatuksella saataisiin myös yhdistettyä pirstaloituneita elinalueita, korkean arvon metsiä ja suojelun alueita ja voitaisiin tarjota lajeille mahdollisuus liikkua näiden alueiden välillä sekä edistää lajien säilymistä. (Peura ym. 2017, 110.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikkien järjestelmämme osien on muututtava samanaikaisesti. Metsätalouden toimintatapoja on uudistettava, mutta samalla myös biopolttoaineita on mietittävä uudelleen ja myös sitä, mihin energiaa tarvitaan ja mitä vaikutuksia esimerkiksi käyttämällämme valolla on. Mihin tahansa toimintaan liittyen puhutaan aina pitkistä vaikutusketjuista, jotka ulottuvat laajalle ympäristöön ja yleensä myös pitkien välimatkojen taakse. Tämän takia kaikilla valinnoillamme on väliä.

Valo on ympäristöongelmana levinnyt laajalle ja haittaa merkittävää osaa ekosysteemeistä sekä pirstaloi luonnollisia elinympäristöjä ajaen luonnonvaraisia lajeja entistä ahtaammalle. Valosaasteella on paljon suoria vaikutuksia maaperästä kasveihin, hyönteisiin ja selkärangkaisiin sekä ihmisten terveyteen. Sillä on myös paljon vaikutuksia, joista tiedetään vain vähän, tai ei vielä ollenkaan ja monien vaikutuksien arviointi on hankalaa ekosysteemien ja eri lajien välisten vuorovaikutusten monimuotoisuuden takia. Arviointia hankaloittavat myös ympäristön aluekohtaiset erot ja lajien erilaistuminen: vaikka kyseessä olisi saman lajin kaksi eri yksilöä niiden käytös ja toiminta voi olla täysin erilaista riippuen siitä ovatko ne tottuneet kaupunkiin vai eläneet elämänsä niille luonnollisessa ympäristössä.

Keinovalo häiritsee kasvien kasvua, eläinten käytöstä ja jopa maaperän prosesseja sekä hyönteisistä ihmisille tärkeimpiä: pölyttäjiä. Valaisun käytössä ja suunnittelussa tulisikin huomioida luontovaikutukset entistä paremmin: myös se, että kaupunkien katuvalojen vaikutus leviää taivaan hehkuna laajalle alueelle kaupungin ulkopuolelle. Kaupungit eivät ole ainoa valonlähde, vaan valosaastetta on myös harvaan asutuilla alueilla sekä usein kaupunkien ulkopuolelle sijoitetuilla teollisuus- tai tuotantoalueilla. Henkilöä kohti laskettuna maaseudun harvaan asuttujen alueiden valosaastemäärä saattaakin olla kaupunkia korkeampi. On myös hyvä muistaa, että me ihmiset emme altistu keinovalolle vain ulkona, vaan jatkuvasti valaistuissa sisätiloissa sekä myös käyttäessämme elektroniikkaa. Myös monet kotieläimet altistuvat, tai ne altistetaan, keinovalolle jatkuvasti. Altistumme, ja altistamme muita lajeja, keinovalolle siis myös sisätiloissa ja tämä tarkoittaa, että valon suorat vaikutukset seuraavat meitä myös sinne.

Valosaasteeseen, kuten kaikkeen ihmisen toimintaan, liittyy suorien vaikutuksien lisäksi epäsuoria vaikutuksia, kuten vaikutukset, jotka liittyvät valon energiantuotantoon. Energiantuotantotavoista, tai oikeammin polttoaineista, tarkastelussa oli nyt vain yksi. Energiantuotannon ympäristövaikutuksista voitaisiin luoda vielä perusteellisempi kuva, jos niistä otetaan tarkasteluun kaikki, mutta se ei ollut opinnäytetyön laajuuden takia mahdollista. Energiantuotannon vaikutuksia arvioitaessa on tietenkin muistettava, että energiaa ei tuoteta ainoastaan valoja varten, mutta ympäristövaikutukset ja jatkuvasti kasvava sähköntarve huomioiden on

toiminnan tärkeyttä tarkasteltava: mitä kaikkea meidän lopulta tarvitsee valaista ja mihin kaikkeen meidän täytyy sähköä käyttää?

Suomen energiatuotannon puubiomassa tulee pääosin metsäteollisuuden sivuvirroista, mutta biomassan tarpeen lisääntyessä näiden sivuvirtojenkin on lisääntyttävä eli puita täytyy hakata enemmän. Voiko tällöin puhua enää mielekkäästi sivuvirroista? Puubiomassan luokittelussa uusiutuvaksi energiantuotannoksi liikutaan myös harmaalla alueella ja elinkaariarvioinneissa tulokset voivat vääristyä, jos huomioon ei oteta esimerkiksi niitä aikajaksoja, jotka tarvitaan, että metsä todellisesti sitoo yhdessä kierrossa vapautuneen hiilen. Puubiomassan tuotannon eri vaiheisiin ja polton päästöihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi kuivattamalla puuta, puun kuljetuksilla ja polttoaineella, mutta hiilipäästöjen ja hiilensidonnan lisäksi tulee huomioida myös ekosysteemivaikutukset. Mitä metsän ekosysteemille tapahtuu, kun se ajetaan maan tasalle? Vaikutukset ovat jo nähtävissä. Jos lajit palautuvat, ne eivät palaudu ennalleen, koska suojelualueet tai hakkuiden ympärille jätetyt talousmetsät eivät riitä kompensoimaan menetettyjä elinalueita. Pirstaleisten ja pienten suojelualueiden lajit kärsivät myös hakkuista ja tuhot heijastuvat näille alueille.

Jos siis sähköä kuluu enemmän, energiaa tarvitaan enemmän ja tätä kautta esimerkiksi puubiomassan tarve kasvaa. Jos metsätalouden vaikutukset ovat jo nyt etenkin Etelä-Suomessa lajien kannalta katastrofaaliset ja suojelu aivan liian vähäistä, miten käy, kun paine hakata lisää puita kasvaa entisestään? Pohjimmiltaanhan kaikessa on kysymys siitä, että me ylikulutamme käytössämme olevia luonnonvaroja. Ylivalaisu ja metsien hakkuut on vain yksi esimerkki tästä. Oikea suunta on järkeistää kulutusta jokaisella osa-alueella, mutta se ei nykytaloudessa ole mahdollista. Ratkaisuja täytyy kuitenkin tästä huolimatta etsiä ja kannustaa ja tukea ihmisiä tekemään muutoksia. Valosaaste ja sen monitahoiset vaikutukset ovat monelle täysin vieras asia ja vielä ei edes tiedetä sen kaikkia vaikutuksia. Eikä niitä välttämättä koskaan täysin tiedetäkään luonnon monimutkaisuuden takia. Toimintamme vaikutuksien laajuus usein unohtuu tai se on vaikeasti hahmotettavissa. Tässä esiteltiin valon vaikutuksista esimerkein vain pieni raapaisu.

6 PIMEYDEN PÄÄKAUPUNKI

On selvää, että systeemisillä muutoksilla on kiire ja muutosten edistämässä on oltava kaikki keinot käytössä. Ihmisen kaikella toiminnalla on laajoja ja kokonaisvaltaisia vaikutuksia ympäristöön ja sen takia myös ratkaisuiden on oltava isoja ja luovia. Laivaa on hankalaa kääntää heti, mutta seuraavaksi esittelen vielä lyhyesti esimerkin siitä, miten tarvittavaa muutosta voisi esimerkiksi lähestyä luovasti ja yhteisöä osallistaen.

Demolan innovaatioprosessissa tavoitteenamme oli luoda Mikkelin kaupungin vetovoimaa kasvattava tai tukeva innovaatio. Tarkastelun alussa tunnistettiin alueen vahvuudet, tarkasteltiin kaupungin tilannetta ja verrattiin kaupungin nykyistä brändiä muihin saman kokoluokan kaupunkeihin sekä siihen, kuinka ne kertovat omaa tarinaansa. Innovoinnilla ei ollut mitään rajoituksia, joten asiaa sai lähestyä mistä kulmasta tahansa ilman, että olisi tarvinnut huomioida esimerkiksi budjettiperustaisia rajoitteita.

Heti prosessin alussa kaupungissa tietyiltä alueilta sammuvat katuvalot otettiin kehittämisen punaiseksi langaksi. Sammuttavat katuvalot nähdään Suomessa usein negatiivisena asiana ja luovuttamisena, mutta uuden konseptin myötä ne kääntyvätkin alueen vahvuudeksi ja erikoisuudeksi. Luonnollista pimeyttä tulisikin itseasiassa lisätä, ei vältellä. Pimeyden Pääkaupunki näyttää rohkeasti mallia muille kaupungeille siinä, että asioita voi ajatella toisin ja systeemiseen muutokseen voidaan lähteä rohkeasti edelläkävijänä kaupunkiyhteisöä osallistaen ja innostaen. Elämää voi olla ilman keinovalaistustakin ja siitä ei hyödy ainoastaan suoraan alueen ihmiset ja luonto, vaan sillä voidaan myös edistää alueen positiivista kehitystä.

6.1 Uusi kaupunkibrändi

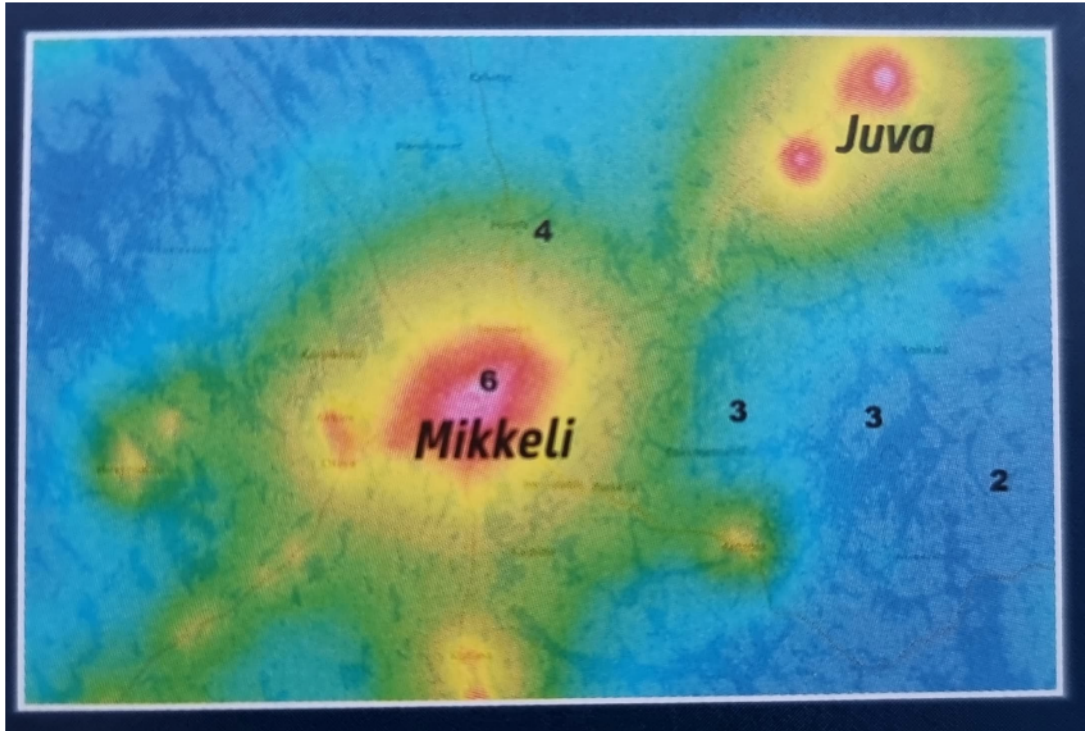
Uuden kaupunkibrändin tavoitteena ei ollut missään vaiheessa pelkkä julistautuminen, vaan painopisteenä oli aktiivinen toiminta brändin takana. Valosaastetta Pimeyden Pääkaupungissa pyritään välttämään ja vähentämään aktiivisesti eri keinoin, esimerkiksi kaupunkisuunnittelulla. Asukkaita kannustetaan aktiivisesti seuraamaan asuinalueensa valon määrää ja tätä kerättyä dataa hyödynnetään kaupungin dynaamisessa kehittämisessä.

Pimeyteen liittyviä negatiivisia assosiaatioita pyritään vähentämään tiedon lisäämisellä sekä luomalla uutta suhdetta luonnolliseen pimeyteen.



Kuva 3. Yksi esimerkki kaupungin uudesta logosta kaupungin verkkosivujen laskeutumissivulla, taustalla Canva stock-kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista (Lämsä 2023)

Kaupungin uuden brändin ja tarinan tueksi suunniteltiin esimerkiksi vedokset verkkosivujen uudesta ilmeestä ja uusi logo. Graafisella materiaalilla pyrittiin tukemaan uuden brändin viestimistä muille ja samalla häivyttämään pimeyteen mahdollisesti liittyviä negatiivisia mielleyhtymiä. Kuvassa 3 on yksi esimerkki kaupungin uudesta logosta ja miltä se voisi näyttää kaupungin verkkosivujen laskeutumissivulla.



Kuva 4. Mikkelin kaupungin valotilanne Light Pollution Map -kartalla, kuvassa näkyy alueen Bortlen asteikon luokitukset (Pekkola 2023, 34–39).

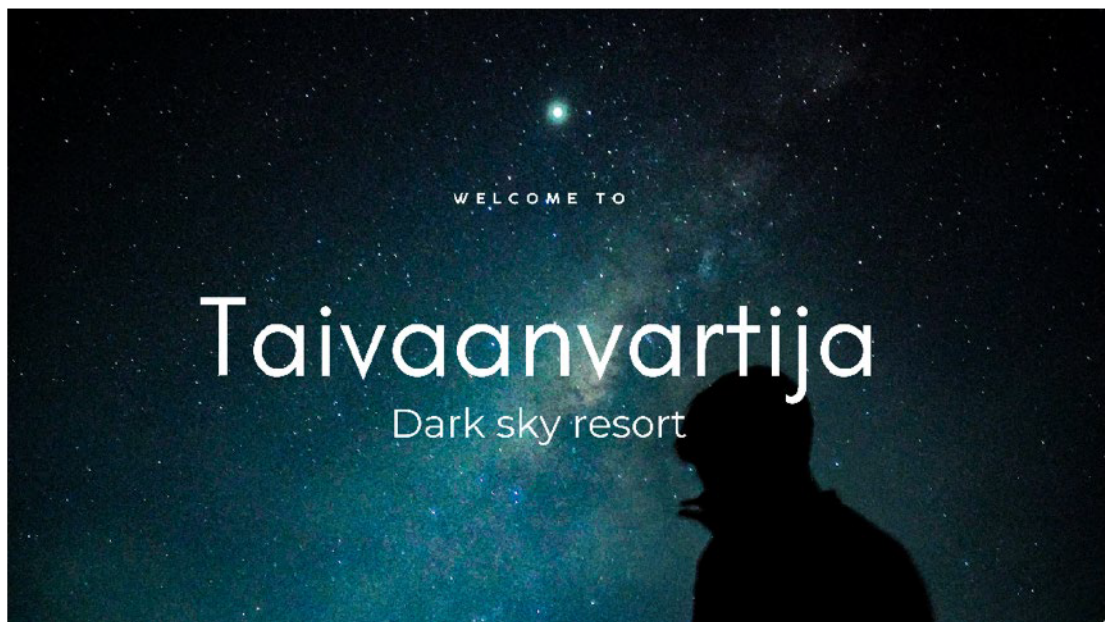
Mikkelin seudulla valosaasteeseen puuttuminen on helppoa, sillä kaupunki on yksinäinen valosaareke lähes luonnollisen pimeyden ympäröimällä alueella, kuten kuvasta 4 voidaan nähdä. Kaupunkialueen valaisua vähentämällä saadaan helposti vähennettyä taivaan kirkkautta ja esimerkiksi linnunrata näkyviin kotipihoilta käsin. Valon ja pimeyden luonnollisen vaihtelun tukeminen edesauttaa ihmisten terveyttä ja sillä on positiivisia vaikutuksia alueen eläimille ja luonnolle. Kaikkia valoja ei tarvitse sammuttaa, koska valosaasteeseen voidaan vaikuttaa myös monilla muilla tavoilla. Tärkeintä on, että aletaan itse toimiiin aktiivisesti ilman, että odotetaan ylhäältäpäin tulevaa ohjausta.

6.2 Matkailu

Matkailu oli yksi keskeinen toimiala Mikkeliissä, jonka kehittäminen otettiin mukaan innovaatioon. Kehittämisessä huomioitiin kestävän matkailun trendit, Mikkelin helppo saavutettavuus Helsingistä julkisilla kulkuneuvoilla ja kuinka iso osa ihmisistä altistuu valosaasteelle päivittäin: pimeys voikin olla matkailussa vahvuus, jos se sellaiseksi osataan valjastaa. Tavoitteena oli tarjota Mikkelin matkailulle kiintopiste, jolla houkutellaan ihmisiä kaupunkiin kesäsesongin ulkopuolella viettämään pidempiäkin aikoja kaupungissa luonnollisesta pimeydestä ja merkityksellisistä aktiviteeteista nauttien.

Nykyaikana tarjontaa ei tarvitse rajoittaa ainoastaan turismiin vaan etätyömahdollisuuksien takia luonnollisemmasta ympäristöstä voi nauttia myös paikkakunnalta käsin töitä tehden.

Kiintopisteeksi muodostui pimeyteen keskittyvä matkailukohde, Taivaanvartija, jonka paikaksi valikoitui kaupungissa jo olemassa oleva alue rakennuksineen. Kyseessä on kylpylähotelli, joka tarjoaa matkailijoille pimeyteen liittyviä elämyksiä yhdistettynä jo alueella oleviin palveluihin sekä luontomatkailuun. Hotelli tarjoaa myös etätyöläisille kalustettuja asuntoja houkuttimeksi työntekoon luonnollisemmassa ympäristössä. Perinteisten kokemuksien lisäksi turisteilla on mahdollisuus osallistua ohjatusti esimerkiksi jokien kunnostukseen tai saimaannorpan pesäkinosten kolaamiseen. Ihmisiä kannustetaan käyttämään liikkumiseen polkupyöriä sekä joukkoliikennettä: tämä mahdollistetaan esimerkiksi vuokrauspalveluilla sekä kaupungin joukkoliikenteen vahvistamisella. Kuvassa 5 nähdään Taivaanvartijaa varten suunniteltu verkkosivujen laskeutumissivu.



Kuva 5. Esimerkki kylpylähotellin nettisivujen pääsivusta, taustalla Canva stock-kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista (Lämsä 2023)

Palvelut eivät rajoitu ainoastaan ulkopaikkakuntalaisiin, vaan niistä pääsevät nauttimaan myös paikalliset. Paikalliset saavat myös olla aktiivisesti mukana kehittämässä yhteisöä ja sen palveluita: yrityksiä osallistetaan kehittämiseen järjestämällä mahdollisuuksia ideoita ja innovoita omia teeman alla tarjottavia palveluita sekä mahdollisia eri yritysten tarjoamia yhteispalveluita.

6.3 Tutkimus ja koulutus

Pimeyden Pääkaupungissa on huomioitu myös mahdollisuudet tutkimukselle ja koulutukselle. Koko kaupungin muuntuessa pimeyden laboratorioksi, siellä on mahdollisuus tehdä valosaasteeseen, valon vaikutuksiin ja valaisun innovaatioihin liittyvää tutkimusta ja kehittämistä. Pimeyden Pääkaupungissa korkeakoulut tarjoavatkin tutkijoille tilaisuuden tulla Mikkeliin ja tehdä tätä tutkimusta. Opiskelijoille tarjotaan mahdollisuuksia osallistua näihin tutkimuksiin, verkostoitumiseen sekä omaan kehitystyöhön ja omien ideoiden testaamiseen.

Kaupunkilaiset pääsevät tekemään kansalaistiedettä nimenomaan tämän tutkimuskeskittymän kautta: heille tarjotaan mahdollisuus tutkia omaa elinympäristöään ja heitä ohjataan ja opastetaan erilaisten mittalaitteistojen käytössä. Kansalaistieteeseen kuuluvat myös yleisöluennot erilaisista aiheista sekä mahdollisuus lainata mittalaitteita tai erilaista kirjallisuutta sekä ilmoittaa mittaustuloksiaan kaupungin kehittämistä ja päätöksentekoa varten. Asukkailla on tutkimuskeskittymän kautta mahdollisuus myös jakaa omaa osaamistaan muille järjestämällä luentoja tai työpajoja omaan osaamisalueeseensa liittyen.

VALOTEKNOLOGIAN PERUSOPINNOT 25 OP

Apuohje: Opintoja pääsee suorittamaan opintoihin yhden (1) viikon sisällä opintojen aloituksesta. Opintojen suorittamisaika on kolme (3) kuukautta.
Ennen aloitusta on tehtävä opintojen valmistautumista varten.
Luento: 25 op
Käsiteltävät: kaikki sisällyttävät
Opintoja suunnitellaan suunnitelmalla.

Ennen aloitusta on tehtävä opintojen valmistautumista varten.
Opintojen tarkoitus, johon hyödyllisyyttä: Minkään valaistustekniikan.
Opetusmenetelmässä mainittu osaaminen: Ennen aloitusta on tehtävä opintojen valmistautumista varten.
Opintojen valmistautumisen päivät: 11.2025. Täällä on otettu huomioon aikataulu.
Ennen aloitusta on tehtävä opintojen valmistautumista varten.

HUOM! Kaikkien opintojen on oltava suoritettuna ennen aloitusta.
HUOM! Kaikkien opintojen on oltava suoritettuna ennen aloitusta.

ILMOITTAUDDU

Kuva 6. Ideoitu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tarjoama valosaasteeseen liittyvä opintokokonaisuus. Taustalla Canva-stock kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista (Lämsä 2023)

Mikkelin korkeakouluilla on myös mahdollisuus erottua joukosta tarjoamalla uudenlaisia tutkintoja tai erikoistumiskoulutuksia valosaasteeseen, valosuunnitteluun ja valosaasteen torjuntaan liittyen. Kuvassa 7 on esitetty yksi esimerkki Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa tarjottavasta opintokokonaisuudesta. Tutkinnot yhdistelevät innovaatiota, valoteknologiaa, ympäristötekniologiaa ja sähkötekniikkaa tai kaupunkisuunnittelua ja erilaiset lyhemmät opintokokonaisuudet on tarkoitettu jo esimerkiksi kaupunkisuunnittelussa työskenteleville ammattitaidon kehittämistä ja syventämistä varten. Näin pimeys ei ole vain yhden paikan etuoikeus, vaan sanomaa saadaan vietyä eteenpäin ammattilaisten kautta ympäri Suomen.

LÄHTEET

Ali-Hokka, H. 2023. Metsäteollisuus antaa nipun lupauksia metsien monimuotoisuuden lisäämiseksi. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.9.2023. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20049545> [viitattu 16.2.2024].

Candolin, U. 2024. Coping with light pollution in urban environments: Patterns and challenges. *iScience* 27. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2589004224004656> [viitattu 15.4.2024].

Cox, D. T. C. & Gaston, K. J. 2023. Global erosion of terrestrial environmental space by artificial light at night. *Science of the Total Environment* 904. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969723053263> [viitattu 15.4.2024].

Cox, D. T. C., Sánchez de Miguel, A., Benniec, J., Dzurjak, S.A. & Gaston, K. J. 2024. Majority of artificially lit Earth surface associated with the non-urban population. *Science of the Total Environment* 841. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969722038797> [viitattu 15.2.2024].

Czaja, M. & Kolton, A. 2022. How light pollution can affect spring development of urban trees and shrubs. *Urban Forestry & Urban Greening* 77. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S1618866722002965> [viitattu 16.2.2024].

Dark Sky International s.a. Definition of Light Pollution. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/> [viitattu 23.2.2024].

Dark Sky International. 2016. 80% of World Population Lives Under Skyglow, New Study Finds. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.6.2016. Saatavissa:

<https://darksky.org/news/80-of-world-population-lives-under-skyglow-new-study-finds/> [viitattu 23.2.2024].

Dominoni, D., Smit, J. A. H., Visser, M. E. & Halfwerk, W. 2019. Multisensory pollution: Artificial light at night and anthropogenic noise have interactive effects on activity patterns of great tits (*Parus major*). *Environmental Pollution* 256. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0269749119342873> [viitattu 23.4.2024].

Eklöf, J. 2021. Maailma ilman pimeää, kuinka valosaaste uhkaa luonnon tasapainoa. Jyväskylä: Atena.

Energiateollisuus s.a. Metsäenergia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://energia.fi/energiapolitiikka/biodiversiteettikartta/toimenpiteet-luonnon-monimuotoisuuden-edistamiseksi/metsaenergia/> [viitattu 16.2.2024].

Enroth, J. 2022. Sammallusta. Suomen Luonto. WWW-dokumentti. Päivitetty 9.11.2022. Saatavissa: <https://suomenluonto.fi/uutiset/sammallusta/> [viitattu 2.4.2024].

Etelä-Savon Energia. s.a. ESE Energiantuottajana. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ese.fi/konserni/energian-ja-lammontuotanto> [viitattu 16.2.2024].

Falci, F., Furgonia, R., Gallawayb, T.A., Rybnikovac, N.A., Portnovd, B.A., Baughe, K., Cinzanao, P. & Elvidge, C.D. 2019. Lightpollution in USA, and Europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of Environmental Management*. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719309296?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=84243dc95945d977 [viitattu 16.2.2024].

Frilander, J. 2020. Tutkimus: Metsien linnut vähenivät, kun hakkuut lisääntyivät. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.4.2020. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-11314846> [viitattu 2.4.2024].

Giuntoli J., Caserini S., Marelli L., Baxter D. & Agostini A. 2015. Domestic heating from forest logging residues: environmental risks and benefits. *Journal of Cleaner Production* 99. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0959652615002425> [viitattu 5.5.2024].

Hurme, A. 2024. Piinaava Välke. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.1.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20069643> [viitattu 18.2.2024].

Ikävalko, K. 2023. Suomen hiilinielut enää lähinnä pohjoisen metsien varassa – etelässä hakkuut pitävät nielut pitkään heikkoina. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.4.2023. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20025960> [viitattu 16.2.2024].

Ikävalko, K. 2024. Suomen 2035 hiilineutraalisuus voi jäädä vain tavoitteeksi – tutkijoiden uudessa arviossa tavoite karkaa kauas. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.2.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20071510> [viitattu 22.2.2024].

Jåstad E. O., Bolkesjø T. F., Trømborg E. & Røstad P. K. 2020. The role of woody biomass for reduction of fossil GHG emissions in the future North European energy sector. *Applied Energy* 274. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0306261920308722> [viitattu 22.4.2024].

Kauppinen, J. 2019. Monimuotoisuus, kertomuksia katoamisista. Helsinki: Siltala.

Koskinen, P. 2019. Hömötiainen on erittäin uhanalainen, koska se ei löydy hakatuista metsistä syötävää - Suomen linnuista iso osa on kokemassa saman kohtalon. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.3.2019. Saatavissa: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2019/03/08/homotiainen-on-erittain-uhanalainen-koska-se-ei-loyda-hakatuista-metsista> [viitattu 18.2.2024].

Kumpusalo, J. 2020. Onko Mikkeliin muuttajia? Katsaus kaupungin muuttoliikkeeseen. Mikkelin Kehitysyhtiö Miksei Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 28.8.2020. Saatavissa: <https://mikseimikkeli.fi/onko-mikkeliin-muuttajia-katsaus-kaupungin-muuttoliikkeeseen/> [viitattu 19.2.2024].

Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. 2021. Tampereen Yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/> [viitattu 25.4.2024].

Lyytimäki, J. & Rinne, J. 2013. Valon Varjopuolet, valosaaste ympäristöongelmana. Tampere: Gaudeamus.

Maa- ja metsätalousministeriö. s.a. Puupolttoaineet energian tuotannossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto> [viitattu 16.2.2024].

McNaughton, E. J., Beggs, J. R., Gaston, K. J., Jones, D. N. & Stanley, M. C. 2020. Retrofitting streetlights with LEDs has limited impacts on urban wildlife. *Biological Conservation* 254. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0006320720310028](https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0006320720310028) [viitattu 17.4.2024].

Mikkelin kaupunki. 2022a. Mikkelin katuvalot sammutetaan öisin keskusta- aluetta lukuun ottamatta – muutos tapahtuu ensi vuoden alusta. WWW-dokumentti. Päivitetty 30.11.2022. Saatavissa: <https://mikkeli.fi/2022/11/30/mikkelin-katuvalot-sammutetaan-oisin-keskusta-alueetta-lukuun-ottamatta-ensi-vuoden-alusta/> [viitattu 19.2.2024].

Mikkelin kaupunki. 2022b. Kaupunginhallitus. Pöytäkirja. Julkaistu: 30.5.2022.

Mikkonen, N., Leikola, N., Lehtomäki, J., Halme, P. & Moilanen, A. 2023. National high-resolution conservation prioritisation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 541. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www->

[sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0378112723003134](https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0378112723003134)
[viitattu 1.4.2024].

Myllymäki, L. 2022. Valosaaste on unohdettu ympäristöongelma, jolla on yllättäviä vaikutuksia luontoon – kirkas tähtitaivas on katoava luonnonvara. Apu. WWW-dokumentti. Päivitetty 7.2.2022. Saatavissa: <https://www.apu.fi/artikkelit/valosaaste-on-unohdettu-ymparistoongelma-tahtitaivas-katoaa> [viitattu 16.2.2024].

Mikä on alkuperätakuu? s.a. Lumme Energia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/sahkon-alkupera> [viitattu 19.2.2024].

Mistä sähkömme tulee? s.a. Lumme Energia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/yrityksille/blogi/mika-on-alkuperatakuu> [viitattu 19.2.2024].

Nian, V. 2016. The carbon neutrality of electricity generation from woody biomass and coal, a critical comparative evaluation. *Applied energy* 179. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.7.2016. Saatavissa: [https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S030626191630945X](https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S030626191630945X) [viitattu 5.5.2024].

Pennanen, R. 2024. Metsää hakattiin vähemmän kuin vuosiin, ja se on Suomen hiilinielulle hyväksi. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.2.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20073795> [viitattu 20.2.2024].

Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K. Repo, A. & Mönkkönen, M. 2017. Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0006320717308170> [viitattu 2.4.2024].

Pykälä, J. 2019. Habitat loss and deterioration explain the disappearance of populations of threatened vascular plants, bryophytes and lichens in a hemiboreal landscape. *Global Ecology and Conservation* 18. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2093263119300000>

com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2351989418304888 [viitattu 15.4.2024].

Rintaniemi, H.M. 2024. Kuka? Mikä Demola? Missä? Demola. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.2.2024. Saatavissa: <https://www.demola.net/stories/kuka-mika-demola-missa> [viitattu 19.2.2024].

Saarikivi, J. 2020. Kaupunkiluonnon biodiversiteetti. Teoksessa Mattila, H. (toim.) Elämän verkko, luonnon monimuotoisuutta edistämässä. Gaudeamus, 164–177.

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Vaasan Yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf [viitattu 23.2.2024].

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. 2015. Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti. WWW-dokumentti. Päivitetty 03/2015. Saatavissa: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Metsien-hyodyntamisen-ilmastovaikutukset-ja-hiilinielujen-kehittyminen.pdf> [viitattu 24.2.2024].

Straka, T. M., von der Lippe, M., Voigt, C. C., Gandy, M., Kowarik, I. & Buchholz, S. 2021. Light pollution impairs urban nocturnal pollinators but less so in areas with high tree cover. *Science of the Total Environment* 778. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969721013127](https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969721013127) [viitattu 5.5.2024].

Tanninen, J. 2022. Valosaasteen vähentämisestä kaksi aloitetta Tampereella – kuntalaisilta ja kaupunginvaltuutetuilta. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.5.2022. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12429086> [viitattu 18.2.2024].

Thakur, A., Canter, C. E. & Kumar, A. 2014. Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass. *Applied Energy* 128.

WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0306261914004486> [viitattu 15.5.2024].

Toivonen, J. 2022. EU ei kiellä metsän hakkaamista lämmitysenergiaksi, mutta uusiutuvan energian tuet saattavat kadota – uusi direktiivi on täynnä eturistiriitoja. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.9.2022. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12625042> [viitattu 16.2.2024].

Trigos-Peral, G., Maák, I. E., Schmid, S., Chudzik, P., Czaczkes, T. J., Witek, M., Casacci, L. P., Sánchez-García, D., Lorincz, Á., Kochanowski, M. & Heinze, J. 2024. Urban abiotic stressors drive changes in the foraging activity and colony growth of the black garden ant *Lasius niger*. *Science of the Total Environment* 915. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969724002924> [viitattu 25.4.2024].

Ukkola, J. 2010. Puun poltto ei pysäytäkään ilmastonmuutosta. Suomen Kuvalehti. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.11.2010. Saatavissa: <https://suomenkuvalehti.fi/kotimaa/puun-poltto-ei-pysaytakaan-ilmastonmuutosta/> [viitattu 24.2.2024].

UPM s.a. Metsä on sekä hiilinielu että hiilivarasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/artikkelit/metsa-on-seka-hiilinielu-etta-hiilivarasto/> [viitattu 24.2.2024].

Virkkala, R., Määttä, A.-M. & Heikkinen, R. K. 2023. Clear-cuts and warming summers caused forest bird populations to decline in a southern boreal area. *Forest Ecology and Management* 548. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S037811272300631X> [viitattu 23.4.2024].

Vironen, B. & Bonnor, M. 2024. Mikkelin taloudessa yllätyskäännös – SDP:n Jarno Strengell ehdottaa jättimäisen energiayhtiökaupan perumista. Yle. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.2.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20074803> [viitattu 19.2.2024].

Wang, J.-S., Tuanmu, N.-M & Hung, C.-M. 2021. Effects of artificial light at night on the nest-site selection, reproductive success and behavior of a synanthropic bird. *Environmental Pollution* 288. WWW-dokumentti.

Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0269749121013877> [viitattu 20.4.2024].

Xiao-Min, Li, X.-M., Li, S., Huang, F.-Y., Wang, Z., Zhang, Z.-Y., Chen, S.-C. & Zhu, Y.-G. 2023. Artificial light at night triggers negative impacts on nutrients cycling and plant health regulated by soil microbiome in urban ecosystems. *Geoderma* 436. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0016706123002240> [viitattu

29.4.2024].

Zubizarreta-Gerendiain, A., Pukkala, T. & Peltola, H. 2015. Effects of wood harvesting and utilisation policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study. *Forest Policy and Economics* 62. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S138993411530037X> [viitattu

2.4.2024].

Kuvaluettelo

Kuva 1. Valosaastetta Mikkelin Laajalammella vuonna 2024. Lämsä, A. 12.1.2024.

Kuva 2. Bortlen asteikko, jonka avulla voidaan havainnollistaa yötaivaan tilaa. Pekkola, M. 2023. Valtio, joka ei näe Linnunrataa. *Tähdet ja avaruus* 3/2023, 34–39.

Kuva 3. Yksi esimerkki kaupungin uudesta logosta, taustalla Canva stock-kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista. Lämsä, A. 1.10.2023.

Kuva 4. Mikkelin kaupungin valotilanne Light Pollution Map -kartalla. Pekkola, M. 2023. Valtio, joka ei näe Linnunrataa. *Tähdet ja avaruus* 3/2023, 34–39.

Kuva 5. Esimerkki kylpylähotellin nettisivujen pääsivusta, taustalla Canva stock-kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista. Lämsä, A. 13.10.2023.

Kuva 6. Ideoitu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tarjoama valosaasteeseen liittyvä opintokokonaisuus. Taustalla Canva-stock kuva. Demolan lopputapahtuman materiaaleista. Lämsä, A. 14.10.2023.

Artikkelin tekijät ja otsikko	Vuosi
Candolin U. <i>Coping with light pollution in urban environments: Patterns and challenges.</i>	2024
Cox D. T. C. & Gaston K. J. <i>Global erosion of terrestrial environmental space by artificial light at night.</i>	2023
Cox D. T. C., Sánchez de Miguel A., Benniec J., Dzurjak S.A. & Gaston K. J. <i>Majority of artificially lit Earth surface associated with the non-urban population.</i>	2022
Czaja M. & Kotton A. <i>How light pollution can affect spring development of urban trees and shrubs.</i>	2022
Dominoni D., Smit J. A. H., Visser M. E. & Halfwerk W. <i>Multisensory pollution: Artificial light at night and anthropogenic noise have interactive effects on activity patterns of great tits (Parus major).</i>	2019
McNaughton E. J., Beggs J. R., Gaston K. J., Jones D. N. & Stanley M., C. <i>Retrofitting streetlights with LEDs has limited impacts on urban wildlife.</i>	2020
Straka T. M., von der Lippe M., Voigt C. C., Gandy M., Kowarik I. & Buchholz S. <i>Light pollution impairs urban nocturnal pollinators but less so in areas with high tree cover.</i>	2021
Trigos-Peral G., Maák I. E., Schmid S., Chudzik P., Czaczkes T. J., Witek M., Casacci L. P., Sánchez-García D., Lorincz Á., Kochanowski M. & Heinze J. <i>Urban abiotic stressors drive changes in the foraging activity and colony growth of the black garden ant Lasius niger.</i>	2024
Wang J.-S., Tuanmu N.-M & Hung C.-M. <i>Effects of artificial light at night on the nest-site selection, reproductive success and behavior of a synanthropic bird.</i>	2021

<p>Xiao-Min Li, X.-M., Li S., Huang F.-Y., Wang Z., Zhang Z.-Y., Chen S.-C. & Zhu Y.-G. <i>Artificial light at night triggers negative impacts on nutrients cycling and plant health regulated by soil microbiome in urban ecosystems.</i></p>	<p>2023</p>
--	-------------

Artikkelin tekijät ja otsikko	Vuosi
Giuntoli J., Caserini S., Marelli L., Baxter D. & Agostini A. <i>Domestic heating from forest logging residues: environmental risks and benefits.</i>	2015
Jåstad E. O., Bolkesjø T. F., Trømborg E. & Røstad P. K. <i>The role of woody biomass for reduction of fossil GHG emissions in the future North European energy sector.</i>	2020
Mikkonen N., Leikola N., Lehtomäki J., Halme P. & Moilanen A. <i>National high-resolution conservation prioritisation of boreal forests.</i>	2023
Nian V. <i>The carbon neutrality of electricity generation from woody biomass and coal, a critical comparative evaluation.</i>	2016
Peura M., Burgas D., Eyvindson K. Repo A. & Mönkkönen M. <i>Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia.</i>	2017
Pykälä J. <i>Habitat loss and deterioration explain the disappearance of populations of threatened vascular plants, bryophytes and lichens in a hemiboreal landscape.</i>	2019
Thakur A., Canter C. E. & Kumar A. <i>Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass.</i>	2014
Virkkala R., Määttänen A.-M. & Heikkinen R. K. <i>Clear-cuts and warming summers caused forest bird populations to decline in a southern boreal area.</i>	2023
Zubizarreta-Gerendiain A., Pukkala T. & Peltola H. <i>Effects of wood harvesting and utilisation policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study.</i>	2015