



Värien mittaus kasvien lehdistä

AHTI LAUNIS
Kandidaatintyö
2019

AALTO-YLIOPISTO
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Maisema-arkkitehtuurin koulutusohjelma

Kannen kuva:

Gustav Klimt, The Park, öljy, 1910.

Museum of Modern Art, New York City.

Julkaisija: Encyclopaedia Britannica, Inc.

URL: <https://www.britannica.com/biography/Gustav-Klimt/media/320058/141387>

Ladattu: 10. toukokuu 2019

AALTO-YLIOPISTO
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Maisema-arkkitehtuurin koulutusohjelma

Värien mittaus kasvien lehdistä

Kandidaatintyö
16. 5. 2019

Ahti Launis

Tekijä Ahti Launis		
Työn nimi Värien mittausta kasvien lehdistä		
Laitos Arkkitehtuurin laitos		
Koulutusohjelma Maisema-arkkitehtuuri		
Vastuunopettaja Varpu Mikola		
Ohjaaja Varpu Mikola		
Vuosi 2019	Sivumäärä 31	Kieli suomi

Tiivistelmä

Tutkin työssäni värikartan tekoa kasvillisuudesta. Kasveihin liittyvät olemassa olevat värikartat ovat tehty tieteelliseen tai maataloudelliseen käyttöön ja kertovat kasvien kunnosta sekä lannoitustarpeesta. Värikarttoja ei siis ole tehty suunnittelutyötä varten. Näin sen puutteena arkkitehtuurisuunnittelun kannalta, sillä ala on muuten hyvin materiaalista ja värihallinnan piirissä, mutta maisema-arkkitehtuurissa keskeinen rakennuselementti eli kasvillisuus ei ole vastaavalla tavalla värihallittua.

Kasveja valitaan suunnitelmaan pääasiassa habituksen ja tilallisuuden puolesta, jonka ohessa suunnitelmaan tullaan väistämättä luoneeksi väripaletin. Henkilökohtainen tavoitteeni oli tunnistaa vihreiden sävyjen merkitys maisemassa ja suhteessa rakennettuun ympäristöön ja tehdä värihallittu työskentely mahdolliseksi myös kasvien osalta.

Syy värikarttojen puutteeseen lienee johtuvan siitä, että kasvien värit ovat kunnosta ja vuodenajasta riippuen hyvin muuntelevia. Yhtä ja yleispätevää värikartastoa on siten vaikea toteuttaa. Päämääräni olikin tehdä suunnittelutyöhön sopiva mittausten menetelmä, jotta suunnittelija voi itse tarpeen tullen tehdä värikartan suunnitelman pohjalta. Menetelmän tulee olla kustannustehokas ja helppo toteuttaa.

Värijärjestelmäksi, jonka puitteissa värihallinta tapahtuu, valitsin NCS-värijärjestelmän. Järjestelmä on omaksuttu hyvin Euroopassa ja Pohjoismaissa ja toimii erinomaisesti yhteisenä värihallintakielenä eri suunnittelualojen ja värivalmistajien kesken. Kustannustehokkuuden saavuttamiseksi valitsin mittaustekniikaksi suunnittelijoille tarkoitettuja välineitä, kuten NCS INDEX -standardivärikuulan ja optisen NCS Colour Pin SE -mittarin, joka lukee pinnan värin ja palauttaa parhaan vastaavuuden NCS-standardivärikartasta. Mittauksen virhemarginaalin tilastollisen testaamisen sijaan saatiin käyttää tuloksen luotettavuuden varmistamiseksi ja menetelmän tarkkuuden määrittämiseksi tätä mittauksen vastaavuutta standardiväreihin.

Kasvien värien muodostuminen sekä pigmenteistä että optisista rakenneväreistä, ja solukon optisten ominaisuuksien aiheuttama läpikuultelu ovat värien mittausta hankaloittavia tekijöitä. Selvitin miten ja missä olosuhteissa väri on mitattavissa kasvien solukosta ja kuvaan menetelmän.

Sisällys

1. JOHDANTO	2
2. KASVIEN VÄRIT	8
2.1 KASVIEN VÄRIMITTAUKSEN TAUSTOJA	9
2.2 KASVIEN VÄRIEN MUODOSTUMINEN	11
2.2.1 KEMIALLISET VÄRIT	11
2.2.2 KEMIALLISTEN VÄRIEN MUUNTELEVVUUS	13
2.2.3 RAKENNEVÄRIT	14
3. MITTAUSVÄLINEET JA MITTAUKSEN RAJAT	16
3.1 NCS-VÄRIJÄRJESTELMÄ	16
3.2 OMINAISVÄRI JA SEN MITTAUS LEHDESTÄ	16
4. TULOKSET	20
4.1 TAUSTAN VALITSEMINEN	21
4.2 MITTAUS	22
4.4 MITTAUSTULOKSEN TARKISTUS	23
5. TULOSTEN TARKASTELU	26
6. KIITOKSET	29
7. VIITTEET	30

1. Johdanto



Kasvien värit ovat monista biologisista ja fyysisistä tekijöistä johtuen muuttuvia ja helposti muuntelevia, joten ymmärrettävistä syistä johtuen ei ole tehty värikarttoja, joita voisi käyttää apuna värihallitussa suunnittelussa. Arkkitehtuurisuunnittelu on hyvin materiaalista ja värihallinta tai väreihin perustuva suunnittelu on isossa roolissa. Kasvillisuus maisema-arkkitehtuurin keskeisenä rakennuselementtinä tuntuu kuitenkin jäävän värihallinnan ulkopuolelle.

Kun puhutaan kasvillisuuden värikyydestä tai haetaan suunnitelmaan värikyyttä, vaikuttaa siltä että valinnat edustavat yleensä tehostevärejä, kuten kukkivia puita tai loisteliaita syysvärejä. Syy siihen, että vihreä koetaan usein taustaväriksi ympäristössä ja keltaiset ja punaiset värit miellyttävinä väreinä, tulee ilmeisesti kasvien ja eläinten välisestä kommunikaatiosta. Vihreä väri tulee kasvien määrittävästä tekijästä eli fotosynteesiaktiivisuudesta ja tällöin se on väistämättä kasvien ja kasvivaltaisen ympäristön päävärialue. Erityisesti kukkakasvien koevoluutio pölyttäjiä kanssa on suosinut taustastaan erottuvien kukkien kehittymistä (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 294-295). Lisäksi siementen levittäjiä valinta on suosinut hedelmien erottumista kontrastilla taustastaan.

Muilla eläimillä kuin nisäkkäillä kontrastin havaitsemiseen vaikuttaa tosin myös UV-valon heijastavuuserot hedelmien ja taustan kesken. Kontrastierot valoisuudessa ja värisä taustaan nähden koetaan siis huomionarvoisempina tai arvokkaampina kuin taustan väri ja tekstuuri.

Ympäristön havainnointi on toki myös kulttuurista riippuvaa. Himba-heimojen kiellessä Afrikassa on olemassa poikkeuksellisen paljon sanastoa erilaisten vihreän värisävyyden erotteluun, jotka länsimaisessa kulttuurissa nimettäisiin ruskeiden, keltaisten tai sinisten värien piiriin. Termistön runsaus heijastaa vahvasti kieliyhteisöjen elinalueiden olosuhteita ja elintapoja (Roberson ym., 2005). Sanasto on nimenomaisesti se työkalu, joka mahdollistaa kommunikaation väreistä ja on edellytys värisuunnittelulle (Arnkil, 2011, s. 152-156). Havaintotieteeseen perustuva Natural Colour System (NCS) -värijärjestelmä pyrkii kuvaamaan tieteellisessä viitekehyydessä ihmisen havaitsemia värejä sellaisena kuin ihminen ne näkee. Värijärjestelmän keskeinen tavoite on luoda järjestelmän parametreihin perustuva koodinimistö, joka mahdollistaa kommunikaation eri toimialojen kesken (Arnkil, 2011, s. 163), ja joka on kulttuuri- ja mielikuvaeroista riippumaton

Kuva 1. Kasveilla myös kuolleen solukon väri voi olla maisemallisesti merkittävä värielementti. Kuvassa on taustalla kuivaneita järviruokokasvustoja (*Phragmites australis*) ja etualalla keltakukkaista rentukkaa (*Caltha palustris*).



Kuva 2. Claude Monet käytti puutarhassaan siniseen taittuvaa kirkasta vihreän sävyä, joka tunnetaan nykyään Monet'n vihreä -nimellä. Maali vastaa kirkkaudeltaan kukkien sävyä ja sopii maisemaan hyvin, mutta korostuu kasvien vihreästä niin paljon että kasvien keltaisempi vihreän sävy näyttää tavallista tasaisemmalta taustana.

väritermistö (Arnkil, 2011, s. 154).

Värisävyjen nimeäminen korostuu erityisesti aloilla, joilla värit ovat itsessään tärkeä kommunikaation väline, ja joilla väreistä kommunkointi on isossa roolissa, kuten kuvataiteiden piirissä (Arnkil, 2011, s. 155). Värien ja valo-varjosuhteiden tutkiminen on keskeistä esimerkiksi maalaustaiteessa, jossa taiteilija välittää havaintonsa ja kokemuksensa kankaalle. Tutkielman kansikuvaksi valitsin Gustav Klimtin *The Park* -maalauksen vuodelta 1910. Pointillistinen teos

purkaa lehvästön taidesuuntauksen periaatteiden mukaisesti muutamia perusväriä, ja kuvaa mielestäni osuvasti valon ja värien elävyyttä puiden lehdistä. Klimtin tyyliin ei kuulunut juurikaan optisten ilmiöiden kuvaamista (Gustav-klimt.com, 2019), ja tämän teoksen lehvästön muodostama lähes abstrakti sävyjen massa viittaa erinomaisesti tutkielmani aiheeseen lehtien pintavärien mittaamisesta.

Taidealoilla maalien ja pigmenttien nimeäminen perustuu pitkälti historiallisiin



Kuva 3. Chefchaouen, Marokko. Kaupungissa runsaasti käytetty sininen väri luo taustan myös istutuksille, mikä vaikuttaa vihreiden ja ruskeiden havaintoon. Vihreä näyttää kylmemmältä ollessaan sinisen kanssa lähekkäisiä värisävyjä. Puiden ruskea runko piirtyy komeasti sinistä taustaa vasten ollessaan sinisen kanssa vastavärialueella.

syihin, kuten värin löytäjän, valmistuspaikan mukaan tai suoraan pigmentin alkuperään. Yksi kuuluisimpia nimen saaneita ja tunnistettavimpia vihreitä on Monetin vihreä, jolla Claude Monet maalautti mm. rakennuksensa ikkunanpuitteita ja puutarhansa rakenteita. Monetin vihreä käy malliesimerkkinä siitä, kuinka rakenteet sopivat maiseman väreihin mutta korostuvat silti voimakkaasti. Monetin kirkkaan ja siniseen taittuvan vihreän värikylläisyys vastaa enemmän hänen puutarhansa kukkien värikylläisyyttä, joten

se erottuu vahvasti ja loistavana värielementtinä maiseman muusta vihreästä sopien silti puutarhan väreihin. Väri jättää myös kasvien lehtivihreän toiseksi ja tekee siitä todellisen taustavärin maisemaan (kuva 2).

Rinnakkaiset värit vaikuttavat havaintoon toisistaan (Arnkil, 2011, s. 102). Hyvä esimerkki tällaisesta simultaanikontrastista on Chefchaouenin kaupungissa Marokossa runsaasti käytetty sininen maali (kuva 3). Sininen väri liittyy arabeilla kulttuurisesti uskomusperinteisiin kärpäsiä karkottavana



Kuva 4. Vihreiden värien kirjoja japanilaisessa puutarhassa. Portland Japanese Garden, Portland, Oregon, USA.

värinä, mutta sen käyttö luo myös mielenkiintoisen taustan istutuksille. Sinistä taustaa vasten kasvien vihreä väri on havaittavissa kylmempänä sävynä kuin se olisi toista lämpimämmän sävyistä taustaa vasten nähtynä. Sen sijaan puiden runkojen ruskeat sävyt, ollessaan vastavärialueella sinisen kanssa, korostuvat voimakkaalla värikontrastilla taustastaan. Simultaanikontrastin ja sävykontrastin periaatteita käyttäen kasvillisuus voidaan ottaa mukaan suunnittelun värihallinnassa ja saada se joko korostumaan tai häivyttymään

visuaalisesti taustaansa nähden.

Suunnittelutyön kannalta kasvien tilallinen vaikutus ja morfologinen habitus vaikuttavat olevan arkkitehtuurin alalla värien sijaan päällimmäiset syyt, jotka ohjaavat valintoja. Kasvin väritystä dominoiva vihreä väri tulee kuitenkin väistämättä muiden valintojen mukana. Kun valitaan suunnitelman keskeisimmät kasvillisuusmassat, luodaan samalla väripaletti tai -liukuma vihreän sävyistä. Suunnitelmasta tulee yhtenäisempi ja loppuun hiotumman tuntuinen, jos

suunnittelija tiedostaa värisävyjen suhteen toisiinsa ja millaisen suunnan ne luovat väriavaruudessa esimerkiksi värilämpötilan tai tummuuden suhteen. Värihallinnalla, tai vähintään väriopin tiedostamisella, suunnittelija pystyy esimerkiksi tukemaan muilla istutuksilla keskeisten värielementtien luomia väriteemoja.

Työssä selvitän kuinka mielekkäin menetelmin suunnittelutyön kannalta kasvien värit ovat mitattavissa. Selvitystyöni ei ole havainto- tai luonnontieteellisesti toteutettu, eikä siis sisällä tilastotieteellistä varmuutta esimerkiksi värien muuntelevuudesta. Teen katsauksen biologisiin ja fysikaalisiin perustekijöihin, jotka vaikuttavat värien muuntelevuuteen ja havaintoon, ja lopuksi esittelen edellisen pohjalta ja kokeilujen myötä hyväksi toteamani menetelmän värien mittaamiseen. Menetelmän tarkoitus on että suunnittelija voi tarpeen tullen tehdä vaivatta mittauksen suunnitelmansa keskeisistä väreistä, jolloin värihallinta tulee mahdolliseksi edes perustasolla myös kasvillisuuden suhteen.

Kehitin menetelmän etupäässä lehtien mittaamiseen, mutta sama menetelmä on sovellettavissa myös muihin vastaaviin tilanteisiin. Puiden runkojen värien mittaus voi olla lehdille tyypillisten optisten ominaisuuksien puuttuessa helpompaa, mutta runkojen pinnanmuodot ja karkeus tekevät siitä omalla tapaa haastavampaa. Lisäksi rungon väri voi koostua lukuisista erivärisistä laikuista

jotka vaikuttavat sen yleisvärin muodostumiseen osana maisemaa. Hyvä esimerkki on mm. männyn runko, jonka kaikki mieltävät punaruskeana etäisyyden päästä katsoen, mutta jonka pinnalta löytyy värejä keltaisesta punaiseen ja vihreästä violettiin. Suunnittelijan kannalta kysymys onkin että kumpi väri on olennainen: kaarnan pintavärit vai pintavärien yhteensulautunut yleisväri maisemassa? Sivuutan rungon värin mittauksen tässä tutkielmassa mutta on mainittava, että pohjoisessa sijainnissa kausivihannilla kasveilla rungon väri on se, joka on läsnä maisemassa ympäri vuoden.

Tutkielman tulokset antavat suuntaviivoja siihen, miten kasvien ja erityisesti lehtien värien mittaamista kannattaa lähestyä, ja pyrkii herättämään ajatuksia ja kehityskohdita lukijalle, kuinka kasvit voidaan saattaa paremmin värihallitun työskentelyn piiriin. Värillä on suunnittelun kannalta keskeinen merkitys ja värihallinnalla voidaan tietoisesti käyttää ihmisen havaintoon liittyviä tekijöitä suunnitelman esiintuomisessa tai häivyttämisessä, ja vaikuttaa esimerkiksi ihmisten orientoitumisena tilassa sekä hyvässä että pahassa. Hyvä värisuunnittelu tekee suunnitelmasta myös loppuunhiotun tuntuisen ja uskottavan. Maisema-arkkitehti on keskeisessä roolissa luomassa värimaailmoja.

2. Kasvien värit

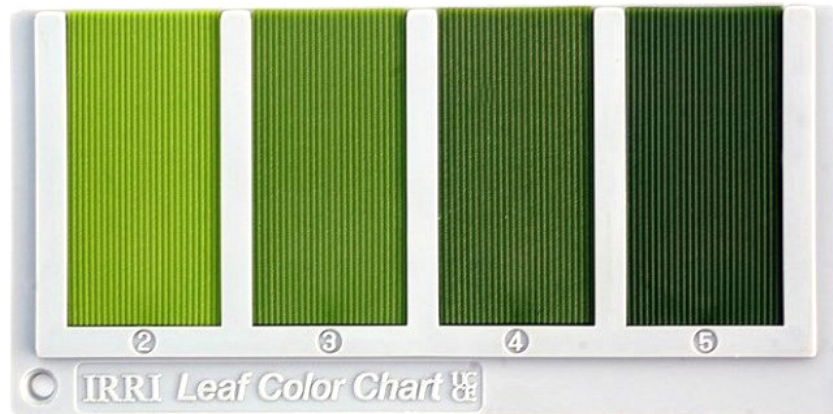


Tässä luvussa käyn läpi kasvien värien muodostumisen syitä ja mekanismeja, jotka rajoittavat eri mittausmenetelmien käyttömahdollisuuksia, mikä puolestaan määrittelee valitsemani optiseen värimittariin perustuvan menetelmän käyttörajat. Seuraavassa alaluvussa kerron lyhyesti, miten kasvien värejä mitataan muilla aloilla ja millaisia värikarttoja kasveista on laadittu.

2.1 Kasvien värimittauksen taustoja

Työni keskittyy värikartan luontiin suunnittelutyön näkökulmasta. Kasvien värintunnistukseen tehdyt värikartat liittyvät tyypillisesti lehden kunnon karkeaan mittaamiseen, jossa väriliuskan värinäytteisiin vertaamalla voi arvioida esimerkiksi ravinteiden puutostiloja ja lannoituksen tarvetta (Witt ym. 2005). Menetelmät ovat kohdennettu suoraan viljelijöiden käyttöön (Witt ym. 2005) ja on toimiva esimerkki siitä kuinka

Kuva 5. International Rice Research Institute (IRRI) valmistama värikartta riisin typpiravinnetarpeen arvioimiseen.





Kuva 6. (vasen). Riisipellon lannoitustarpeen arvioimista IRRI:n valmistamalla värikartalla.



Kuva 7. (oikea). Munsellin värikartan avulla tehdään seurantatutkimusta voimakkaasti vähentyneen *Banksia integrifolia*-taimien kunnosta ja kehitymisestä kansallispuistossa Australiassa.

menetelmän takana oleva tiede on yksinkertaistettu asiaan vihkiytymättömän henkilön käytettäväksi. Sama ideologia on käytettävissä värisuunnittelun hyödyksi. Edellä mainittuja vertailuvärimittareita on valmistanut muun muassa International Rice Research Institute (Witt ym. 2005; IRRI, 2019). Kattavin kasveista tehty värikartasto lienee Munsell-värijärjestelmään tehty Munsell Plant Tissue Color Charts (Munsell, 2019). Värikartat kattavat 17 kasvilajin värimuuntelua ja on suunniteltu kasvitieteilijöiden ja tutkijoiden keskinäiseen kommunikointiin

ja diagnostiikkaan ympäristötekijöiden vaikutuksista kasvisolukoihin (Munsell, 2019). Munsell-värikartasto osoittaa myös hyvin sen, että miten paljon ympäristötekijät muuntelevat kasvien värien ilmiintymistä. Muuntelun voi olla haaste arkkitehtonisen suunnitelman kannalta, jossa toteutuksen on tarkoitus näyttää suunnitelman mukaiselta.

Värien optinen mittaus puolestaan liittyy pääsääntöisesti luonnontieteellisen tutkimukseen. Mainittavia kasvien pigmenttien määrää ja absorptiota mittaavia menetelmiä ovat mm. spektrofotometria ja reflektomet-

ria. Spektrofotometrialla saadaan näytteen läpivalaisulla hyvin tarkkoja mittauksia molekyylien määrästä ja niiden valoon liittyvistä ominaisuuksista (Tirri ym., 2001, s. 666). Tätä voidaan käyttää hyödyksi mm. fotosynteesitehokkuuden mittaamisessa lukuisten muiden molekulaaristen ominaisuuksien selvittämisen lisäksi (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 113). Reflektometrialla mitataan tunnetun valonlähteen pigmentteistä heijastuneen valon taajuusjakauma, josta voidaan puolestaan selvittää pigmenttien suhteellisia osuuksia näytteessä (Gamon ja Surfus, 1999). Suunnittelutyön kannalta menetelmät, ja erityisesti spektrofotometria, ovat turhan tarkkoja menetelmiä, ja vaativat käyttäjältä tarkkuutta ja laajaa tietotaitoa. Värin mittausten tulisi olla suunnittelijalle helposti omaksuttavissa ja pienillä laitekustannuksilla.

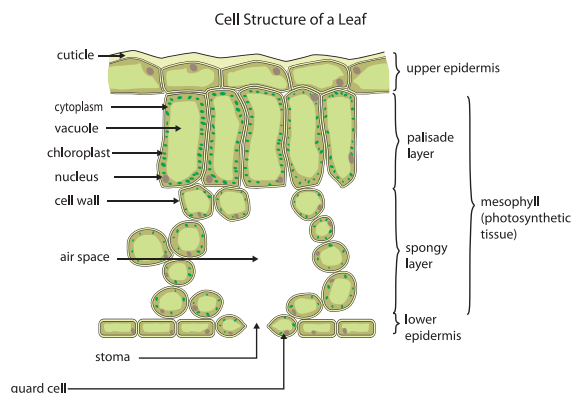
2.2 Kasvien värien muodostuminen

Kasveissa, kuten yleisesti luonnossa, esiintyy värejä, jotka muodostuvat kemiallisesti tai rakenteellisesti. Kemialliset värit syntyvät pigmenttien absorboidessa tiettyjä valon taajuuksia saapuvasta valosta ja heijastaessa lopun jäljelle jääneen valon spektristä ympäristöön. Rakenteelliset värit muodostuvat valon taittuessa ja heijastuessa mikroskoop-

pisissa rakenteissa. Esimerkiksi iridisoivat rakenteelliset värit muodostuvat rakenteiden hajottaessa valon spektrin tietyllä tapaa eri suuntiin (Glover ja Whitney, 2010). Myös metallisia värejä tavataan kasveilla, jotka vastaavat esimerkiksi perhosten metallinhoh-toisia värejä (Vignolini ym., 2016). Tyypiesimerkki rakenteellisista väreistä kasveilla on nukkakarvoituksen antama valkoinen tai hopean harmaa väri (Vigneron ym., 2005).

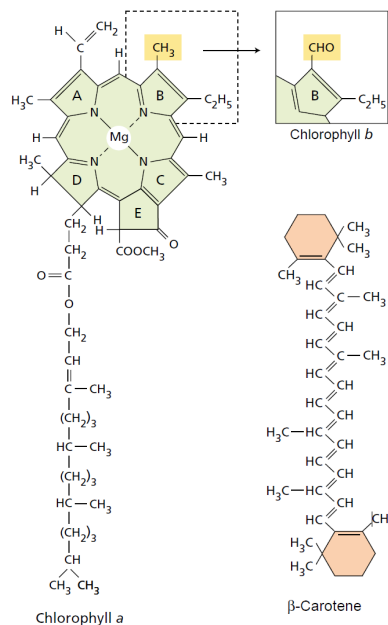
2.2.1 Kemialliset värit

Fotosynteesin keskeiset molekyylit ovat klorofyllit ja karotenoidit, jotka antavat kasville, tai tarkemmin sanottuna sen yhteyttäville osille, kellanvihreän värityksen. Kasvien vihreä väri muodostuu klorofyllimolekyyli-en sitoessa auringon valosta punaisia ja sinisiä taajuuksia heijastaen vihreät taajuudet pois (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 115). Kasvin käyttäessä vain pienen osan auringon valon spektristä, ja heijastaen suurimman osan voimakkaimmasta säteilystä pois, se suojaa samalla herkkiä solubiokemiallisia mekanismeja haitalliselta määrältä säteilyenergiaa (Taiz ja Zeiger, 2002). Muita nk. antennimolekyyliä, jotka sekä sitovat säteilyenergiaa, että säätelevät sen fotosynteesiin päätyvää määrää, ovat karotenoidit. Ne sitovat lähinnä sinisiä ja sinivihreitä taajuuksia, jolloin niiden heijastamassa valossa korostuvat kel-



Kuva 8. (yllä). Lehden poikkileikkaus, jossa näkyy mm. kutikula, epidermisolut ja viherhiukkasten järjestyminen peruslukossa solun ulkoreunalle.

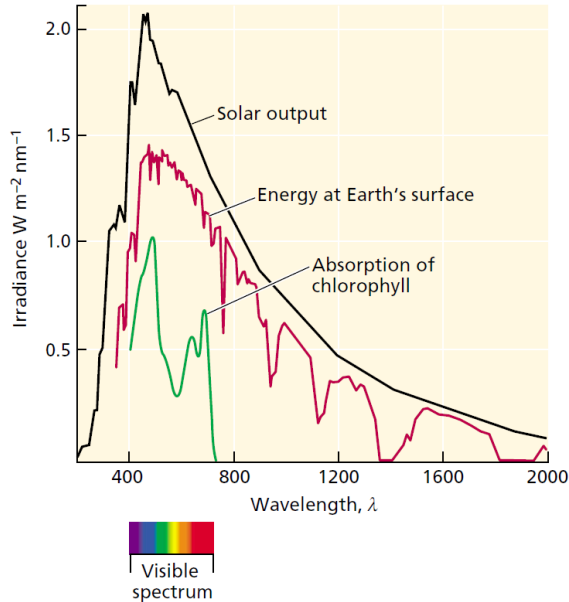
Kuva 9. (oikealla). Viherhiukkasen tylakoidikalvoille kiinnittyneiden klorofylli a ja -b, ja beta-karoteenin molekyyli-rakenne.



taiset ja punaiset taajuudet (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 115). Klorofyllit ja karotenoidit ovat rasvaliukoisia molekyylejä ja niiden rakenne sitoo ne hydrofobisilla voimilla plastidiin tylakoidikalvoille (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 121)

Muita väreä antavia molekyylejä kasveissa ovat vesiliukoiset solunesteeseen liuenneet antosyaanit. Ne antavat kasvin osille sinisen, violetin tai punaisen sävyn ja liittyvät merkittävästi kasvien vuorovaikutukseen eläinten kanssa (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 294). Antosyaanien väri muuttuu myös solunesteen

happamuuden mukaan niin, että ne ovat tyypillisesti punaisempia happamassa ja sinisempiä emäksisessä liuoksessa. Toisin kuin klorofyllit ja karotenoidit, antosyaanit eivät kuulu keskeisesti fotosynteesin prosesseihin. Niillä on kuitenkin jonkin verran merkitystä mm. haitallisen säteilyn suojana (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 297). Antosyaanien pitoisuus kasvaa kasvisolukossa tyypillisesti vasta kasvukauden myötä. Tarkkaa syytä niiden muodostukseen ei tunneta, mutta ollessaan antioksidantteja, niillä on arveltu olevan tekemistä myös talveentumisessa.



Kuva 10. Kasvit heijastavat suurimman osan maahan päätyvästä auringon valosta ja sitovat etupäässä sinisiä ja punaisia näkyvän valon taajuuksia.

2.2.2 Kemiallisten värien muuntelevuus

Kausivihannilla kasveilla syysväri johtuu klorofyllin hajoamisesta, jonka myötä karotenoidien suhteellinen osuus kloroplasteissa suurenee. Tästä muodostuu kasvin värisävyjen voimakkain liukuma vihreä–keltainen-akselilla. Antosyaanien pitoisuuden noustessa syksyä kohden lehdet voivat lajista riip-

puen saada yhteisvaikutteisesti karotenoidien kanssa punertavamman värin (Taiz ja Zeiger, 2002). Antosyaanien määrän ollessa erittäin korkea lehdet voivat näyttää myös violetilta. Kasvien punaiset tai sinipunaiset värimuodot ovat myös nimenomaan antosyaanien vaikutuksesta punaisia tai violetteja (Taiz ja Zeiger, 2002). Tällaisia värimuunnoksia on mm. punakoivu (kuva 11).

Kasvien vihreiden osien sävy voi vaihdella myös kasvukauden aikana eikä kasvilla ole yhtä ainoaa lajityypillistä sävyä, vaan pikemminkin lajityypillinen sävyalue. Kemiallisten värien ilmenemiseen vaikuttaa myös lajityypilliset pintarakenteet ja niiden tekemät mahdolliset rakenteelliset värit. Myös ravinteiden runsaudet ja puutostilat vaikuttavat kasvien väriin (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 73-75). Kasvin yhteyttävien osien kloroottisuus tarkoittaa klorofyllin puutetta ja tekee niistä keltaisia tai keltalaikullisia. Siihen vaikuttaa mm. klorofyllin biosynteesin kannalta tärkeä sinkin ja klorofyllin reaktiokeskuksessa olevan magnesiumin puute (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 74) sekä raudan puute (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 75). Kasvun kannalta olennaisen typen puute aiheuttaa myös kloroottisuutta, ja voi vaikuttaa myös lisäävästi antosyaanien muodostukseen punertaen lehtiä. Antosyaanien muodostusta lisää myös rikin ja fosforin puutos (Taiz ja Zeiger, 2002, s.73). Liian voimakas säteily voi myös lisätä antosyaanien määrää. Silminhavaittavista oireista kasveilla on myös nekroottisuus,

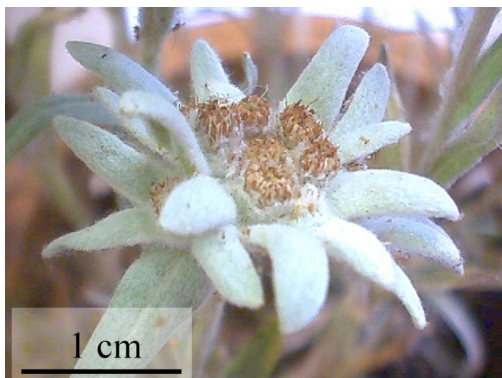
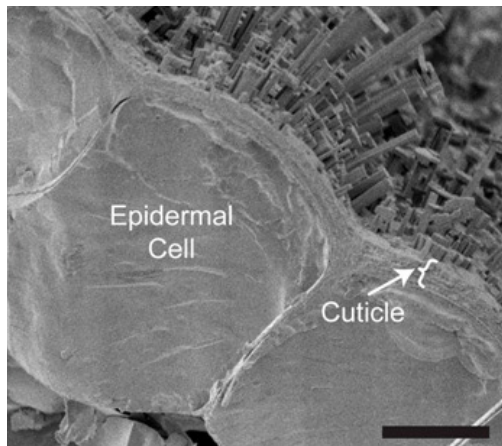


Kuva 11. Punakoivu (*Betula pubescens f. rubra*) on hieskoivun värimuunnos. Lehdet ovat kesäasussa.

joka ilmenee yleensä käpristyvinä mustina lehden reunoina tai laikkuina lehtilavassa. Siihen vaikuttavat myös tiettyjen ravinteiden puutokset (Taiz ja Zeiger, 2002, s. 73-75). Lehdet voivat myös kuivaa paikoilleen, jolloin klorofyllin ja karotenoidien hajotessa lehti muuttuu kellanruskeaksi tai harmaaksi. Kuivuneen lehden värillä voi olla maisemallisesti suurtakin merkitystä. Esimerkiksi merenrantojen ruovikot ovat myös kasvukauden ulkopuolella merkittävä maisemallinen värielementti.

2.2.3 Rakennevärit

Kasvin solukon valon läpäisevyyden pohjalla on veden läpäisevyys, mikä aiheuttaa optisia ilmiöitä. Pyöreähköt pintakerroksen solut taittavat linssin tavoin valoa ja voimistavat valoa polttopisteessä jopa viisinkertaiseksi (Vogelmann ym., 1996). Valo taittuu ja siroaa solukossa moneen suuntaan, mikä antaa lehdille läpikuultavan ilmeen, ja hyvin valaistu lehti hohtaa värittämäänsä valoa ympäristöön.



Kuva 12. (Ylinnä.) Lehden epidermisoluja joiden päällä on kutikula-kerros. Kutikulasta ulkonee kiteitä, jotka tekevät lehden pinnasta himmeän. Mittajana = 5 nm. (Yeats ja rose, 2013)

Kuva 13. Alppitähden lehdet näyttävät hopeanharmailla mikroskooppisen nukkarvoituksen vuoksi (Vigneron ym., 2005)

Kasvin pintarakenteisin kuuluu kiiltävä vahakerros, eli kutikula, joka on maakasvien sopeuma kuivumista vastaan. Kutikulan uloin vahapinta tekee pinnasta kokonai-heijastavamman ja kutikulan ulkokerroksen kiteet puolestaan himmeämmän. Näiden piirteiden suhde on lajityypillistä samoin kuin kutikulan paksuus, ja vaikuttavat siihen, miten kasvin vihreä väri muuttuu sekä kutikulan läpi katsoessa että kutikulan ulkopuolelta tulevan valon heijastustessa pinnalta. (Yeats ja Rose, 2013.)

Kasvisolukon pintakerroksen solut eli epidermi voivat myös tuottaa mikroskooppisia rakenteita, joilla on fotonisia ominaisuuksia. Karvat ja mikroskooppinen nukkarpeite tekevät kasveille tyypillisesti valkoisen tai hopeanharmaan värin, joka peittää kasvin lehtivihreää. Tällaisella valoa voimakkaasti sirottavalla rakennevärillä on muun muassa suojaava vaikutus haitallista UV-valoa vastaan (Vigneron, 2005). Kasvien karvoitus estää myös haihtumista ja on tyypillistä lehtien alapuolella ilmarakojen yhteydessä.

3. Mittausvälineet ja mittauksen rajat

3.1 NCS-värijärjestelmä

The Natural Colour System, eli NCS-värijärjestelmä, on Ruotsalaisen Svenskt Färgcentrumin vuodesta 1964 alkaen kehittämä ja ylläpitämä havaintotutkimukseen perustuva värijärjestelmä (NCS, 2019). Kaikki värijärjestelmät rakentuvat kolmen ominaisuuden varaan, joita ovat sävy, tummuus ja kyläisyys. Näistä parametreista on johdettavissa systemaattinen järjestys, josta ilmenee värien keskinäinen suhde, ja joka muodostaa geometrisen väriavaruuden. Järjestelmien geometrisen luonne mahdollistaa materiaalista tai värin tuotantotavasta riippumattoman värihallinnan esimerkiksi suunnittelijoiden ja tutkijoiden keskuudessa (Arnkil, 2011, s. 155-159).

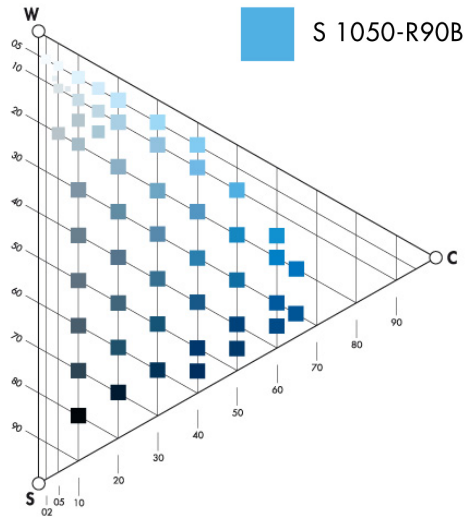
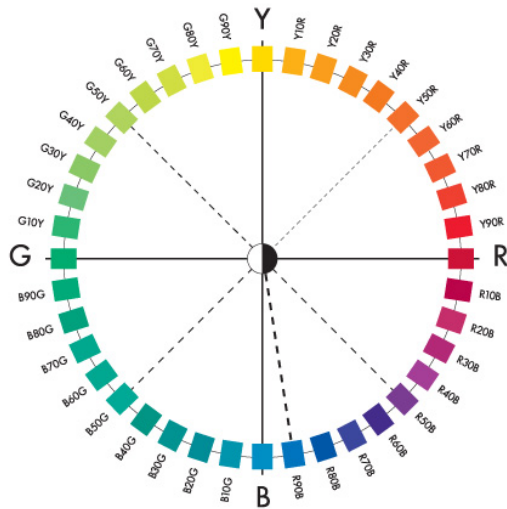
Tässä tutkielmassa käytin NCS-järjestelmää, koska se soveltuu hyvin arkkitehtuurin ja havaintotutkimuksen tarpeisiin, ja on saavuttanut laajaa suosiota Pohjoismaissa ja Euroopassa (Arnkil, 2011, s. 165). Lisäksi järjestelmää käyttävät mittausvälineet olivat helposti saatavilla Aalto-yliopiston kautta ja NCS:n omasta verkkokaupasta.

NCS-järjestelmä jakaa tummuuden ja kyläisyyden 100 pykälään ja sävyn ilmaisevan väriympyrän 400 pykälään. Näiden parametrien ulottuvuuksista standardivärit ilmoittavat väriavaruutta edustavan valikoiman värejä kymmenen, ja tietyissä tilanteissa viiden pykälän välein. Nykyään NCS-standardivärejä on 1950. (NCS, 2019.) NCS-diagrammin väriympyrällä ja kolmiolla ja standardivärien sijainnissa diagrammissa (kuvaaja), voidaan havainnollistaa esimerkiksi värimuutoksia tai väritoleransseja.

Käytössäni oli optinen NCS Colourpin SE -mittari ja NCS INDEX -standardiväri-
viuhka, joka sisältää mattapinnaiset värinäytteet 1950:stä NCS-värijärjestelmään kuuluvasta standardiväristä.

3.2 Ominaisväri ja sen mittaus lehdestä

Ominaisväri on kappaleen väri, jos sitä katsottaisiin standardoiduissa olosuhteissa (Arnkil, 2011, s. 269). NCS Colourpin SE



Kuva 14. NCS-diagrammin väriympyrässä jokainen päävärin välinen neljännessektori jakautuu 100 pykälään/prosenttiin, ja kolmio joka esittää värisävyn vivahteet tummuuden/vaaleuden ja kylläisyyden suhteen 100%. Värikoodin S-kirjain kertoo, että koodi kuuluu standardiväreihin. Esimerkin sinisen koodin ensimmäinen osa, 1050, kertoo että värisävy on 10% mustaa ja 50% kylläisyyttä. Koodin loppuosa R90B kertoo että värisävy sijaitsee väriympyrällä 90% punaisesta siniseen päin.

sisältää oman referenssivalon ja pyrkii siten tekemään mahdollisimman standardin mukaiset mittausolosuhteet mitataksaan kappaleen ominaisvärin. Mittarin “näkemä” väri on siten myös irrallinen muista tekijöistä kuin valonlähteestä, jotka muuten vaikuttaisivat ihmisen näköhavaintoon. Asiahyteydestään irrallinen ominaisväri voi siksi vaikuttaa epäaidolta aidon rinnalla vaikka värin para-

metrit olisivat NCS-järjestelmän mukaisesti vertailukohteilla samat. Ihmisen kokemuk- sessa puiden lehdistä vaikuttaa merkittävästi muun muassa niiden liike, ääni, haju, valon ja varjon muutokset ja läpikuultaneen valon hohtava väri. Pintaväri edeustaa siksi vain yhtä parametria joka kuvaa lehteä. Työssäni ei kuitenkaan pyritä jäljittelemään tätä kokemusta kasveista vaan mittaamaan lehden



Kuva 15. Pihlajan (*Sorbus aucuparia*) syysväriset lehdet hohtavat auringon läpivalaisemina.

ominaisväri. Ominaisvärin tunteminen on tärkeää, kun halutaan määrittää kappaleen väri mahdollisimman riippumattomasti ja toistaa väri toisessa yhteydessä.

Materiaalin ominaisväri on luotettavimmin määritettävissä, kun materiaalin molekyyli rakenne on tasalaatuinen, ja valon heijastuminen on minimaalista eli mikrokooppinen pintarakenne on sopivan karhea jotta kokonaisheijastumista ei tapahdu, sekä

läpikuultoa tai pinnan alaista tai pintarakenteesta johtuvaa valon sirontaa ei ole. Pintakiilto ja materiaalin läpikuultavuus ja lisäksi optisesti muodostuvat rakennevärit ovat kasvisolukolla enemmän tai vähemmän läsnä. Nämä tekijät hankaloittavat värin mittaamista sekä Colourpin SE -mittarilla että vertailuvärikartan avulla mitattuna.

Rakennevärejä muodostava nukkakarvoitus on jossain määrin mahdollista mitata,



Kuva 16. Tuomen lehtien värien muuntelua ruskan aikaan samalta hetkeltä ja samasta kasvista poimittuna. Mitataksaan tuomen syksyn keltaisen värin, tulee valita mahdollisimman tasainen väri sopivasta lehdestä.

jos sen sirottama valo on mahdollisimman tasalaatuista, eli valkoista. Lehtien pintakiilto vaihtelee lajityypillisesti ja optisen värimittarin tulos pitää tarkistaa standardivärikarttaan vertaamalla. Optisen mittarin etu on toisaalta siinä että se sisältää oman valonlähteen ja mittausolosuhteet mittarissa ovat samat eri mittausten välissä. Vertailuvärikartan kanssa määrittäessä valonlähteen suunta vaikuttaa sekä värinäytteen että lehden

kiillon ilmenemiseen ja viistovarjostukseen. Mahdollisimman tasainen huonevalaistus helpottaa valoisuuden muutoksien eliminomisessa. Läpikuultavuus oli jo alustavissa kokeissa hankalin mittausta vaikeuttava tekijä lajista riippumatta. Seuraavassa luvussa esitelen mentelmän kuvauksen alussa, miten läpikuultavuuden aiheuttama haitta voidaan kiertää.

4. Tulokset

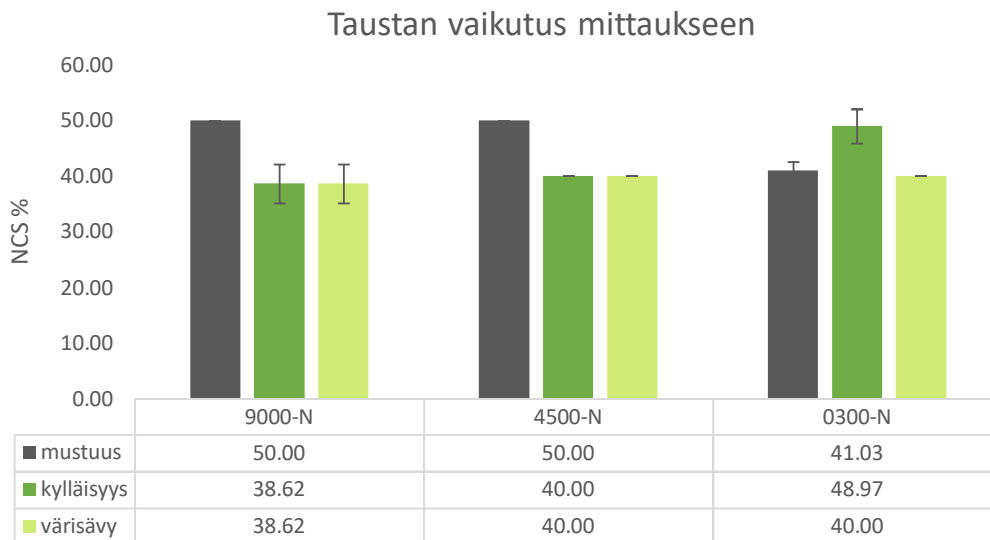


Menetelmän kuvauksessa käytettiin tuomen (*Prunus padus*) lehtiä mittauksen kohteena (kuva, s. 20). Tuomen lehti on suhteellisen läpikuultava ja mattapintainen.

4.1 Taustan valitseminen

Koska lehti on läpikuultava, mittari tarvitseen lehden taakse valoa läpäisemättömän taustan. Taustan värin valitsemiseksi mitattiin yhtä lehteä 30 kertaa NCS-väriäytteidien mustaa (S 9000-N), keskiharmaata (S 4500-N) ja valkoista (S 0300-N) vasten (ku-

vaaja 1). Mustan taustan kanssa tummuusaste pysyi vakiona mutta värisävyssä ja kylläisyydessä oli hajontaa ($SD \approx 3,457$ ja $SD \approx 3,457$, vastaavasti). Keskiharmaa palautti jokaisessa mittauksessa samat lukemat ilman hajontaa. Valkoinen tausta oli tummuusasteeltaan kaikissa mittauksissa keskimäärin $\sim 8,97$ % vaaleampi hajonnalla $SD \approx 1,526$ ja kylläisyydeltään kaikista mittauksista korkein keskiarvolla $\sim 48,97$ ja hajonnalla $SD \approx 3,051$. NCS-järjestelmän mukaisesti värikylläisyys voi kasvaa vain tummuuden vähetessä, joten mustaan ja keskiharmaaseen verrattuna alempi tummuusaste ja korkeampi kylläisyys



Kuvaaja 1. Mustan (S 9000-N), keskiharmaan (S 4500-N) ja valkoisen (S 0300-N) taustan vaikutus NCS-diagrammin parametrien toistuvuuteen läpikuultavaa lehteä mitattaessa.

korreloivat muutoksina keskenään.

Valkoinen tausta valittiin käytettäväksi myöhemmissä mittauksissa ensisijaisesti käytännön syistä, koska sellainen on saatavilla helposti esimerkiksi paksummasta neutraalista piirustuspaperista. Keskiharmaan neutraalin taustan löytäminen voi olla hankalampaa, ja se voi poiketa absoluuttisen neutraalista NCS järjestelmän S 4500-N harmaasta muun muassa värisävyssä, koska harmaat paperit ovat voimakkaammin värjättyjä. Valkoinen tausta toisti kuitenkin värisävyyn väriympyrällä aina samana ja värikylläisyys oli kaikista mittauksista korkein mahdollinen hajonta mukaan lukien. Keskiharmaa tausta, etenkin jos käyttää NCS:n omaa värinäytettä, voi olla hyvä, koska se toisti kaikki mittaukset ilman hajontaa samanlaisina. Silti mittariin palautuva valon tulisi olla mahdollisimman muuttumaton taustan suhteen.

4.2 Mittaus

Läpikuultavuus on joka tapauksessa haaste optiselle mittarille, ja taustan ensisijainen tehtävä on estää luonnon valon pääsy lehden läpi mittariin. Vähentääkseni läpikuultavuudesta johtuvaa virhettä valittiin pinota useampi toisiaan vastaava hyväkuntoinen lehti päällekkäin. Tällöin mittariin palautuu vain lehtien solukossa värittyynyttä valoa.

Testeissä ilmeni että NCS-standardivä-



Kuva 17. Yksittäinen tuomen lehti kuultaa läpi vertailuväritestissä.

rikarttaan verrattuna kaksi pinottua lehteä antoi pääsääntöisesti 10% tummeman lukeman. Kolme pinottua lehteä antoivat pääsääntöisesti saman kuin kaksi pinottua lehteä, eli kaksi lehteä hajottivat kokemuksen perusteella yhdessä niin paljon valoa ettei sitä heijastunut merkittävästi taustan kautta mittariin.

Lehtilavan pinnalla määritettiin kuusi mittauspistettä symmetrisesti niin että keskisuonen molemmin puolin oli kolme. Mittarin lukeman luotettavuus tuli ilmi kun mittari palautti toistuvasti saman NCS-standardivärin erikohdista otetuista mittauk-



Kuva 18. Mittausvälineet käytössä.

sista. Kolmen päällekkäisen tuomen lehden tulos oli S 5040 G40Y (kuvaaja 2, 4). Jos mittari olisi antanut puolet mittaustuloksista esimerkiksi 10% tummuuseroilla verrattuna toiseen puoleen mittauksista, saattoi olettaa että tummuusarvo on näiden tulosten välistä.

4.3 Mittaustuloksen tarkistus

Optisen mittarin antaman standardiväriarvon vahvistamiseksi lehtiä verrattiin standardivärivihukan vastaavaan värinäytteeseen.

Tuomen lehdet ovat sen verran läpikuultavia erityisesti mittaajankohdista, joka oli keväällä, että värivihukan tekstit olivat lähes luettavissa lehden läpi. Tämän vuoksi lehdet pinottiin myös värivihukan vertailua varten.

Lehtiä mitattiin NCS-järjestelmän parametrien, eli tummuuden kylläisyyden ja värisävyn suhteen (kuvaaja 2). Värisävyssä vertailuun otettiin 10% vihreämpi vihreä keltainen sektorilta 10 % vihreämpi ja keltaisempi vertailunäyte, eli G30Y ja G50Y. Vihreämpää taustaa vasten lehti näytti keltaisemmalta ja keltaisempää taustaa vasten puo-

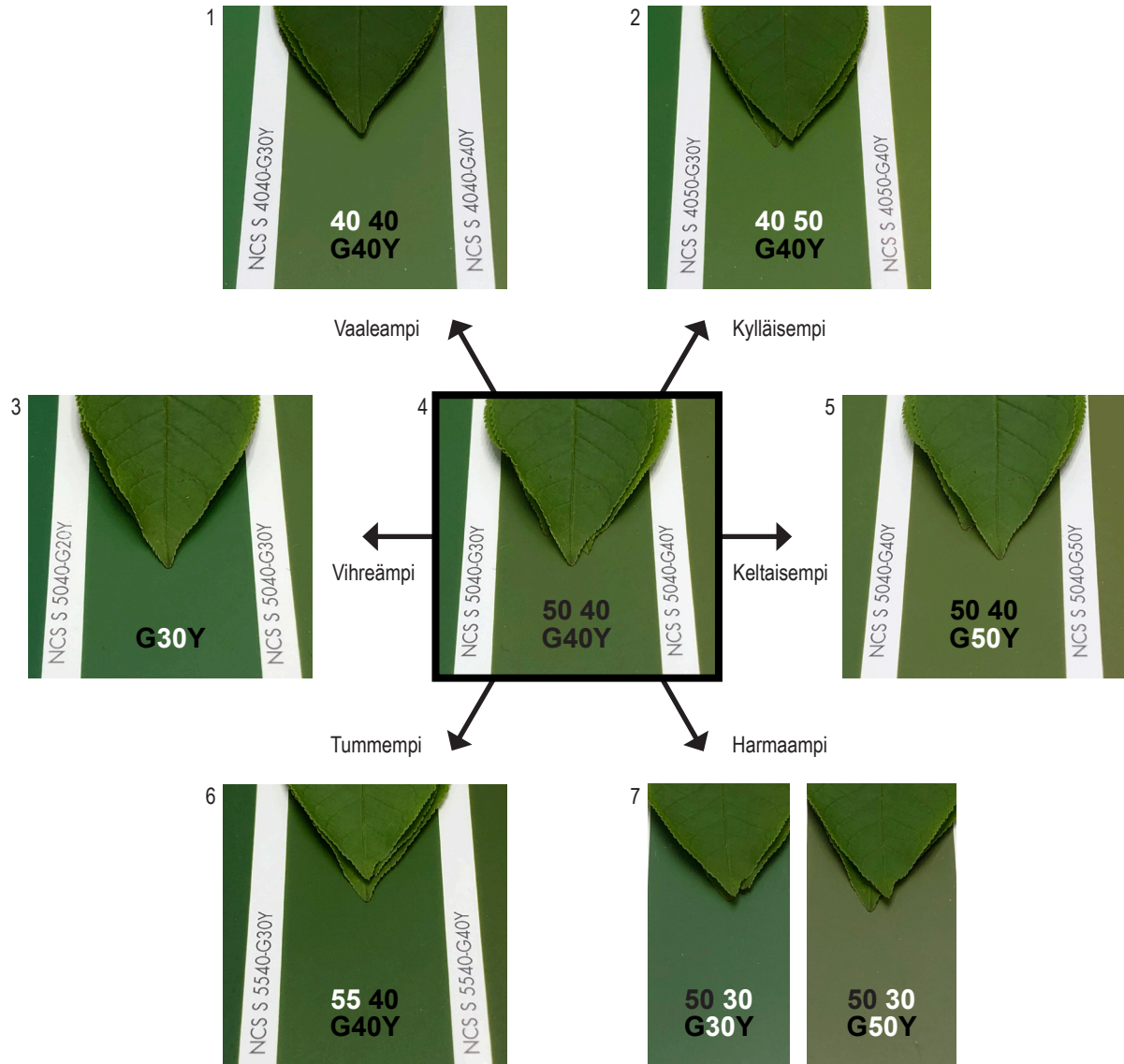


Kuva 19. NCS Colourpin SE -värimittari ja Colourpin (v. 8.3.15) -sovellus, jolla mittaria ohjataan.



lestaan vihreämmältä, mikä kertoo siitä että mittarin antama G40Y on lähellä todellista värisävyä (kuvaaja 2, 3 ja 5). Tummuudessa standardivärikartasta löytyy muiden parametrien pysyessä samana 5% tummempi ja 10% vaaleampi vertailuväri. Kuten värisävyyn kohdalla, 5% tummemmalla pohjalla lehdet näyttiväät vaaleammilta kuin vertailuväri, ja vaalealla pohjalla tummemmalta kertoen siitä että tummuusaste on lähellä todellista (kuvaaja 2, 1 ja 6). Värikylläisyyden visuaalinen erottaminen oli haastavampaa osin siksi että standardiväreistä ei löydy vertailuväriä, jossa joku muu parametri ei muuttuisi myös

kylläisyyden kasvaessa tai vähetessä. Tuomen lehden kylläisyyttä, 40%, kylläisempi standardiväri on samalla 10% vaaleampi ja värikylläisyys on vaikeasti arvioitavissa (kuvaaja 2, 2). Kylläisyyden harmaampi vivahte, 30%, löytyi värisävyiltä G30Y ja G50Y. Eri värisävyistä huolimatta lehden värikylläisyys on silminnähtävän suurempi kuin vertailuvärien (kuvaaja 2, 7). Tästä voidaan päätellä että mittauksen antama värikylläisyys, 40%, on todenmukainen sillä huomiolla, että värin kylläisyyden on mahdollista kasvaa NCS-väriavaruuden puitteissa, jos myös tummuusaste vaalenee samalla.



Kuvaaja 2. Tuomen lehtien vertailu standardivärikartan vastaavaan värinäytteeseen optisen mittauksen perusteella (4) ja mittaustuloksen luotettavuuden testaus NCS-järjestelmän eri parametrien suhteen (1-3 ja 5-7).

5. Tulosten tarkastelu

Tulosten antaman kokemuksen perusteella kaksi päällekkäin asetettua, tai yksi kaksin kerroin taitettu lehti, antaa muutamilla mittauksilla luotettavasti saman standardiväriarvon, kunhan mitattavat kohdat vastaavat suurinpiirtein toisiaan, eli vältetään keski-suonen kohdalta mittaamista. Taustan käyttö ja mittarin kiinni saaminen näytteeseen on edellytys ettei mittariin vuoda luonnonvaloa. Lehden kutikulan kiilto tulee ottaa huomioon ja tarpeen mukaan tapauskohtaisesti arvioida muuttaako se mittauksen tulosta. Rakennevärit, kuten karvoitus, voi heikentää mittarin tulosten luotettavuutta. Optisen mittarin tuloksen luotettavuuden voi tarkistaa NCS standardivärikartalla. Jos lopullinen väriarvo määritetään värikartan avulla, optisen mittarin lukema johtaa kuitenkin tyypillisesti hyvin lähelle todellista

väriä värikartassa. Mattapintaisten lehtien väri, joiden värisävy ja vivahteet vaikuttavat tasalaatuisilta, on mitattavissa luotettavasti suoraan optisella värimittarilla.

Tuloksista on huomionarvoista se että menetelmä pyrkii mittaamaan lehden ominaisvärin. Lehden rakenteen vuoksi se on kuitenkin yhdistelmä lehden pinnassa tapahtuvia optisia ilmiöitä ja lehden sisällä tapahtuvaa valon sirontaa ja absorptiota. Lehden ylä- ja alapuoli voivat olla hyvin eri värisiä ja molemmilta puolilta mitatessa osa värin muodostumisesta on peräisin lehden sisällä tapahtuvista tekijöistä. Lehteen kiinni painettu mittari saattaa siis vaikuttaa värin tulkitsemiseen ja korostaa lehden sisäistä komponenttia värin muodostumisessa eri tavalla kuin miten ihmisen silmä sen näkee.

Ominaisvärin käytettävyydestä jäi tut-

kielman ulkopuolelle testaamatta. Kun lehden NCS-värikoodi tunnetaan, sen perusteella voidaan sekoittaa esimerkiksi maali, jonka tulisi vastata lehden sävyä. Kiinteässä pinnassa ei ole myöskään niitä optisia ilmiöitä ja pintarakennetta, jotka vaikuttavat havaintoon kasvin väristä. Myös kokonaisen lehvästön muodostama maisemallinen tekstuuri valo-varjo -ilmiöineen puuttuu, joten kokemus maalatusta pinnasta alkuperäisen kasvin rinnalla on hyvin eri. Myös värialueen koko, muoto, pinnan yhtenäisyys ja laajuus sekä simultaanikontrasti ym. havaintoon liittyvät tekijät vaikuttavat siihen miten koemme värejä.

Tutkielma käsitteli kasvien värejä värihallinnan näkökulmasta. Värihallinnan avulla on mahdollista tutkia kasvien muodostamaa väriavaruutta ja löytää yhdenmukaisia

tai komplementaarisia värejä. Värejä voi poimia kasveista arkkitehtuuriin sellaisenaan tai käyttää kasveista löydettyjä tummuus- ja kylläisyysarvoja ympäristön kanssa harmonisen suunnitelman aikaansaamiseksi. Maisema-arkkitehtuurissa erityisesti maalattavat rakenteet ja pinnat luovat mahdollisuuksia värien käyttöön. Esimerkiksi maisemallisesti suunnitelmaa häiritsevät elementit, jotka ovat kuitenkin toteutuksen kannalta välttämättömiä, kuten korkeat metalliaidat, on mahdollista häivyttää hyvällä värisuunnittelulla.

Värien mittaus kasveista on mahdollista NCS-järjestelmän työvälineiden avulla. Värien muuntelun vuoksi mentelmää tulee jatkossa testata ja kehittää.

6. Kiitokset

Kiitän vanhempaa yliopistonlehtoria Harald Arnkilia kirjallisuuden ja NCS-standardiväriuhkan lainaamisesta tutkielman tekoon ja avusta tutkielman rajaamisessa, sekä maisema-arkkitehti, TaM Saara Pyykköä ideoiden jakamisesta ja tuesta kiinnostustani värihallittua suunnittelua kohtaan.

7. Viitteet

- Arnkil H., Fridell Anter K. ja Klarén U. 2012. Colour and Light, Concepts and confusions. *Art + Design + Architecture* 5/2012, s. 110.
- Arnkil H. 2011. Värit havaintojen maailmassa. Taideteollisen korkeakoulun julkaisuja B 85, s. 288.
- Berit Bergström, 2008. Colour Choices. *Forskningsrådet Formas*, s. 57.
- Lancaster M. 1984. Britain in view, Colour and the landscape. Quiller Press, s. 128.
- Munsell. 2019. Munsell Plant Tissue Color Charts. Luettu: 16. 4. 2019. <https://munsell.com/color-products/color-communications-products/environmental-color-communication/munsell-plant-tissue-color-charts/>
- NCS. 2019. How the NCS system works. Luettu: 12. 4. 2019. <https://ncscolor.com/about-us/how-the-ncs-system-works>.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. Sinauer Associates 3rd ed, s. 690.
- Yeats, T.H. ja Rose, J.K.C. 2013. The Formation and Function of Plant Cuticles. *Plant Physiol* 163(1): 5–20.
- Vigneron, J.P., Rassart, M., Vértesy, Z., Krisztián Kertész, K., Michaël Sarrazin, M., László P. Biró, L.P., Damien Ertz, D. ja Lousse, V. 2005. Optical structure and function of the white filamentary hair covering the edelweiss bracts. *Physical review E* 71, 011906.
- Glover, B. J. ja Whitney, H. M., 2010. Structural colour and iridescence in plants: the poorly studied relations of pigment colour. *Annals of Botany* 105: 505–511, 2010
- Vignolini, S., Gregory, T., Kollé, M., Lethbridge, A., Moyroud, E., Steiner, U., Glover, B.J., Vukusic, P., Rudall, P.J. 2016. Structural colour from helicoidal cell-wall architecture in fruits of *Margaritaria nobilis*. *J. R. Soc. Interface* 13: 20160645.
- Vogelmann, T. C., Bornman, J. F. and Yates, D. J. (1996). Focusing of light by leaf epidermal cells. *Physiologia Plantarum*, 98: 43-56.

Kuvalähteet

- 2, 3, s. 8 Adobe Stock Photo
- 1, 4, 15-19, s. 20 Ahti Launis
- 5-6 IRRI. 2019. Leaf Color Chart. Ladattu: 7. 5. 2019. (<http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/growth/soil-fertility/leaf-color-chart>)
- 7 Munsell. 2019. Saving Coastal Banksia from Invasive Coastal Tea Trees. Kuvaaja: Danielle Cor reia. Ladattu 7. 5. 2019 (<https://munsell.com/color-blog/coastal-banksia-invasive-tea-trees-wil-sons-prom/>)
- 9 Taiz, L., Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates, 3. painos, s. 114.
- 10 Taiz, L., Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates, 3. painos, s. 113.
- 11 Kuvaaja: Olli Salmela, 2011. CC BY-SA 3.0. Ladattu 15. 5. 2019 (https://fi.wikipedia.org/wiki/Puna_koivu#/media/File:B._pubescens_f._rubra.jpg)
- 12 Yeats, T.H. ja Rose, J.K.C. 2013. The Formation and Function of Plant Cuticles. Plant Physiol 163(1): 5–20.
- 13 Vigneron, J.P., Rassart, M., Vértesy, Z., Krisztián Kertész, K., Michaël Sarrazin, M., László P. Biró, L.P., Damien Ertz, D. ja Lousse, V. 2005. Optical structure and function of the white filamentary hair covering the edelweiss bracts. Physical review E 71, 011906.
- 14 NCS. 2019. How the NCS system works. Luettu: 12. 4. 2019. <https://ncscolour.com/about-us/how-the-ncs-system-works>

