

Kvalitatiivinen värianalyysi kasvivärjäyksestä

Pinja Lindholm, Saara Salminen & Veera Uusi-Äijö

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian osasto,
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä: Kasvivärjäys on mielenkiintoinen konteksti kestävän kehityksen opetukseen kemiassa. Tekstiilivärjäykseen soveltuvista kasveista ja niiden tuottamista väreistä ei löydy tarpeeksi helposti tietoa. Löytyvät tiedot ovat myös osittain ristiriidassa keskenään. Tarvitaan lisää kokeellista tutkimustietoa eri kasvien tuottamista väreistä tekstiileihin. Tässä tutkimuksessa tutkittiin yhdeksän kasvin kasvivärjäyksessä tuottamia värejä ja niiden kemialla. Tutkittavia kasveja olivat kahvi, pinaatti, avokado, mustikka, punaherukka, munakoiso, punakaali, kurkuma ja punajuuri. Tutkittavissa kasveissa oli väriaineita antosyaaneista, karotenoideista, flavonoideista ja antrakinoneista. Tuloksiksi saatiin kahville ruskea, kurkumalle keltainen, munakoisolle vaaleansininen, mustikalle tummapurppura, pinaatille vaaleanvihreä, punaherukalle ruusunpunainen, punajuurelle vaaleanruskea, punakaalille indigonsininen. Avokadosta ei saatu väriä. Kahvi ja kurkuma vastasivat hyvin aiempaa tietoa. Teoriaan verrattuna mustikasta, punakaalista ja pinaatista saatiin sävyero. Väriero teoriaan nähden tuli avokadosta ja punajuuresta. Munakoison ja punaherukan tuottamasta väristä ei löytynyt selkeää ennakkotietoa. Monet olosuhteet vaikuttavat väritulokseen, minkä takia tämänkin tutkimuksen tulokset eroavat ennakkotiedosta. Kasvivärjäys vaatii lisää tutkimustietoa olosuhteiden, kuten pH:n, lämpötilan, tekstiilin, liuottimen ja puretusaineen vaikutuksesta syntyvään väriin.

Avainsanat: kasvivärjäys, väripigmentit, kestävä kehitys, kemian opetus

Yhteystiedot: pinjalindholm@outlook.com, saara.k.salminen@helsinki.fi, veera.uusi-aijo@helsinki.fi

1 Johdanto

Luonnonvärejä esimerkiksi kasvivärejä käytettiin 1850-luvulle asti ainoana keinona värjätä tekstiilejä (Sequin-Frey, 1981), kunnes synteettiset väriaineet keksittiin vuonna 1856 (Bhute & Prabhu, 2012). Vaikka synteettiset väriaineet ovatkin syrjäyttäneet kasvivärien suosion, luonnonväriaineet ovat kiinnostavia kestävän kehityksen näkökulmasta, kun pyritään vähentämään ympäristön kuormitusta (Räisänen, Primetta & Niinimäki, 2015). Lisäksi tutkijoita kiinnostaa kasvivärien hyödylliset ominaisuudet esimerkiksi ultraviolettisäteilyltä suojautumiseen (Räisänen et al., 2015).

Kasvivärjäys sopii kestävän kehityksen ja orgaanisten aineiden opetukseen. Tämä tutkimus tulee antamaan lisätietoa opettajalle kasvivärjäystavoista. Näillä tiedoilla opettaja voi edistää kestävän kehityksen taitojen oppimista, elinkaariajattelua sekä



käsitellä orgaanisia yhdisteitä pigmenttien sisältämien funktionaalisia ryhmien kautta. (Opetushallitus, 2014, 2019).

Kasvivärjäyksestä ei löydy helposti luotettavaa tietoa eri kasvien toimivuudesta tekstiiliväreinä. Sen sijaan löytyy useita blogitekstejä ja keskustelualueita, joista voi löytyä lähteestä riippuen useampia eri tuloksia samoille kasveille. Mustikan esimerkiksi väitetään tuottavan tekstiileihin sinisen (Hintsanen, 2011), violetin (Oriveden yhteiskoulu) ja puna-siniseksi (Räisänen et al., 2015).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia, mitä kasveja voidaan käyttää tekstiilien värjäyksessä sekä selvittää, millaista kemiaa näihin kasviväreihin liittyy. Tutkimus on osa Helsingin yliopiston Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssisuoritusta, jossa tehdään oma kemian projekti. Tutkimuksen avulla saadaan laajempaa tutkimustietoa ja käytännön kokemusta kasvivärjäyksestä ja selvitetään, mitä kasveja kannattaa käyttää kasvivärjäyksessä. Kasvivärien kemiallisen taustan selvittäminen on tärkeää, jotta toimivaksi todettuja kasvivärejä voi hyödyntää omassa kemian opetuksessa tulevaisuudessa.

Tavoitteisiin pyritään seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

1. Millaista kemiaa liittyy tekstiilien kasvivärjäykseen?
2. Vastaavatko kvalitatiivisen värianalyysin tulokset teoriaa?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan toisessa luvussa ja toiseen tutkimuskysymykseen vastataan neljännessä luvussa.

2 Kasvivärjäyksen kemia

Teoreettisessa taustassa käsitellään kasvivärjäyksen kemiaa. Ensin käsitellään puretusaineiden kemiaa eli, mikä merkitys puretuksella ja siinä käytettävillä puretusaineilla on. Sen jälkeen käydään läpi kasveja ja niiden sisältämien väriaineiden merkitystä kasvivärjäykselle rakenteen ja ominaisuuksien kautta. Tarkemmin esitellään yhdeksää eri kasvia ja niiden sisältämiä väriaineita. Lopuksi otetaan selvää, miten erilaiset olosuhteet, kuten pH ja lämpötila vaikuttavat kasvivärjäyksen tuloksiin.

2.1 Puretusaineiden kemia kasvivärjäyksessä

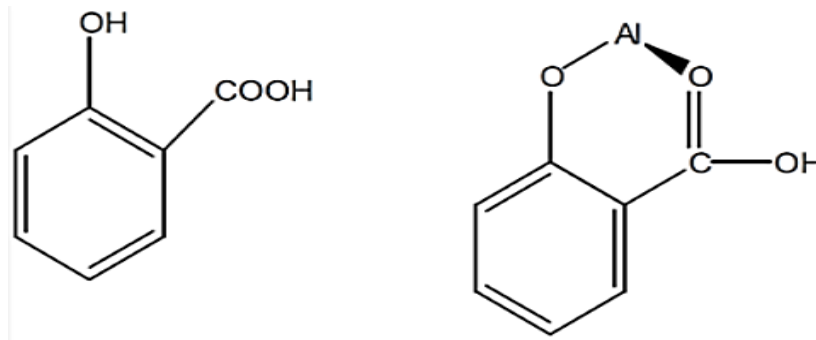
Kasvuvärjäyksessä kestävien ja voimakkaiden värien aikaansaaminen vaatii usein oikeanlaiset värjäykseen sopivat kuidut sekä tietynlaisen värjäysprosessin. Värjäyksen lopputulokseen vaikuttavat värjättävä materiaali ja väriaine sekä värjäysprosessissa käytettävät kemikaalit (Riihelä, 2021). Väriaineiden kiinnittämistä varten kankaat joudutaan usein purettamaan. Tämä tarkoittaa värjättävän kuidun käsittelyä erilaisilla puretusaineilla. Yleisin puretusaine on kalialuna $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Muita käytettäviä puretusaineita ovat muut ovat alumiinisulfaatit, eräät metallisuolat kuten rauta- ja kuparisulfaatit sekä merisuolat, etikka ja sitruunahappo. Jotkin värjäykseen sopivat kasvit omaavat myös luonnostaan puretusaineita kuten oksaalihappoa. Eri puretusaineet voivat vaikuttaa saatavaan väriin tai värisävyyn. (Kylmälahti, 2014; Mozaffari, 2018)

Tässä tutkimuksessa käytettiin puretusaineena kalialunaa ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Alunat ovat metallien kaksoissulfaatteja. Erilaisia alunoita on käytetty laajasti eri puolilla maailmaa. Useimmiten käytössä olevat alunat ovat alumiininjohdannaisia kuten kalialuna ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) ammoniumalunaa ($\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), vesipitoista aluminiumsulfaattikivennäistä ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) ja alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Alunan on todettu kirkastavan saatua väriä vaikuttamatta kuitenkaan sen suuremmin lopputuloksena saatuun värisävyyn. (Kylmälahti, 2014)

Puretusta voidaan suorittaa kolmella eri tavalla: esi-, samanaikais- tai jälkipuretukseen. Esi- ja jälkipuretukseen kangas käsitellään erillisessä puretusliuoksessa ilman väriliuosta, kun taas samanaikaispuretuksessa puretusaine lisätään väriliemeen. Esipuretukseen puretus suoritetaan ennen värjäystä ja vastapuretettut kankaat laitetaan väriliuokseen. Eri puretustavoilla on omat hyötynsä ja haittansa. Samanaikaispuretus vähentää vedenkulutusta ja säästää aikaa, mutta esipuretuksen on todettu olevan tehokkaampaa. Jälkipuretus tehdään edeltävien puretusten lisäksi ja sen avulla voidaan parantaa tai muokata värjäyksessä saatuja sävyjä. (Kylmälahti, 2014)

Tämän tutkimuksen värjäysprosessissa käytettiin kalialunaa puretusaineena, joten seuraavaksi avataan, millaista kemiaa liittyy alumiinipuretusaineiden käyttöön värjäyksessä. Alunoiden alumiini-ionit muodostavat värjäysprosessin aikana kankaan sisälle veteen liukenemattomia väriaineyhdisteitä koordinaatiosidosten avulla (Mozaffari, 2018). Kasvuvärjäyksessä koordinaatiosidosten muodostumisen mahdollistavat pääasiassa väriaineen

molekyylirakenteen kaksinkertaiset hydroksyylioryhmät (Vankar, 2012). Koordinaatiosidosten muodostumista on esitelty rakenteellisesti kuvassa 1.



Kuva 1. Alumiini-ionien koordinaatiosidosten muodostuminen.
Alumiini-ionien koordinaatiosidosten muodostuminen. (Mozaffari, 2018)

Kalialunan ei ole todettu vaikuttavan värjäystulokseen merkittävästi, mutta muiden puretusaineiden kohdalla näin voi tapahtua. Havaittu värin äkillinen muutos johtuu usein metalliatomin liittymisestä väriaineen delokalisoituun elektronijärjestelmään. Syynä on metallien suhteellisen alhaiset energiatasot ovat alhaiset, joten niiden liittäminen siirrettyyn järjestelmään johtaa kokonaisenergian laskuun. Sävyin absorbanssi ja siten värjäyksessä saatu värisävy liittyvät tähän ilmiöön. (Mozaffari, 2018)

2.2 Kasvivärjäyksessä käytettävät kasvit

Luonnossa on runsaasti eri kasveja ja sieniä, jotka soveltuvat kasvivärjäykseen. Lähes kaikista tuoreista kasviksista saadaan värjäysprosessin avulla aikaiseksi keltavihreitä sävyjä. Kasvien värit voivat kuitenkin poiketa paljon esimerkiksi kasvien kukintojen väreistä, joten värjäysprosessin tulokset voivat poiketa runsaasti intuitiivisesta päätelmästä. (Suomen Niittysiemen Oy, 2021)

Kasvien väriaineet syntyvät kasvien aineenvaihdunnan tuloksena (Räisänen et al., 2015). Kasveista saatavat värisävyt vaihtelevat runsaasti erilaista tekijöistä riippuen (Suomen Niittysiemen Oy, 2021). Värisävyt ovat vaihtelevia ja kasvien tuottaman kasvivärin voimakkuuteen ja värisävyyden vaikuttavat mm. kasvin kasvupaikka, kasvupaikan maalaji sekä kasvupaikan ympäristön olosuhteet kuten kosteus ja pH. Samalla kasvilla voidaan siis saada eri sävyjä eri puolella maailmaa. Myös valon ja varjon vaikutukset kasveihin tulee huomioida, sillä esimerkiksi kasvukauden ajankohta vaikuttaa saatavaan kasviväriin ja sen voimakkuuteen, sillä kasvinosien

värit ovat voimakkaimmillaan alkukesällä juuri ennen kukkimista. Joitakin kasveja voidaan kuitenkin käyttää kuivattuina. (Suomen Niittysiemen Oy, 2021)

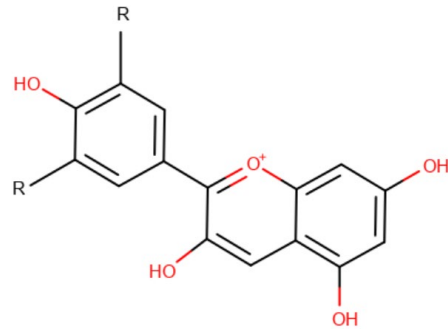
Yksittäisiä väriaineita on paljon, mutta niitä voidaan luokitella ryhmiin kemiallisen rakenteen perusteella. Kemiallinen rakenne määrää, millaista väriä pigmentti tuottaa. Antosyaanit tuottavat sinisen ja punaisen sävyjä, karotenoidit oranssin ja keltaisen, flavonoidit keltaisen ja vihreän, antrakinonit punaisen ja klorofyllit vihreän sävyjä. Kasvivärin kankaaseen muodostamaan väriin vaikuttaa kuitenkin muitakin tekijöitä kuin pigmentin rakenne, joita käsitellään seuraavassa luvussa 2.3. (Räisänen et al., 2015)

Taulukossa 1 on esitetty eräitä kasveja, niiden pääasiallinen väriaine ja niiden tuottama väri tekstiiliin. Kasveista saatavat tekstiilivärit ovat selvitetty eri verkkosivuilta sekä blogiteksteistä ja keskustelualueilta. Useissa kasveissa voi olla väriaineita useammasta kuin yhdestä väriaineryhmästä (Räisänen et al., 2015), joita kaikkia ei ole otettu taulukon listauksessa huomioon. Taulukossa 1 on esitetty eräitä kasveja, niiden pääasiallinen väriaine ja niiden tuottama väri tekstiiliin. Kasveista saatava tekstiiliväri on selvitetty eri verkkosivuilta sekä blogiteksteistä ja keskustelualueilta. Useissa kasveissa voi olla väriaineita useammasta kuin yhdestä väriaineryhmästä (Räisänen et al., 2015), joita kaikkia ei ole otettu taulukon listauksessa huomioon.

Taulukko 1. Kasvien kasvivärjäyksen kannalta oleellinen väriaine ja -ryhmä

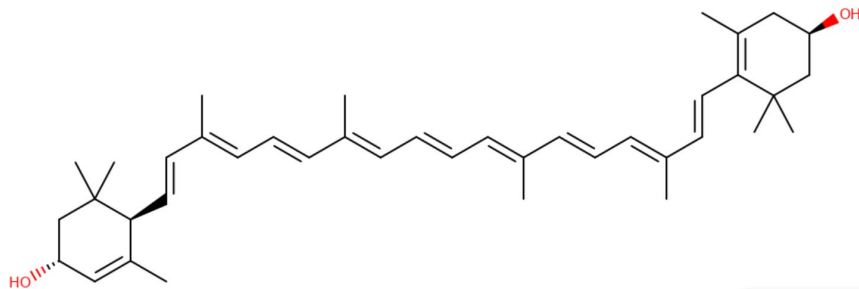
Kasvi	Väriaine ja -ryhmä	Tekstiiliin tarttuva väri
kahvi	antosyaani (Murthy et al., 2012) antrakinoni (Díaz-Galiano et al., 2021)	ruskea (Johanson, 2021)
pinaatti	Luteiini (karotenoidit) (Ogawa et al., 1966)	vihreä (Purity designuspro, 2016)
avokadon kuori	antosyaani (flavonoidi), luteiini (karotenoidit) (klorofyllit) (Ashton et al., 2006)	vaaleanpunainen (Tetri, 2019)
kurkuma	Kurkumiini (karotenoidi) (Räisänen et al., 2015)	keltainen (Pirkka, 2019)
munakoiso	antosyaani (Todaro et al., 2009)	Tietoa ei löytynyt.
mustikka	antosyaani (Syafinar et al., 2015)	sininen (Hintsanen, 2011)
punaherukka	antosyaani (Nour et al., 2011)	Tietoa ei löytynyt.
punajuuri	beetasyaniini (Azeredo et al., 2009)	vaaleanpunainen (Sandström, 2020)
punakaali	antosyaani (Timberlake & Henry, 1986)	violetti (Sandström, 2020)

Antosyaanit liukenevat hyvin veteen, minkä takia toimivat pääosin hyvin kasvivärjäyksessä (Räisänen et al., 2015). Antosyaanien perusrakenne on kuvattu alla (ks. kuva 2). Antosyaaneja on monia ja esimerkiksi sokeriosien määrä vaikuttaa rakenteen kautta ominaisuuksiin, kuten vesiliukoisuuteen (Räisänen et al., 2015).



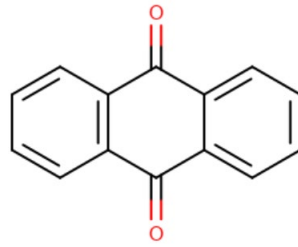
Kuva 2. Antosyaanin perusrakenne. (Schwartz et al., 2008)

Karotenoidit voivat olla joko vesi- tai rasvaliukoisia (Räisänen et al., 2015) ja niitä on löydetty luonnosta 750 (Bechtold & Mussak, 2009). Alla on esitetty esimerkkinä karotenoideihin kuuluvan luteiinin rakenne, jota on esimerkiksi pinaatissa. (ks. kuva 3).



Kuva 3. Karotenoideihin kuuluvan luteiinin rakenne.

Antrakinonit ovat rengasrakenteisia ja niiden rakenne on hyvin pysyvä (Räisänen et al., 2015). Alla on esitetty antrakinonien perusrakenne (ks. kuva 4). Antrakinoneja on monissa mataroissa (Räisänen et al., 2015) ja esimerkiksi kahvissa.



Kuva 4. Antrakinonien perusrakenne.(Schwartz et al., 2008)

2.3 Olosuhteiden vaikutus kasvivärjykseen

Luonnon tuottamien kasvivärien tuottama väri riippuu pH:sta. Aluna on yksi yleisistä puretusaineista, mikä alentaa pH:n noin kolmeen. Useimmiten värjäys suoritetaan happamissa olosuhteissa puretusaineiden takia. (Räisänen et al., 2015) Luonnon tuottamien kasvivärien tuottama väri riippuu pH:sta. Aluna on yksi yleisistä puretusaineista, mikä alentaa pH:n noin kolmeen. Useimmiten värjäys suoritetaan happamissa olosuhteissa puretusaineiden takia. (Räisänen et al., 2015)

Väriaineiden liukoisuuteenkin voidaan vaikuttaa esimerkiksi kuivattamalla kasveja ensin, lämpötilaa nostamalla tai uuttamalla orgaaniseen liuottimeen. Kasvien kuivattaminen muuttaa kasvin soluseinän rakennetta, mikä parantaa pigmentin irtoamista. Lämpötilan kasvattaminen edistää väriaineiden liukenemistä. Kaikki väriaineet eivät liukene kovin hyvin veteen, jolloin liukoisuutta voidaan parantaa orgaanisilla liuottimilla kuten etanoli ja eetteri. (Räisänen et al., 2015)

3 Tutkimus

Projekti koostui kokeellisesta työskentelystä sekä kokeellisessa työskentelyssä käytettyjen kasvien väriaineiden kemiaan perehtymisestä aiemman tutkimustiedon kautta. Tässä luvussa esitetään projektia ohjaavat tutkimuskysymykset sekä tutkimusmenetelmät.

3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimusta ohjasi seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Millaista kemialla liittyy tekstiilien kasvivärjykseen?
2. Vastaavatko kvalitatiivisen värianalyysin tulokset teoriaa?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastattiin aiemman tutkimustiedon perusteella teoreettisessa viitekehyksessä. Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan kokeellisen työskentelyn tulosten pohjalta. Tulokset esitetään laadullisena analyysinä, jossa kuvaillaan, millä kasveilla saatiin värjättyä tekstiilejä.

3.2 Kokeellinen työskentely

Tutkimus suoritettiin analyttisen kemian kvalitatiivista analyysiä soveltaen. Analyttisessä kemiassa analysoidaan ympäristöä ja siinä pyritään tunnistamaan sekä määrittämään aineen kemiallista rakennetta. Kvalitatiivisessa analyysissä tavoitteena on joko selvittää tuntemattoman aineen rakenne tai osoittaa jonkin tietyn aineen esiintyminen tutkittavassa näytteessä, jos tutkittavan aineen rakenne tiedetään. (Chatwal, 2008)

Tässä tutkimuksessa värjättiin puuvillakankaan paloja erilaisten kasvien avulla pitäen eri värien värjäysprosessien olosuhteet ja muuttujat samanlaisina. Värjäykseen valittiin aiemman teorialueen tutkimuksen valossa löydettyt kasvivärit (ks. taulukko 1). Puuvillakangas valittiin sen vuoksi, että käytetyt väri- ja puretusaineet toimivat parhaiten luonnonkuitujen värjämisessä (ks. luku 2.1.).

3.2.1 Värjäamisen vaiheet:

Kangaspalat puhdistettiin ennen puretusta ja värjäystä. Puretus suoritettiin esipuretuksena eli kangaspalat purettiin ennen väriliuoksen lisäämistä, sillä sen teho on todettu parhaimmaksi (ks. luku 2.1.).

Väriliemen valmistus aloitettiin pilkkomalla käytettävät kasvit ja kasvinosat pieniksi paloiksi. Liemen valmistamiseksi 3 dl kasvimateriaalia sekoitettiin 3 dl vettä. Kutakin väriliuosta keitettiin tunnin ajan, jonka jälkeen liuosten annettiin jäähtyä ja liota 30 minuuttia (ks. kuva 5 & 6).

Puretusliuos valmistettiin liuottamalla 2 tl alunaa ½ litraan vettä. Kangaspalat laitettiin puretusliuokseen, ja niitä keitettiin lämpömittarilla tarkkailtuna n. 80-90°C lämpötilassa 40 minuutin ajan (ks. kuva 7). Puretuksen jälkeen kangaspalat huuhdeltiin lämpimällä vedellä ja lisättiin väriliuokseen. Värjäys tapahtui kiehuva väriliuoksessa, jossa kangaspaloja pidettiin tunnin ajan. Tämän jälkeen kangaspalat nostettiin väriliuoksesta ja putsattiin nopeasti lämpimässä vedessä. Lopuksi kangaspaloista poistettiin ylimääräinen vesi puristamalla kangaspaloja muutaman kerran käsipyyhepaperin sisällä ja ripustettiin kuivumaan ilmastavasti. Kangaspaloista otettiin kuvat, joita käytetään tulosten kuvaamisessa.



Kuva 5. Väriliuosten valmistaminen. Kuvassa liuksissa: punajuurri, punakaali ja punaherukka.



Kuva 6. Väriliuosten valmistaminen. Kuvan liuksissa kahvi, avokado, pinaatti ja kurkuma.



Kuva 7. Kankaiden puretus kalialunalla.

4 Tulokset

Kokeellisen työskentelyn pohjalta saadut tulokset kerättiin taulukkoon (ks. taulukko 2). Tulosten analysointi suoritettiin silmämääräisesti havainnoimalla saatuja värituloksia keskittyen niiden sävyihin ja värien voimakkuuksiin. Analyysin perusteella kaikkien muiden kasvien väriliemet tuottivat kankaaseen värin paitsi avokadon kuorien väriliemi. Teorian mukaan avokadon olisi pitänyt värjätä kangas vaaleanpunaiseksi (ks. taulukko 1). Värien voimakkuus myös vaihteli kasveittain (ks. kuva 8).

Kahvin väriliemen avulla saatiin kangas värjättyä ruskeaksi, mikä vastasi teorian pohjalta saatua väriä (ks. taulukko 1). Kurkuma tuotti kankaaseen voimakkaan keltaisen värin. Tämä tuki myös teoriaa. Kankaasta saatiin voimakkaan tummanpurppuraa hyödyntämällä mustikkaa, mikä poikkesi hieman kirjallisuuden sävystä. Kirjallisuuden mukaan mustikka värjäisi kankaan siniseksi. Punakaali värjäsi kankaan indigosiniseksi. Tämäkin hieman poikkesi kirjallisuuden avulla saadusta sävystä, joka oli violetti. Pinaatin väriliemi värjäsi kankaan taas haaleaksi vaaleanvihreäksi. Teorian pohjalta pinaatin väriliemen olisi pitänyt tuottaa vihreä väri kankaaseen, joten pieni sävyero voidaan huomata kokeellisuuden pohjalta saadun tuloksen ja teorian välillä. Punajuurella kankaasta saatiin vaaleanruskeaa, joka oli voimakkuudeltaan haalea. Tämä poikkesi kirjallisuuden väristä, sillä teorian mukaan punajuuren olisi pitänyt värjätä kangas punaiseksi.

Kirjallisuuden pohjalta munakoisolle eikä punaherukalle saatu tekstiiliin tarttuvaa väriä. Oletuksena kuitenkin oli, että kyseisten kasvien väriliemet antaisivat jonkin värin kankaalle. Punaherukka tuottikin vaalean ruusunpunaisen värin kankaaseen. Munakoisolla saatiin kankaasta vaaleansininen, joka oli voimakkuudeltaan haalea.



Kuva 8. Kasviväreillä värjätyt tekstiilipalat.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetyt kasvit ja saadut kankaiden värit.

Kasvi	Väri	Värinäyte
Avokado	Ei värinmuutosta	
Kahvi	Ruskea	
Kurkuma	Keltainen	
Munakoiso	Vaaleansininen	
Mustikka	Tummanpurppura	
Pinaatti	Vaaleanvihreä	
Punaherukka	Ruusunpunainen	
Punajuuri	Vaaleanruskea	
Punakaali	Indigosininen	

5 Pohdinta

Empiirisen tutkimuksen tulokset tukivat teoreettisen tiedonhaun avulla tehtyä ennustetta hyvin. Suurin poikkeavuus teorian avulla tehdystä ennusteesta todettiin avokadolla, sillä löydetyn tutkimustiedon mukaan avokadon olisi pitänyt tuottaa vaaleanpunainen sävy. Tätä ei kuitenkaan kokeellisessa työskentelyssä saatu aikaiseksi, vaan värisävy jäi silmillä havaittuna samanlaiseksi kuin ennen värjäysprosessia. Muut kasvit tuottivat värjäysprosessin aikana verrattain saman värin kuin teorian avulla oli ennustettu.

Mustikan ja punakaalin värjäystulokset poikkesivat hieman kirjallisuudesta värisävyn ollessa mustikan tapauksessa punaisempi ja punakaalin tapauksessa sinisempi. Oletamme tämän johtuneen mustikan ja punakaalin kyvystä toimia indikaattorina. Mustikan ja punakaalin värjäystulos voi ensimmäisen pesun aikana muuttua hieman riippuen käytetystä pesuaineesta. Meidän värjäysprosessimme lopuksi kangaspalat pestiin nopeasti vedellä ilman pesuaineita, mikä saattaa vaikuttaa poikkeamaan.

Pinaatti poikkesi kirjallisuudesta tummuutensa vuoksi, sillä vaaleanvihreän sijaan värin olisi pitänyt olla vihreä. Tämä väriero johtunee kasviaineen vähäisyydestä ja olisi helposti korjattavissa lisäämällä pinaatin määrää väriliemen teossa.

Punajuurin väri oli ennustettua ruskeampi, mutta väriliemen teon alkuvaiheessa väriliemi oli punaisempi ja muuttui ruskeaksi vasta loppuvaiheessa. Väriliemen teossa saatoimme kypsentää punajuurta liian pitkään, mikä mahdollisesti vaikutti väriin.

Punaherukalle ja munakoisolle ei löytynyt värjäystulosta kirjallisuudesta, mutta molemmissa on kirjallisuuden mukaan antosyaania (ks. taulukko 1), jotka tuottavat sinisen ja punaisen sävyjä. (Räisänen et al., 2015) Tämä tukee tuloksiamme, sillä munakoisosta tuli vaaleansininen ja punaherukasta ruusunpunainen.

Edeltävien tutkimusten avulla tiedettiin, että kasveina suositellaan käyttämään kuivatettuja kasveja, koska kuivauksen aikana kasvisolun seinämä hajoaa, mikä parantaa väripigmentin liukenemistä kasvista liuokseen (Räisänen et al., 2015). Kasvivärjäysprosessissamme avokadon kuoret olivat kuivatettuja, mutta muista kasveista ei ollut saatavilla kuivatettuja osia tutkimuksen tekohetkellä, vaan väriliemiin käytettiin tuoreita tai pakastettuja kasveja. Tästä huolimatta muiden kasvien värit onnistuivat avokadoa paremmin, mutta tuloksia arvioidessa täytyy ottaa huomioon värjäysprosessin kompleksisuus. Kasvivärjäykseen vaikuttaa kuitenkin monia tekijöitä kuten eri kasvilajikkeet, kasvupaikka ja -aika sekä keräämistapa

(Räisänen et al., 2015), joten ilman jatkotutkimusta on vaikeaa sanoa, miksi avokadolla värjääminen ei onnistunut.

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa erinäiset seikat, joita avataan seuraavaksi lisää. Tutkimuksessa kankaiden värit havainnoitiin silmin. Tämä vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen, sillä värisävyjen hahmotus lienee tutkijariippuvaista, joten kokeen ollessa toistettava voivat tulokset olla analyysistä johtuen erilaiset. Värit voitaisiin määrittää analyttisesti esimerkiksi etsimällä teoriaosuudessa löydettyjä pigmenttejä erilaisilla laitteistoilla tai muilla analyttisillä menetelmillä. Luotettavuutta vähentää myös tutkimuksen kertaluontoinen suoritus, ja kokeellinen tutkimus olisikin hyvä toistaa useamman kerran jatkotutkimuksia ajatellen. Tämän lisäksi toistettavuuteen ja siten luotettavuuteen vaikuttavat myös tietyt kokeellisuuden aikana tekemämme yksinkertaistukset ja niiden pohjalta tekemämme ratkaisut. Väriliemen lämpötilaa ei mitattu keittoaikana, vaan tehtiin oletus, että veden lämpötila on kiehuessaan likimain 100 astetta kaikissa dekanterilaseissa. Näiden lisäksi pH:n oletettiin olevan samankaltainen kaikissa värjäyksissä, sillä käytetyt kasvit ovat luonnostaan happamia ja näin ollen värjäyksen oletettiin tapahtuneen lievästi happamissa olosuhteissa. Kokeellisen työskentelyn aikana käytettiin samaa ohjetta kaikissa värjäysprosesseissa, minkä ansioista kokeellisuuden toistaminen onnistuu muilta tutkijoilta hyvin ohjetta seuraamalla.

Opetuksessa kasvivärjäystä voidaan hyödyntää kestävän kehityksen ja orgaanisten aineiden tutkimuksen kautta (Opetushallitus, 2014, 2019). Tutkimuksen tiedoilla opettaja on mahdollista tuoda esiin kestävää kehitystä ja elinkaariajattelua, sillä kasvivärjäykseen sopii usein myös esimerkiksi kasvien kuoret ja perkausjätteet. Kasvivärjäyksen aikana voidaan myös käsitellä orgaanisia yhdisteitä ja tutkia pigmenttien sisältämiä funktionaalisia ryhmiä. Kasvivärjäykseen liittyvän kemian käsittely voi auttaa oppijaa havaitsemaan yhteyksiä oman arjen ja kemian tietämyksen tarpeellisuuden välillä. Opetuksessa kasvivärjäys sopii myös laajempiin kokonaisuuksiin ja esimerkiksi eri aineenopettajien tiimiopettamiseen.

6 Johtopäätökset

Kasvivärjäystä avaava tutkimuksemme antaa monipuolisesti tietoa kasvivärjäysprosessiin liittyvästä kemiasta sekä siitä, mitä kasveja kannattaa käyttää kasvivärjäyksessä. Kemian opettajat voivat esimerkiksi hyödyntää tutkimuksen tuloksia suunnitellessaan kasvivärjäystä omaan kemian opetukseen.

Tässä tutkimuksessa olosuhteet esimerkiksi pH, lämpötila ja aika pidettiin vakioina. Tutkimusta voisi jatkaa tutkimalla, miten olosuhteiden muutos vaikuttaa eri kasvien värjäystulokseen. Tällöin muut tekijät pidetään vakiona, mutta yhtä olosuhdetta muutetaan. Esimerkiksi pH:n vaikutus indikaattoreina toimivien kasvivärien värjäystulokseen tulee huomioida tutkimusta suunniteltaessa ja näiden värien muutosta voitaisiin tutkia esimerkiksi tutkimalla punakaalin tai mustikan värjäystuloksia eri pH-arvoissa. Liottimen vaikutuksen tutkimisesta oli hyötyä opettajille, jotta opetukseen saadaan helposti valittua oikea liuotin kasvivärjäyksen onnistumiseksi mahdollisimman hyvin.

Opetuksen kannalta olisi hyödyllistä tutkia myös kasvivärjäyksessä käytettävien lähtöaineiden ominaisuuksien muutoksia värjäystulokseen. Mielenkiintoista olisi esimerkiksi tietää, miten kasvien kuivatus vaikuttaa värjäystulokseen, koska tällä on vaikutusta, mitä kasveja voi nopealla aikataululla käyttää esimerkiksi kemian opetuksessa. Opetusta varten olisi myös hyödyllistä saada lisää tietämystä eri kangaslaatuojen kuitujen vaikutuksista värjäystulokseen. Näin saisi tietoa, voisiko käyttää esimerkiksi koululta tai kotoa löytyviä ylimääräisiä kankaita vai pitääkö hankkia erikseen tiettyjä kangaslaatuja.

Kiitokset

Kirjoittajat kiittävät Tutkiva ja eheyttävä kemian opetus -kurssin ohjaajia Johannes Pernaata ja Outi Haataista Helsingin yliopistosta. Kiitokset myös Kemianluokka Gadolinille tutkimustilojen tarjoamisesta.

Lähteet

- Ashton, O. B. O., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P., & Woolf, A. B. (2006). Pigments in Avocado Tissue and Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(26), 10151–10158. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>
- Azeredo, H. M. C. D., Pereira, A. C., Souza, A. C. R. D., Gouveia, S. T., & Mendes, K. C. B. (2009). Study on efficiency of betacyanin extraction from red beetroots. *International Journal of Food Science & Technology*, *44*(12), 2464–2469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02037.x>
- Bechtold, T., & Mussak, R. (2009). *Handbook of Natural Colorants*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Bhute, A., & Prabhu, K. H. (2012). Plant based dyes and mordant: A Review. *Journal of Natural Products and Plant Resources*.
- Chatwal, G. R. (2008). *Analytical chemistry* (1. painos). Himalaya PubHouse.
- Díaz-Galiano, F. J., Murcia-Morales, M., Gómez-Ramos, M. del M., Ferrer, C., & Fernández-Alba, A. R. (2021). Presence of anthraquinone in coffee and tea samples. An improved methodology based on mass spectrometry and a pilot monitoring programme. *Analytical Methods*, *13*(1), 99–109. <https://doi.org/10.1039/DoAY01962C>
- Hintsanen, P. (2011, November 4). . . . coloria: Siniset värjäysaineet. *Colorian Blogi*. <http://coloria.blogspot.com/2011/11/siniset-varjaysaineet.html>
- Johanson, M., Pinterest, Twitter, & Website. (2021). *How to Naturally Dye Fabric with Coffee*. The Spruce Crafts. <https://www.thesprucecrafts.com/how-to-dye-clothes-with-coffee-1106372>
- Kylmälahti, L. (2014). *Selluloosakuitujen painovärjäys luonnonväreillä: Puretus- ja apuaineiden vaikutus verihellettaseitillä ja sipulilla painettujen kankaiden värinkeston* [Pro Gradu, Helsingin yliopisto]. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/42777>
- Mozaffari, E. (2018). Alum Mineral and the Importance for Textile Dyeing. *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, *3*. <https://doi.org/10.19080/CTFTE.2018.03.555619>
- Murthy, P., Manjunatha, M., Sulochannama, G., & Naidu, M. (2012). *Extraction, Characterization and Bioactivity of Coffee Anthocyanins*. *4*.
- Nour, V., Trandafir, I., & Ionica, M. E. (2011). Ascorbic acid, anthocyanins, organic acids and mineral content of some black and red currant cultivars. *Fruits*, *66*(5), 353–362. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011049>
- Ogawa, T., Obata, F., & Shibata, K. (1966). Two pigment proteins in spinach chloroplasts. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biophysics Including Photosynthesis*, *112*(2), 223–234. [https://doi.org/10.1016/0926-6585\(66\)90323-2](https://doi.org/10.1016/0926-6585(66)90323-2)
- Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. Opetushallitus. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf
- Opetushallitus. (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. Opetushallitus.
- Oriveden yhteiskoulu. (n.d.). *Kasvivärjäys*. Retrieved 19 April 2021, from <https://peda.net/orivesi/perusopetus/yhteiskoulu/oppiaineet/kemia/annevaljakka/8aksjh/kasviv%C3%A4rj%C3%A4ys>
- Pirkka. (2019). *Vaatteiden värjäys*. Pirkka. <https://www.pirkka.fi/niksi/vaatteiden-varjays>
- Purity designuspro, C. (2016). *Kuinka värjätä kangasta kotona—Väriainetyypit ja värjäysohjeet*. <https://purity.designuspro.com/fi/sovety/kak-pokrasit-tkan-v-domashnix-usloviyax.html>

- Räisänen, R., Primetta, A., & Niinimäki, K. (2015). *Luonnonväriaineet*. Maahenki.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/316980>
- Riihelä, L. (2021, March 14). *PURETUS*. Riihivilla, Dyeing with Natural Dyes.
<http://riihivilla.blogspot.com/p/puretu.html>
- Sandström, H. (2020, August 19). *Kahvia, kurkumaa ja punajuurta – näin onnistuu kankaan värjäys kotikeittiöstä löytyvillä kasviväreillä*.
<https://www.meillakotona.fi/artikkelit/kaunista-kotiasi-kukkatapetilla>
- Schwartz, S. J., Von Elbe, J. H., & Giusti, M. M. (2008). Colorants. In *Fennema's Food Chemistry 4th edition*. (pp. 571–639). CRC Press. Taylor & Francis Group.
https://www.academia.edu/8361211/Fennemas_Food_Chemistry_4th_edition_pdf
- Sequin-Frey, M. (1981). The chemistry of plant and animal dyes. *Journal of Chemical Education*, 58(4), 301-. <https://doi.org/10.1021/ed058p301>
- Syafinar, R., Gomesh, N., Irwanto, M., Fareq, M., & Irwan, Y. M. (2015). Potential of Purple Cabbage, Coffee, Blueberry and Turmeric as Nature Based Dyes for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Energy Procedia*, 79, 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.569>
- Tetri, A.-K. (2019). Avokadovärjäys. *Tetri Design*. <https://tetridesign.com/avokadovarjays/>
- Timberlake, C. F., & Henry, B. S. (1986). Plant pigments as natural food colours. *Endeavour (New Series)*, 10(1), 31–36. [https://doi.org/10.1016/0160-9327\(86\)90048-7](https://doi.org/10.1016/0160-9327(86)90048-7)
- Todaro, A., Cimino, F., Rapisarda, P., Catalano, A. E., Barbagallo, R. N., & Spagna, G. (2009). Recovery of anthocyanins from eggplant peel. *Food Chemistry*, 114(2), 434–439.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.102>
- Vankar, P. S. (2012). Chemistry of natural dyes. *Resonance*, 5, 73–80.
<https://doi.org/10.1007/BF02836844>