



# Esiselvitys pakkausten painamisesta bioväreillä

Riko Koivumäki

OPINNÄYTETYÖ  
Lokakuu 2024

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

KOIVUMÄKI, RIKO:  
Esiselvitys pakkausten painamisesta bioväreillä

Opinnäytetyö 40 sivua  
Lokakuu 2024

---

Opinnäytetyössä tutkittiin väriaineita käyden läpi eri painoväriyypit, synteettiset väriaineet ja luonnonvärit. Luonnonvärejä tarkasteltaessa painotettiin luonnonväriaineiden lähteitä. Työssä käytiin myös läpi painomenetelmät, käsiteltiin väriaineiden ja painomenetelmien vaikutuksia ympäristöön sekä pohdittiin alan tulevaisuuden näkymiä. Työ tehtiin kirjallisuusselvityksen muodossa.

Liutinpohjaisista painoväreistä haihtuvat orgaaniset VOC-yhdisteet (volatile organic compound) nähdään yhä suurempana ympäristöongelmana niiden otsonikerrosta, luontoa sekä ihmisen terveyttä vahingoittavien ominaisuuksien takia. Vesipohjaisia painovärejä pidetään turvallisena vaihtoehtona liutinpohjaisille väreille, mutta niiden energiankulutus painovärejä kuivatettaessa kasvattaa painoprosessin hiilijalanjälkeä. Synteettisiä väriaineita pyritään korvaamaan kasvi- ja eläinperäisillä luonnonväreillä samalla kun painomenetelmien energiatehokkuutta ja VOC-yhdisteiden varastointi-, hävitys- ja uudelleenkäyttösovelluksia kehitetään.

Tutkimuksen perusteella selvisi, että painomenetelmien ekologisuus riippuu merkittävästi niiden soveltuvuudesta painettaville materiaaleille ja volyymeille, sillä painoprosessien suurimmat ympäristövaikutukset tulevat prosessien energiankulutuksen kautta. Luonnonvärien valmistukseen löydetään jatkuvasti uusia lähteitä, jotka sisältävät perinteisten lähteiden ja pieneliöiden lisäksi teollisuuden sivuvirtoja. Jatkotutkimusta vaaditaan, sillä luonnonpigmenttien laatuominaisuudet eivät ole vielä ylittäneet synteettisten pigmenttien tasolle, eikä niiden tuotantoa ole saatu skaalattua teolliseen mittakaavaan. Yhdessä EuPIA:n (European Printing Ink Association) toteuttaman painovärien valvonnan kanssa uusi kehitys mahdollistaa ekologisempien ja turvallisempien painovärien luokittelun, kehittämisen ja hyödyntämisen. Painovärien elinkaaren vaikutukset ympäristöön on arvioitava niiden tuotannosta loppukäsittelyyn, eikä hiilijalanjäljen minimoiminen ole helppo tehtävä samalla, kun tuotteiden laatuominaisuudet pyritään pitämään hyväksyttävän korkealla.

---

Asiasanat: väriaine, painomenetelmä, ympäristö, VOC-yhdisteet, teollisuus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Bioproduct Engineering

KOIVUMÄKI, RIKO:  
Preliminary Review of Printing Packages with Bio Colors

Bachelor's thesis 40 pages  
October 2024

---

The objective of this thesis was to study printing inks, synthetic colorants and natural colorants from a multitude of viewpoints in the form of a literature review. When examining natural colorants, studies of their sources were emphasized. The thesis also reviewed printing methods, discussing their effects on the environment and considering future perspectives of the industry.

Volatile organic compounds (VOCs) that evaporate from solvent-based printing inks are increasingly seen as an environmental problem due to their ozone layer and human health harming properties. Water-based inks are considered a safe alternative. This does not come without problems, since energy consumption being higher when drying the water-based carrier increases the carbon footprint of the printing process. The substitution of synthetic dyes with natural alternatives from plant and animal sources, alongside improvements in printing energy efficiency and VOC lifecycle management, constitutes a green approach.

This research established that the ecological considerations of printing methods are heavily dependent on the volumes and materials being printed as the biggest environmental impact of printing processes comes through their energy consumption. New sources, including industrial side streams and microorganisms, are continually being discovered for natural dye production. Further research is still required, since the quality characteristics of natural colorants or the industrial scalability of their production have not yet reached the level of synthetic pigments. Together with the monitoring of printing inks implemented by EuPIA (European Printing Ink Association), the new technology enables the classification, development and utilization of more ecological and safer options. Overall, the carbon footprint of the printing inks is not an easy task to calculate while simultaneously keeping quality characteristics of the products at an acceptable level as the economic impact of printing inks must be evaluated from their production to their disposal.

---

Key words: printing ink, printing method, environment, VOC compounds, industry

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VÄRIAINHEET .....	6
2.1	Painovärit .....	6
2.1.1	Vesipohjaiset painovärit.....	8
2.1.2	Liutinpohjaiset painovärit .....	9
2.1.3	Energia-kovettuvat painovärit .....	10
2.2	Synteettiset pigmentit.....	11
2.3	Luonnonväriaineet.....	12
2.3.1	Luonnonväriaineiden lähteet .....	13
2.3.2	Synteettisen ja luonnollisen väriaineen vertailu .....	17
3	PAINOMENETELMÄT .....	19
3.1	Fleksopainatus .....	19
3.2	Syväpainatus.....	20
3.3	Offsetpainatus .....	21
3.4	Digitaalinen painatus.....	23
3.5	Muut painomenetelmät.....	24
4	KESTÄVYYS .....	26
4.1	Ympäristönäkökulmat.....	26
4.1.1	Painovärien vaikutus luontoon.....	27
4.1.2	Energian kulutus.....	27
4.1.3	Kierrätettävyys.....	28
4.2	Ratkaisuja .....	29
5	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	31
	LÄHTEET.....	33

## 1 JOHDANTO

Väriaineet ovat olleet tärkeä komponentti ihmisen ja materiaalin välistä vuorovaikutusta koko ihmisen historian ajan. Niitä käytetään elintarvikkeissa, tekstiileissä, lääketieteessä, pakkauksissa ja monissa muissa ihmiselämän kannalta tärkeissä käyttötarkoituksissa. Värit vaikuttavat kuluttajien päätöksiin; ne voivat toimia houkutuskeinona ostopäätöstä tehtäessä tai viestiä käyttötarkoituksesta ja materiaalista tuotteen elinkaaren eri vaiheissa.

Yksi väriaineiden yleisimmistä käyttökohteista ovat pakkaukset. Pakkauksen ympäristövaikutukset eivät riipu ainoastaan pakkausmateriaalista, vaan myös pakkauksen ulkoasun muokkaamiseen käytetyistä painoväreistä. Tästä syystä yhä yleisesti käytettyjen synteettisten pigmenttien ympäristö- ja terveysvaikutukset ovat keränneet kansainvälistä huomiota. Luonnollisista lähteistä valmistettujen värien kilpailumahdollisuutta synteettisiä pigmenttejä vastaan on tutkittu yritettäessä löytää kestävämpiä väriainevaihtoehtoja.

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus painomenetelmiin ja niissä käytettäviin väriaineisiin, tavoitteena löytää ajankohtaista tutkimusaineistoa ja vertailla saatavilla olevia vaihtoehtoja. Opinnäytetyö sisältää kolme osaa, joista ensimmäisessä keskitytään väriaineisiin. Väriaineita käsitellessä erityishuomiota annetaan luonnonväriaineille ja niiden lähteille. Toisessa osassa käydään läpi painomenetelmiä ja lopuksi käsitellään väriaineiden ja painomenetelmien ympäristönäkökulmia.

## 2 VÄRIAINHEET

### 2.1 Painovärit

Painovärit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: liuotinpohjaisiin, vesipohjaisiin, ja UV-kovettuviin väreihin. (Meng, 2023) Jokainen näistä painovärityypeistä sisältää vaihtelevissa määrin pigmenttejä, sideaineita, lisäaineita ja kantaja-ainetta (carrier tai vehicle). Erilainen koostumus tarjoaa painoväreille toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. (UCL - London's Global University, n.d.) Painoväriin sisältö vaihtelee sille suunnitellun käyttötarkoituksen mukaan. Vesipohjaisten ja liuotinpohjaisten painovärien tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vesipohjaisten ja liuotinpohjaisten painovärien koostumus (Cecily, 2016)

Painoväriin pohja	Pigmenttejä	Sideaineita	Lisäaineita	Kantaja-aineita
Vesipohjaiset painovärit	15–25 %	10–25 %	8–12 %	40–65 %
Liuotinpohjaiset painovärit	12–18 %	12–18 %	2–5 %	55–65 %

Pigmenttien päätarkoitus on tuottaa painoväreille väri, mutta ne voivat myös lisätä väriaineen valon-, lämmön- ja liuottimenkestoa, kiiltoa ja hankauskykyä. (UCL - London's Global University, n.d.) Pigmenttien optiset ominaisuudet vaihtelevat suuresti; peittävyys, kiilto ja värin vahvuus riippuvat käytetystä pigmentistä. Pigmenteillä on lukuisia lähteitä, jotka luokitellaan lähteen orgaanisuuden perusteella. Orgaaniset pigmentit voivat olla kasvi- ja eläinpohjaisia tai synteettisesti, usein fossiilisista polttoaineista kuten öljystä valmistettuja pigmenttejä. Epäorgaaniset pigmentit valmistetaan mineraaleista. Pigmentit eivät voi liueta kantaja-aineeseen eikä kantaja-aine vaikuta niiden ominaisuuksiin. (Lambourne & Strivens 1999, 105–113)

Pigmentin on tärkeä dispergoitua eli sekoitua tasaisesti liuottimen sekaan. Tämän varmistaminen on sideaineen tehtävä. Sideaine myös sitoo pigmentin painomateriaaliin liuottimen kuivuessa ja sillä on kyky muuttaa painoväriin mekaanisia ja reologisia ominaisuuksia. (Tian ym. 2024, 2) Sideaineet voivat myös lisätä painoväriin kiiltoa, sekä kestävyyttä lämmölle, vedelle ja kemikaaleille. (UCL - London's Global University, n.d.)

Pieni osa painoväriin koostumuksesta on lisäaineita, jotka ovat monipuolinen joukko painovärien ominaisuuksia parantavia komponentteja. Sakeuttamisaineet voivat muuttaa värien viskositeettia vähentäen painoväriin pintajännitystä mahdollistaen paremman levittymisen ja tarttumisen painettavalle materiaalille. Ne voivat myös ehkäistä painoväriin halkeamista sekä tehostaa väriin tasoittumista, läpinäkyvyyttä ja kiiltoa. UV-stabilisaattorit ovat lisäaineita, jotka suojaavat painoväriä ultraviolettivalolle altistumisesta johtuvalta hajoamiselta. Biosidit lisäävät väriin säilyvyyttä estämällä mikro-organismien kasvu väriin ja kuivausaineet nopeuttavat painoväriin kuivumista absorboimalla happea. Lisäaineet voivat myös estää vaahtoamista, estää hajuja, säätää painoväriin pH-arvoa tai parantaa reologisia ominaisuuksia. (Żołek-Tryznowska, 2016)

Suurin osa painoväriin tilavuudesta koostuu kantaja-aineesta. Kantaja-aineet pitävät väriin nestemäisessä muodossa ennen pinnalle siirtämistä. Yleisiä kantaja-aineita ovat vesi ja alkoholi. Painoväriin muut ainesosat jakautuvat kantaja-aineeseen tasaisesti liuottimen ansiosta, joka haihtuu pois kuivatuksen aikana. (UCL - London's Global University, n.d.) Liuottimen lisäksi kantaja-aine sisältää hartseja, jotka voivat yhdessä liuottimen kanssa vaikuttaa väriaineen puhtauteen ja sävyyn. Lisäaineiden oikeanlainen valinta voi kumota kantaja-aineen ei-toivottuja vaikutuksia painoväriin laatuun. (Leach & Pierce 2002, 6)

Painoväriin vaadittavat ominaisuudet on otettava huomioon sen komponenttien valinnassa. Painoväriin on sovittava sitä hyödyntäviin painomenetelmiin ja kuivausmenetelmiin sekä materiaaleille, joita painoväriin käsitetään. Painovärejä hyödynnetään niiden optisten ominaisuuksien, kuten kiillon, väriin sävyn ja sen voimakkuuden sekä opasiteetin takia, mistä syystä väriin valinta oikein optisesta näkökulmasta on erittäin tärkeää. Pitkäkestoisiin käyttötarkoituksiin väriin kesto-

ominaisuuksien kuten hankauksen- ja valonkeston on oltava riittävä, jotta haalistumista ei tapahdu. Hyödynnettäessä painovärejä ulko-olosuhteissa, on värin säänkesto oltava tarpeeksi korkea. Monissa tilanteissa voi olla hyödyllistä, mikäli painoväri kestää fyysisiä ja kemiallisia vaikutuksia. Painovärin kuivuminen säteilyn takia ja säteilyn kesto on myös otettava huomioon. (Leach & Pierce 2002, 5–13)

### **2.1.1 Vesipohjaiset painovärit**

Muista painoväreistä poiketen vesipohjaiset värit käyttävät vettä liuottimena ja kantaja-aineena. (Tian ym. 2024, 2) Veden käyttö painovärin komponenttina orgaanisten liuottimien sijaan mahdollistaa painovärin helpomman varastoinnin ja alhaisemmat jätehuoltokustannukset, sillä vesipohjaiset värit eivät ole helposti syttyviä tai räjähtäviä. Painoväri on myös ympäristöystävällisempi ja terveydelle turvallisempi vaihtoehto, sillä se ei sisällä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC – volatile organic compound). (Meng 2023)

Vesipohjaiset painovärit tuottavat kirkkaan ja tasapainoisen värin, joka tarttuu pohjamateriaaliin tehokkaasti tulostuksessa. (Meng 2023) Niiden kiilto-ominaisuudet eivät kuitenkaan yllä liuotinpohjaisten vaihtoehtojen tasolle ja ne voivat aiheuttaa paperin ja kartongin kutistumista. (Incodeinkjet, 2022)

Vesipohjaiset painovärit eivät kestä kemikaaleja tai liuottimia yhtä tehokkaasti kuin muut vaihtoehdot. Ne saattavat myös vaikuttaa painokoneiden käyttöikään heikentävästi, sillä vesipohjaisten painovärien voitelukyky ei ole liuotinpohjaisten tai UV-värien tasolla. Vesipohjaisten painovärien kuivumisnopeus on säädeltävissä mutta kuivattaminen kuluttaa paljon energiaa. (Meng 2023) Vaikka vesipohjaisia painovärejä pidetään ympäristöystävällisen vaihtoehtona, voi niiden kuivattamiseen tarvittava energiamäärä aiheuttaa oletettua suuremman hiilijalanjäljen. (EuPIA, 2013)

## 2.1.2 Liuotinpohjaiset painovärit

Liuotinpohjaiset painovärit sisältävät orgaanisen liuottimen kantaja-aineena veden sijaan. Kantaja-aine haihtuu kuivatuksessa, jättäen jälkeensä pitkäkestoisia ja kirkkaan värin. (Qinghe 2024) Liuotinpohjainen painoväri on yhteensopiva monipuolisten materiaalivaihtoehtojen kanssa, joka yhdessä korkean kuivumisnopeuden ohella tekee painoväristä kustannustehokkaan vaihtoehdon. Liuotinpohjaiset värit voivat kestää naarmuuntumista, hankausta, korkeita lämpötiloja ja kemikaaleja tehokkaasti. Yhdessä liuotinpohjaisten painovärien kesto-ominaisuudet mahdollistavat niiden käytön ulkosovelluksissa. (Kaoprint n.d.)

Kuivauksen aikana liuotinpohjaisista painoväreistä haihtuu VOC-yhdisteitä, jotka ovat haitallisia terveydelle ja ympäristölle. Suurin osa haihtuvista VOC-yhdisteistä haihtuu joko painovärisäiliössä ennen painoprosessia tai painetun tuotteen kuivussa. VOC-yhdisteiden vapauduttua haihtumalla, oikealla välineistöllä niitä pystytään suodattamaan ja polttamaan, pienentäen ympäristöhaittoja. Pieni osa yhdisteistä voi myös päästä luontoon painovärijätteen mukana. Ilmakehään päästyään, VOC-yhdisteet heikentävät otsonikerrosta. (Cem & Samed Ayhan, 2020) VOC-yhdisteiden haittojen laajuus ja vakavuus ihmiselle riippuvat yhdisteiden tyypistä ja määrästä sekä altistumisen ajasta. Suojaavia varusteita on suositeltavaa käyttää VOC-yhdisteiden läheisyydessä. Yhdisteet voivat ärsyttää ihoa ja silmiä ja niille altistuminen voi johtaa ihoallergioihin ja maksavaurioihin. Suurin osa VOC-yhdisteiden aiheuttamista terveysriskeistä aiheutuu yhdisteiden hengittämisen kautta. (Tong ym. 2019)

Liuotinpohjaiset värit vaativat monipuolisia turvallisuuslupia ja -toimenpiteitä. VOC-yhdisteitä vapauttavat aineet tulee varastoida niin, että ne eivät vahingoita ihmisen terveyttä tai ympäristöä. Varastoinnissa käytettävien pakkausten täytyy kestää varaston olosuhteet ja pakkausten merkinnät tulee kirjata selkeästi. Aineita on valvottava asianmukaisesti, jotta niitä ei käytetä väärin. Värien kanssa työskentelevien työntekijöiden turvallisuus on taattava tilanteeseen sopivalla varustuksella ja tehokkaalla ilmanvaihdoilla. Velvoitteita liuottimien tuottajille ja käyttäjille on kirjattu kansalliseen ja kansainväliseen lainsäädäntöön. (Cem & Samed Ayhan, 2020)

### 2.1.3 Energia-kovettuvat painovärit

Energia-kovettuvat painovärit (energy-curable inks) jakautuvat kahteen pääryhmään: UV-kovettuviin painoväreihin ja elektronisuihkupainoväreihin. Energia-kovettuvat painovärit ovat yksi painoväriteollisuuden tasaisimmin kasvavista alueista pääasiassa UV-kovettuvien painovärien suuren suosion ansiosta. (Savastano, 2023)

UV-kovettuvat painovärit hyödyntävät ultraviolettivaloa mahdollistaen välittömän kuivumisen. Ne tuottavat korkean värikylläisyyden ja kiillon alhaisella energiankulutuksella. Tämän takia painoväri sopii nopeisiin tulostussovelluksiin, jotka vaativat korkeaa laatua. UV-kovettuva painoväri toimii monipuolisesti erilaisilla pinnoilla. (Meng 2023)

UV-kovettuvilla painoväreillä on hyvä kulutuksenkestävyys ja kemikaalien kestävyys. Ne pystytään kuivattamaan huoneen lämmössä vähillä ympäristövaikutuksilla ja pienemmällä tilantarpeella. (Soleimani-Gorgani, Najafi, Mohammadrezaei & Shirkavand Hadavand, 2021) UV-kovettuvien painovärien kemiallinen reaktio käynnistyy vasta kuivausprosessin alettua, eivätkä VOC-yhdisteet tämän takia haihdu hallitsemattomasti. VOC-ongelman helppo ratkaistavuus tekee UV-kovettuvista painoväreistä ihmisen terveyden ja ympäristön kannalta houkuttelevan vaihtoehdon. (Cem & Samed Ayhan, 2020) UV-kovettuvan painoväri hinta on kuitenkin muihin vaihtoehtoihin verrattuna korkea. Lisäkustannuksia syntyy myös erikoislaitteiston hankkimisesta, joka vaaditaan ultraviolettiturvallisuuden takaamiseksi. (Meng 2023)

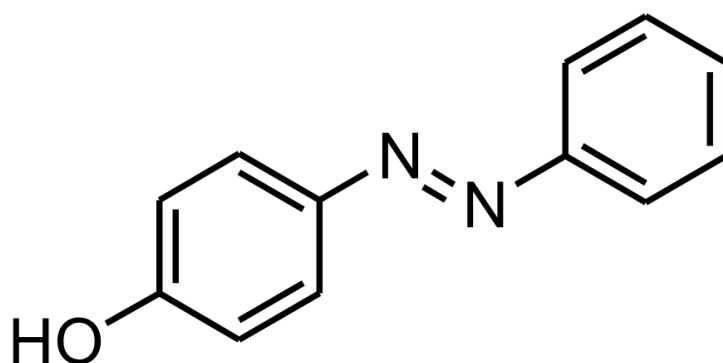
UV-kovettumisen aloittajan (UV-curing initiator) tehtävänä on käynnistää valon absorptiosta seuraava painoväriin polymerointireaktio kovettaen värin. Reaktiosta vastaavat fotoinitiaattorit (photoinitiator), joista suurin osa on radikaaleja, sisältäen bentsoyyliryhmän (fenyylī-CO-) rakenteellisen elementin. (Buschow, Cahn & Veyssière, 2001) UV-kovettumisen aloittajia on kuitenkin pyritty korvaamaan biopohjaisilla raaka-aineilla. Uudet tutkimukset ovat testanneet kasviöljyä uutena vaihtoehtona, jonka etuna on biohajoavuuden lisäksi kasviöljyn runsas saataavuus. (Yunxin ym. 2022)

Elektronisuihkupainovärit (electron beam inks) eli EB-painovärit eivät ole keränneet suurta suosiota UV-kovettuviin vaihtoehtoihin verrattuna pääasiassa niiden korkeamman hinnan takia. Offset- ja fleksopainatuksessa kiinnostus EB-painoväreihin on kuitenkin lisääntynyt lähivuosina. EB-painovärien vahvuus on niiden tarjoama korkea kulutuksenkestävyys, säädettävät kiiltotasot ja hyvä joustavuus. (Savastano, 2023)

## 2.2 Synteettiset pigmentit

Synteettisten pigmenttien alkuperäinen tarkoitus oli korvata luonnolliset väriaineet, koska luonnonvärejä on vaikea ja kallis tuottaa. Synteettisten pigmenttien toinen etu on niiden ominaisuuksien monipuolisuus ja räätälöintimahdollisuudet. Synteettisten pigmenttien partikkelikoko on suuri, mikä mahdollistaa korkean opasiteetin ja kirkkaamman värin. Suuri partikkelikoko tekee pigmentistä myös vaikeammin liukenevan. (Cassart n.d.)

Synteettiset pigmentit valmistetaan kemiallisella synteetillä uusiutumattomista lähteistä. Markkinoilla on saatavilla yli kymmenen tuhatta synteettistä väriainetta, joista yli 70 % on atsoyhdisteitä. Atsoyhdisteet sisältävät kahden typpi-atomin välisen kaksoissidoksen (-N=N-), jota nimitetään atsoryhmäksi ja joka on vastuussa aineen värillisyydestä. Atsoryhmän sisältävä kemikaali on esitetty kuviossa 1. Synteettisiä väriaineita voidaan luokitella joko niiden kemiallisen rakenteen perusteella tai teollisuusmittakaavan käyttömenetelmän kautta. (Pereira ym. 2021)



KUVIO 1. 4-fenyyliazofenolin eli Solvent Yellow 7:n rakenne (Chemicalbook, 2023)

Synteettisten väriaineiden valmistus vaatii useita kemiallisia reaktioita, joissa tuotetaan välituotteena petrokemiallisia aineita. Kemialliset reaktiot vaativat paljon energiaa ja niistä syntyy ympäristölle myrkyllisiä kemikaaleja. Tietämyksen lisääntyminen synteettisten pigmenttien haitoista on rohkaissut tutkijoita ja yrityksiä etsimään ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja. (Samanta, Awwad & Algarni 2020, 4) Synteettisten pigmenttien biohajoavuus on joko erittäin alhainen tai olematon. Elintarviketeollisuudessa väriä ruoalle tuottavat synteettiset pigmentit on jo pitkälti hylätty niiden tuottamien ongelmien, kuten niiden allergeenisuuden ja syöpää aiheuttavien ominaisuuksien takia. (Barreto ym. 2023)

Synteettisille pigmenteille on tutkittu ympäristöystävällisiä epäorgaanisia vaihtoehtoja.  $Ce_{1-x}Zr_xBi_yO_{2-y/2}$  on epäorgaaninen yhdiste, jota voidaan käyttää turvallisena synteettisenä värinä. Pigmentin lämmön- ja kemikaalienkesto on korkea ja se tuottaa lämpimän keltaisen sävyn pienemmällä partikkelikoolla kaupallisiin synteettisiin keltaisiin pigmentteihin verrattuna. Pigmentti ei sisällä myrkyllisiä tai ihmiselle haitallisia yhdisteitä, mikä on tyypillisesti yksi synteettisten pigmenttien suurimmista haittapuolista. (Furukama, Masui & Imanaka, 2008)

### 2.3 Luonnonväriaineet

Luonnollisia biopohjaisia väriaineita käytetään ja valmistetaan elintarvike- ja kosmetiikkateollisuuden aloilla teollisessa mittakaavassa ja muiden teollisuudenalojen odotetaan seuraavan kehityksessä ympäristötietoisuuden kasvaessa. Biopohjaisten väriaineiden kehitys kuitenkin kärsii vielä vertailutietojen ja standardien puutteesta. (Dyster & Räisänen, 2024)

Väriliemi valmistetaan luonnonmateriaaleista keittämällä, jonka jälkeen se voidaan käyttää suoraan kanakaan värjäämiseen tai jatkojalostaa painopastaksi. Värilientä ei voi säilyttää pitkiä aikoja pilaantumisen riskin takia. (Dyster, Kosunen & Räisänen 2024, 5–6)

### 2.3.1 Luonnonväriaineiden lähteet

Luonnonväriaineita voi valmistaa monipuolisesti kasvien eri osista sekä sienistä. Myös vanhentuneiden ruokatarvikkeiden tai biojätteen hyödyntäminen on värin valmistuksessa mahdollista. (Dyster ym. 2024, 5–6) Teollisten sivuvirtojen hyödyntämistä luonnonväriaineiden lähteenä tutkitaan. Käytettävissä olevia luonnonväriaineiden lähteitä on lueteltu taulukossa 1.

TAULUKKO 2. Luonnonväriaineiden lähteitä

Väri	Väriaineen lähteitä
Punainen	Matarakasvien juuret, kilpikirvat, kotilot, puun kuori, sienet, tee
Vihreä	Sienet, paju, eukalyptus, nokkonen, pinaatti, jäkälä, sipulin kuoret
Sininen	Indigo, morsinko, marjat, jäkälät, sienet, kahvi
Keltainen	Kaarna, juuret, sahrami, granaattimena, voipähkinä, kurkuma, sienet, sipulin kuoret, kahvi, tee
Ruskea	Siemenet, pähkinät, kaarna, kävyt, sienet, sipulin kuoret, kahvi
Musta	Kuoret, kataja, kahvi

Luonnonväriaineita käytettäessä, hyödynnetään usein peittäusaineita. Peittäusaineet ovat tyypillisesti metallisuolojen muodossa olevia kemiakaaleja, jotka lisäävät kuidun ja pigmentin liittymistä toisiinsa. Monissa tapauksissa peittäusaineet myös lisäävät väriaineen kestävyttä ja muuttavat värin sävyä. (Taosif ym. 2024) Tavanomaiset metallisuolat koostuvat metalli-ioneista, jotka värjäysprosessin lopussa ympäristöön joutuessaan voivat aiheuttaa vahinkoa ekosysteemeille. Ympäristöongelmien ratkaisemiseksi luonnonlähteistä peräisin olevien peittäusaineiden käyttöä tutkitaan ja kehitetään. Luonnonpeittäusaineille on 84 tanniini- ja metallipitoista kasviperäistä lähdettä. (Benli, 2024)

Punainen oli ruskean ja oranssin rinnalla ensimmäisiä ihmisen käyttämiä luonnonvärejä. Yksi tunnetuimmista punaisista väreistä on nimetty Turkin punaiseksi ja sitä voidaan tuottaa matarakasvien juurista saatavan alumiinipeittäusaineen

avulla. (Gürses, Açıkyıldız, Güneş & Gürses 2016, 4) Matarakasvi soveltuu erinomaisesti väriaineen tekoon helpon viljelyn sekä saatavien sävyvaihtoehtojen ansiosta. Matarakasvin juurista saatava punaisen sävy on myös kirkas. Punaista luonnonväriä saa matarakasvien lisäksi kilpikirvoista ja kotiloista. Punaisia ja punaruskeita sävyjä pystyy tuottamaan myös eri lajien puiden kuorista ja seitikkisienilajeista. (Räisänen, Primetta & Niinimäki 2014, 45–46)

Historiallisesti sinistä väriä on valmistettu mineraaleista, kuten lapis lazulista, atsuriitista ja koboltilasista. Luonnonlähteistä valmistettuna sininen on kuitenkin harvinainen väri. Sitä voidaan tuottaa sienistä, kuten männynsuomuorakkaasta tai käävistä. (Gürses ym. 2016, 6–8) Muita sinisen päälähteitä ovat indigo- ja morsinkokasvit. Sinistä väriä on mahdollista valmistaa myös marjoista ja jäkälästä käymisen avulla. Indigon käyttö värinlähteenä on selvästi morsinkoa yleisempää indigon valonkesto-ominaisuuksien ansiosta. (Räisänen ym. 2014, 31)

Vihreä on yllättävän harvinainen luonnonväri, sillä lehtivihreä hajoaa valon ja lämmön takia eikä sitä voi hyödyntää värjäyksessä lyhytikäisten erikoistapausten ulkopuolella. Vihreää väriä saa kuitenkin joistain sienilajeista sekä jalostettuna kupari- ja rautasulfaatin kemiallisella reaktiolla kasvien tuottamien flavonoidien kanssa. (Räisänen ym. 2014, 85) Vihreää luonnonväriä on myös mahdollista saada pajun kuoresta, eukalyptuksesta, nokkosesta ja pinaatista riippuen käyte-tyistä menetelmistä ja peittäusaineista. (Jewell, 2022). Myös jäkälä ja sipulin kuoret ovat mahdollisia vaihtoehtoja vihreän luonnonvärin lähteiksi. Värimorsinkoa ja indigoa voidaan yhdistää keltaisten väriainelähteiden kanssa vihreän sävyjen tuottamiseksi. (Gürses ym. 2016, 5)

Keltainen on yleinen luonnonväri, koska suurin osa vihreistä kasvinosista sisältää flavonoidiyhdisteitä, tuottaen keltaisenvihreää ja keltaista väriä. Myös useita marjalajeja voidaan hyödyntää flavonoidiyhdisteiden keräämisessä. Puiden kaarna ja juuret sisältävät alkaloideja, jotka nekin sopivat keltaisen luonnonvärin tuottamiseen. (Räisänen ym. 2014, 61–63) Quercitron on keltainen luonnonväri, jota saa tammien sisäkuoresta. Sahramia, granaattiomenaa, voipähkinää ja kurkumaa voidaan käyttää keltaisen luonnonvärin valmistamiseen. (Gürses ym. 2016, 5)

Ruskeaa luonnonväriä voidaan tehdä siemeniä, pähkinöitä ja puiden kuoria hyödyntäen. Myös kävyt soveltuvat ruskean luonnonvärin valmistukseen. Mustan ja harmaan sävyjen tuottaminen luonnonväreillä suoraan on haastavampaa, minkä takia niitä tehdään yleisesti muita värejä sekoittamalla. Mustaa voidaan kuitenkin tehdä suoraan yhdistämällä fermentoitua mutaa puiden kuorista ja lehdistä saatavaan tanniiniin. (Räisänen ym. 2014, 103–117) Jo muinaiset heimot tuottivat cutchiksi nimettyä ruskeaa luonnonväriä akaasialajeista. Cutchin sävy vaihtelee käytettyjen rauta- ja kuparipeittausaineiden mukaan. Myös harmaan sävyjä on historiallisesti jo kauan tuotettu katajan mistelistä. (Gürses ym. 2016, 6)

Mäntyhartsista, pellavasiemen- ja rypäleensiemenoilyistä kehitetyistä painoväreistä offsetpainatukseen on saatu positiivisia tuloksia. Nämä luonnonkomponentit toimivat yhteensopivasti ja tuottavat reologisten ominaisuuksien ja kiillon suhteen toimivan painovärin. Hankauksenkestävyyden suhteen tulokset olivat vaihtelevat. (Hayta, Oktav & Ateş Duru, 2022)

Sienien käyttöä luonnonvärien lähteinä on tutkittu laajasti. Useat rihmasienet pystyvät tuottamaan punaisia, oransseja ja keltaisia pigmenttejä, jotka eivät ole yhtä alttiita pH:n vaikutuksille kuin muut luonnonvärit. *Chlorociboria aeruginascens* on sienilaji, joka tuottaa sinivihreänä pigmenttinä käytettävää xylyndeiniä. Xylyndeinin valon- värin- ja UV-valonkesto on korkea. Myös *trichoderma*-sienisuvun lajeista on pystytty tuottamaan vihreää pigmenttiä. *Drechslera*-suvun sienilajeista pystytään oikeissa olosuhteissa tuottamaan ruskeaa luonnonväriä. Osaa sienilajeista, kuten veden alla kasvatettava *Talaromyces purpurogenus* ei suositella teollisesti viljeltäväksi sienien tuottamien mykotoksiinien ja myrkyllisten ekstroliittien takia. Uuttotoimintatavat ovat erittäin tärkeä valita oikein sienien luonnonvärien uuttamisessa, sillä poikkeavat menetelmät vaikuttavat merkittävästi lopputuloksen koostumukseen ja laatuun. Orgaanisille liuottimille altistuminen tai korkeat lämpötilat voivat johtaa väriaineen menetykseen tai ionisaatioon. (Fouillaud, Caro & Dufossé, 2018)

Myös muiden mikro-organismien käyttöä luonnonväriaineiden valmistuksessa on tutkittu. Käyttökelpoisia mikro-organismeja ovat sienten lisäksi bakteerit ja mikrolevät, jotka pystyvät tuottamaan laajan valikoiman käyttökelpoisia mikrobipig-

menttejä. Mikro-organismien hyödyntämisen etuna on niiden mahdollisuus kuluttaa teollisuuden sivutuotteita kasvamiseen kontrolloiduissa olosuhteissa. Mikro-organismien kasvattaminen ei myöskään kuluta hedelmällistä viljelysmaata. (Barreto ym. 2023)

Luonnonväriaineiden valmistukseen voidaan hyödyntää teollisuuden sivuvirtoja. Sivuvirtoja voi syntyä maatalouden toiminnoista, joissa osa jätteestä heitetään pois ja poltetaan. Maatalousjätteen hyödyntäminen luonnonväriaineiden lähteenä ei ainoastaan helpottaisi jätteen hävittämistä maanviljelijöille vaan myös tarjoaisi heille sekä jalostusteollisuudelle uusia mahdollisuuksia. Myös metsätaloudesta syntyvä ylimäärä kuorta, oksia ja haketta voitaisiin hyödyntää luonnonväreissä. Elintarviketeollisuudesta syntyvää jätettä voidaan myös käyttää luonnonväreissä. Elintarviketeollisuuden jätteeseen liittyy jätteen epäpuhtauden takia hävittämisongelmia, jonka takia, mikäli jäte ei sovellu eläinten rehuksi, se täytyy kompostoida tai hävittää muulla tavoin. Väriaineita sisältävien elintarviketeollisuuden jätteiden, kuten marjojen, kuorten ja vihannesten hyödyntäminen luonnonväreissä voisi helpottaa elintarviketeollisuuden jätteenkäsittelyn haasteita. (Samanta ym. 2020, 99–101)

Pähkinänkuorien sivuvirroista saa tuotettua luonnonväriaineita. Saksanpähkinän- ja mantelinkuorista suurin osa käsitellään jätteenä, vaikka ne sisältävät hyödyllisiä komponentteja. Saksanpähkinänkuorten sisältämä jugloni (juglone) ja naftokinoni (naphthoquinone) voidaan hyödyntää ruskean sävyn pigmenteissä. Mantelinkuoret sisältävät hyödynnettäviä flavonoideja. Maapähkinän kuoren sisältämä katekiini, epikatekiini ja vaniliini soveltuvat luonnonvärien komponenteiksi. (Samanta ym. 2020, 106–111)

Rypälekasveista saatava sivuvirta viiniteollisuudessa koostuu pääasiassa siemenistä, varresta ja rypäleiden kuorista. Tämän sivuvirran sisältämä tanniini olisi mahdollista hyödyntää luonnonvärien valmistuksessa. Myös banaanin valerunko (pseudostem) sisältää väriainekomponentteina hyödynnettäviä tanniineja ja luteoliinia. Lähes 90 % sadonkorjuussa kerätystä banaanikasvista päättyy jätteeksi. (Samanta ym. 2020, 102–113)

Elintarviketeollisuuden sivuvirtana syntyy suuria määriä keltasipulin kuoria, joita voidaan hyödyntää luonnonväriaineen valmistuksessa niiden sisältämien polyfenoliyhdisteiden ansiosta. Polyfenoliyhdisteet tuottavat vaaleanruskean värin ilman peittäusta tai keltaisen värin alumiinipeittauksen avulla. Raudan kanssa polyfenoliyhdisteet luovat vihreän sävyn. (Räisänen ym. 2023) Peittäusaineita hyödyntämällä myös sivuvirtojen käytetystä kahviporosta saatava tanniineja voidaan hyödyntää luonnonväriaineen lähteenä. Kahviporojen tanniini on keltaista tai vaaleanruskeaa mutta auringonvalolle altistuessaan se muuttuu tummanruskeaksi. Reagoidessaan metalli-ionien kanssa se voi muodostaa värin, joka on tumman-sininen tai musta. (Tehrani, Shahmoradi, Beni & Rahimi, 2023) Myös elintarviketeollisuuden jätteenä saatava tee sisältää tanniineja. Mustasta teestä saatavilla tanniineilla on hyvä hankauksen- ja kemikaalienkesto, mutta värin valonkesto on heikko. Teestä saatavat tanniinit tuottavat punaisen, oranssin ja keltaisen sävyjä. (Triwiswara & Indrayani, 2020)

Biopohjaisen väriaineen taloudellisia mahdollisuuksia arvioitaessa, on huomioitava, että väriainelähteen suhteellisen väriainepitoisuuden on oltava tarpeeksi korkea. Tämä ei vaikuta ainoastaan biovärien kilpailussa synteettisiä väriaineita vastaan, vaan myös bioväriainelähteen kilpailussa toisiaan vastaan. Väriainelähde, jonka väriainepitoisuus on selvästi muita biopohjaisia vaihtoehtoja korkeampi, saattaa syrjäyttää biopohjaisia väriainelähteitä. (Dyster & Räisänen, 2024)

### **2.3.2 Synteettisen ja luonnollisen väriaineen vertailu**

Verrattaessa luonnonväreihin, synteettiset värit ovat nopeampia valmistaa, sillä luonnonvärit vaativat pidemmät uuttamis- ja puhdistamisajat. Synteettiset värit tarjoavat luonnonvärejä laajemman värivalikoiman. Värisävyjen luonti RGB-värimallilla vaatii punaisen, sinisen ja vihreän sävyn mikä tuottaa luontaisille pigmenteille ongelmia sävyvaihtoehtojen puutteiden takia. Synteettiset väriaineet pystyvät myös toistamaan sävyjä luonnollisia tarkemmin, sillä satokauden vaihe, kypsyysaika ja kasvamissijainti voivat vaikuttaa luonnollisen pigmentin sävyyn. Luonnollisten pigmenttien värinkeston on myös tyypillisesti synteettisiä alhaisempi. (Samanta ym. 2020, 6)

Kuitenkin synteettiset värit voivat olla ympäristölle haitallisia ja terveydelle vaarallisia minkä lisäksi useimmat synteettiset värit eivät hajoa biologisesti. Luonnolliset värit ovat sävyltään pehmeämpiä ja hienovaraisempia, mikä käyttökohteen mukaan voi toimia luonnonvärin vahvuutena tai kääntyä luonnollisia pigmenttejä vastaan. (Samanta ym. 2020, 5)

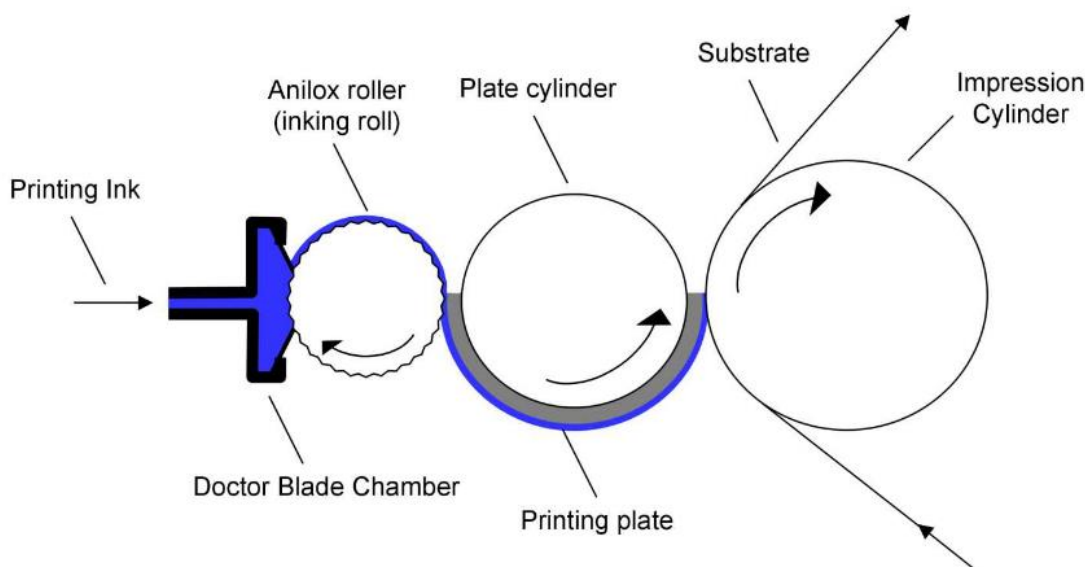
Luonnonväriaineiden tuotantoon liittyy riski geneettisesti muunnelluista lajeista. Luonnonvärien kysynnän kasvaessa on mahdollista, että geneettisten muunnelmien käyttö yleistyy entisestään. Myös kierrätettävien ja sivuvirroista saatuihin materiaaleihin liittyy riski erityisesti elintarvikepakkauksissa, missä puhtausvaatimukset ovat korkeat. (EuPIA, 2013)

Vuorovaikutuksessa väriaineiden kanssa, kuluttajat eivät kiinnitä huomiota värien sävyihin tai niiden määrään vaan myös värien voimakkuuteen. Vaaleammat värit, alhaisempi värien määrä ja luonnossa esiintyvien värien kuten ruskean ja vihreän käyttö tulkitaan ympäristön kannalta suotuisiksi vaihtoehtoiksi. (Sekki, Kauppinen-Räisänen, Kylkilahti & Autio, 2023) Useimmat Eurooppalaiset kuluttajat ovat valmiita ottamaan ympäristötekijät huomioon tehdessään ostopäätöstä. Kuitenkin on mahdollista, että kuluttajat, jotka ovat vaihtaneet ostopäätöstään ympäristönäkökulmien takia voivat uskoa tehneensä oman osuutensa ympäristön hyväksi, mikä voi pidemmällä aikavälillä johtaa kulutustason kasvuun. (European Commission, 2016)

### 3 PAINOMENETELMÄT

#### 3.1 Fleksopainatus

Fleksopainatus perustuu kohopainotekniikkaan, jossa alhaisen viskositeetin painoväriä levitetään anilox-telalle väriantolaitteiston kautta. Anilox-telan pyöriessä terä (raakeli) poistaa ylimääräisen värin anilox-telan kaiverrettujen solujen ulkopuolelta. Anilox-telalta painoväri siirtyy painotelan pinnalla oleville painolaatoille, josta se puristetaan puristustelan muodostaman nipin kautta painettavalle materiaalille. (Assaifan ym. 2020) Modernit fleksopainokoneet käyttävät kammioraakeleita, jotka varmistavat painovärien paremman hallinnan, suojaavat painoväriä pölyltä ja estävät painovärin komponenttien haihtumisen suljetun painovärikammion avulla. Fleksopainatuksen periaate kammioraakelijärjestelmällä on esitetty kuviossa 1. (Flexoconcepts n.d.)



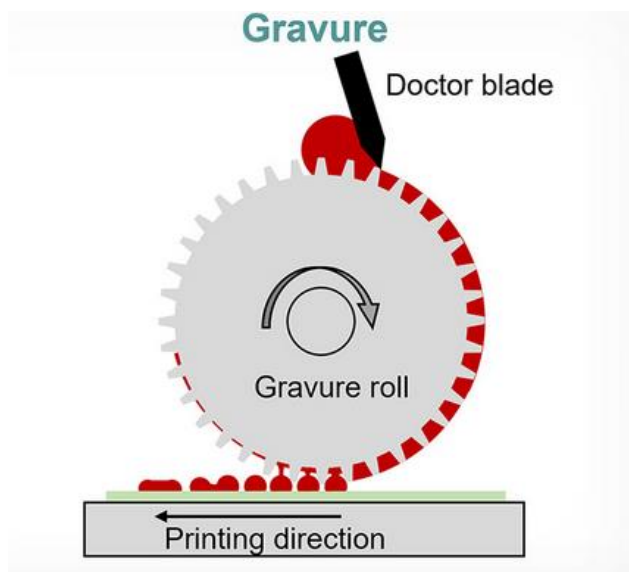
KUVIO 2. Feksopainatuksen periaate (Lankinen, 2021)

Fleksopainatuksessa voidaan hyödyntää vesipohjaisia, liuotinpohjaisia ja energia-kovettuvia painovärejä. Nostotelaan on kaiverrettu pieniä soluja, joidenka ko-koa muuttamalla voidaan säätää painolevyllä kuljetetun painovärin määrää. (Assaifan ym. 2020) Painotelan painolevyt on helppo valmistaa joustavista materiaaleista poistamalla levystä ne osat pois joihin värin ei haluta tarttuvan. Tämä

jättää painovärille tartuttavan kohokuviopinnan, joka painetaan painettavaa materiaalia vasten. Painomenetelmän kehitys yhdessä vesiohenteisten painovärien helpon saatavuuden kanssa on johtanut fleksopainatuksen kilpailumahdollisuu- teen syväpainomenetelmän kanssa esimerkiksi kartonkipakkausten valmistami- sessa. (Bobst, n.d.)

### 3.2 Syväpainatus

Syväpainatuksessa kaiverrettu painosylinteri siirtää painovärin painettavalle pin- nalle suoraan värikaukalosta. Sylinteristä poistetaan ylimääräinen painoväri raa- kelilla ja kaiverrettuihin osiin jäänyt väriaine puristetaan painettavan materiaalin kanssa kosketukseen nipin avulla. Koska painomenetelmässä käytetään vain yhtä telaa värin siirtämiseen, on syväpainatus nopea ja teollisesti skaalautuva vaihtoehto. Syväpainon periaate on esitetty kuviossa 2. (Camus, Reali & Santato, 2022)



KUVIO 3. Syväpainon periaate (Camus, Reali & Santato, 2022)

Syväpainossa hyödynnetään nopeasti kuivuvia liuotinpohjaisia painovärejä, sillä nykyaikaiset syväpainolaitteet pystyvät tuottamaan jopa 14 metriä painettua ma- teriaalia sekunnissa, mutta painojälki täytyy kuivata aina ennen seuraavaa väri- sylinteriä. Syväpainatus on nopea ja kustannustehokas painomenetelmä suurille painomäärille mutta pienillä määrillä se menettää kilpailukykynsä. (LAW n.d.)

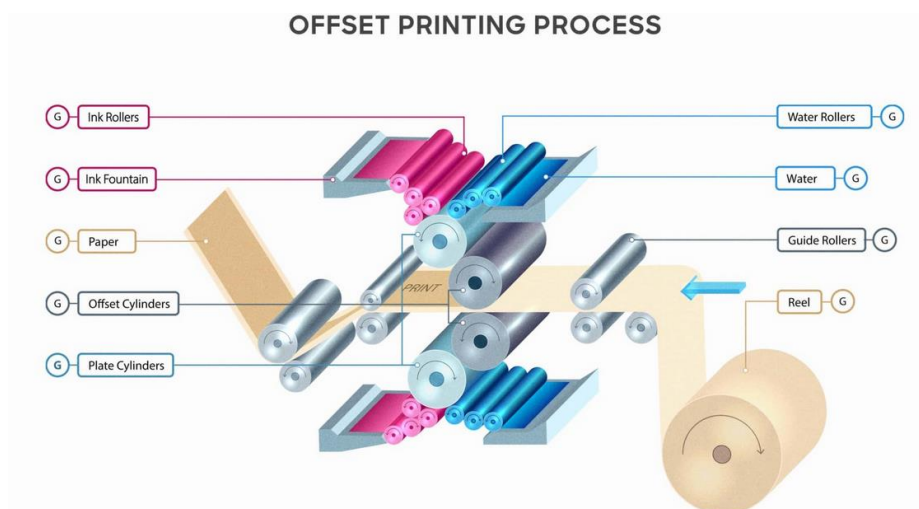
Flekso- ja syväpainoprosesseissa painetun materiaalin täytyy liikkua ilma-kuivaimen läpi jokaisen painoyksikön välissä ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden höyrystymistä edellytetään ennen seuraavan painovärin applikointia. Tästä syystä, mikäli prosessissa käytetään liuotinpohjaisia painovärejä, prosessista haihtuu paljon VOC-yhdisteitä. Prosessien ympäristövaikutuksia voidaan pyrkiä hallitsemaan käyttämällä täysin suljettuja järjestelmiä. (Cem & Samed Ayhan, 2020)

VOC-yhdisteitä voidaan käsitellä usealla eri tavalla. Adsorptiota ja kondensoitumista voidaan käyttää yhdisteiden kierrättämiseen, tai yhdisteet voidaan hajottaa biologisesti. Suurissa flekso- ja syväpainoprosesseissa VOC-yhdisteiden polttamiseen on yleistä hyödyntää termistä hapetusta, jolloin hapettimilla tuotetulla hiilidioksidilla pystytään korvaamaan laitoksen käyttämä primääripolttoaine. (EuPIA, 2013)

### **3.3 Offsetpainatus**

Offsetpainatuksessa painolevyt on käsitelty vedellä hylkimään painoväriä niillä alueilla, johon väriä ei haluta. Tämän takia offsetpainatuksessa käytettävissä painolevyissä värjäävä- ja ei-värjäävä osa ovat samassa tasossa ilman kohokuvioita tai kaiverruksia. Offsetpainokone tarvitsee erikseen altaan vedelle ja painovärille, jotka ohjataan telojen kautta painolaatoille. Jotkut offsetpainot käyttävät veden sijaan väriä hylkivää silikonikerrosta. Näitä painokoneita kutsutaan kuiviksi (dry) tai vedettömiksi (waterless) offsetpainokoneiksi. (Jennings printing group, 2024)

Offsetpainokoneet voidaan jakaa sanoma- ja aikakauslehtien painamiseen soveltuviin offsetrotaatiokoneisiin sekä mainosten painamiseen soveltuviin arkkioffsetkoneisiin. Offsetrotaatiokoneet käsittelevät yhtä jatkuvaa paperirullaa, kun taas arkkioffsetissa painomateriaalit käsitellään yksittäisinä arkkeina. Offsetrotaatiokone on esitetty kuviossa 3. (Jennings printing group, 2024)



KUVIO 4. Offsetrotaatiokone (Iverson, 2023)

Offsetpainatus tarjoaa useita hyötyjä muihin painomenetelmiin verrattuna. Offsetpainatuksesta saatavien kuvien laatu on korkea ja suurten painomäärien tuottaminen on edullista ja nopeaa. Offsetpainatus sopii kasvipohjaisille painoväreille ja mahdollisuudet painomateriaaleille ovat monipuoliset. Offsetpainatuksen esivalmisteluajat ja hinta pienille painomäärille ovat kuitenkin digitaalista painatusta korkeammat. (Dillon, 2023)

Offsetpainatuksessa käytetään tyypillisesti joko coldset- tai heatset-menetelmää. Coldset-menetelmässä painoväriin annetaan kuivua ilman ylimääräisen lämmön käyttöä, jolloin painoväri kuivuu nesteen imeytyessä paperiin ja haihtuessa ilmaan. Coldset-menetelmällä painoväriä ovat öljyt eivät kuivu täysin, jolloin painoväriä saattaa hankautua pieniä määriä pois lopputuotteesta. Heatset-menetelmässä lopputuote kuivatetaan painon lopuksi ajamalla se uunikuivaimen läpi. Kuivaimen jälkeen tuote on jäädytettävä, jotta se voi siirtyä seuraaviin käsittelyvaiheisiin. Heatset-menetelmä tuottaa teräviä kuvia, mutta kuivatus vaatii lisäenergiaa. Heatset-menetelmässä käytetyt painovärit on tehty komponenteista, jotka kuivuvat nopeasti suurissa lämpötiloissa ja kiinnittyvät tämän jälkeen lopputuotteeseen jäähtyessään. (Sapru, 2016)

Offsetpainatuksessa on testattu luonnollisten väriaineiden toimivuutta. Mäntyhartsista on valmistettu yhdessä pellavansiemen- ja rypäleensiemennölyn kanssa painovärejä, joidenka reologiset ominaisuudet ovat painamiseen sopivat. Myös kiillon suhteen kasviöljyistä valmistetut painovärit toimivat lupaavasti. Kasviöljyjä

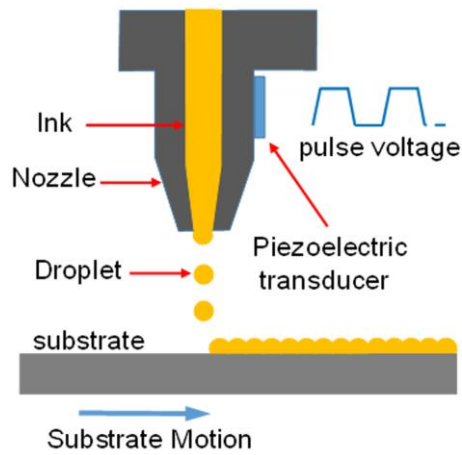
testattiin coldset-menetelmällä, mikä saattaa olla syynä alhaiselle hankauksenkestolle. (Hayta, ym. 2022)

### 3.4 Digitaalinen painatus

Digitaaliset painomenetelmät painavat digitaalisen kuvan suoraan tulostettavalle materiaalille. Kaksi yleisintä digitaalista painomenetelmää ovat elektrofotografia, toiselta nimeltään xerografia ja mustesuihkutulostus. Digitaaliset painomenetelmät eivät vaadi fyysisten painolaattojen valmistusta ennen painoprosessia, minkä takia painoprosessin esivalmistelut ovat paljon nopeampia. (Phoenixlitho n.d.)

Elektrofotografiassa tulostin ensin lataa valojohteen sähköstaattisesti. Tämän jälkeen ladatut alueet puretaan laseria käyttäen tulostettavan kuvan mukaisesti. Väriainetta levitetään valoreseptoriin ja se jää sähköstaattisille alueille, joista se siirtyy tulostettavalle alustalle. Väriaine sulatetaan alustaan lämmitetyillä ja paineistetulla kiinnitysteloilla, jonka jälkeen valoreseptori puhdistetaan väriainejäämistä, jotta ne eivät vaikuta tuleviin tulosteisiin. (Bhaloo ym. 2020, .212–213)

Mustesuihkutulostuksessa käytetään suuria määriä pienikokoisia suuttimia. Suuttimissa oleviin mustepisaroihin kohdistetaan ulkoinen voima, joka ylittää suuttimessa olevan pintajännityksen ja laukaisee musteen painopinnalle. Käytettävä voima voi olla mekaanisesti tuotettu paine tai sähköstaattinen jännitys. Mustepisaroiden koko on yleensä 25–125 mikrometriä. Aerosolimustesuihkutulostimissa ulkoinen kaasuvirtaus kuljettaa mustetta sisältävän aerosolivirtauksen suuttimeen ja suihkuttaa suuttimen kautta useita pienempiä 0,4–7 mikrometrin kokoisia mustepisaroita. Mustesuihkutulostuksen periaate on esitetty kuviossa 4. (Xiao ym. 2022)



KUVIO 5. Mustesuihkutulostimen toimintaperiaate (Physorg, 2015)

Digitaaliset painomenetelmät ovat muita painomenetelmiä tehokkaampia pienille painomäärille sillä manuaalisten valmistelujen ja lopetustoimien puuttuessa, voidaan tulostettavaa kohdetta vaihtaa nopeasti. Digitaaliset painomenetelmät käyttävät vesipohjaisia värejä, jotka eivät vapauta orgaanisia VOC-yhdisteitä. Digitaaliset menetelmät ovat kuitenkin epätehokkaita suurille painomäärille, eivätkä ne usein pysty hyödyntämään metallisia värejä tai spottivärejä, jotka ovat asiakkaan tarpeeseen räätälöityjä väri vaihtoehtoja tavalliset CMYK-värien lisäksi. Digitaalisissa menetelmissä painettavien materiaalien vaihtoehtojen määrä on myös muita menetelmiä vähäisempi. (Phoenixlitho n.d.)

Muihin painomenetelmiin verrattuna, digitaalisessa painatuksessa käytettävien painovärien on täytettävä tiukemmat vaatimukset tiheyden, viskositeetin ja sedimentaation suhteen, että mustesuihkutulostimien erityistarpeet pintajännityksen, pisaroiden koon ja muodon magneettisuusominaisuuksien ja tunkeutumiskinetiikan osalta. Näitä ominaisuuksia voidaan hallita musteen lisäaineilla tai muuttamalla tulostusolosuhteita. (Dondi, Blosi, Gardini & Zanelli n.d.)

### 3.5 Muut painomenetelmät

Silkkipainatuksessa käytetään sapluunaa, jossa on pieniä aukkoja painokuvion muodon mukaan. Sapluuna kiinnitetään painettavaan pintaan, jonka jälkeen sen päälle levitetään painoväriä. Painoväri kaavitaan vetolastalla, mikä aiheuttaa vä-

riin leikkausjännityksen vetolastan rajapinnassa. Vetolastan aiheuttaman paineen takia painoväri työntyy aukkojen läpi painettavalle pinnalle. Jotta painokuvion muoto säilyy sapluunan pois ottamisen jälkeen, on silkkipainossa välttämätöntä käyttää korkean viskositeetin painoväriä. (Munehiro ym. 2019)

Tampopainatus ei ole laajasti käytössä oleva painomenetelmä, mutta sitä hyödynnetään kuitenkin esimerkiksi elektronisten rakenteiden ja logojen painossa. Näissä sovelluksissa tampopainatus on yksinkertainen, nopea ja halpa vaihtoehto. (Pavličková ym. 2023) Tampopainatus soveltuu pienikokoisiin ja tukevapintaisiin esineisiin. Pintausta laattaan syövytetään ja täytetään värillä, jonka jälkeen silikonityynyit imevät värin ja painavat sen tuotteeseen. Painomenetelmällä saa erittäin tarkkoja ja yksityiskohtaisia lopputuloksia. (Logotrade n.d.)

Kohopaino on vanha painomenetelmä, jossa painolevyn kohokuvio tehdään painettavan grafiikan mukaiseksi, värjätään tasaisesti ja painetaan pinnalle. Perinteinen kohopaino on työläs painomenetelmä, jonka suorittaminen vaatii paljon aikaa. Nykyaikaisissa käyttökohteissa kohopainatusta hyödynnetään luomaan painettavalle materiaalille poikkeava tekstuuri kuperan pinnan muodossa. Tekniikan hitauden takia, sitä käytetään pääosin käsityösovelluksissa. (Andong & Jian-Jung, 2020)

Litografia eli kivipaino perustuu siihen, että vesi ja rasva eivät sekoitu keskenään. Menetelmässä tasaisen kiven tai alumiinin pinnalle muodostetaan kuva käyttäen rasvaista painoväriä. Pinnalle levitetään happoliuos, joka leviää vain rasvattomille alueille. Pintaa käsiteltäessä vedellä, vesi kostuttaa vain hapon vaikuttamat osat pinnasta, luoden painoväriä hylkiviä alueita. Painoväri applikoidaan pinnalle, paperi asetetaan pintaa vasten ja puristetaan. Painomenetelmien kehittyessä kivipaino kehittyi offsetpainoksi. Nykyään kivipaino on vielä käytössä taidesovelluksissa. (Vlahos, 2022)

## 4 KESTÄVYYS

### 4.1 Ympäristönäkökulmat

Viimeaikaista kiinnostusta biopohjaisia väriaineita kohtaa ajaa kaksi pääintressiä, jotka molemmat peilaavat YK:n kestävän kehityksen tavoitteita. Sen lisäksi, että biopohjaiset väriaineet tarjoavat mahdollisuuden vähemmän haitallisille ja kestäville sovelluksille ja prosesseille vastaten yhä laajenevaan kysyntään turvallisista ja biohajoavista vaihtoehdoista, kannustaa biopohjaisten väriaineiden kehitys toiminnallisiin innovaatioihin. (Dyster & Räisänen, 2024)

Tarkkailtaessa painoväriin ympäristövaikutuksia, sen ainesosat ovat vain osa tuotusta. Painoväri vaikuttaa ympäristöön jo ennen sen käyttöä ja käytön jälkeen. Vaikka ympäristötietoisuus on johtanut VOC-yhdisteiden vähentymiseen, on painovärien valmistuksella ja painomenetelmillä edelleen vaikutuksia ilmakehään. (Greenerprinter n.d.) Painoteollisuudessa höyrystyvät liuottimet voivat vahingoittaa otsonikerrosta, minkä takia ympäristösuojeluvirastot ovat maailmanlaajuisesti alkaneet rajoittaa painoteollisuuden prosesseissa ilmakehään haihtuvia yhdisteitä. (Cem & Samed Ayhan, 2020)

Painovärien ja -menetelmien lisäksi myös painettavan materiaalin tarkastelu on tarpeellista. Energiankulutus on huomattavasti suurempi, mikäli vesipohjaisia painovärejä pyritään kuivaamaan muovi- tai metallialustoille paperi- ja pahvivaihtoehtoihin verrattuna. (EuPIA, 2013)

Painovärien valmistuksen vaihtaminen maihin, joissa kestävät käytännöt ja vihreämmät energianlähteet johtavat pienempään hiilijalanjälkeen ei tuota haluttua lopputulosta. Tämä johtuu kuljetuksesta syntyvistä päästöistä, joidenka takia ympäristöystävällisessä tuotannossa saatu hiilijalanjälkietu menetetään. Globaalien toimitusketjujen monimutkaisuus ja niistä aiheutuvat haitat on huomioitava tuotteiden kestävyttä tarkasteltaessa. Paikallisen tuotannon suosiminen on tehokas vaihtoehto vähentämään painoväreistä syntyvää hiilijalanjälkeä. Nykyaikaisella

teknologialla painovärien kuljetuksesta ja valmistuksesta syntyvät kasvihuonekaasuvaikutukset ovat kuitenkin melko alhaiset muihin teollisuudenalojen kuljetus- ja valmistuspäästöihin verrattuna. (EuPIA, 2013)

Ympäristöystävälliset painovärit voivat tuottaa kustannussäästöjä. Turvallisempien ja ekologisten painovärien kustannussäästöjä voidaan saada värin käsittelyssä ja suojaruosteissa, luvissa, raportoinneissa ja kirjanpidossa sekä loppukäsittelyssä ja hävittämisessä. (Aydemir ym. 2023)

#### **4.1.1 Painovärien vaikutus luontoon**

Suuri synteettisten väriaineiden teolliseen tuotantoon liittyvä ongelma on tuotannossa syntyvän hävikin määrä. Tekstiiliteollisuudessa 10–15 % synteettisistä väriaineista päättyy hävikiksi, josta osa teollisuuden jätevesiin. Ilman asianmukaista jäteveden käsittelyä, osa luonnossa hajoamattomista synteettisistä väriaineista voi kulkeutua vesistöihin. (Pereira ym. 2021)

Luonnossa synteettiset väriaineet aiheuttavat kroonisia ja akuutteja vaikutuksia eläviin organismeihin sekä estävät vedessä elävien eliöiden saamaa auringonvaloa, häiriten fotosynteesiä ja heikentäen vesilajien kasvua. Väriaineiden saastuttamien vesien puhdistamiseen voidaan hyödyntää komposiittihydrogeeliä, joka on osoittautunut tehokkaaksi ja uudelleenkäytettäväksi tavaksi käsitellä jätevesiä. (Pereira ym. 2021)

#### **4.1.2 Energian kulutus**

Samalla kuin luonnonväriaineiden käyttö kasvaa, painovärien sisältämät liuottimet korvataan yhä enenevässä määrin vedellä. Veden käyttäminen liuottimena vähentää VOC-yhdisteiden vapautumista, mutta värien kuivaaminen vaatii enemmän energiaa. Tämä saattaa lisätä painoprosessin hiilijalanjälkeä. Kuivaukseen käytettävän energian määrää on mahdollista vähentää painettavan materiaalin, kuivausmenetelmien ja painovärin koostumuksen valinnoilla. (Cem & Samed Ayhan, 2020) Vanhojen laitteistojen korvaaminen uusilla, energiatehokkaammilla

vaihtoehtoilla vähentää painoprosessien energiankulutusta. Tehokkuusarvioiden tulee olla ajan tasalla, jotta voidaan laskea energiankulutus tuotetta kohtaan prosessin eri vaiheissa mikä auttaa paremmin ymmärtämään laitteistojen uudistamistarpeet. (Aydemir, Yneidoğan & Tutak, 2023)

Painovärien valmistus ei ole energiaintensiivistä, eikä se sisälly energiaa käyttäviin teollisuudenprosesseihin keskittyviin kansallisiin- tai EU:n energiahallintaloitteisiin. Painomenetelmät kuluttavat enemmän energiaa, mutta kulutetun energian määrä riippuu suuresti käytettävistä materiaaleista ja menetelmistä. Mikäli painoväri täytyy hävittää, on se usein arvokas energianlähde, sillä monilla jätepainoväreillä on poltettaessa korkeampi lämpöarvo, kuin hiilellä ja puulla. Painovärien sisältämän lämpösisällön takia myös painettujen tuotteiden hävittäminen polttamalla energian talteenottolaitoksissa. (EuPIA, 2013)

### 4.1.3 Kierrätettävyys

Tuotteen kierrätettävyyttä arvioidessa, arvio tehdään lopullisesta fyysisestä pakkauksesta, johon kuuluu pohjamateriaalin lisäksi pakkauksessa olevat painovärit ja etiketit. Pakkauksen tyyppin mukaan sen painettu osa voi olla erotettavissa, mikä helpottaa pakkauksen kierrätettävyyttä. (Videojet technologies 2024)

EuPIA (European Printing Ink Association) on asettanut poissulkemissäännöksen (Exclusion policy) pakkauksissa käytettäviin painoväreihin tavoitteenaan varmistaa painovärien turvallisuus asiakkaille ja pakkauksen parissa työskenteleville henkilöille. EuPIA:n toiminta ja valvonta on jatkuvaa asianmukaisten säännösten ylläpitämiseksi. (EuPIA, 2023) Säännöstä on laajennettu sisältämään ympäristö- ja kierrätysnäkökulmat. Säännös kuitenkin mahdollistaa veden eliöstölle haitallisten materiaalien käytön painoväreissä ekonomisista ja teknisistä syistä. Ympäristölle haitalliset painovärit on merkitty EU-lainsäädännön mukaisesti eikä niitä vapauteta ympäristöön, jos niitä käytetään ympäristösäädöksiä ja teollisuudenalan ohjeita noudattaen. (EuPIA, 2013)

Kierrätettävyyden helpottamiseksi, EuPIA rajoittaa käytettävän painovärien määrän viiteen prosenttiin pakkauksen painosta. Tämän lisäksi vaaleampien sävyjen

käyttöä suositellaan. (EuPIA 2021) Pakkauksissa käytettävät painovärit eivät usein ole biohajoavia, jotta pakkausten laatuvaatimukset saadaan pidettyä halutulla tasolla. Monet vesiliukoiset väriaineet, jotka täyttäisivät biohajoavuusvaatimukset, haalistuvat ennen pakkauksen käyttöään loppumista eivätkä siis sovellu ominaisuuksiensa puolesta käytettäväksi tuotteissa. Pakkauksen sisältämät painovärit eivät kuitenkaan estä pakkausta täyttämästä biologisen hajoamisen vaatimuksia, sillä pakkauksen hajottua jäljelle jäävä painoväri on inerttiä eli reaktiokyvyttöä materiaalia, jota ei pidetä ympäristölle haitallisena. Itsessään painovärien valmistus on prosessitehokasta, painovärit ovat helposti kierrätettävissä ja vain 1 % raaka-ainepanoksesta menetetään. Käyttämättömiä liuottimia voidaan hyödyntää prosessien laitteiden puhdistukseen. (EuPIA, 2013)

Monien painettujen materiaalien uudelleenkäyttö ei ole teknisesti mahdollista suuressa mittakaavassa, mikä johtuu vaikeuksista erottaa painoväri ja muut epäpuhtaudet painetusta materiaalista kierrätyksen aikana ja rajoituksista materiaalin laadun säilyttämisessä uudelleenkäyttöä varten. Mikäli jo käytettyä painoväriä sisältävää materiaalia kierrätetään, sen uudelleenkäyttäminen elintarvikealan pakkauksissa ei ole suositeltavaa elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyvien säädösten takia. Painovärien kierrätettävyyden painokoneissa on kuitenkin tehokkaalla tasolla. Sähköiset värinkäyttöohjausjärjestelmät ovat mahdollistaneet painovärijätteen minimoimisen. Myös painokoneilla käytettävien puhdistusnesteiden sekä painovärikanisterien keräys ja kierrätys on tehokasta. (EuPIA, 2013)

## 4.2 Ratkaisuja

Luonnonväriaineiden käytön edistämiseksi olisi suositeltavaa luoda asianmukaisia standardoituja tunnistemenetelmiä väriaineita käyttäville tuotteille, mikä parantaisi kuluttajien luottamusta tuotteiden alkuperän suhteen sekä auttaisi kestävästi toimivia tuottajia välttymään negatiiviselta julkisuudelta. (Samanta ym. 2020, 7) Tähän mennessä ekologisia merkintöjä on kehitetty koskemaan väriaineita yleisellä tasolla muiden tuotteiden lomassa. Esimerkkejä kuluttajia hyödyntävistä ympäristömerkinnöistä ovat USDA BioPreferred, EU Ecolabel ja Nordic Swan. Tyypillisesti yleisen tason ympäristömerkinnät määritellään niin tiukasti,

että vain 5–30 % tuoteluokan hyödykkeistä täyttää ympäristömerkinnän kriteerit. (European Commission, 2016)

Tuotteen elinkaaren arviointi jo ennen sen valmistusta on erittäin tärkeää. On otettava huomioon käytettävät materiaalit, painomenetelmän energiankulutus ja siitä aiheutuvat muut ympäristövaikutukset ja päästöt. Käytettäviä materiaaleja arvioitaessa on tärkeää ottaa huomioon materiaalin sisällön lisäksi sen määrä, sillä suurempi materiaalin kulutus johtaa suurempiin energiakuluihin sekä materiaalin valmistuksessa, että sen käsittelyssä. Näiden lisäksi hiilijalanjäljen arvioimiseksi on huomioitava tuotteen jakelu, käyttö ja loppusijoitus. (Cem & Samed Ayhan, 2020)

VOC-yhdisteiden vapautuminen luontoon riippuu useasta tekijästä, jotka tulisi ottaa huomioon liuotinpohjaisia painovärejä käytettäessä. Painonopeus ja painojen välissä odotettu aika vaikuttavat painovärisäiliöstä haihtuvien VOC-yhdisteiden määrään. Tuotteen kuivausvaiheessa, painettava materiaali ja kuivausjärjestelmien tehokkuus vaikuttavat VOC-yhdisteiden vapautumiseen. Jos VOC-yhdisteitä vapautuu, voidaan niitä pyrkiä ottamaan talteen suodattimien avulla tai pottaa jälkipolttimella. Suodattimien tai jälkipoltinten ulkopuolelle vuotavien VOC-yhdisteiden määrä on riippuvainen liuottimen tyypistä, lämpötilasta ja järjestelmien toimivuudesta sekä suunnittelusta. VOC-pitoiset kemikaalit voidaan monissa tapauksissa korvata muilla, vähemmän ympäristöä ja terveyttä kuluttavilla materiaaleilla. (Cem & Samed Ayhan, 2020)

## 5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tuotteen värimaailmalla on oleellinen vaikutus kuluttajan käyttäytymiseen. Värien sävyt ja voimakkuus voivat kertoa tuotteesta tai erottaa tuote kilpailijoista, mikä tekee tuotteessa käytetystä painoväristä oleellisen osan tuotetta. Painovärien on tarkoitus toimia niille suunnitelluissa painomenetelmissä ja kestää kuluttajien käytössä, minkä takia painovärien komponentit; pigmentit, sideaineet, lisäaineet ja kantaja-aine, on valittava huolellisesti kuitenkin niiden ekologisia vaikutuksia unohtamatta.

Painovärien ympäristövaikutukset kattavat monitahoisen joukon arvioitavia näkökulmia raaka-aineista loppukäsittelyyn. Liuotinpohjaisia luonnonvärejä käytetään laajasti niiden tarjoaman värinlaadun ja kulutuksenkestävyyden vuoksi, mutta ne voivat aiheuttaa merkittäviä ekologisia kustannuksia. Haihtuvat orgaaniset VOC-yhdisteet lisäävät riskiä sekä ihmiselle että luonnolle. Painovärien riippuvuus uusiutumattomista luonnonvaroista kasvattaa entisestään niiden tuottamaa hiilijalanjälkeä.

Vaihtoehtona on hyödyntää mm. kasveista, mineraaleista ja pieneliöistä tuotettavia väriaineita. Vaikka hyödynnettäviä luonnonväriaineiden vaihtoehtoja on runsaasti, luonnonvärien käsittelyä teollisessa mittakaavassa ja soveltuvuutta monipuolisiin käyttötarkoituksiin täytyy vielä tutkia tarkemmin. Luonnonväriaineiden tuotannon skaalaus tarvittavalle tasolle voi tuottaa haasteita eivätkä monien luonnonväriaineiden lähteiden kasvuolosuhteet ole yhteensopivat Suomen ilmaston kanssa. Vesipohjaisten painovärien kuivumisen tuottama hiilijalanjälki energian kulutuksen kautta voi olla suuri, varsinkin jos VOC-yhdisteiden käytön vähennettyä vapautuvia kaasuja ei saada hyödynnettyä energian tuotantoon. Kuluttajat voivat olla vähemmän kiinnostuneita ostamaan pakkauksia, mikäli niissä käytetty painoväri ei ole tarpeeksi kirkas tai pitkäkestoinen, mitkä ovat luonnonvärien oleellisia heikkouksia.

On mahdollista, että luonnonväriaineiden tuotanto kuluttaa ruoantuotannossa tarvittavaa viljelysmaata ja rasittaa luonnon ekosysteemejä. Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen on vaihtoehto, joka säästäisi viljelykselle suotuisia alueita.

Toisena vaihtoehtona toimivat mikro-organismit, jotka itsessään pystyvät kuluttamaan teollisuuden sivuvitoja kasvaakseen eivätkä vie kasvatusolosuhteissa suurta tilaa. Myös ympäristöystävällisiä epäorgaanisia pigmenttejä on syytä tarkastella.

Painomenetelmien ympäristövaikutukset ovat sidoksissa menetelmän soveltuvuuteen painettavalle tuotteelle. Oleellista painomenetelmissä on se, että on painajan taloudellisessa intressissä minimoida painoprosessin energiankulutus painettavalle materiaalille ja -määrälle, mikä jo itsessään pienentää painatuksen tuottamaa hiilijalanjälkeä. Digitaaliset painomenetelmät eivät voi nykymuodossaan kilpailla muita saatavilla olevia vaihtoehtoja vastaan suurilla painomäärillä, mutta pienemmillä painomäärillä ne säästävät painoväriä ja aikaa.

Painoväriin elinkaaren suunnittelu sen tuotannosta jätteeksi yhdessä uusien innovaatioiden kanssa mahdollistaa koko painoteollisuuden alan uudelleenmäärittelyn. Painoteollisuus on tienhaarassa, missä yhä enenevä kysyntä planeetan ekologiaa suojeleville vaihtoehdoille motivoi kestäviin ratkaisuihin priorisoimista.

## LÄHTEET

Andong, L. & JianJung, F. 2020. Letterpress Reproduction—Information Visualization Design. Viitattu 29.10.2024. [https://www.researchgate.net/publication/349146094\\_Letterpress\\_Reproduction--Information\\_Visualization\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/349146094_Letterpress_Reproduction--Information_Visualization_Design)

Assaifan, A., Al habis, N., Ahmad, I., Alshehri, N. & Alharbi, H. 2020. Scaling-up medical technologies using flexographic printing. Viitattu 18.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914020305270>

Aydemir, C., Yneidoğan, S. & Tutak, D. 2023. Sustainability in the print and packaging industry. Viitattu 15.11.2024. [https://www.cellulosechemtech-nol.ro/pdf/CCT5-6\(2023\)/p.565-577.pdf](https://www.cellulosechemtech-nol.ro/pdf/CCT5-6(2023)/p.565-577.pdf)

Barreto, J., Casanova, L., Neves, A., Reis-Mansur, M. & Vermelho, A. 2023. Microbial Pigments: Major Groups and Industrial Applications. Viitattu 28.10.2024. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/12/2920>

Bhaloo, Z., Bird, C., Bishop, B., Campbell, T., Detwiler, K., Durina, M., Eisenberg, D., Goff, M., Hanson, L., Ibrahim, S., Merlino, M., Mitchell, L., Nicolaidis, K., Olson, L., Ostrum, R., Risi, L., Tanaka, T., Tytell, P., Vargas, R., Vastrick, T. & Wooton, E. 2020. Forensic Document Examination in the 21st Century. Viitattu 21.10.2024. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=6379658>

Benli, H. 2024. Bio-mordants: a review. Viitattu 05.11.2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-32174-8>

Bobst. n.d. Flexographic printing. Viitattu 18.10.2024. <https://www.bobst.com/usen/products/ci-flexo-printing/process/>

Buschow, K., Cahn, R. & Veyssi re, P. 2001. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. Viitattu 20.11.2024. <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780080431529/encyclopedia-of-materials-science-and-technology>

Camus, A., Reali, M. & Santato, C. 2022. Advances in high-resolution printed transistors: The case of bio-sourced organic materials. Viitattu 19.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223622000062>

Cassart. n.d. Understanding synthetic pigments. Viitattu 31.10.2024. <https://www.cassart.co.uk/understanding-synthetic-pigments/>

Cecily, L. 2016. Diversity of Inks - Structure and Requirements. Viitattu 01.11.2024. <https://slideplayer.com/slide/12179456/>

Cem, A. & Samed Ayhan, Ö. 2020. Environmental impact of printing inks and printing process. Viitattu 08.11.2024. <https://jged.uns.ac.rs/index.php/jged/article/view/464/1298>

Chemicalbook, 2023. 4-Phenylazophenol. Viitattu 10.11.2024. [https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB5366310.htm](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5366310.htm)

Dillon, M. 2023. How Does Offset Printing Work? An In-Depth Guide. Viitattu 20.10.2024. <https://meyers.com/meyers-blog/how-does-offset-printing-work-an-in-depth-guide/>

Dondi, M., Blosi, M., Gardini D. & Chiara, Z. 2012. Ceramic pigments for digital decoration inks: an overview. Viitattu 25.10.2024. [https://www.researchgate.net/publication/267764582\\_Ceramic\\_Pigments\\_for\\_Digital\\_Decoration\\_Inks\\_an\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/267764582_Ceramic_Pigments_for_Digital_Decoration_Inks_an_Overview)

Dyster, L., Kosunen, M. & Räsänen, R. 2024. Luonnonvärit opetuksessa. Viitattu 24.10.2024. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/c017a507-c108-490a-acc7-f93dd64edf8b/content>

Dyster, L. & Räsänen, R. 2024. Biocolours2024: Book of Abstracts. Viitattu 28.10.2024. <https://helda.helsinki.fi/items/b0733928-0327-4b13-a894-6c39d4605361>

EuPIA, 2013. Environmental impact of printing inks. Viitattu 09.11.2024. [https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2022/09/2013-03-05\\_EuPIA\\_Environmental\\_Impact\\_of\\_Printing\\_Inks\\_01.pdf](https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2022/09/2013-03-05_EuPIA_Environmental_Impact_of_Printing_Inks_01.pdf)

EuPIA. 2021. Printing inks and Plastic Recycling – Q & A. Viitattu 27.10.2024. [https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2022/09/Printing\\_inks\\_and\\_Plastic\\_Recycling\\_-\\_Q\\_A.pdf](https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2022/09/Printing_inks_and_Plastic_Recycling_-_Q_A.pdf)

EuPIA. 2023. Exclusion policy for printing inks and related products. Viitattu 27.10.2024. [https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2024/03/20240313-EuPIA\\_Exclusion\\_Policy\\_for\\_Printing\\_Inks\\_and\\_Related\\_Products\\_-\\_March-2024\\_6th-Edition-v1-1.pdf](https://www.eupia.org/wp-content/uploads/2024/03/20240313-EuPIA_Exclusion_Policy_for_Printing_Inks_and_Related_Products_-_March-2024_6th-Edition-v1-1.pdf)

European Commission. 2016. STAR-ProBio Sustainability Transition Assessment and Research of Bio-based Products. Viitattu 04.11.2024. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bf9e93b8&appld=PPGMS>

Flexoconcepts. n.d. Doctor Blade Chambers Play a Key Role in Print Quality and Pressroom Efficiency. Viitattu 29.10.2024. <https://www.flexoconcepts.com/blog/doctor-blade-chambers-play-key-role-print-quality-pressroom-efficiency/>

Fouillaud, M., Caro, L. & Dufossé, Y. 2018. Fungal Pigments. Viitattu 03.11.2024. <https://www.mdpi.com/books/reprint/570-fungal-pigments>

Furukama, S., Masui, T. & Imanaka, N. 2008. New environment-friendly yellow pigments based on CeO<sub>2</sub>–ZrO<sub>2</sub> solid solutions. Viitattu 07.11.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838807008961>

Greenerprinter. n.d. Viitattu 24.10.2024. <https://www.greenerprinter.com/>

Gürses, A., Açıkıldız, M., Güneş K, & Gürses, M. 2016. Dyes and Pigments. Viitattu 06.11.2024. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-33892-7>

Hayta, P., Oktav, M. & Ateş Duru, O. 2022. Evaluation of plant-based oils for production of offset printing ink. Viitattu 02.11.2024 [https://www.researchgate.net/publication/361333314\\_Evaluation\\_of\\_plant-based\\_oils\\_for\\_production\\_of\\_offset\\_printing\\_ink](https://www.researchgate.net/publication/361333314_Evaluation_of_plant-based_oils_for_production_of_offset_printing_ink)

Incodeinkjet. 2022. What Is The Difference Between Water-Based Ink And Solvent Ink And Eco-Solvent Ink? Viitattu 26.10.2024. <https://www.incodeinkjet.com/news/what-is-the-difference-between-water-based-ink-and-solvent-ink-and-eco-solvent-ink/>

Iverson, J. 2023. The Offset Printing Process: How it works. Viitattu 29.10.2024. <https://pakfactory.com/blog/what-is-offset-printing/>

Jennings printing group. 2024. How Does Offset Printing Work. Viitattu 20.10.2024. <https://www.jenningsprint.com.au/how-does-offset-printing-work/>

Jewell, J. 2022. Get Your Greens: A List of Plants You Can Dye Wool With. Viitattu 30.10.2024. <https://www.theautumnacorn.com/post/get-your-greens-a-list-of-plants-you-can-dye-wool-with>

Kaoprint. n.d. Solvent-Based Inks. Viitattu 19.11.2024. <https://www.kaoprint.com/inks/solvent-based-ink/#>

Lambourne & Strivens, 1999. Paint and Surface Coatings Theory and Practice. Viitattu 13.11.2024. <https://www.sciencedirect.com/book/9781855733480/paint-and-surface-coatings>

Lankinen, K. 2021. Evaluation of Expanded Gamut Printing in Flexography. Viitattu 29.10.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/133062/978-952-03-2027-0.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

LAW. n.d. Gravure Printing What are the advantages? Viitattu 19.10.2024. <https://lawprintpack.co.uk/packaging/advantages-gravure-printing-packaging/>

Leach, R., & Pierce, R. 2002. The printing ink manual 5<sup>th</sup> edition. Viitattu 11.11.2024. [https://books.google.fi/books?id=2PwKTqO5dioC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=2PwKTqO5dioC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Logotrade. n.d. Tampopainatus. Viitattu 23.10.2024. <https://www.logo.ee/fi/services/tampopainatus?srsId=AfmBOooSceZlhez-CFifcP8zDnbX9y2734YVPD9U7ojHwy-Dc7sRTmMpD>

Meng C. 2023. Water-based ink, solvent ink, and UV ink: A comparison of their advantages and disadvantages. Viitattu 16.10.2024. <https://www.linkedin.com/pulse/water-based-ink-solvent-uv-comparison-advantages-carolina-meng-nuuwc>

Munehiro, N., Nagato, K., Higashisaka, T., Murakami, M. & Nakao, M. 2019. Heat-Assisted Screen Printing of High-Aspect-Ratio Microstructures. Viitattu 22.10.2024. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8714058>

Pavličková, M., Đurđić, S., Hatala, M., Stanković, D., Švorc, L., Veteška, P & Gemeiner, P. 2023. Pad printing inks based on reduced graphene oxide and various cellulose binders: Rheological properties, printability and application in electrochemical sensors. Viitattu 23.10.2024. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.54570>

Pereira, A., Rodrigues, F., Paulino, A., Martins, A. & Fajardo, A. 2021. Recent advances on composite hydrogels designed for the remediation of dye-contaminated water and wastewater: A review. Viitattu 05.11.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620347478>

Phoenixlitho n.d. Digital Printing: Advantages and Disadvantages. Viitattu 22.10.2024. <https://www.phoenixlitho.com/digital-printing-advantages-and-disadvantages/>

Physorg, 2015. Inkjet printing process for kesterite solar cells. Viitattu 29.10.2024. <https://phys.org/news/2015-05-inkjet-kesterite-solar-cells.html>

- Qinghe. 2024. What is Solvent Based Printing Ink? Viitattu 16.10.2024. <https://www.qinghe-chemical.com/blog/solvent-based-printing-ink>
- Räisänen, R., Primetta, A. & Niinimäki, K. 2014. Luonnonväriaineet. Viitattu 24.10.2024. <https://helda.helsinki.fi/items/caa16904-5f3c-42d3-858a-b3d063b0cbc0>
- Samanta, A., Awwad, N. & Algarni, H. 2020. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. Viitattu 18.10.2024. [https://mts.intechopen.com/storage/books/9203/authors\\_book/authors\\_book.pdf](https://mts.intechopen.com/storage/books/9203/authors_book/authors_book.pdf)
- Sapru, S. 2016. How different are heatset and coldset offset? Viitattu 02.11.2024. <https://www.printweek.in/features/heatset-coldest-offset-21462>
- Savastano, D. 2023. Energy-Curable Ink Market Continues to Grow. Viitattu 22.11.2024. [https://www.inkworldmagazine.com/issues/2023-04-01/view\\_features/energy-curable-ink-market-continues-to-grow/](https://www.inkworldmagazine.com/issues/2023-04-01/view_features/energy-curable-ink-market-continues-to-grow/)
- Sekki, S., Kauppinen-Räisänen, H., Kylkilahti, E. & Autio, M. 2023. Packaging journey from retail to home: how the meaning of sustainability for colour transforms. Viitattu 04.11.2024. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJRDM-12-2021-0579/full/html>
- Soleimani-Gorgani, A., Najafi, F., Mohammadrezaei, F. & Shirkavand Hadavand, B. 2021. Transparent water-based UV-curable urethane acrylate ink-jet ink. Viitattu 17.10.2024. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1023666X.2021.1876457>
- Taosif, A., Gazi, T., Rony, M., Syed, I., Abdullah, A., Shahid A. & Tibor, A. 2024. Chapter 8 - New trends in printing applications of natural dyes and pigments. Viitattu 30.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978044315213900003X>

Tehrani, M., Shahmoradi, F., Beni, Z. & Rahimi, M. 2023. Extracted dyes' stability as obtained from spent coffee grounds on silk fabrics using eco-friendly mordants. Viitattu 31.10.2024. [https://www.researchgate.net/publication/370439408\\_Extracted\\_dyes%27\\_stability\\_as\\_obtained\\_from\\_spent\\_coffee\\_grounds\\_on\\_silk\\_fabrics\\_using\\_eco-friendly\\_mordants](https://www.researchgate.net/publication/370439408_Extracted_dyes%27_stability_as_obtained_from_spent_coffee_grounds_on_silk_fabrics_using_eco-friendly_mordants)

Tian, X., Lv, S., Li, J., Zhang, J., Yu, L., Liu, X. & Xin, X. 2024. Recent advancement in synthesis and modification of water-based acrylic emulsion and their application in water-based ink: A comprehensive review. Viitattu 17.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944024001127>

Tong, R., Zhang, L., Yang, X., Liu, J., Zhou, P. & Li, J. 2019. Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing. Viitattu 27.10.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618332177>

Triwiswara, M. & Indrayani, L. 2020. Utilization of black tea waste as natural batik dyes on cotton and silk. Viitattu 31.10.2024. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/456/1/012051/pdf>

UCL - London's Global University. n.d. X-Polymers-E-Printing inks-1 PRINTING INK TECHNOLOGY AND MANUFACTURE. Viitattu 16.10.2024. [https://www.ucl.ac.uk/slade/know/wp-content/uploads/painting\\_printing\\_inks\\_technology.pdf](https://www.ucl.ac.uk/slade/know/wp-content/uploads/painting_printing_inks_technology.pdf)

Videojet technologies. 2024. Printing Ink's Potential Impact on Recycling of Product Packaging. Viitattu 27.10.2024. <https://www.linkedin.com/pulse/printing-inks-potential-impact-recycling-product-packaging-videojet-7gdje>

Vlahos, J. 2022. What is Lithography and How Has it Shaped Modern Printing? Viitattu 03.11.2024. <https://www.printivity.com/insights/2020/07/22/what-is-lithography-and-how-has-it-shaped-modern-printing/?srsltid=AfmBOoo95IK-BIU36vtjeWoTkD6owfvHsWa8nshOjtMne9w4MgjJY2XYs>

Xiao, Y., Yue, L., Tingzhu, W., Zijun, Y., Zhong, C., Hao-Chung, K. & Rong, Z. 2022. An overview on the principle of inkjet printing technique and its application in micro-display for augmented/virtual realities. Viitattu 21.10.2024. <https://www.ojournal.org/article/doi/10.29026/oea.2022.210123>

Yunxin, F., Xiongfa, Y., Na, H., Yan, S., Xiaojia, W. & Ming, H. 2022. Preparation method of bio-based UV curing initiator as well as product and application of bio-based UV curing initiator. Viitattu 17.10.2024. <https://worldwide.espace-net.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20220715&DB=EPODOC&locale=&CC=CN&NR=114752004A&KC=A&ND=1#>

Żółek-Tryznowska, Z. 2016. Additives for Ink Manufacture. Viitattu 13.11.2024. [https://www.researchgate.net/publication/301253580\\_Additives\\_for\\_Ink\\_Manufacture](https://www.researchgate.net/publication/301253580_Additives_for_Ink_Manufacture)