

Helmi Halmkrona

**KEVYEMMÄN PAINOPAPERIN
VAIKUTUS AIKAKAUSLEHDEN
YMPÄRISTÖKUORMAAN JA
PAINOJÄLKEEN**

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Juha Nykänen
Joulukuu 2025

TIIVISTELMÄ

Helmi Halmkrona: Kevyemmän painopaperin vaikutus aikakauslehden ympäristökuormaan ja painojälkeen
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikka
Joulukuu 2025

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin aikakauslehtipaperin valmistusta, keskeisiä ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia keskittyen hiilijalanjälkeen. Tehtävänä oli pienentää aikakauslehden ympäristökuormaa painopaperia keventämällä ilman, että painojälki tai lukukokemus heikkenevät merkittävästi. Tavoitteena oli löytää neliömassaltaan kevyempi paperi nykyisen UPM Star 80 g/m² MWC-paperin tilalle.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja tapausesimerkinä. Aikakauslehtipaperien ominaisuuksia tarkasteltiin valmistajien antamien ominaisuustietojen ja fyysisten mallilehtien avulla. Hiilijalanjälkeä arvioitiin CEPIn Framework for Carbon Footprints for Paper and Board Products -mallin mukaisesti. Tarkastelu rajattiin lehden koko elinkaareen raaka-aineiden hankinnasta käyttöön ja loppusijoitukseen.

Case-esimerkin perusteella aikakauslehtipaperin fossiilinen hiilijalanjälki oli noin 990 kgCO₂e paperitonnia kohden. Suurimmat päästölähteet olivat ostosähkö ja painovaihe. Materiaalivalinnassa todettiin, että paperin neliömassan pienentäminen on tehokas keino vähentää lehden hiilijalanjälkeä. Verratuista papereista parhaaksi valikoitui UPM Star silk 65 g/m² MWC-paperi, jossa opasiteetin aleneminen kompensoitui suurella bulkilla. Neliömassan pienentäminen alensi lehden hiilijalanjälkeä case-esimerkissä noin 17 % säilyttäen painojäljen hyväksyttävällä tasolla.

Työn tulokset osoittavat, että materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi aikakauslehden ympäristövaikutuksiin ilman olennaista laadun heikkenemistä.

Avainsanat: aikakauslehtipaperi, hiilijalanjälki, materiaalivalinta, painopaperi, neliömassa

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Helmi Halmkrona: The Impact of Lighter Printing Paper on the Environmental Burden and Print Quality of a Magazine

Bachelor's thesis

Tampere University

Materials Science and Engineering

December 2025

This bachelor's thesis examined the manufacturing processes, key properties, and environmental impacts of magazine paper, with a focus on carbon footprint. The objective was to reduce the environmental burden of a magazine by decreasing the grammage of the printing paper without significantly compromising print quality or reading experience. The aim was to identify a lighter weight alternative to the currently used UPM Star 80 g/m² MWC paper.

The study was conducted as a literature review combined with a case study. The properties of magazine papers were analysed using technical data provided by manufacturers as well as physical sample magazines. The carbon footprint was assessed in accordance with the CEPI Framework for Carbon Footprints for Paper and Board Products. The assessment was limited to the magazine's life cycle, from raw material acquisition through use and end-of-life.

Based on the case study, the fossil carbon footprint of magazine paper was approximately 990 kgCO_{2e} per tonne of paper. The largest source of emissions were purchased electricity and the printing stage. From a material selection perspective, reducing paper grammage was found to be an effective way to lower the magazine's carbon footprint. Among the papers compared, UPM Star silk 65 g/m² MWC paper was the most suitable option, as the reduction in opacity was compensated by higher bulk. Reducing grammage lowered the magazine's carbon footprint by approximately 17 % in the case study while maintaining print quality at an acceptable level.

The results demonstrated that material selection can significantly influence the environmental impacts of a magazine without causing substantial deterioration in product quality.

Keywords: magazine paper, carbon footprint, material selection, printing paper, grammage

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

- ScopusAI
- ChatGPT-5

ScopusAI-kielimallia on käytetty apuna lähteiden etsimisessä sekä hakulauseiden muodostamisessa.

ChatGPT-kielimallia on käytetty tekstin rakenteen ja oikeakielisyyden korjaamiseen kaikissa osioissa.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. AIKAKAUSLEHTIPAPERI	2
2.1 Aikakauslehtipaperin valmistusprosessi.....	2
2.2 Aikakauslehtipaperin tyypilliset ominaisuudet	4
3. YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI	7
3.1 Arviointimenetelmät	7
3.2 CEPIn arviointimalli.....	8
3.3 Aikakauslehden elinkaaren osa-alueet	11
3.3.1 Paperin valmistus ja jakeluvaihe	12
3.3.2 Painoprosessi	13
4. MATERIAALIVALINTA.....	15
4.1 Tehtävien kartoitus ja materiaalien esivalinta.....	15
4.2 Vaatimusprofiili	16
4.3 Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen	17
5. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	19
5.1 Case-esimerkin rajaukset	19
5.2 Case-esimerkki laskelmat.....	21
5.3 Kevyemmän paperin vaikutus.....	24
6. YHTEENVETO.....	26
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Aikakauslehtipaperi on painopaperin alalaji, ja sen ominaisuudet määrittävät lehden lukijan asiakaskokemusta. Materiaalivalinnat vaikuttavat myös tuotteen laatuun, kustannuksiin ja ilmastovaikutuksiin. Ympäristönäkökulmat ovat nousseet yhä tärkeämmiksi aikakauslehtien kustannusalalla.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan aikakauslehtipaperin valmistusta, ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia keskittyen hiilijalanjälkeen. Työ tehtiin aikakauslehden kustantajayhtiön toimeksiantona. Vaatimus paperin kotimaisuudesta rajasi pois suurimman osan paperinvalmistajista, ja jäljelle jäivät UPM-Kymmene Oyj sekä Sappi Limited. Tutkimuksessa lähtöpaperina on UPM-Kymmene Oyj:n tuottama UPM Star MWC -paperi, jonka neliömassa on 80 g/m². Paperin ominaisuuksia ja hiilijalanjälkeä verrataan neliömassaltaan kevyempiin Suomessa valmistettuihin vaihtoehtoihin. Hiilijalanjälkeä pyritään pienentämään säilyttäen paperin muut ominaisuudet mahdollisimman samankaltaisina.

Paperinvalmistus on monimutkainen prosessi, jonka jokainen vaihe vaikuttaa lopputuotteen ominaisuuksiin ja ympäristökuormaan. Hiilijalanjäljen arviointia vaikeuttaa se, että tuotteen elinkaaren päästöjen laskentaan on useita kansainvälisiä menetelmiä. Järjestelmärajaukset ja käytävissä oleva tiedot vaihtelevat paperinvalmistajien välillä. Tässä työssä menetelmän valinta ja oletukset kuvataan mahdollisimman läpinäkyvästi, jotta tulokset ovat toistettavissa.

Työn tuloksena tuotetaan toimeksiantajayritykselle paperien teknisten ominaisuuksien ja ympäristövaikutusten vertailu. Tuloksia hyödynnetään käytännön paperivalinnan pohjana siten, että lehden visuaalinen laatu ja paperin pinnan tuntuma säilyvät, mutta ilmastovaikutus minimoidaan.

2. AIKAKAUSLEHTIPAPERI

Aikakauslehtipaperi eli lehden sisuspaperi on eräs painopaperilaaduista. Painopaperi on yleistermi, joka kattaa esimerkiksi kopio-, sanomalehti- ja etikettipaperin sekä aikakauslehti- ja luettelopaperin. Materiaalin tärkeimmät ominaisuudet ovat painojäljen laatu ja ajettavuus eli suorituskyky painoprosessissa. Näihin vaikutetaan raaka-ainevalinnoilla ja käsittelyillä. Ominaisuuksiin vaikuttavat kuituraaka-aineiden yhdistelmät ja lisäaineet, kuten liimat, tärkkelys ja optiset kirkasteet. [1]

2.1 Aikakauslehtipaperin valmistusprosessi

Paperinvalmistus koostuu erilaisista prosesseista, joilla raaka-aineet muunnetaan valmiiksi paperituotteiksi. Käytetyt prosessit vaihtelevat valmistettavan paperin tyypin mukaan, mutta ne noudattavat yleensä samoja perusvaiheita.

Ensimmäinen vaihe on raaka-aineen valmistelu. Siinä puuraaka-aine kuidutetaan massatehtaalla eli puun kuidut irrotetaan joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Kun kuidut erotetaan toisistaan mekaanisen rasituksen ja lämmön avulla, saatavaa massaa kutsutaan mekaaniseksi. Kemiallisessa massassa eli sellussa puukuidut erotetaan toisistaan keittämällä puuta kemikaaleissa. [2, Luku 1.1]

Mekaanisen massan kuidut ovat lyhyitä, rikkonaisia ja eripituisia. Ne poikkeavat merkittävästi sellusta, jossa kuidut ovat mekaanista massaa pidempiä ja vahvempia. Kuitujen rikkonaisuuden vuoksi mekaanisen massan lujuusominaisuudet ovat huonoja selluun verrattuna. Aikakauslehtikäytössä mekaaninen massa tarvitsee myös usein valkaisua riittävän vaaleusasteen saavuttamiseksi. [1]

Raaka-aine voi olla myös kierrätettyä, jolloin puhutaan uusiomassasta ja siitä tehtävästä uusiopaperista. Tehtaan käyttämän uusiomassan suhdetta tuotetun paperin määrään sanotaan käyttöasteeksi. Uusiopaperin käyttöön sisältyy kuitenkin ongelmia, sillä materiaalissa esiintyy runsaasti epäpuhtauksia, jotka on poistettava tarpeeksi korkealaatuisen lopputuotteen aikaansaamiseksi. Lisäksi kierrätettyjen kuitujen ominaisuudet eroavat ensimmäistä kertaa käytössä olevien neitsytkuitujen ominaisuuksista merkittävästi, joten uusiomassa käyttäytyy valmistuksessa arvaamattomasti. Uusiopaperin lujuus- ja vaaleusominaisuuksia saadaan parannettua kemikaaleilla. [3]

Paperitehtaalla voidaan valita erilaisia massalajeja halutunlaisen paperin valmistamiseksi, joten paperissa on harvoin vain yhdenlaista massaa. Aluksi massat ajetaan

paperikoneen pulpperiin eli säiliöön, jossa kiinteät aineet sekoitetaan veteen. Pulperista seos ajetaan perälaatikon kautta rainaksi viiralle, joka on muovinen tai metallinen verkko. Pulpperiin ajetaan myös paperinvalmistuksessa syntyvä hylky, millä tarkoitetaan esimerkiksi paperikoneen loppupäässä syntyviä paperin leikkausjätteitä. [2, Luku 1.2.2]

Viiralla paperia lujitetaan poistamalla seoksesta vettä. Tämän jälkeen veden poistoa jatketaan ensin puristamalla ja sitten haihduttamalla. Tuloksena saadaan kuivaa tuotetta. Paperi pysyy koossa lähinnä kuitujen välisillä vetysidoksilla, jotka syntyvät kuivatusvaiheessa. [1] [2, Luku 1.2.2]

Aikakauslehtipaperit eroavat yleisistä paperinvalmistuksen perusvaiheista siten, että niille tehdään lisäkäsittelyjä painettavuuden ja optisten ominaisuuksien parantamiseksi. Paperimassaa voidaan valkaista tai käsitellä väriaineilla, täyteaineilla ja päällysteillä. Väriaineilla vaikutetaan lähinnä paperin sävyyn ja siitä aiheutuviin ominaisuuksiin. Täyteaineilla lisätään paperin valon sirontaa ja pienennetään kustannuksia. Yksi usein lisätty täyteaine on savimineraali kaoliini. Sillä myös valkaistaan paperia ja sitä käytetään päällysteenä. Täyteaineet kuitenkin heikentävät kuitujen välisiä sidoksia ja pienentävät siten useita paperin lujuusominaisuuksista. [1] [4]

Puuvapailla eli täysin sellusta valmistetuilla papereilla vaaleus on korkeampi kuin puupitoisilla. Aikakauslehdissä käytetään kuitenkin yleensä puupitoisia paperilajeja, koska ne ovat kustannustehokkaampia. Neljä yleisintä puupitoista aikakauslehtipaperilaatua ovat SC-paperi (Super Calendered), LWC-paperi (Light Weight Coated), MWC-paperi (Medium Weight Coated) ja MFC-paperi (Machine Finished Coated). [1]

SC-paperissa on pääosin mekaanisia massoja, lisäaineita ja havupuista valmistettua pitkäkuituista armeerausmassaa, joka lisää paperin lujuutta. SC-paperiin ei yleensä lisätä päällystettä vaan se loppukäsittelään puristamalla metallisylinterien välissä eli superkalanteroidaan kiiltävän, hyvin painettavan pinnan saavuttamiseksi. Tämän paperilaadun neliömassa-alue on 40–80 g/m². LWC-paperi tehdään kemiallisen massan ja mekaanisen massan sekoituksesta. Paperi päällystetään kevyesti ja on painojäljeltään, vaaleudeltaan ja kiilloltaan SC-paperia parempi. Sen neliömassa-alue on 35–70 g/m², josta päällysteen osuus on noin 4–12 g/m² per puoli. [4, s. 246] [1, Luku 6.3]

MWC-paperi on raaka-aineiltaan hyvin lähellä LWC-paperia. Sen neliömassa-alue on 70–130 g/m², josta päällystys on 12–24 g/m². MWC-paperi on yleensä kaksoispäällystetty, mikä antaa paperille kertapäällystykseen verrattuna homogeenisemmän ja tiiviimmän rakenteen. Kaksoispäällystys parantaa myös paperin vaaleutta. Jokainen päällystyskertta kuitenkin pienentää jäykkyyttä sekä lisää katkoriskiä. Myös MFC-paperi on

raaka-aineiltaan lähellä LWC-paperia. Se on paperikoneella päällystetty ja viimeistelty mattapintainen paperilaji. MFC-paperin neliömassa-alue on 51–80 g/m² ja sillä on LWC-paperiin verrattuna korkeampi bulkki. [1, Luku 6.3]

2.2 Aikakauslehtipaperin tyypilliset ominaisuudet

Aikakauslehtipaperin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lujuus, erityisesti pintalujuus, opasiteetti sekä pinnan karheus ja sileys. Ominaisuudet jaetaan usein kahteen luokkaan: optisiin ominaisuuksiin ja lujuusominaisuuksiin. Optiset ominaisuudet kuvaavat paperin vuorovaikutusta valon kanssa ja määrittävät paperin ulkonäköä. Niitä ovat esimerkiksi kiilto, opasiteetti ja väri. [4, s. 246]

Lujuusominaisuudet kertovat paperin käyttäytymisestä voiman vaikutuksen alaisena. Lujuusominaisuuksia ovat esimerkiksi veto-, repäisy-, puhkaisu- ja pintalujuus sekä karheus ja sileys. Lujuusominaisuudet ovat tärkeitä, sillä paperin tulee kestää painotyön aiheuttama rasitus. Pintalujuus kertoo paperin pintakerroksen kyvystä kestää tahmeiden painovärien aiheuttamaa rasitusta. Lisäksi paperin tulee kestää kuljetusta, koska tuotteet esimerkiksi usein postitetaan loppukäyttäjälle. [1] [4, s. 246]

Paperin opasiteetti kertoo sen läpinäkyvyyden. Luku ilmoitetaan prosentteina, jolloin sata prosenttia on täysin läpinäkymätön. Opasiteetti lasketaan standardin ISO 2471 Paper and board — Determination of opacity (paper backing) — Diffuse reflectance method avulla. Mitä pienempi opasiteetti on sitä enemmän paperi kuultaa läpi, ja luettavuus heikkenee. Suuri opasiteetti vähentää musteen läpipainatusta ohuilla papereilla. Karheus tai sileys määritetään standardin ISO 8791-4 Paper and board — Determination of roughness/smoothness (air leak methods) — Part 4: Print-surf method mukaan paperin läpi kulkevan ilmavirran määränä yksikössä ml/min. Karheus parantaa paperin lujuusominaisuuksia, mutta sileydellä saadaan hyvä kuvantoistokyky. [1] [5] [6]

Vaaleus kertoo paperin kyvystä heijastaa takaisin mahdollisimman paljon siihen osuvasta valosta. Aikakauslehtipaperin vaaleus määritetään standardin ISO 2470-2 Paper, board and pulps — Measurement of diffuse blue reflectance factor — Part 2: Outdoor daylight conditions (D65 brightness) avulla. Valkoisuudella tarkoitetaan sitä, kuinka lähellä valonlähdettä heijastuneen valon väri on. Arvo kertoo lähinnä paperin värisävystä. Valkoisuus saadaan laskettua standardin ISO 11475 Paper and board — Determination of CIE whiteness, D65/10° (outdoor daylight) avulla. [1, Luku 7.10] [7] [8]

Paperin kiilto kertoo sen pinnan mikrosileydestä. Sileään paperiin saa yleensä tasaisen, korkeakiiltoisen värikerroksen. Kiilto määritetään vertaamalla kiiltokomponentin intensiteettiä standardin ISO 8254-1 Paper and board. Measurement of specular gloss.

Part 1: 75 degree gloss with a converging beam, TAPPI method standardipinnan kiilto-komponenttiin. Painojäljelle pyritään saamaan korkea kiilto, sillä se syventää värivaikutelmaa eli esimerkiksi musta näkyy mustana. Paperin suuri kiilto ei kuitenkaan suoraan takaa hyvää painoväriin kiiltoa, koska siihen vaikuttavat muutkin ominaisuudet, kuten imukyky. [1, Luku 7.10] [9]

Neliömassa eli paperin massa grammoina neliometriä kohti on perusominaisuus, jolla on vaikutusta kaikkiin muihin ominaisuuksiin. Se määritetään standardin ISO 536 Paper and board - Determination of grammage avulla. Lujuusominaisuudet, opasiteetti ja tiiviyys paranevat neliömassan kasvaessa. Toisaalta neliömassa pyritään samalla pitämään mahdollisimman pienenä tuotanto- ja kuljetuskustannusten takia. [1] [4] [10]

Paperin bulkki on rakenteellinen ominaisuus, joka saadaan laskettua paperin paksuudesta ja neliömassasta standardin ISO 534 Paper and board - Determination of thickness, density and specific volume mukaan. Bulkki on tiheyden käänteisluku, sen yksikkö on cm^3/g . Bulkki pyritään pitämään mahdollisimman suurena, sillä se parantaa opasiteettia, jäykkyyttä, kokoonpuristuvuutta ja repäisylujuutta. Paperin valmistusprosessissa bulkki kuitenkin usein pienenee painopaperissa tarvittavan pinnan sileyden ja vetolujuuden saavuttamiseksi. [1, Luku 7.4] [11]

Taulukossa 1 on verrattu paperinvalmistuksen prosessien ja lisäaineiden vaikutusta ominaisuuksiin.

Taulukko 1. *Prosessien ja lisäaineiden vaikutus paperin ominaisuuksiin [1] [4]*

Prosessi/ lisäaine	Lujuusomi- naisuudet	Opasi- teetti	Vaaleus	Kiilto	Bulkki	Neliö- massa	Hinta
Täyte- aineet	Heikkenevät	Kasvaa	Paranee	-	Pienenee	Pienenee	Pienenee
Väriaineet	-	-	Paranee	-	-	-	Kasvaa
Valkaisu- aineet	-/Heikkene- vät	-	Paranee	-	-	-	Kasvaa
Superka- lanterointi	-	Pienenee	Paranee	Paranee	Pienenee	-	Kasvaa
Päällystys	Heikkenevät	Kasvaa	Paranee	Paranee	Pienenee	Kasvaa	Kasvaa
Konepääl- lystys (MFC)	Heikkenevät	Kasvaa	Paranee	Paranee	Pienenee	Kasvaa	Kasvaa

- = vaikutus on vähäinen tai riippuu toteutuksesta

Taulukosta nähdään, että täyteaineilla ja päällysteillä saadaan parannettua paperin optisia ominaisuuksia. Samalla ne kuitenkin heikentävät kuitujen välisiä sidoksia eli lujuusominaisuuksia. Useampi päällystyskerta tai superkalanterointi parantavat erityisesti kiiltoa, mutta ne lisäävät kustannuksia ja heikentävät paperin mekaanista kestävyyttä.

[1]

3. YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Tuotteen, prosessin tai palvelun koko elinkaaren aikana syntyviä ympäristövaikutuksia tutkitaan analysoimalla jokaisen vaiheen energiankulutusta, resurssien käyttöä ja päästöjä. [12]

3.1 Arviointimenetelmät

Tuotteen elinkaaren ympäristövaikutusten arviointiin on erilaisia menetelmiä, joista tunnetuimpia ovat elinkaariarviointi (LCA) ja ympäristöseloste (EPD). Menetelmien tuloksena saadaan esimerkiksi tuotteen hiilijalanjälki. Arviosta voidaan halutessa saada myös muita tietoja, kuten vesijalanjälki eli laskelma siitä, kuinka paljon tuotteen elinkaaren aikana kulutetaan maailman vesivaroja. [13] [14]

Hiilijalanjälki on termi, jota käytetään kuvaamaan prosessin tai toiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Hiilijalanjäljen laskemiseksi kaasuista muunnetaan niiden päästömäärät hiilidioksidiekvivalenteiksi käyttämällä kansainvälisesti hyväksytyjä Global Warming Potential (GWP) -kertoimia. GWP-taulukko viittaa kaasun lämmityspotentiaaliin eli siihen, kuinka monella asteella kaasu voi lämmittää ilmakehää sadan vuoden aikana. [15]

Hiilijalanjälki tai ympäristöselvitys voidaan tehdä monesta eri syystä, joista yleisiä ovat: kuluttajien huoliin vastaaminen, oman tiedon lisääminen, imagon ja maineen parantaminen, aseman kilpailijoihin nähden parantaminen, eri tuotteiden vertailu ja omalla toiminnalla aiheutettujen ilmastovaikutusten vähentäminen. Yritysten asettamat rajat ja tulkinnat vaikeuttavat raporttien keskinäistä vertailua. Se mitä menetelmää käytetään, riippuu siitä, mitä lopullisesta raportista halutaan saada selville ja kuinka läpinäkyvä raportin halutaan olevan. [13] Käytettävä arviointimenetelmä voi myös riippua tuotteesta itsestään. Esimerkiksi elektroniikkateollisuudella on oma ympäristöselosteensa (PEP), ja paperi- sekä kartonkiteollisuudessa voidaan käyttää CEPIn (Confederation of European Paper Industries) tekemää kymmenkohtaista arviointimallia nimeltä Carbon Footprint Framework for Paper and Board Products.

Yhden tuotteen ympäristövaikutusten arviointiin voidaan siis käyttää useampaa menetelmää, eivätkä ne anna keskenään samoja tai täysin vertailukelpoisia tuloksia. Ana Cláudia Dias ja Luís Arroja selvittivät artikkelissaan Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint - case study of office paper toimistopaperin hiilijalanjäl-

jen kolmella eri menetelmällä ja saivat hyvin erilaisia arvoja. [16] Samankaltaiseen johdopäätökseen vaihtelevista tuloksista on tultu myös CEPIn arviointimallissa, jossa todetaan, että alalle tulisi luoda yhtenäinen hiilijalanjäljen laskentamenetelmä. [17]

3.2 CEPIn arviointimalli

Tässä tutkimuksessa käytetään Euroopan paperiteollisuuden hiilijalanjäljen Carbon Footprint Framework for Paper and Board Products -arviointimallia. Se on kymmenkohmainen, ja laadittu paperi- ja kartonkiteollisuuden tuottajille hiilijalanjäljen laskennan selkeyttämiseksi. CEPIn arviointimallin kohtia kutsutaan varpaiksi.

Metsät ja muut biomassat sitovat ilmakehästä hiilidioksidia ja toimivat hiilinieluna. Ensimmäinen varvas kertoo tuotantoa varten hakatun metsän menettämästä kyvystä sitoa hiilidioksidia. Yksittäisen tuotteen tarkkaa vaikutusta metsän hiilinieluun on vaikea määrittää. Kestävä metsänhoito turvaa hiilinielujen pysyvyyden tai jopa kasvun. Etenkin kehittyneissä maissa metsien hiilivarannot ovat vakaat tai kasvussa teollisesta hakkuusta huolimatta. Metsäteollisuus luo taloudellisen kannusteen ylläpitää metsiä ja niiden käyttötarkoitusta, mikä rajoittaa metsäkadon aiheuttamia hiilipäästöjä. [17]

Jotta ensimmäinen varvas voidaan laskea, pitää tietää, kuinka paljon hiiltä on sitoutuneena kasvatettuun metsään ja vähentää saadusta arvosta hakkuilla poistettu hiili. Jos tarkkoja määrällisiä arvioita ei voida esittää, tulisi kuvailla, miten kestävä puuhankinta tukee metsien hiilitaseen säilymistä. Suomessa metsiä hoidetaan kestävästi, ja siksi suomalaisia metsiä hyödyntävät yritykset arvioivat usein kasvun korvaavan hakkuun. [17]

Arviointimallin toinen varvas kertoo paperi- ja kartonkituotteiden sisältämän biomassaperäisen hiilen määrän. Kestävästi hoidetussa metsässä hiilivarannot pysyvät vakaina, jolloin ilmakehästä poistunut hiili varastoituu metsistä korjattuun puuhun ja siitä valmistettuihin tuotteisiin. Toisen varpaan laskemiseksi pitää selvittää tuotteen biomassapitoisuus ja määrittää aika, jonka hiili pysyy sitoutuneena. CEPIn arviointimalli antaa useita eri tapoja tämän kohdan laskemiselle riippuen siitä, mitä tietoja on käytettävissä ja kuinka tarkka tulos halutaan saada. [17]

Kolmannessa varpaassa käsitellään fossiilisten polttoaineiden ja biomassan poltosta aiheutuvia päästöjä paperi- ja kartonkituotteita valmistavassa tuotantolaitoksessa. Tähän kuuluvat kaikki puu- tai uusiokuidun jalostamiseen osallistuvat laitokset ennen lopputuotetta. Kolmanteen kohtaan kuuluvat myös tehtaiden sisäiset kuljetukset ja mahdollisesti käytettävien ilmanpuhdistimien päästöt. Jotta kolmannen varpaan hiilijalanjälki

voitaisiin laskea, pitää kerätä tiedot tuotantolaitosten polttoaineiden kulutuksesta, energiantuotannosta ja prosessien päästöistä. [17]

Neljäs CEPIn arviointimallin varpaista käsittelee kuidun tuotannossa syntyviä päästöjä. Neitsytkuituilla tähän kuuluvat taimitarhoilla sekä metsän hoidon ja hakkuun aikana syntyvät päästöt. Uusiokuituilla tähän kohtaan lasketaan paperin kerääminen, lajittelu ja käsittely ennen kierrätysprosessia. Hiilijalanjälki saadaan laskettua, kun on tiedossa polttoaineiden kulutus metsätyössä ja kuljetukset metsästä tehtaalle sekä metsänhoitoon ja käsittelyyn käytetty energia. [17]

Viides varvas kertoo tuotannossa käytettävien polttoaineiden ja muiden kuin puupohjaisten raaka-aineiden, kuten kemikaalien, valmistuksessa syntyvän kasvihuonekaasun määrän. Tähän kohtaan kuuluvat myös näiden raaka-aineiden valmistukseen käytettyyn sähköön liittyvät päästöt. Nämä päästöt ovat suurelta osin valmistajan hallinnan ulkopuolella. Varvasta varten pitää selvittää, mitä muita aineita käytetään sekä niiden valmistusprosessien päästöt, toimitukset, jalostus ja polttoaineet, jotka eivät ole biomassaa. Data saadaan usein näiden aineiden toimittajilta. [17]

CEPIN arviointimallin kuudes varvas kertoo hiilidioksidipäästöt, jotka liittyvät ostettuun ja myytyyn sähköön, höyryyn ja lämpöön, joita käytetään paperi- ja kartonkituotteita valmistavissa laitoksissa, kuten hake-, sellu-, paperi- ja kartonkitehtaissa sekä lopputuotantolaitoksissa. Muiden tuotantoon kuuluvien tehtaiden käyttämän sähkön päästöt on laskettu jo varpaassa viisi. Kuudennen varpaan laskemista varten pitää tunnistaa energiantoimittajat ja energian muodot. [17]

Seitsemännessä varpaassa lasketaan raaka-aineiden ja tuotteiden kuljetuksessa syntyvät päästöt. Varvas sisältää päästöt raaka-aineiden, puolivalmisteiden, lopputuotteiden ja käytettyjen tuotteiden siirroista toimitusketjun eri vaiheissa. Usein merkittävä osa päästöistä liittyy neitseellisen ja kierrätetyn kuidun kuljetukseen. Laskelmaa varten tarvitaan tiedot kuljetusmuodoista (tie, rautatie, meri), etäisyyksistä, kuljetusmääristä ja polttoaine- tai energiankulutuksesta. [17]

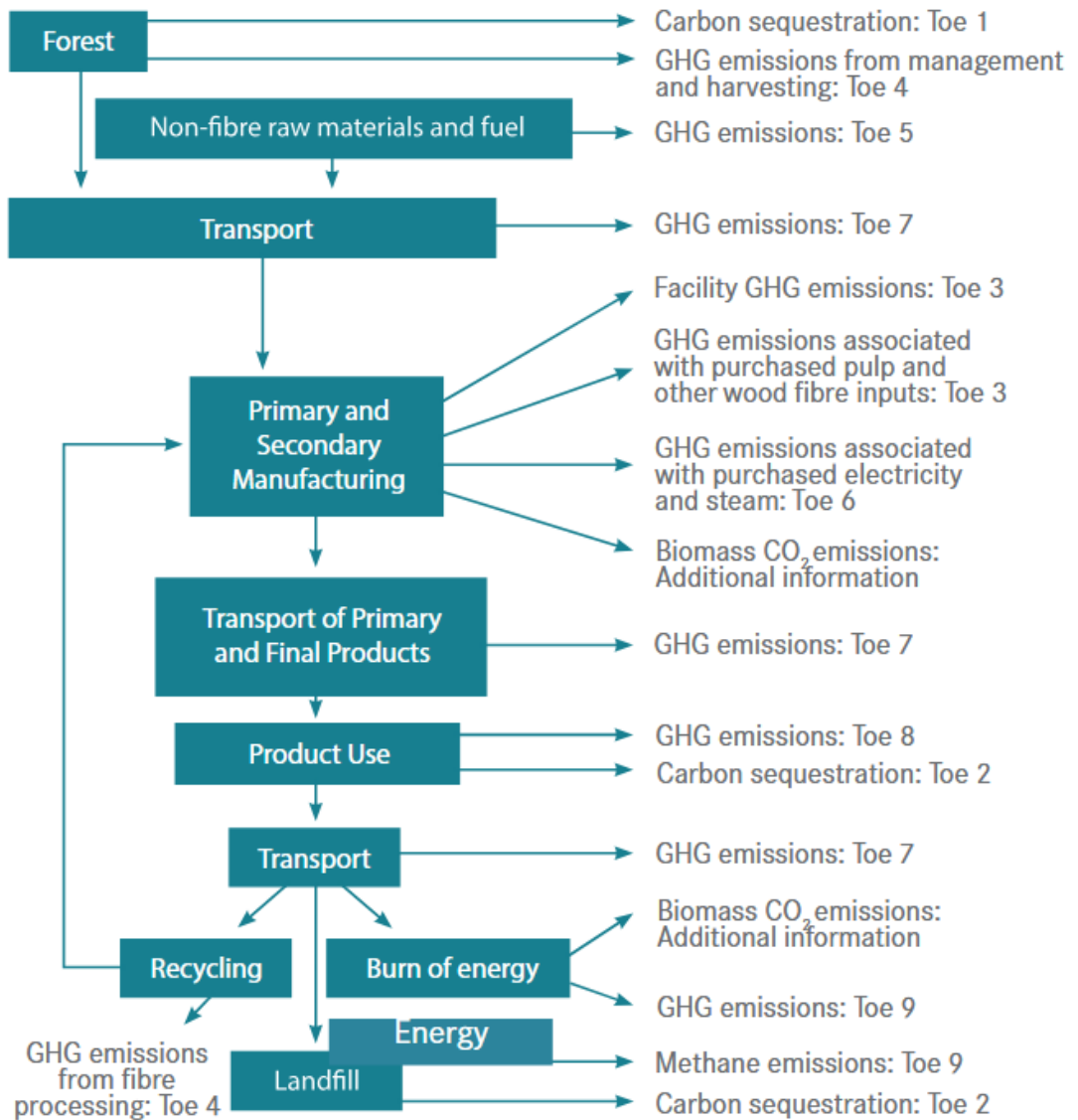
Kolme viimeistä varvasta jätetään usein pois valmistajien laskelmissa, sillä ne liittyvät asioihin, joihin valmistaja ei voi vaikuttaa. Kahdeksas varvas käsittelee paperi- ja kartonkituotteiden käytön aikaisia päästöjä. Painopaperien kohdalla tähän lasketaan painossa syntyvät päästöt. [17] Käytönaikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat todennäköisesti vähäisiä tai olemattomia verrattuna esimerkiksi sähköisiin viestintävälineisiin.

Paperi- ja kartonkituotteiden hiilijalanjälkilaskennan yhdeksäs varvas käsittelee tuotteen elinkaaren loppuvaiheeseen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Käyttöikänsä lo-

pussa tuotteet voidaan esimerkiksi polttaa energiaksi, mikä vähentää fossiilisten polttoaineiden tarvetta, tai ne voidaan viedä kaatopaikalle, jossa niiden sisältämä biomassahiili hajoaa osittain hiilidioksidiksi tai metaaniksi. Arviot loppukäytön päästöistä ovat kuitenkin erittäin epävarmoja, koska kaatopaikkojen olosuhteet, jätepolitiikka ja tuotteiden hävitystapa vaihtelevat alueittain. Laskut tehdään standardin ISO 14067:2018 mukaisesti. Standardi edellyttää, että jos loppukäyttövaihe sisällytetään tarkasteluun, tulee kaikki tähän vaiheeseen liittyvät päästöt ja poistot huomioida, myös oletukset pitkän aikavälin hajoamisesta kaatopaikoilla. Korkea kierrätysaste ja vähäinen kaatopaikkasijoitus pienentävät merkittävästi metaanipäästöjen riskiä ja ylläpitävät hiilen varastoitumista tuoteketjussa. [17] [18]

Hiilijalanjätkilaskennan alaa laajennettaessa voidaan tarkastella kymmenentenä varpaana vältettyjä kasvihuonekaasupäästöjä eli päästöjä, joita ei synny tuotteen ominaisuuden tai valmistavan yrityksen toiminnan ansiosta. Vältettyjä päästöjä ovat esimerkiksi sellutehtaalla tapahtuva sähkö- tai lämpöenergian tuotanto, joka syrjäyttää päästöintensivisempiä energialähteitä tai uusiopaperin käyttö, joka vähentää kaatopaikkapäästöjä. Myös jätteenpoltto biomassana tai hyötykäyttö lannoitteena voivat johtaa vältettyihin päästöihin. Näiden päästöjen huomioiminen vaatii kuitenkin läpinäkyvyyttä oletuksissa ja menetelmissä, ja niitä voi esittää muiden päästöjen kanssa vain, jos se sopii hiilijalanjätkilaskennan tarkoitukseen. [17]

Kierrätyksestä syntyviä päästöjä ei lasketa mukaan yhdeksannen varpaan päästöihin, sillä arviointimallin ohjeiden mukaan ne otetaan huomioon uusiokuituja sisältävien tuotteiden osalta aikaisemmissa varpaissa. Näin vältetään arvojen esiintyminen toistuvasti hiilijalanjätkilässä. [17] Kuvassa 1 on esitetty paperin elinkaaren osa-alueet yksinkertaisesti ja merkitty, miten CEPIn arviointimalli liittyy niihin.



Kuva 1. Euroopan paperiteollisuuden hiilijalanjäljen arviointimallin kymmenen varvasta paperin elinkaarella [17]

Kuvasta nähdään, kuinka CEPI:n kymmenkohtainen arviointimalli pyrkii huomioimaan koko paperin elinkaaren raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen. Mallin etuna on, että se tuo esiin paitsi valmistusvaiheen päästöt, myös kuljetusten, käytön ja jätehuollon vaikutukset, kuten kaatopaikkojen metaanipäästöt. Kuvasta on myös havaittavissa, kuinka kierrätys pidentää kuidun hiilensidontaa ja siten pienentää tuotteen kokonaisjalanjälkeä verrattuna polttamiseen tai kaatopaikkasijoitukseen.

3.3 Aikakauslehden elinkaaren osa-alueet

Kuluttajaliitto määrittelee kulutushyödykkeen tavaraksi, jonka yksityishenkilö hankkii omaan käyttöönsä tai jota tarjotaan hänelle. [19, s. 4] Aikakauslehti on kulutushyödyke

siinä mielessä, että se on loppukuluttajan ostama tuote, mutta siinä on useita erikoisominaisuuksia, jotka erottavat sen esimerkiksi elintarvikkeista tai päivittäistavaroista. Aikakauslehti ei ole välittömästi kulutettava tuote, kuten ruoka tai juoma, vaan siihen liittyy pitkäkestoisempi käyttö- ja lukukokemus, säilytettävyyys ja informatiivinen sisältö, jotka vaikuttavat ostopäätökseen. Aikakauslehden elinkaari ulottuu raaka-aineiden hankinnasta ja sisällön tuottamisesta aina tuotteen käytön jälkeisiin ratkaisuihin.

3.3.1 Paperin valmistus ja jakeluvaihe

Elinkaaren alkuvaiheessa on puun kasvatusta ja hakkuuta. Metsistä korjattu puuraaka-aine jalostetaan massatehtaissa paperintuotantoon tarvittaviksi kuiduiksi. Massanvalmistus ei perustu vain kuituraaka-aineeseen, vaan tarvitaan myös kemikaaleja, polttoaineita ja lisäaineita kuten kaoliinia, jotka tuottavat omat ympäristövaikutuksensa. [1]

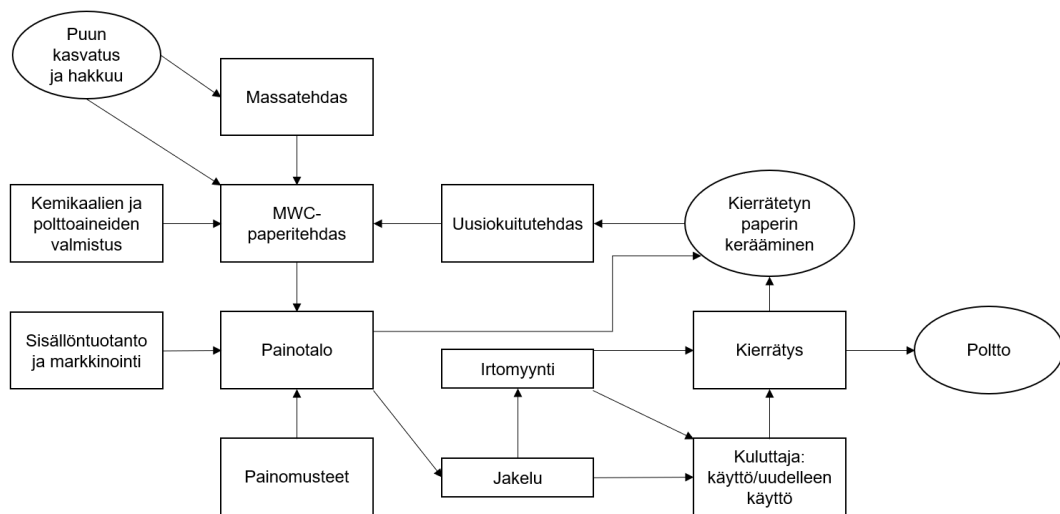
Massatehtailta kuitu siirtyy paperitehtaille, joissa aikakauslehtipaperi valmistetaan. Eri aineiden kuljetusmatkat ja -tavat vaikuttavat suuresti kokonaispäästöihin. Paperitehtaalta syntyy ympäristöpäästöjä tarvittavista kemikaaleista ja energiasta. Valmis paperi jatkaa matkaansa painotaloon, jossa lehti saa lopullisen muotonsa, kun fyysinen materiaali yhdistetään digitaalisessa muodossa toteutettuun lehden sisältöön. Lehden elinkaareissa sisällöntuotannosta ja markkinoinnista syntyvät päästöt ovat marginaalisen pieniä. [12] [16]

Valmiit painotuotteet siirtyvät jakeluvaiheeseen. Osa lehdistä jaetaan suoraan tilaajille, ja loput päätyvät irtomyyntiin esimerkiksi kioskeihin ja kauppoihin. Kuluttajavaiheessa lehtiä käytetään ja säilytetään. Käytön jälkeen vaihtoehtoina ovat Suomessa uudelleenkäyttö, kierrätys tai poltto energiaksi. Tutkittavan lehden kohdalla uudelleenkäyttöä kuvaava yrityksen laskema yhden lehden lukijamäärä, joka on keskimäärin seitsemän henkilöä. Lukua ei voi verrata muihin aikakauslehtiin, koska niiden vastaavaa tietoa ei ole julkisesti saatavilla.

Kierrätyksen kautta paperikuidut päätyvät uusiokuitutehtaaseen, jossa niistä valmistetaan uudelleen paperia. Tämä vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja tukee kiertotaloutta. Toisaalta poltossa lehti muuttuu energiaksi, mikä korvaa fossiilisia polttoaineita, mutta lyhentää kuitujen kiertoa ja vapauttaa tuotteeseen sitoutuneen hiilen. [12] [16] [20]

Elinkaaren eri vaiheissa syntyy monenlaisia ympäristövaikutuksia. Raaka-aineiden tuotanto ja kuljetus lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä, kun taas kierrätys ja pitkäaikainen säilytys toimivat hiilivarastona. Prosessien energiatehokkuudella, käytettyjen polttoaineiden ja kemikaalien valinnalla sekä kuluttajien tekemillä ratkaisuilla on merkittävä vaikutus aikakauslehden ympäristöpäästöjen muodostumisessa. [17]

Kuvassa 2 on esitetty suomalaisen aikakauslehden elinkaaren osa-alueet yksinkertaisesti.



Kuva 2. Kandityön aikakauslehden elinkaari [15, Kuv. 1]

Kuvasta 2 nähdään, kuinka aikakauslehden elinkaareissa eri toimijat ja tuotantovaiheet kytkeytyvät toisiinsa. Kuvaan merkityt nuolet kuvaavat eri kuljetusvaiheita, joita voi olla sekä fyysisiä että digitaalisia. Poikkeuksena ovat nuolet jakelusta, koska jakelu itsessään on kuljetusvaihe. Kuljetusten määrästä voi päätellä, että logistiikka on yksi merkittävä aikakauslehden elinkaaren päästölähde. Elinkaaren lopussa aikakauslehtipaperi voidaan joko kierrättää tai polttaa. Valinta vaikuttaa siihen, miten kauan hiili pysyy varastoituneena kuituun ja millaisia päästöjä lopulta syntyy.

Yksi nuolista menee puunhakkuusta suoraan paperitehtaalle siksi, että kaikki massa ei aina valmistu erillisessä massatehtaassa. Osa paperitehtaista on integroituja laitoksia, jotka valmistavat sekä massan että paperin samassa tehtaassa. [15, Luku 2] Elinkaari-malliin haluttiin sisällyttää molemmat tuotantoketjut, koska tutkimuksessa vertailtavat paperit tulivat useammasta lähteestä. Hiilijalanjätkilaskelmissä otettiin kuitenkin huomioon vain päästöiltään suurempi vaihtoehto eli erilliset massa- ja paperitehtaat.

3.3.2 Painoprosessi

Painojäljen tuottaminen paperiin voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: esipainoon, painoon ja viimeistelyyn. Esipainoon kuuluvat kaikki materiaalille tehtävät toimenpiteet ennen painamista eli nykyisin tietokoneella tehtävä sisällöntuotanto. [4, Luku 9.1]

Paino oletetaan tässä työssä tehtävän offsetpainokoneella ja vertailupapereiksi on valikoitu vain siihen soveltuvia papereita. Offsetpainotekniikka on yksi käytetyimmistä pai-

nomenetelmistä. Siinä mustetta sisältävä pinta on samalla tasolla mustetta sisältämättömien pintojen kanssa. Ei-painava pinta on käsitelty niin, ettei muste tartu siihen. Painojälki siirtyy ensin painolevyltä käänteisenä kumisynterinin pinnalle ja siitä oikein päin paperille. [4] [21]

Painaessa offsetpainotekniikalla voidaan paperiraidan päässä käyttää kuivausuunia. Tällöin puhutaan heatset-menetelmästä, jossa värin kiinnittyminen paperiin varmistetaan kuivaamalla se lämmittimellä. Heatset-menetelmää käytetään, kun halutaan parempi painojälki tai käytettäessä päällystettyä paperia. Päällystämättömille papereille käytetään usein coldset-menetelmää, jossa muste kiinnittyy paperiin imeytymällä sen huokoiseen pintaan. Menetelmä on edullisempi kuin heatset, sillä siinä ei tarvita kuivausuunia. [4, Luku 9.2.1]

Jokainen painoprosessi tarvitsee sitä varten suunniteltua mustetta, joka kulkee toivottulla tavalla painokoneessa ja kuivuu tehokkaasti. Vaikka musteet eroavat koostumuksiltaan ja ominaisuuksiltaan, niiden pääkomponentit ovat kuitenkin aina pigmentti, sideaine ja liuotin tai öljy. Painettavuuden näkökulmasta painettavalle materiaalille tärkeitä ominaisuuksia ovat hyvä ajettavuus, ennustettavissa oleva vuorovaikutus musteen kanssa ja tarvittava painolaatu. Viimeistelyssä yleisimmin tehtävät toimenpiteet ovat paperin leikkaaminen, taittaminen ja liimaaminen. [4]

4. MATERIAALIVALINTA

Materiaalivalinta on osa tuotteen suunnitteluprosessia. Valintaprosessi koostuu erilaisista vaiheista, joista yleisimpiä ovat: tuotteen tehtävien kartoitus, vaatimusprofiilin laadinta, materiaallinen esivalinta, valintastrategian päättäminen, vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen ja käyttöseuranta. [22, s. 248]

4.1 Tehtävien kartoitus ja materiaalien esivalinta

Materiaalivalinnan tavoitteena oli löytää aikakauslehdelle paperi, joka vähentäisi tuotteen ympäristökuormaa heikentämättä sen painettavuutta tai asiakaskokemusta. Lähtöpaperina on MWC-paperi UPM Star H 80 g/m², jota verrattiin kevyempiin eli neliömassaltaan pienempiin MWC-papereihin. Näitä tutkittiin valmistajien antamien ominaisuustietojen, mallilehtien ja hiilijalanjälkilukujen avulla.

Tutkimuksessa verrattiin 12 kevyempää painopaperia, joiden neliömassat vaihtelivat 60–75 g/m² välillä. Vertailupaperit valittiin toimeksiantajan kotimaisuuskriteerin perusteella lehden käyttämän painotalon paperivalikoimasta ja painotalon antamien suositusten pohjalta. Valmistajien antamia teknisiä tietoja tarkasteltiin rinnakkain fyysisten mallilehtien kanssa, jotta pystyttiin arvioimaan ominaisuuksien todellista vaikutusta painetun aikakauslehden lukukokemukseen. Mallilehtien vertaaminen tehtiin luonnonvalossa, ja kaikkia lehtiä tarkasteltiin samalla kertaa. Jokaisesta lehdestä etsittiin mahdollisimman samankaltainen aukeama, joita verrattiin rinnakkain. Taulukkoon 2 on kerätty valmistajien antamat tiedot tutkimuksessa käytetyistä papereista.

Taulukko 2. Paperien ominaisuudet [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29]

	Paperin nimi	Neliö- massa (g/m ²)	Bulkki (cm ³ /g)	Vaaleus (%)	Opasiteetti (%)	Kiilto (%)
	Lähtöpaperi					
	UPM Star H	80	0,85	94	95	65
	Vertailupaperit					
1	UPM Star H	75	0,85	93	94	60
2	Galerie Fine Gloss	75	0,82	93	94	65
3	UPM Star H	70	0,85	92	93	60

4	Galerie Fine Gloss	70	0,83	92	93	63
5	Galerie Fine Silk	70	0,94	93	94	35
6	Galerie Fine Bulk	70	1,00	92	94	20
7	UPM Star matt 1.2 H	70	1,20	93	95	18
8	Galerie Fine Silk	65	0,94	92	93	35
9	UPM Star H	65	0,90	91	92	60
10	UPM Star silk H	65	1,05	94	93	35
11	Galerie Brite	60	0,89	86	93	51
12	UPM Star matt 1.2 H	60	1,20	93	93	18

Valinnassa hyödynnettiin myös valmistajien antamia hiilijalanjälkitietoja. Julkaisukieltojen takia niitä ei voida sisällyttää tähän työhön. Sappi korostaa, että Galerie-papereita tuotetaan yksinomaan Kirkniemen tehtaalla. [30] UPM ei mainitse suoraan nykyistä tuotantopaikkaa yksittäiselle UPM Star -tuotemerkin paperityypille, mutta on ilmoittanut lopettavansa Lappeenrannan tehtaan ja keskittävänsä tuotannon Rauman tehtaalle. [31]

4.2 Vaatimusprofiili

Tarkasteltavia papereita valittaessa otettiin huomioon käytännön vaatimuksia, kuten niiden saatavuus. Paperien piti olla Suomessa valmistettuja, ja tämä otettiin huomioon jo materiaalien esivalinnassa. Valmistusmaa mahdollistaa ympäristövaikutusten vakioimisen vertailussa ja tukee paikallista tuotantoa. Painotalon teknisten vaatimusten takia kaikki paperit olivat offsetpainopapereita.

Aikakauslehtipaperilta edellytetään useita toisiinsa vaikuttavia ominaisuuksia. Tässä valinnassa kriteereiksi asetettiin se, kuinka paperi säilyttää lehden halutun luettavuuden, painojäljen laadun ja mekaanisen kestävyuden kuljetuksen aikana. Samalla tavoitteena oli keventää tuotetta jakelukustannuksien pienentämiseksi sekä raaka-aineiden ja logistiikan ympäristövaikutuksien vähentämiseksi.

Keskeisiksi vaatimuksiksi määritettiin seuraavat: riittävä opasiteetti ja bulkki sekä hyvä kiilto ja vaaleus. Lisäksi paperilta vaadittiin laadukas painojälki, joka arvioitiin mallilehtien avulla.

4.3 Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen

Paperin ominaisuuksia tarkasteltiin yhdessä, ei yksittäisinä arvoina. Mallilehtien vertailun aikana havaittiin, että opasiteetin laskiessa alle 94 % painojälki alkoi kuulua läpi, mikä koettiin ei-toivotuksi ominaisuudeksi. Läpikuultavuus opasiteetin laskiessa saatiin korjattua nostamalla paperin bulkkia. Suuri bulkki antoi vaikutelman paksummasta ja jäykemmästä paperista muihin saman neliömassan papereihin verrattuna. Suuribulkisten paperien, kuten UPM Star matt 1.2 H ja Galerie Fine Bulk, kiilto kuitenkin pieneni heikentäen kuvien toistoa. Kiiltävyyden ajateltiin myös parantavan lehden laatuvaikutelmaa, sillä sanomalehdet ovat usein mattapaperisia. Lisäksi paperin vaaleuden ollessa liian alhainen, todettiin sen vaikuttavan painojälkeen ei-toivotulla tavalla.

Jakelukustannusten pienentämiseksi yhden lehden kokonaismassan pakkausmateriaaleineen tulisi jäädä alle 250 g. Pakkausmateriaalien massaksi arvioidaan nyt noin 4 grammaa ja lehden sivujen koko pyöristetään A4-kokoisiksi. Kansien neliömassa on 150 g/m². Näillä tiedoilla saatava lehden kokonaismassa ei saa olla tasan 250 g, sillä liimauksen massaa ja ilmakosteuden vaikutusta ei tunneta. Tämä tarkoittaa sitä, että jos lehti halutaan pitää sivumäärältään nykyisenä eli 108-sivuisena (viimeinen sivu on lehden takakansi), tulee neliömassoilla 75 ja 70 g/m² kokonaismassasta vielä liian suuri. Kokonaismassaa saadaan neliömassan muutoksen lisäksi pienennettyä vähentämällä sivumäärää, tämä vaihtoehto rajautuu kuitenkin tutkimuskysymyksen ulkopuolelle, eikä sitä ole tässä tutkimuksessa esitelty tarkemmin.

Taulukossa 3 on määritetty lukuina painopaperin keskeiset vaatimukset.

Taulukko 3. *Tavoitellut vähimmäisarvot tärkeysjärjestyksessä*

Neliömassa (g/m ²)	≤ 65
Opasiteetti (%)	≥ 94
Bulkki (cm ³ /g)	≥ 1,00 (kun opasiteetti alle 94 %)
Vaaleus (%)	≥ 91
Kiilto (%)	≥ 60

Mikään vertailupaperi, jonka neliömassa oli alle 70 g/m² ei täyttänyt asetettua opasiteetin vähimmäisarvoa. Bulkiltaan tarpeeksi suuria olivat vain UPM Star silk H 65 g/m² ja UPM Star matt 1.2 H 60 g/m².

Parhaaksi vaihtoehdoksi ominaisuuksien ja hiilijalanjäljen perusteella valittiin UPM Star silk 65 g/m², joka täytti kriteerit osittain. Vaaleus oli asetetun alarajan yläpuolella ja neliömassa suurin mahdollinen kokonaisuudessaan huomioon otettuna. Vaikka opasiteetti jäi hieman alle asetetun vähimmäisarvon, todettiin paperin suuren bulkin kompensoivan sitä niin, ettei painojälki näkynyt liikaa läpi. Myös kiilto pieneni huomattavasti lähtöpaperista ja jäi alle tavoitellun 60 %:n. Mallilehtiä arvioitaessa kuitenkin todettiin, että valokuvien toisto ja yleiskuva säilyivät laadukkaina.

5. YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tässä luvussa tarkastellaan aikakauslehden hiilijalanjälkeä tapausesimerkin avulla hyödyntäen CEPIn (Confederation of European Paper Industries) Framework for Carbon Footprints for Paper and Board Products -arviointimallia. Se tarjoaa yhtenäisen ja vertailukelpoisen viitekehyksen paperi- ja kartonkituotteiden elinkaaren aikaisille päästöille.

5.1 Case-esimerkin rajaukset

MWC-aikakauslehtipaperin hiilijalanjälki arvioidaan CEPIn Framework for Carbon Footprints for paper and board products -mallin avulla. Toiminnalliseksi yksiköksi määritellään yksi tonni valmista aikakauslehtipaperia. Hiilijalanjälki saadaan laskettua CEPIn arviointimallin käyttämällä kaavalla: $\text{aktiiviteettidata} \times \text{päästökerroin}$. Biogeeninen hiilidioksidi eli biomassan tai siitä tehtyjen tuotteiden palaessa tai hajotessa vapautuva hiilidioksidi esitetään ISO 14067 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet - standardin mukaisesti erillisenä tietona eikä sitä vähennetä hiilijalanjäljestä. [17] [18]

Olkoon paperi MWC-paperia, tällöin sen päällysteen neliömassa on 12–24 g/m², [1] käytetään laskuissa arviota 20 g/m². Arvioidaan lehden sivut A4-kokoisiksi ja pidetään case-esimerkissä tutkittavan lehden sivumäärä eli 108 sivua per lehti. Lehden kansien eli kahden ensimmäisen sivun ja kahden viimeisen sivun neliömassaksi asetetaan 150 g/m². Yhdistetään toiminnallinen yksikkö lehteen arkin mittojen sekä sivumäärän avulla.

Yhden arkin massa saadaan laskettua kaavalla: $m_{\text{arkki}} = \text{neliömassa} \times \text{pinta-ala}$. Kun lehdessä on 108 sivua, se vastaa 54 arkkia näistä 52 on sisuspaperia ja 2 kansiarkeja. Yhden lehden massaksi saadaan siis $m_{\text{lehti}} = 52 \times m_{\text{sisusarkki}} + 2 \times m_{\text{kansiarkki}}$. Tällöin yksi paperitonni sisältää arkkimäärän $N_{\text{arkkia}/t} = 10^6 \text{g}/m_{\text{arkki}}$ ja vastaavasti lehtimäärän $N_{\text{lehtiä}/t} = 10^6 \text{g}/m_{\text{lehti}}$. Taulukkoon 4 on laskettu lähtöpaperin ja vertailupapereiden neliömassoilla saatava arkkimäärä ja lehtimäärä per tonni paperia.

Taulukko 4. *Sisuspaperin neliömassan vaikutus arkkien ja lehtien määrään tonnissa paperia*

Sisuspaperin neliömassa (g/m ²)	Lehden paino (g) (sisältää pakkauksen ja kannet)	Arkkia/tonni paperia (kpl)	Lehtiä/tonni paperia (kpl)
80	282	200416	3594
75	267	213777	3817
70	250	229047	4069
65	234	246666	4356
60	217	267222	4688

Tarkasteltava toimitusketju on kandidaattityössä tutkittavan lehden mukainen ja kulkee seuraavasti: puu kasvatetaan ja hakataan Suomessa sillä kestävyysoletuksella, että metsän kasvu pitkällä aikavälillä korvaa hakkuun. Puu kuljetetaan suomalaisille massa-tehtaille, osa massasta tuotetaan mekaanisesti ja osa kemiallisesti. Tehtailta massat kuljetetaan edelleen suomalaiselle paperitehtaalte, jossa valmistetaan aikakauslehtipaperi. Valmis paperi kuljetetaan Helsingin satamaan ja lautalla Tallinnaan, jossa materiaali painetaan heatset-offsetpainokoneella. Valmiit lehdet kuljetetaan kuorma-autolla ja lautalla Helsinkiin jakelukeskukseen lajiteltavaksi ja ne jaetaan maantiekuljetuksina ympäri Suomea irtomyyntiin ja tilaajille. Käytön jälkeen lehdet päätyvät pääosin kierrätykseen ja loput poltetaan energiaksi. Taulukkoon 5 on koottu case-esimerkissä käytetyt päästökertoimet.

Taulukko 5. *Päästökertoimet [32] [33] [34] [35] [36] [37]*

Päästö	Kerroin	Yksikkö
Sähkö FIN	0,56531	kgCO ₂ e/kWh
Sähkö EST	0,71166	kgCO ₂ e/kWh
HGV-maantiekuljetus*	0,1016	kgCO ₂ e/t-km
Polttoaineen WTT**	0,02359	kgCO ₂ e/t-km
Merikuljetus	0,05158	kgCO ₂ e/t-km
Merikuljetuksen WTT	0,0117	kgCO ₂ e/t-km
Maakaasu	56,100	kgCO ₂ e/GJ
Maakaasun WTT	9,3	kgCO ₂ e/GJ

*HGV eli Heavy Goods Vehicles tarkoittaa raskaita tavaraliikenneajoneuvoja. Termi viittaa yleensä yli 3,5 tonnin kokonaispainoiisiin kuorma-autoihin.

**WTT eli Well-to-Tank tarkoittaa kaikkia niitä päästöjä, jotka syntyvät ennen kuin polttoaine on ajoneuvon tankissa

Oletetaan, että paperissa on suuri mekaanisen massan osuus. Nyt voidaan arvioida koko ketjun sähkönkulutuksen olevan noin 750 kWh/t valmista paperia. [38] Paperikoneen kuivauslämmön tarve on tyypillisesti noin 4–5 GJ/t. [39] Laskelmassa käytettiin arvoa 4,5 GJ/t. Lisäksi oletetaan, että 30 % lämmöstä tuotetaan fossiilisella polttoaineella ja loput biopolttoaineilla. Biogeeninen CO₂ ei kasvata hiilijalanjälkeä arviointimallin mukaisesti. [17]

Elinkaaren loppupäässä oletetaan, että Suomessa 80 % lehdistä kierrätetään ja 20 % hyödynnetään energiana. Pirkanmaan ELY-keskuksen mukaan paperin kierrätysaste oli vuonna 2023 Suomessa noin 77 %. CEPI:n arviointimallin mukaan kierrätyksen prosessipäästöt kuuluvat uusiokuiduista tehtävän tuotteen järjestelmään; joten niitä ei oteta huomioon tässä laskelmassa. [40]

5.2 Case-esimerkki laskelmat

Lähtökohta on, että biogeeninen hiili kulkee metsästä tuotteeseen ja sieltä takaisin kiertoon. Varvas 1 ja 2 ovat siksi dokumentoitavia, eivät laskettavan hiilijalanjäljen osia. Metsä sitoo kasvuvaiheessa hiiltä (varvas 1), ja paperi on käytön ajan hiilivarasto (varvas 2). Kestävästi kasvatetusta metsästä hakatun puun varpaan 1 arvo on 0 eli puuta kasvatetaan hakatun metsän tilalle ja hiilinielukyky ei pienene. Varvasta 2 ei voida tässä laskea, koska tarvittavia lähtötietoja ei ole saatavilla, mutta voidaan tehdä esimerkkiarvio. Jos tonnissa aikakauslehtipaperia on kuitua noin 80 % ja hiilipitoisuus on kuituosuudessa noin 44 %, saadaan tuotteeseen sitoutuneen hiilidioksidin arvoksi:

$$0,8 \times 0,44 \cdot \frac{44}{12} \approx 1,29 \text{ tonnia CO}_2 \text{ per tonni paperia. [1] [17] [41]}$$

Varsinaiset valmistuksen fossiilipäästöt jakautuvat CEPI:n arviointimallisissa paperitehtaan suoriin päästöihin (varvas 3) ja ostettuun energiaan (varvas 6). Varpaassa 3 lasketaan tehtaan alueella syntyneet fossiiliset päästöt. Niitä syntyi tässä case-esimerkissä vain maakaasun poltosta, jonka hiilijalanjäljeksi saatiin kappaleen 5.3 tiedoilla noin 56,1 kgCO₂e/GJ eli noin 75,7 kgCO₂e/t. Tehtaalle ostetun sähkön päästöt saadaan laskettua kertomalla kulutus taulukkoon 4 merkityllä maakohtaisella kertoimella. [17]

Varvas 4 kattaa puukuidun tuotannon päästöt, esimerkiksi metsänhoidon, hakkuun ja esikäsitteilyn. Sen suuruusluokka on useimmissa lähteissä pieni verrattuna energiaan

tehtaalla. Oletetaan tässä varpaan 4 arvoksi 20 kgCO₂e/t, joka on linjassa alan raporttien kanssa, kun kuljetukset eritellään erikseen. [17] [42] [43]

Muut raaka-aineet ja polttoaineiden ylävirta eli WTT käsitellään arviointimallin mukaan varpaassa 5. Kuljetukset ja polttoaineet kuitenkin ohjeistetaan raportoimaan WTW-tasolla (well-to-wheel) eli TTW (tank-to-wheel) +WTT (well-to-tank), jolloin kuljetusten WTT arvoja ei raportoida tässä vaiheessa. Maakaasun WTT kuuluu tähän varpaaseen. Se voidaan laskea kertoimen sekä tehtaiden ja painotalon arvioidun kulutuksen avulla. Luvussa 5.1 tehdyn arvion 20 g/m² päällystettä tuottaa noin 0,25 tonnia päällystettä per tonni paperia. Päällysteen osana käytettävän kaoliinin EPD-arvot vaihtelevat 16,6–124 kgCO₂e/t kaoliinia, mikä vastaa noin 3–25 kgCO₂e/t paperia. Otetaan tästä keskiarvo 14 kgCO₂e/t, ja käytetään sitä arviona päällysteiden hiilijalanjäljestä. [1] [17] [44]

Varpaaseen 5 kuuluisi myös paperinvalmistuksessa ja päällystyksessä käytettävien kemikaalien ylävirrat. Yksittäisten kemikaalien vaikutus paperitonniin hiilijalanjälkeen on tyypillisesti selvästi pienempi kuin pigmenttien eli kaoliinin, mutta niiden yhteisvaikutus voi kasvattaa varpaan 5 arvoa jonkin verran erityisesti useasti päällystetyissä painopereissa. [4] Näiden päästökertoimet ovat kuitenkin voimakkaasti tuote-, toimittaja- ja käyttöikäsidonnaisia, eikä niiden jakaminen yksittäiselle paperitonnille ole yksiselitteistä, minkä vuoksi ne jätetään usein pois tuotekohtaisista esimerkkilaskelmista CEPI-kehityksen mukaisesti. [17]

Varvas 6 on ostetun sähkön päästöt. Se saadaan laskettua luvun 5.1 tietojen avulla. Tulokseksi saadaan 424,0 kgCO₂e/t. Varvas 7 kokoaa kaikki kuljetuspäästöt. Taulukon 6 on arvioitu tehtävien matkojen pituudet.

Taulukko 6. *Kuljetusten pituudet ja tyypit*

Matka	Matkan pituus (km)	Kuljetus
Metsä → massatehdas	200	Maantiekuljetus
Massatehdas → paperitehdas	200	Maantiekuljetus
Paperitehdas → satama	200	Maantiekuljetus
Helsinki → Tallinna	80	Merikuljetus
Satama → Painotalo	20	Maantiekuljetus
Jakelu Suomessa	600	Maantiekuljetus

Kuljetuksista syntyvät päästöt saadaan laskettua kertomalla WTW-arvot matkan pituudella. Laskuissa pitää huomioida se, että välimatkat Helsingistä Tallinnaan sekä satamasta painotaloon kuljetaan kahdesti. Käyttövaihe eli varvas 8 sisältää aikakauslehden tapauksessa painamisesta syntyvät päästöt. Siksi painotalon energia esimerkiksi 2 GJ/t maakaasua ja 200 kWh/t sähköä, raportoidaan tässä vaiheessa eikä varpaissa 3 tai 6. Laskut tehdään kuitenkin samalla lailla kuin edellisissä varpaissa. Itse lehden lukeminen ei vie energiaa tai vaadi prosesseja, joten vaikutus on 0. [17]

Varvas 9 käsittelee elinkaaren lopun eli Suomessa vain polton energiaksi. Poltosta syntyvien päästöjen voidaan arvioida olevan noin 5 kgCO₂e/t, kun otetaan huomioon kierätysaste. Vapaaehtoisia vältettyjä päästöjä (varvas 10) ei oteta esimerkissä huomioon. [17] [45]

Taulukkoon 7 on kerätty CEPIn arviointimallin varpaiden arvot ja laskettu paperitonin hiilijalanjälki.

Taulukko 7. *Hiilijalanjäljen lasketut arvot*

Varvas	Fossiilinen CO ₂ (kg/tonni paperia)	Biogeeninen CO ₂ (kg/tonni paperia)
1.		0
2.		1290
Tuotteen biogeeninen hiilidioksidi		1290
3.	75,7	
4.	20,0	
5.	45,2	
6.	424,0	
7.	165,4	
8.	254,5	
9.	5,0	
10.	-	
Tuotteen fossiilinen hiilidioksidi	989,8	

Tuotteen fossiilinen hiilijalanjälki on 989,8 kgCO₂e per tonni paperia. Suurin kuorma tulee ostosähköstä eli varpaasta 6 se oli noin 43 % koko hiilijalanjäljestä. Pieni tehostus

tai siirtymä matalapäästöisempään sähkөөn näkyisi suoraan koko jalanjäljessä. Toiseksi suurin osuus on painovaihe eli varvas 8, joka oli noin 26 % hiilijalanjäljestä. Siinä sekä uunien poltto että painosähkö ovat olennaisia: energiatehokkuus uuneissa ja lämpötilaprofiilien optimointi ovat tässä keskeisiä.

5.3 Kevyemmän paperin vaikutus

Lasketaan miten neliömassa vaikuttaa yhden lehden hiilijalanjälkeen case-esimerkin tiedoilla. Lehden hiilijalanjälki saadaan laskettua kaavalla $CO_2_{\text{lehti}} = \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{t}}\right) \cdot \frac{m_{\text{lehti}}}{1000}$. Taulukkoon 8 on laskettu yhden lehden hiilijalanjälki tutkituilla neliömassoilla case-esimerkin lehdelle.

Taulukko 8. *Sisuspaperin neliömassan vaikutus lehden hiilijalanjälkeen*

Sisuspaperin neliömassa (g/m ²)	gCO ₂ e/lehti
80	279,3
75	263,2
70	247,2
65	231,1
60	215,1

Hiilijalanjälki pienenee suurimmillaan 23 % ja materiaalivalinnassa tehdyssä valinnassa 17 %. Paperin neliömassan pienentämisellä on siis suora vaikutus aikakauslehden hiilijalanjälkeen. Se vähentää erilaisten raaka-aineiden kulutusta ja kuljetettavan materiaalin määrää.

Koska kevyempi paperi vaatii vähemmän kuituraaka-ainetta, biomassan ja kemikaalien tarve pienenee. Tämä näkyy myös pienempänä energiankulutuksena massan valmistuksessa, paperikoneen ajossa sekä tarvittavien lisäaineiden ja päällysteiden määrässä. Neliömassan pienentäminen vaikuttaa erityisesti logistiikkaan. Kun yhdestä tonnista paperia saadaan kevyemmällä laadulla enemmän arkkeja taulukon 3 mukaisesti, voidaan saman lehden painamiseen käyttää vähemmän paperitonnetta. Tämä tarkoittaa vähemmän kuljetettavaa massaa sekä valmistus- että jakeluvaiheessa, mikä vähentää polttoainekulutusta ja niistä syntyviä päästöjä.

Koska kaikki vertailtavat paperit ovat offsetpainopapereita, voidaan painossa syntyvien ympäristövaikutusten olettaa pysyvän samana, kun arkkimäärä ei kasva. Lehden käytön aikaisiin päästöihin neliömassan pienennyksellä ei ole vaikutusta. Sen sijaan elinkaaren loppuvaiheessa kevyempi paperi tuottaa vähemmän jätettä. Mikäli lehdet kierrätetään, vähemmän massaa tarkoittaa pienempää käsiteltävää kuitumäärää uusiopaperin tuotannossa. Jos lehdet päätyvät poltettaviksi, syntyy vähemmän hiilidioksidipäästöjä biomassan palamisesta. Näin myös jätehuollon ja energiantuotannon vaikutukset kevenevät.

Voidaan arvioida, että neliömassan pienentäminen 80 g/m^2 65 g/m^2 johtaa jopa noin 19 % pienempään materiaalin käyttöön lehteä kohden, mikä näkyy samansuuntaisena vähennyksenä hiilijalanjäljessä useissa elinkaaren vaiheissa.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin aikakauslehtipaperin valmistusta, ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia keskittyen hiilijalanjälkeen. Case-esimerkin arvio tehtiin CEPIn Framework for Carbon Footprints for Paper and Board Products -mallin mukaisesti ja rajattiin toiminnalliseen yksikköön 1 t valmista aikakauslehtipaperia. Esimerkkituotteen fossiilinen hiilijalanjälki on noin 990 kgCO₂e/t, josta suurin osuus (noin 43 %) muodostui ostosähköstä ja toiseksi suurin osuus (noin 26 %) painovaiheesta.

Kevyemmän paperin vaikutuksia painojälkeen tarkasteltiin teknisten tietojen sekä fyysisten mallilehtien avulla. Todettiin että neliömassan pienentäminen heikentää eri suhteissa kaikkia tarkasteltuja ominaisuuksia. Parhaaksi kompromissiksi materiaalivalinnassa valikoitui vertailupaperi UPM Star silk 65 g/m², joka täytti pääosin asetetut tekniset vähimmäisvaatimukset. Halutun opasiteettitason pieni alitus kompensoitiin suuremmalla bulkilla, jolloin läpikuultavuus pysyi hyväksyttävänä ja kuvantoisto hyvänä. Neliömassan muutos 65:een g/m² pienensi lehden hiilijalanjälkeä case-esimerkissä noin 17 %.

Tuloksiin liittyy epävarmuuksia, jotka vaikuttavat tarkkuuteen ja yleistettävyyteen. Case-esimerkin avulla saatu hiilijalanjälkiarvo on suuntaa antava, sillä se perustuu kirjallisuudesta saatuihin keskiarvoihin ja oletuksiin, eikä ole suoraan verrattavissa paperinvalmistajien omiin yksityiskohtaiseen dataan perustuviin hiilijalanjälkilaskelmiin. Niitä ei julkaisukiellon vuoksi voitu esittää tässä työssä. Lisäksi epävarmuutta aiheutti CEPIn arviointimalli, joka sallii erilaisia rajauksia ja tulkintoja, mikä vaikeuttaa tulosten suoraa vertaamista muihin tutkimuksiin tai valmistajien omiin hiilijalanjälkilaskelmiin. Myös mallilehtien visuaalinen arviointi sisältää subjektiivisuutta, vaikka vertailu pyrittiin tekemään mahdollisimman systemaattisesti.

Jatkossa on mahdollista tarkastella hiilijalanjäljen lisäksi muita ympäristövaikutusluokkia, kuten vedenkulutusta ja kemikaalikuormitusta. Tutkimuksen avulla aikakauslehtipaperin kuormittavuudesta saataisiin laajempi kuva. Lisäksi olisi hyödyllistä laajentaa tarkastelua digilehtiin ja toteuttaa niistä vastaava raportti. Digijulkaisun voi olettaa vähentävän lehden elinkaaresta paperin, painamisen ja fyysisen jakelun kuormaa, mutta samalla lisäävän käyttövaiheen ympäristövaikutuksia.

LÄHTEET

- [1] U. Häggblom-Ahnger ja P. Komulainen, *Paperin ja kartongin valmistus*, 3. [i.e.] 4. p. Helsinki: Opetushallitus, 2005.
- [2] S. Adanur, *Paper Machine Clothing: Key to the Paper Making Process*, First edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.
- [3] N. Wistara ja R. A. Young, "Properties and treatments of pulps from recycled paper. Part I. Physical and chemical properties of pulps", *Cellulose*, vol. 6, nro 4, s. 291–324, 1999, doi: 10.1023/A:1009221125962.
- [4] M. Ek, G. Gellerstedt, ja G. Henriksson, Toim., *Pulp and paper chemistry and technology*, vol. 4. Berlin: Walter de Gruyter, 2009.
- [5] *ISO 2471 Paper and board — Determination of opacity (paper backing) — Diffuse reflectance method*.
- [6] *ISO 8791-4 Paper and board — Determination of roughness/smoothness (air leak methods) — Part 4: Print-surf method*.
- [7] *ISO 2470-2 Paper, board and pulps — Measurement of diffuse blue reflectance factor — Part 2: Outdoor daylight conditions (D65 brightness)*.
- [8] *ISO 11475 Paper and board — Determination of CIE whiteness, D65/10° (outdoor daylight)*.
- [9] *ISO 8254-1 Paper and board. Measurement of specular gloss. Part 1: 75 degree gloss with a converging beam, TAPPI method*.
- [10] *SFS-EN ISO 536:2020 Paper and board - Determination of grammage*.
- [11] *ISO 534:2011 Paper and board - Determination of thickness, density and specific volume*.
- [12] G. Rebitzer ym., "Life cycle assessment", *Environ. Int.*, vol. 30, nro 5, s. 701–720, heinä 2004, doi: 10.1016/j.envint.2003.11.005.
- [13] T. D. Moshood, J. O. B. Rotimi, ja F. E. Rotimi, "Combating Greenwashing of Construction Products in New Zealand and Australia: A Critical Analysis of Environmental Product Declarations", *Sustainability*, vol. 16, nro 22, s. 9671, marras 2024, doi: 10.3390/su16229671.
- [14] W. Gerbens-Leenes, M. Berger, ja J. Allan, "Water Footprint and Life Cycle Assessment: The Complementary Strengths of Analyzing Global Freshwater Appropriation and Resulting Local Impacts", *Water*, vol. 13, nro 6, s. 803, maaliskuu 2021, doi: 10.3390/w13060803.
- [15] T. K. Boguski, "Life cycle carbon footprint of the National Geographic magazine", *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 15, nro 7, s. 635–643, elokuu 2010, doi: 10.1007/s11367-010-0210-5.
- [16] A. C. Dias ja L. Arroja, "Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint – case study of office paper", *J. Clean. Prod.*, vol. 24, s. 30–35, maaliskuu 2012, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.11.005.
- [17] "Framework For Carbon Footprints For Paper And Board Products". Confederation of European Paper Industries, huhtikuuta 2007. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2021/02/ENV-17-035.pdf>
- [18] *SFS-EN ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet*.
- [19] "KULUTTAJANSUOJAN ABC Kuluttajansuojalain perusteita ja keskeisiä käsitteitä". Kuluttajaliitto, tammikuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.kuluttajaliitto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Kuluttajansuojan-ABC_saavutettava_20.11.2024.pdf
- [20] "Sekajäte". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.lt.fi/lajitteluohjeet/sekajate>
- [21] M. J. Seppälä, *Paperin ja kartongin jalostus*. Helsinki: Opetushallitus, 2000.
- [22] K. Koivisto, *Konetekniikan materiaalioppi*, 12. p. Helsinki: Edita, 2008.

- [23]”UPM Star H”. UPM-Kymmene Oyj, 25. elokuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.upmpaper.com/siteassets/images/products--services/paper-catalog/public/upm_star_h_en_230671.pdf
- [24]”Galerie Fine Gloss – Product Information”. Sappi Limited, marraskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://mediahub.sappi.com/m/5ed8815236488443/original/_TDS-Galerie_Fine-Gloss-2025.pdf
- [25]”Galerie Fine Silk Product Information”. Sappi Limited, marraskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://mediahub.sappi.com/m/3fd03910ba72c21f/original/_TDS-Galerie_Fine-Silk-2025.pdf
- [26]”Galerie Fine Bulk – Product Information”. Sappi Limited, marraskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://mediahub.sappi.com/m/28112749909c8de9/original/_TDS-Galerie_Fine-Bulk-2025.pdf
- [27]”UPM Star matt 1.2 H”. UPM-Kymmene Oyj, 25. elokuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.upmpaper.com/siteassets/images/products--services/paper-catalog/public/upm_star_matt_1.2_h_en_231716.pdf
- [28]”UPM Star silk H”. UPM-Kymmene Oyj, 25. elokuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.upmpaper.com/siteassets/images/products--services/paper-catalog/public/upm_star_silk_h_en_230679.pdf
- [29]”Galerie Brite Product Information”. Sappi Limited, marraskuuta 2023. [Verkossa]. Saatavissa: https://mediahub.sappi.com/m/3027df9f871237ce/original/_TDS-Galerie_Brite-Gloss-2025.pdf
- [30]”Galerie Sustainability Quality and Commitment”, [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.sappipapers.com/galerie-sustainability-quality-and-commitment>
- [31]”UPM plans to end paper production in Kaukas, Lappeenranta and plans to shift coated mechanical paper production in Finland to its Rauma mill”, *UPM*, heinä 2025, Viitattu: 16. joulukuuta 2025. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.upm.com/news-and-stories/releases/2025/07/upm-plans-to-end-paper-production-in-kaukas-lappeenranta-and-plans-to-shift-coated-mechanical-paper-production-in-finland-to-its-rauma-mill/>
- [32]”European Residual Mixes”. Association of Issuing Bodies, 30. toukokuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/facts/residual-mix/2023/AIB_2023_Residual_Mix_FINALResults09072024.pdf
- [33]”Greenhouse gas reporting: conversion factors 2024”. Department for Energy Security and Net Zero, 30. lokakuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>
- [34]”RoRo-ferry (average)”, Emission Factor. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/1e22935b-2c85-40e4-bc4e-b96e327a8257>
- [35]”RoRo-ferry”, Emission Factor. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/1d9f2b50-9150-4461-baf8-d1ab01dac046>
- [36]D. R. Gómez ja J. D. Watterson, ”STATIONARY COMBUSTION”. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- [37]R. Bramwell, D. Ingledew, E. Karagianni, ja J. London, ”2024 Government Gas Conversion Factors for company reporting”. Department for Energy Security and Net Zero, kesäkuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66a9fe4ca3c2a28abb50da4a/2024-greenhouse-gas-conversion-factors-methodology.pdf>
- [38]M. Kowalska, S. Donatello, ja O. Wolf, ”Revision of the EU Ecolabel criteria for Paper products”. [Verkossa]. Saatavissa: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/contentype/product_group_documents/1581684000/Paper_Products_TR_v.3_0.1.pdf

- [39] "Pulp and Paper Industry Energy Bandwidth Study", American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 16CX8700. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/doe_bandwidth.pdf
- [40] "Tuottajavastuu". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/tuottajavastuu/kierr%C3%A4tystavoitteet-ja-tulokset-paperi>
- [41] A. Ruuska, *Carbon footprint for building products*. Espoo: VTT, 2013. [Verkossa]. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2013/T115.pdf>
- [42] KWF - Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V., Spremberger Straße 1, 64823 Groß-Umstadt, Germany, University of Freiburg, Chair of Forest Operations, Werthmannstr. 6, 79085 Freiburg, Germany, A. Kaulen, B. Engler, ja T. Purfürst, "Net carbon storage of supplied timber in highly mechanized timber harvest", *Silva Fenn.*, vol. 58, nro 4, 2024, doi: 10.14214/sf.24011.
- [43] I. Ervasti, "Wood fiber contents of different materials in the paper industry material chain expressed in roundwood equivalents (RWEs)", *Silva Fenn.*, vol. 50, nro 4, 2016, doi: 10.14214/sf.1611.
- [44] "Kaolinite Products – Sector EPD", tammi 2021. [Verkossa]. Saatavissa: <https://environdec.com/library/epd3756>
- [45] S. Guendehou, M. Koch, L. Hockstad, R. Pipatti, ja M. Yamada, "INCINERATION AND OPEN BURNING OF WASTE", teoksessa *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, vol. 5, 2006. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf