

Jussi Vierula

VASTUULLISUUSTAVOITTEET TUOTEKEHI- TYKSESSÄ, NIIDEN SEURAAMINEN SEKÄ NIISTÄ RAPORTOINTI

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Hasse Nylund
Toukokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Jussi Vierula: Vastuullisuustavoitteet tuotekehityksessä, niiden seuraaminen sekä niistä raportointi
Jussi Vierula: Sustainability goals in product development, their monitoring, and reporting
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikka
Toukokuu 2025

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten tuotekehitys vaikuttaa tuotteen ympäristövaikutuksiin ja millaisia mahdollisuuksia ja haasteita vastuullinen tuotekehitys tuo tullessaan. Ongelmaksi nähtiin, että vaikka vastuullisuus on yhä tärkeämpi osa teollisuutta ja kuluttajien odotuksia, ei aina ole selvää, miten se käytännössä huomioidaan tuotekehityksen eri vaiheissa.

Työssä perehdyttiin kirjallisuuskatsauksena tuotekehityksen eri vaiheisiin, luonnosteluun, kehitykseen ja viimeistelyyn, ja tarkasteltiin, miten vastuullisuus voidaan sisällyttää jokaiseen vaiheeseen. Lisäksi analysoitiin EU:n lainsäädäntöä, kuten ekosuunnittelu- ja kestävyysraportointidirektiivejä, sekä kansainvälisiä standardeja, kuten ISO 14040, jotka ohjaavat yrityksiä ympäristöystävälliseen toimintaan. Erityistä huomiota sai elinkaariajattelu (LCA), joka auttaa tunnistamaan tuotteen ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajan.

Työssä havaittiin, että vastuullinen tuotekehitys ei ole pelkästään ympäristökysymys, vaan liittyy laajemmin myös taloudelliseen kannattavuuteen ja sosiaaliseen vastuuseen. Innovatiiviset ratkaisut, kuten tekoälyn hyödyntäminen biomateriaalien suunnittelussa tai kiertotalouden periaatteet, tarjoavat uusia mahdollisuuksia kehittää kestävämpiä tuotteita. Samalla vastuullisuuteen liittyy myös haasteita, kuten tiedonkeruun vaativuus ja tietoturvariskit digitalisaation myötä.

Tuloksena voidaan todeta, että vastuullisuus on keskeinen osa nykyaikaista tuotekehitystä ja sen integroiminen tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin on mahdollista ja hyödyllistä sekä ympäristön että yritysten näkökulmasta. EU:n sääntely ja standardit tarjoavat yrityksille selkeän viitekehityksen, mutta vastuullisuuden onnistunut toteutus vaatii jatkuvaa kehitystä, yhteistyötä ja strategista suunnittelua.

Avainsanat: Tuotekehitys, Vastuullisuus, Ympäristövaikutukset, Elinkaariaarviointi, EU-direktiivit, Kestävä kehitys.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

- Scopus AI

Käyttötarkoitus: Olen käyttänyt Scopus AI kielimallia apuna lähteiden etsimisessä sekä hakulauseiden muodostamisessa.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Kielimallia on käytetty lähteiden etsimiseen, arviointiin ja organisointiin. Työni sisältö on kuitenkin täysin itse tuottamaani.

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. TUOTEKEHITYS.....	2
2.1 Käynnistysvaihe.....	2
2.2 Luonnosteluvaihe.....	3
2.3 Kehittelyvaihe.....	4
2.4 Viimeistelyvaihe.....	5
3. NYKYPÄIVÄN ILMASTOTAVOITTEET.....	6
3.1 Direktiivit.....	6
3.2 Standardit.....	8
4. VASTUULLINEN TUOTEKEHITYS.....	9
4.1 Vastuullisuuden periaatteet tuotekehityksessä.....	9
4.2 Ekologinen kestävyys ja ympäristövaikutukset.....	10
4.3 Innovaatio ja vastuullisuus, täynnä ristiriitoja sekä mahdollisuuksia.....	11
5. REFLEKTIO.....	14
6. YHTEENVETO.....	15
LÄHTEET.....	16

1. JOHDANTO

Nyky-yhteiskunnassa tiedetään aikaisempaa enemmän resurssien ja energian käytön haitallisista vaikutuksista ympäristöön ja yhteisöön. Siksi Davimin et al. (2024) mukaan on tärkeää luoda ympäristöystävällinen kehitysstandardi, joka yhdistää yhteiskunnan, talouden ja ympäristön. Kestävä tuotesuunnittelu pyrkii minimoimaan tuotteen haitallisia vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan sen koko elinkaaren ajan. Opiskelijoille, valmistajille ja ammattilaisille pyritään opettamaan, kuinka hyödyntää erilaisia energialähteitä ja luoda energiatehokkaita tuotteita. (Davim et al. 2024)

Davimin et al. (2024) mukaan kestävä suunnittelu huomioi ympäristö- ja sosiaaliset näkökulmat alusta alkaen. Tärkeimpiä periaatteita ovat materiaalien kierrätettävyys, energiatehokkuus ja ympäristövaikutusten minimointi. Kestävä kehitys vaatii tietoisuutta ja vastuullisuutta tuotesuunnittelijoilta sekä jatkuvaa innovaatiota. (Davim et al. 2024)

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, miten tuotekehityksessä otetaan huomioon nykyiset ilmasto- sekä vastuullisuustavoitteet. Työssä ilmasto- sekä vastuullisuustavoitteina tarkastellaan Euroopan unionin asettamia asetuksia sekä direktiivejä eli lainsäädäntöohjeita. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jonka toisessa luvussa käydään läpi tuotekehityksen prosessin päävaiheet ja tutustutaan jokaiseen vaiheeseen yleisellä tasolla. Kolmannessa luvussa tarkastellaan nykypäivän ilmasto- ja vastuullisuustavoitteita Euroopan unionin sääntelyn näkökulmasta. Luvussa 4 puolestaan käsitellään kuinka 3. luvun tavoitteet otetaan huomioon nykypäivän tuotekehityksessä, kuten materiaalivalinnoilla sekä käydään läpi, kuinka vastuullisuus ei ole pelkästään ympäristökysymys, vaan se liittyy myös liiketoiminnan kannattavuuteen ja eettisiin valintoihin. Luvussa 5 esitellään päätelmiä, jotka ovat löytyneet työn aikana. Kuudennessa ja viimeisessä luvussa kootaan yhteenveto työn tärkeimmistä havainnoista.

Työn tavoitteena on tuoda esille, kuinka vastuullisuus näkyy nykypäivän tuotekehityksessä, sekä arvioida miten EU:n sääntely ohjaa tuotekehitystä. Työ vastaa tutkimuskysymykseen: Mitkä ovat vastuullisen tuotekehityksen haasteet ja mitä mahdollisuuksia vastuullisella tuotekehityksellä on? Työn lopussa myös käydään läpi innovaatioiden sekä vastuullisuuden tuomia ristiriitoja ja mahdollisuuksia.

2. TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote niin, että se täyttää asetetut tekniset ja taloudelliset vaatimukset mahdollisimman hyvin. Prosessin vaiheet ovat: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Aluksi selvitetään tuotteen tarve, toteuttamismahdollisuudet ja yrityksen resurssit. Tämän jälkeen tuotetta hahmotellaan luonnostasolla ideointimenetelmien avulla. Kehittelyvaiheessa valittu ratkaisuluonnos tarkennetaan teknisesti ja optimoidaan, ja lopuksi viimeistelyvaiheessa laaditaan tuotantovalmiit ohjeet ja piirustukset sekä testataan prototyyppi. (Jokinen. 2001)

Tuotekehitysprosessin kulku ei ole satunnaista vaan se on järjestelmällinen ja suunnitelmallinen. Aiemmin tuotekehitystä tehtiin lähinnä käytännön tarpeiden ohjaamana ilman yhtenäisiä menetelmiä, mutta nykyisin prosessi on tiiviisti osa yrityksen muuta toimintaa kuten tuotantoa ja markkinointia. Tarve systemaattisille suunnittelumenetelmille on kasvanut, koska tuotteiden elinkaaret lyhenevät ja kilpailu kiristyy. Oikein toteutettuna tuotekehitys lyhentää toimitusaikoja, laskee kustannuksia ja parantaa tuotteiden kilpailukykyä. (Jokinen. 2001)

Vaikka tuotekehitys tieteellisenä alana on suhteellisen nuori, sen vaiheet ja käytännöt ovat jo hyvin vakiintuneita. Kehitys on pohjautunut kansainvälisiin tutkimuksiin ja käytännön kokemuksiin, ja sen menetelmiä on jalostettu muun muassa japanilaisessa teollisuudessa. Prosessin rakenteellinen selkeys ja johdonmukaisuus auttavat varmistamaan, että tuotteet ovat käyttäjäystävällisiä, turvallisia ja taloudellisesti kannattavia sekä yritykselle että asiakkaalle. (Jokinen. 2001)

2.1 Käynnistysvaihe

Tuotekehitysprosessi alkaa tarpeen ja toteuttamiskelpoisen idean tunnistamisella. Pelkkä tuotetarve ei riitä projektin aloittamiseen, vaan täytyy myös olla mielikuva siitä, miten tarpeeseen voidaan vastata konkreettisella tuotteella. Tarve ja toteutusmahdollisuus yhdessä muodostavat perustan, jonka pohjalta kehitysprojekti voidaan käynnistää. Käynnistämisen selvitetään yrityksen ulkoiset ja sisäiset valmiudet. Ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi markkina-analyysit, kilpailijoiden tuotteet, asiakaskyselyt ja teknologian kehitys. Sisäisiä taas ovat henkilöstön osaaminen, tuotantokapasiteetti ja yrityksen taloudelliset resurssit. Näistä muodostuu niin sanottu yrityspotentiaali. (Jokinen. 2001)

Ideoita etsitään systemaattisesti eri tuotealueilta, jotka arvioidaan yrityksen tavoitteiden ja resurssien näkökulmasta. Lupaavimmista alueista etsitään konkreettisia tuoteideoita. Näistä laaditaan kehitysehdotuksia, jotka sisältävät tuotteen kuvauksen, tekniset ja taloudelliset vaatimukset sekä alustavan aikataulun ja resurssit. (Jokinen. 2001)

Lopullisen kehityspäätöksen tekee yrityksen johto. Päätös voidaan tehdä eri organisatiotasolla riippuen projektin laajuudesta. Jos kyseessä on pieni parannus olemassa olevaan tuotteeseen, riittää alempi päätöksentekotaso. Uuden tuotteen kehittämisessä päätöksen tekee usein yrityksen ylin johto. Kehityspäätöksen jälkeen siirrytään luonnosteluvaiheeseen. (Jokinen. 2001)

2.2 Luonnosteluvaihe

Luonnosteluvaiheessa analysoidaan tehtävänasettelu ja määritellään tavoitteet sekä vaatimukset. Tässä vaiheessa etsitään erilaisia ratkaisumahdollisuuksia ja arvioidaan niitä teknisten ja taloudellisten kriteerien perusteella. Ideointimenetelmät, kuten aivoriihi ja muuntelumenetelmät, auttavat löytämään innovatiivisia ratkaisuja. (Jokinen. 2001)

Tässä vaiheessa on tärkeää, että eri alojen asiantuntijat, kuten insinöörit, markkinointitiimi ja potentiaaliset asiakkaat, osallistuvat keskusteluun. Tavoitteena on muodostaa kattava lista ominaisuuksista ja vaatimuksista, joita tuote voisi sisältää. Hyvin laadittu vaatimuslista ohjaa ideointia ja helpottaa myöhemmässä vaiheessa tehtävää ratkaisujen arviointia. Tämän jälkeen suoritetaan markkinariskiarviointi, jossa selvitetään, kuinka kiinnostuneita asiakkaat ovat tuotteesta ja miten se pärjää kilpailijoihin verrattuna. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi asiakaskyselyillä, fokusryhmillä tai analysoimalla vastaavia markkinoilla olevia tuotteita. (Marquis & Deeb. 2018)

Ideointivaiheessa käytetään erilaisia luovia menetelmiä, kuten aivorihtä, synektiikkaa ja Gordonin menetelmää. Ennen ideointia tehtävä yleistetään, jotta vältetään liian kapea ajattelu. Esimerkiksi jos kehitystehtävänä on suunnitella pakkauskone, voidaan yleistämällä lähteä ratkaisemaan, miten tavara voidaan ylipäätään varastoida ja suojata. (Jokinen. 2001)

Teknologisen riskin arviointi on myös olennainen osa luonnosteluvaihetta. Tässä tarkastellaan tuotteen teknisiä vaatimuksia, kuten käytettäviä materiaaleja, ohjelmistoja ja tuotantomenetelmiä. Jos tuote vaatii uudenlaista teknologiaa, on tärkeää arvioida sen toteutettavuutta ja mahdollisia haasteita jo varhaisessa vaiheessa. Lisäksi tässä vaiheessa voidaan määritellä alustava hintaluokka, johon tuotteen tulisi mahtua ollakseen kilpailukykyinen markkinoilla. Luonnostelun lopuksi syntyy useita ratkaisuluonnoksia, joita arvioidaan teknisten ja taloudellisten kriteerien pohjalta. Parhaat vaihtoehdot testataan, ja

niiden joukosta valitaan yksi kehityksen jatkamiseen. Joskus kehitystyötä jatketaan useamman vaihtoehdon pohjalta samanaikaisesti. (Marquis & Deeb. 2018)

2.3 Kehittelyvaihe

Kehittelyvaiheessa valittu ratkaisu viimeistellään konkreettisiksi suunnitelmiksi. Tässä vaiheessa huomioidaan valmistettavuus, materiaalivalinnat ja optimointi, jotta tuote olisi mahdollisimman tehokas ja kustannustehokas. Tarvittaessa tehdään prototyyppejä ja testataan niiden toimivuutta. Jokisen (2001) mukaan kehitysvaihe alkaa valitun ratkaisun kokoonpanoluonnoksen laatimisella mittakaavassa. Tämä vaihe paljastaa suunnittelun mahdolliset tekniset ja taloudelliset heikkoudet, jotka pyritään poistamaan ideoinnin ja analyysin avulla.

Tämän jälkeen tuotteesta pyritään optimoimaan tärkeimmät osat teknisesti ja taloudellisesti. Optimoitavia kohteita voivat olla esimerkiksi rakenteen geometria, materiaalivalinnat ja valmistusmenetelmät. Kehittelyssä voidaan käyttää apuna arvoanalyysiä tai matemaattisia optimointimenetelmiä. Optimointi tähtää siihen, että tuote täyttää asetetut vaatimukset mahdollisimman tehokkaasti ja kustannustehokkaasti. Arvioinnissa tarkastellaan muun muassa suorituskykyä, valmistuskustannuksia, huollettavuutta ja turvallisuutta. Jos valittu ratkaisu ei täytä vaatimuksia, voidaan palata luonnosteluun ja valita uusi vaihtoehto. (Jokinen. 2001)

Tuotteen suorituskykyä testataan ensin sisäisesti ja sen jälkeen potentiaalisten asiakkaiden kanssa. Asiakastestaus on tärkeää, sillä se paljastaa mahdolliset ongelmat ennen varsinaista tuotantoon siirtymistä. Jos testauksen aikana havaitaan merkittäviä puutteita, suunnittelua voidaan muuttaa ja testaus toistaa, kunnes kaikki tavoitteet täyttyvät. Kehitysvaiheen lopussa tehdään päätös siitä, siirytäänkö seuraavaan vaiheeseen vai tarvitaanko lisää muutoksia. Tässä vaiheessa myös arvioidaan sijoitetun pääoman tuottoa ja määritetään lopullinen tuotantokustannus. (Marquis & Deeb. 2018)

2.4 Viimeistelyvaihe

Viimeistelyvaiheessa laaditaan lopulliset valmistuspiirustukset, käyttöohjeet ja tuotanto-ohjeet. Ennen sarjavalmistusta tehdään usein prototyyppi eli koekappale, jolla testataan tuotteen toimivuus. Prototyypin avulla tarkastetaan, että tuote vastaa asetettuja vaatimuksia ja toimii suunnitellulla tavalla. Tarvittaessa prototyypin perusteella tehdään vielä viimeisiä korjauksia. Jos kyseessä on sarjavalmistettava tuote, valmistetaan usein ensin nollasarja eli pieni erä tuotteita, jolla testataan tuotantomenetelmien toimivuutta. Nollasarjasta saadaan myös tietoa tuotteen laadunvaihtelusta ja käytettävyydestä. Lopullisen hyväksynnän jälkeen tuote voidaan siirtää massatuotantoon. (Jokinen. 2001)

Marquisen ja Deebin (2018) mukaan viimeistelyvaiheessa keskitytään myös tuotteen ulkonäköön, käytettävyyteen ja valmistuksen kustannuksiin. Viimeistelyvaihe on erityisen tärkeä kuluttajatuotteille, sillä hyvä muotoilu voi parantaa tuotteen houkuttelevuutta ja käyttöystävällisyyttä. Teollinen muotoilu voi vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka helposti tuote valmistetaan, kootaan ja huolletaan. Lisäksi analysoidaan, millaisia valmistusmenetelmiä ja materiaaleja tarvitaan, jotta tuotantokustannukset saadaan pidettyä hallinnassa.

Tässä vaiheessa määritellään myös lopullinen tuotteen kokoonpano ja tekniset yksityiskohdat. Insinöörit ja markkinointitiimi tekevät yhteistyötä varmistaakseen, että tuote on sekä toimiva että kilpailukykyinen markkinoilla. Jos valmistuskustannukset ylittävät odotetun budjetin, harkitaan mahdollisia muutoksia suunnitteluun tai materiaaleihin. (Marquis and Deeb. 2018)

Viimeistely päättyy siihen, että kaikki on valmista sarjatuotannon aloittamista varten. Kun tuote on testattu ja tuotantodokumentaatio on valmis, yritys voi tehdä lopullisen päätöksen tuotannon käynnistämisestä. Tällöin tuotekehitysprosessi on valmis, ja uusi tuote voidaan viedä markkinoille. (Jokinen. 2001)

3. NYKYPÄIVÄN ILMASTOTAVOITTEET

Nykypäivän tuotekehitystä ohjaa sekä valvoo Euroopan unionin asetukset ja direktiivit eli lainsäädäntöohjeet. Direktiivien avulla Euroopan unioni ohjaa tuotekehitystä kohti kestävämpiä ratkaisuja asettamalla selkeitä vaatimuksia ja standardeja, jotka yritysten on täytettävä. Samalla ne valvovat, että markkinoille pääsevät tuotteet täyttävät ympäristöystävällisyyden kriteerit, mikä edistää sekä ympäristönsuojelua että kuluttajien luottamusta. Keskeisiä säädöksiä ovat muun muassa ekosuunnitteludirektiivi, kestävyysraportointidirektiivi sekä ympäristövälttämädirektiivi.

3.1 Direktiivit

Ekosuunnitteludirektiivi asettaa rajat tuotteiden ekologiselle suunnittelulle. Sen tavoitteena on integroida ympäristönäkökohdat ja elinkaariajattelu tuotteiden suunnitteluvaiheeseen, jotta markkinoille saatetaan energiatehokkaita ja ympäristövaikutuksiltaan vähäisiä tuotteita. Direktiivi velvoittaa valmistajia ja maahantuojia noudattamaan tuoteryhmäkohtaisia vaatimuksia, jotka on laadittu Euroopan komission johdolla. Näiden vaatimusten täyttämättä jättäminen estää tuotteen markkinoille pääsyn EU:n alueella. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EU)

Kestävyysraportointidirektiivi (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) velvoittaa suuria yrityksiä raportoimaan ympäristö- ja sosiaalikeskustelusta sekä hallintotavoistaan. Direktiivin tavoitteena on lisätä yritysten vastuullisuutta ja läpinäkyvyyttä kestävä kehityksen edistämiseksi. Se yhtenäistää kestävyysraporttien sisältöä ja parantaa niiden luotettavuutta, mikä auttaa sidosryhmiä arvioimaan yritysten ympäristövaikutuksia ja vastuullisuustoimia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2022/2464/EU)

Euroopan komissio on julkaissut ensimmäiset Omnibus-paketit koskien kestävyttä ja investointeja (EU commission Directorate-General, 2025). Julkaistujen Omnibus-pakettien tarkoitus on yksinkertaistaa ja yhdenmukaistaa yrityksiin kohdistuvia raportointivelvoitteita. Kestävyysraportointidirektiiviin on esitetty merkittäviä muutoksia. Keskeisimmät muutokset koskevat sen soveltamisalaa, aikataulua ja raportointivaatimuksia. Direktiivin soveltamisala rajattaisiin vain suuriin yrityksiin, ja niiden, joiden olisi pitänyt raportoida tilivuosien 2025 ja 2026 tiedoilla, soveltamisalaa lykättäisiin kahdella vuodella. Lisäksi toimialakohtaisia raportointistandardeja ei otettaisi käyttöön. (EU commission Directorate-General, 2025)

Euroopan komission ehdottama ympäristövääntämädirektiivi ympäristöväitteiden perustelamisesta ja esittämisestä, eli niin sanottu viherväitteitä koskeva direktiivi, on merkittävä askel kohti kuluttajansuojan parantamista ja vihreän siirtymän edistämistä. Sen tavoitteena on varmistaa, että kuluttajille tarjottavat ympäristöväitteet ovat tarkkoja, todennettavissa ja vertailukelpoisia, jotta he voivat tehdä kestävämpiä valintoja ja välttyä viherpesulta.

Viherpesu on laaja ongelma EU:ssa, sillä tutkimukset (Directorate-General for Environment (European Commission) *et al.* 2024) ja (BIO IS *et al.* 2014) ovat osoittaneet, että jopa yli puolet tarkastelluista ympäristöväitteistä on joko epäselviä, harhaanjohtavia tai vailla riittävää perustelua. Tämä ei ainoastaan johda kuluttajia harhaan, vaan myös haittaa yrityksiä, jotka pyrkivät toimimaan aidosti kestävästi, sillä markkinoilla kilpailu vääristyy epäselvien ja perusteettomien väitteiden vuoksi.

Ympäristövääntämädirektiivi tuo mukanaan uusia velvoitteita yrityksille, jotka esittävät ympäristöväitteitä tuotteistaan tai palveluistaan ja asettaa selkeät kriteerit niiden todentamiselle, jotta markkinoille saadaan läpinäkyvämpää ja luotettavampaa tietoa. Lisäksi siinä käsitellään kestävyysmerkintöjen läpinäkyvyyttä ja uskottavuutta, sillä tällä hetkellä markkinoilla on suuri määrä erilaisia ympäristömerkkejä, joiden luotettavuus ja valvonta vaihtelevat. Direktiivissä esitetään rajoituksia uusien kansallisten tai alueellisten ympäristömerkkien luomiselle ja painotetaan EU:n laajuisten standardien kehittämistä, jotta kuluttajille voidaan tarjota yhtenäistä ja selkeää tietoa. Yhdenmukaistamalla ympäristöväitteitä koskevia sääntöjä EU pyrkii luomaan reilummat ja selkeämmät sisämarkkinat, joissa kuluttajien on helpompi tunnistaa kestävät tuotteet ja yritykset, jotka panostavat aidosti ympäristönsuojeluun. Tämä aloite tukee laajemmin EU:n vihreän kehityksen ohjelmaa ja kiertotalouden toimintasuunnitelmaa, jotka tähtäävät ilmastoneutraaliuden saavuttamiseen ja kestäväen talouden edistämiseen. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2023/166/EU)

3.2 Standardit

Lewisin ja Gertsakisin (2001, s. 17) mukaan yksi kriittisistä lisäyksistä tuotekehitysprojekteihin on ollut LCA-arvioinnin käyttäminen. Sillä on kyky kartoittaa tuotteen ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajalta mukaan lukien raaka-aineiden louhinta ja jalostus, tuotteen valmistus (ja kaikki siihen liittyvät pakkaukset ja tarvikkeet), tuotteen käyttö tai toiminta ja käyttöiän loppumisen vaihtoehdot (esim. uudelleenkäyttö, uudelleenvalmistus, kierrätys, käsittely ja hävittäminen). (Lewis et al. 2001)

Abelen et al. (2005, s. 127) mukaan LCA:n menetelmän kehitti kansainvälinen standardisoimisjärjestö (ISO) standardien ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000) ja ISO 14043 (2000) mukaisesti. Elinkaarianalyysin eri vaiheiden kehitystyö on eritasoisista: tavoitteen ja soveltamisalan määrittely sekä inventointianalyysi ovat saavuttaneet parhaita käytäntöjä, kun taas vaikutusten arviointimenetelmiä kehitetään edelleen (Abele et al. 2005).

ISO 14040 -standardi ohjaa tuotekehitystä elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA) periaatteiden mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että tuotteen koko elinkaari otetaan huomioon aina raaka-aineiden hankinnasta ja valmistuksesta sen käyttöön ja lopulta jätehuoltoon tai kierrätykseen asti. Standardi antaa menetelmät tuotteiden ja prosessien ympäristövaikutusten tunnistamiseen, arviointiin ja vähentämiseen, mikä auttaa kehittämään kestävämpiä ratkaisuja. (SFS-EN ISO 14040, 2006)

Tuotekehityksessä ISO 14040 auttaa yrityksiä analysoimaan tuotejärjestelmiä ja tunnistamaan niiden merkittävimmät prosessit ja resurssivirrat. Tämä tarkoittaa, että voidaan tunnistaa esimerkiksi valmistusvaiheessa syntyvät päästöt, energiankulutus tai materiaalihokkuuden parantamismahdollisuudet. Näiden tietojen pohjalta voidaan tehdä parempia päätöksiä materiaalivalintojen, tuotantotekniikoiden ja muiden prosessien suhteen.

Ulrichin ja Eppingerin (2020, s. 232) mukaan elinkaariajattelu auttaa laajentamaan perinteisen valmistajan huolta tuotteidensa tuotannosta vertaamalla sitä suljetun kierron järjestelmään, joka suhteuttaa tuotteen elinkaaren luonnolliseen elinkaareen. Tuotteen elinkaari alkaa raaka-aineiden louhinnasta ja käsittelystä ja sen jälkeen tuotannosta, jakelusta ja käytöstä. Tuotteella on käyttöiän lopussa useita hyödyntämisvaihtoehtoja: komponenttien uudelleenvalmistus tai uudelleenkäyttö, materiaalien kierrätys tai hävittäminen polttamalla tai sijoittamalla kaatopaikalle. (Ulrich & Eppinger. 2020)

4. VASTUULLINEN TUOTEKEHITYS

Viimeisen vuosikymmenen aikana kestävä kehitys on noussut keskeiseksi aiheeksi Euroopan tutkimus- ja kehitysyhteisössä, ja Euroopan komissio on asettanut uusia sääntöjä yritysten kestävä kehityksen raportointia koskevaan direktiiviin. Uusien eurooppalaisten kestävyysraportointistandardien mukaisesti suuret yritykset, EU:ssa toimivat ei-EU-yritykset sekä pörssilistatut pienet ja keskisuuret yritykset ovat velvoitettuja julkaisemaan kestävä kehityksen raportin monimutkaisen ESRS-kehityksen mukaisesti. (Leal Filho et al. 2025)

Eurooppalaiset kestävyysraportointistandardit muuttavat yritysten toimintaa merkittävästi. Suuret, sekä pörssilistatut pienet ja keskisuuret yritykset, eli pk-yritykset ovat velvoitettuja raportoimaan ympäristöön, yhteiskuntaan ja hallintoon liittyviä tietojaan standardoidussa muodossa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen, energiankulutuksen, vedenkäytön ja työolosuhteiden mittaamista ja raportointia. ESRS:n tavoitteena on lisätä yritysten läpinäkyvyyttä ja vastuullisuutta, jotta kestävä kehityksen periaatteet toteutuisivat paremmin. Uusi raportointimalli korvaa aiemmat, usein epämääräiset ja vaikeasti vertailtavat kestävyystiedot selkeillä, yhtenäisillä mittareilla. (Leal Filho et al. 2025)

Teollisuusyrityksille ESRS tuo sekä haasteita että mahdollisuuksia. Raportoinnin edellyttämien tietojen keruu voi olla kallista ja monimutkaista, mikä vaatii yrityksiltä panostusta digitalisaatioon ja uusien IT-järjestelmien kehittämiseen. Toisaalta järjestelmällinen kestävyystietojen seuranta voi auttaa yrityksiä parantamaan resurssitehokkuuttaan ja innovoimaan ympäristöystävällisempiä tuotantotapoja. Koska kestävä kehitys on yhä tärkeämpi kilpailutekijä, ESRS voi tarjota yrityksille myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja parantaa niiden asemaa markkinoilla. (Leal Filho et al. 2025)

4.1 Vastuullisuuden periaatteet tuotekehityksessä

Kraljin ja Markičin (2008) mukaan kestävä kehitys on keskeinen osa nykyaikaista liiketoimintaa, ja yritykset pyrkivät yhä enemmän ottamaan vastuuta ympäristöstään, taloudestaan ja yhteiskunnallisista vaikutuksistaan. Tämä strategia ei ole pelkästään eettinen valinta, vaan myös välttämättömyys muuttuvassa markkinaympäristössä, jossa kuluttajat ja sidosryhmät odottavat yrityksiltä vastuullisuutta. He listaavat kestävä kehityksen kolme osa-aluetta, jotka ovat ympäristövastuu, sosiaalinen vastuu sekä talous ja innovaatio. (Kralj & Markič. 2008)

Ympäristövastuu tarkoittaa sitä, että yritykset pyrkivät minimoimaan toimintansa negatiiviset vaikutukset luontoon. Tämä voi sisältää esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen vähentämistä, jätehuollon tehostamista ja luonnonvarojen vastuullista käyttöä. Monet yritykset siirtyvät uusiutuvaan energiaan ja etsivät kestäviä materiaaleja tuotteisiinsa. Ympäristöystävälliset ratkaisut eivät ainoastaan suojele luontoa, vaan voivat myös pienentää yritysten toimintakustannuksia ja parantaa niiden kilpailukykyä. (Kralj & Markič, 2008)

Yritysten sosiaalinen vastuu ulottuu tuotantoketjun kaikkiin vaiheisiin, mukaan lukien työntekijöiden oikeudet ja turvallisuus sekä asiakkaiden hyvinvointi. Yritysten tulee varmistaa, että niiden tuotteet ovat turvallisia ja että tuotantoprosessit eivät aiheuta haittaa työntekijöille tai paikallisille yhteisöille. Lisäksi läpinäkyvä viestintä asiakkaiden kanssa on tärkeää, jotta kuluttajat voivat tehdä tietoisia valintoja. Sosiaalinen vastuu lisää asiakasuskollisuutta ja vahvistaa yrityksen mainetta vastuullisena toimijana. (Kralj & Markič, 2008)

Kestävä kehitys voi luoda taloudellista arvoa yrityksille, sillä vihreät innovaatiot ja vastuulliset liiketoimintamallit voivat johtaa uusiin markkinamahdollisuuksiin ja kustannussäästöihin. Teknologian kehittyessä yritykset voivat hyödyntää uusia ratkaisuja, kuten energiatehokkaita tuotantomenetelmiä ja ympäristöystävällisiä materiaaleja. Investoinnit kestäväyyteen voivat myös houkuttaa vastuullisia sijoittajia, jotka etsivät pitkän aikavälin kannattavia ja eettisiä sijoituskohteita. (Kralj & Markič, 2008)

4.2 Ekologinen kestävyys ja ympäristövaikutukset

Ympäristöystävällinen tuotekehitys pohjautuu kestävän suunnittelun periaatteisiin, joissa tavoitteena on vähentää ympäristövaikutuksia koko tuotteen elinkaaren ajan. Tämä tarkoittaa, että jo suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon energiatehokkuus, materiaalivalinnat ja jätteen minimointi. Erityisesti kierrätettävien ja biohajoavien materiaalien käyttö on keskeistä, sillä ne vähentävät tuotannon ja käytön aikaisia ympäristövaikutuksia. Lisäksi tuotteiden pitkäikäisyyteen panostaminen auttaa vähentämään resurssien kulutusta ja jätteen syntymistä, mikä tukee kiertotalouden periaatteita. (Katsikeas et al. 2016)

Tuotteiden korjattavuus ja uudelleenkäytettävyys ovat myös tärkeitä ekologisen tuotekehityksen osa-alueita. Modulaarinen rakenne mahdollistaa osien vaihtamisen ja korjaamisen, mikä vähentää tarpeetonta kulutusta ja edistää kestävästä kulutuskulttuurista. Lisäksi energiatehokkaat valmistusmenetelmät ja resurssien optimointi voivat merkittävästi vähentää tuotannon ympäristökuormitusta. Yritykset, jotka panostavat näihin periaatteisiin, eivät ainoastaan vähennä negatiivisia ympäristövaikutuksiaan, vaan voivat myös saavuttaa kilpailuetua kasvavilla kestävän kehityksen markkinoilla. (Katsikeas et al. 2016)

Globaalia ilmastonmuutosta ja kasvihuonepäästöjä tarkasteltaessa vähähiilisten tuotteiden suunnittelu muodostaa kriittisiä haasteita nykypäivän valmistavassa teollisuudessa, tähän kuitenkin on etsitty ratkaisuja jo kauan. Bao et al. (2013) tekemässä tutkimuksessa kehitettiin modulaariseen suunnitteluun ja elinkaarianalyysiin perustuva hiilijalanjäljen analyysimalli. Analyysimallin avulla pyritään systemaattisesti arvioimaan, kuinka eri tuotteen elinkaarivaiheet, raaka-aineiden ja energian hankinnasta valmistukseen, kuljetukseen, käyttöön ja kierrätykseen, vaikuttavat kokonaispäästöihin. Bao et al. (2013) tutkimus tarjosi siis arvokkaan työkalun tuotteiden suunnitteluprosessiin, jossa ympäristövaikutusten minimointi on keskeinen tavoite. Heidän analyysimallinsa toimivuus validoitiin tapaustutkimuksella, jossa astianpesukoneen käyttövaiheen päästöjä pystyttiin vähentämään merkittävästi.

4.3 Innovaatio ja vastuullisuus

Teknologian kehitys tuo uusia mahdollisuuksia ekologisesti kestävään tuotekehitykseen. Älykkäät valmistusprosessit, kuten automaatio ja digitaalinen seuranta, mahdollistavat resurssien tehokkaamman käytön ja vähentävät energiahukkaa. Esimerkiksi tekoälyn ja data-analytiikan avulla voidaan optimoida tuotannon eri vaiheita, mikä johtaa parempaan energiatehokkuuteen ja pienempään hiilijalanjälkeen. Lisäksi uusien materiaalien, kuten biopohjaisten muovien ja kehittyneiden kierrätysmateriaalien, hyödyntäminen mahdollistaa ympäristöystävällisten tuotteiden kehittämisen ilman, että niiden laatu tai toiminnallisuus kärsii. (Katsikeas et al. 2016)

Merkittävä sovellus AI-teknologioissa on biomateriaalien optimointi. AI mahdollistaa virtuaalisten prototyyppien luomisen ja materiaalien testaamisen simulaatioiden avulla. Syväoppimispohjaiset mallit voivat ennustaa esimerkiksi polymeerien molekyyliarakenteen vaikutukset materiaalien mekaanisiin ominaisuuksiin tai biomateriaalin pintakemian muutosten vaikutukset solujen vuorovaikutuksiin. Nämä simulaatiot auttavat tutkijoita löytämään parhaat materiaaliratkaisut nopeammin ja kustannustehokkaammin. (Rajitha et al. 2024)

Innovatiiviset ratkaisut, kuten suljetun kierron tuotantomallit ja hiilineutraali tuotanto, tarjoavat yrityksille mahdollisuuden siirtyä kohti kestävämpiä toimintatapoja. Esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden käyttö valmistusprosessissa voi vähentää merkittävästi tuotteen elinkaaren aikaisia päästöjä (Katsikeas et al. 2016). Teknologian nopea kehitys ja digitaalisten ratkaisujen yleistyminen tuovat mukanaan sekä mahdollisuuksia että haasteita. Yritysten ja organisaatioiden on oltava valmiita mukautumaan muutokseen, jotta ne voivat pysyä kilpailukykyisinä ja hyödyntää digitalisaation tarjoamia etuja. Sa-

malla on tärkeää huolehtia tietoturvasta, lainsäädännön vaatimuksista ja ihmisten digitaalisen osaamisesta, jotta digitalisaatiosta tulee kestävää ja hyödyllistä kaikille. (Varaniutė et al. 2022)

Vaikka digitalisaatio tuo mukanaan monia etuja, siihen liittyy myös haasteita ja riskejä. Teknologian nopea kehitys vaatii jatkuvaa oppimista ja sopeutumista, mikä voi olla haastavaa organisaatioille ja työntekijöille. Uusien digitaalisten järjestelmien käyttöönotto voi olla kallista, ja tarvittavan osaamisen puute voi hidastaa siirtymistä. Lisäksi digitalisaatio voi aiheuttaa työpaikkojen katoamista, kun automaatio korvaa perinteisiä työtehtäviä, mikä vaatii uudelleen koulutusta ja työmarkkinoiden sopeutumista. (Varaniutė et al. 2022)

Toinen suuri haaste on tietoturva ja yksityisyyden suoja. Kun yhä enemmän tietoa käsitellään digitaalisesti, kyberhyökkäysten ja tietomurtojen riski kasvaa. Yritysten on investoitava tietoturvateknologioihin ja varmistettava, että niiden järjestelmät ovat suojattuja. Lisäksi lainsäädäntö ja sääntely muuttuvat jatkuvasti, mikä asettaa yrityksille velvollisuuden pysyä ajan tasalla ja varmistaa, että niiden toimintatavat noudattavat tietosuojavaatimuksia. Digitalisaation onnistunut hyödyntäminen edellyttää siis strategista suunnittelua ja riskien hallintaa. (Varaniutė et al. 2022)

Kyselytutkimus energiatehokkuuden parantamisesta

Gerstlberger et al. (2014) tarkastelivat tutkimuksessaan sitä, miten yritysten tuotteen innovaatio ja energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet tuotantolaitoksissa nivoutuvat yhteen. Tutkimuksen lähtökohtana on kestävä kehitys, jossa ympäristöystävällisyys ja tehokkuus ovat keskeisiä kilpailutekijöitä. Erityisesti valmistavassa teollisuudessa energiatehokkuuden parantaminen on noussut tärkeäksi, kun yritykset pyrkivät vähentämään energiankulutustaan ja samalla täyttämään tiukentuvat ympäristönsuojeluvaatimukset. Näin ollen yritysten on pohdittava, miten ne voivat yhdistää resurssien käytön optimoinnin ja uusien, markkinassa erottuvien tuotteiden kehittämisen. (Gerstlberger et al. 2014)

Gerstlberger et al. (2014) asettivat tutkimuksessaan kolme keskeistä kysymystä: mitkä tuotantoon liittyvät tekijät vaikuttavat energiatehokkuuteen, mitkä tekijät ohjaavat uusien tuotteiden kehittämistä sekä kuinka yritykset voivat tasapainottaa nämä kaksi strategista painopistettä. Kyselytutkimus, johon osallistui tanskalaisia valmistavan teollisuuden yrityksiä, on analysoitu faktorianalyysin ja logistisen regressioanalyysin avulla. Näiden menetelmien avulla tunnistettiin kolme pääulottuvuutta, jotka kuvaavat innovaatioiden eri osa-alueita: tehokkuusnäkökulmat, markkinakeskeiset näkökulmat sekä ympäristöystävälliset näkökulmat.

Tulokset osoittavat, että yritysten energiatehokkuuteen vaikuttavat erityisesti tehokkuusnäkökulmat ja ympäristöystävälliset näkökulmat, kuten sähköenergian kulutuksen optimointi ja uusiutuvien raaka-aineiden käyttö. Sen sijaan uusien tuotteiden kehittämisessä markkinakeskeiset tekijät, kuten tuotteen toimivuus ja käyttäjäystävällisyys, ovat ratkaisevassa asemassa.

Gerstlbergerin et al. (2014) tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, että yritykset usein keskittyvät joko energiatehokkuuden parantamiseen tai uusien tuotteiden innovointiin, eikä näiden kahden strategian välillä ole systemaattista integraatiota. Tämä erotelu korostaa haasteita, joita yritykset kohtaavat yhdistäessään ympäristöystävälliset toimet ja markkinavetoiset innovaatiot. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että strategisilla päätöksillä, kuten konkreettisten ja mitattavien tavoitteiden asettamisella, voidaan löytää keinoja yhdistää nämä kaksi näkökulmaa. Näin yritykset pystyvät parantamaan sekä tuotantoprosessiensa energiatehokkuutta että kehittämään markkinoilla kilpailukyisiä tuotteita, mikä tukee kestävästä kehityksestä laajempia tavoitteita. (Gerstlberger et al. 2014)

5. REFLEKTIO

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin tuotekehityksen merkitystä lopputuotteen ympäristövaikutuksiin ja pohdittiin, kuinka vastuullisuus voidaan integroida tuotekehityksen eri vaiheisiin. Refleктоitaessa työn sisältöä voidaan todeta, että työ tarjoaa selkeän ja rakenteellisen kokonaiskuvan siitä, miten ympäristöystävällinen ajattelu voidaan yhdistää tekniseen suunnitteluprosessiin.

Työn yksi keskeisimmistä oivalluksista oli se, että vastuullinen tuotekehitys ei ole pelkästään ekologinen kysymys, vaan siihen liittyy vahvasti myös sosiaalinen ja taloudellinen ulottuvuus. Tämä moninäkökulmaisuus tuo aiheen tarkasteluun syvyyttä ja konkretisoi sen, miksi vastuullisuus on tärkeä osa nykyaikaista liiketoimintaa. Esimerkiksi työssä esiin nostetut direktiivit ja standardit, kuten ISO 14040 ja CSRD, osoittavat, että vastuullisuus ei ole enää vain vapaaehtoinen lisä, vaan yhä enemmän myös lainsäädännön vaatimusten ohjaamaa toimintaa.

Eriyksen kiinnostavaa oli, miten työssä tuotiin esille tuotekehityksen eri vaiheet (käynnistys, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely) ja kuinka vastuullisuutta voidaan sisällyttää jokaiseen niistä. Tämä rakenne auttaa ymmärtämään, että kestävätkä ratkaisut eivät synny vain lopullisessa suunnittelussa, vaan vaativat huolellista harkintaa jo prosessin alkuvaiheissa. Esimerkiksi materiaalivalinnat ja ideointivaiheen tekniset riskit vaikuttavat ratkaisevasti lopputuotteen ympäristövaikutuksiin.

Työssä pohdittiin myös ajankohtaisesti teknologian ja digitalisaation vaikutuksia vastuulliseen tuotekehitykseen. Tekoälyn ja datan hyödyntäminen esimerkiksi biomateriaalien suunnittelussa osoittaa, miten uudet teknologiat voivat edistää kestävätkä kehitystä. Samalla kuitenkin tunnistettiin myös haasteita, kuten tietoturva ja osaamisvaatimukset, jotka on huomioitava osana kokonaisvaltaista vastuullisuusstrategiaa.

Lopuksi voidaan todeta, että työ vastasi hyvin tutkimuskysymykseensä: se tunnisti vastuullisen tuotekehityksen keskeiset haasteet ja esitteli monipuolisesti myös mahdollisuudet, joita nykyaikaiset teknologiat ja sääntely voivat tarjota. Työ toimii hyvänä lähtökohdaksi niille, jotka haluavat ymmärtää vastuullisuuden roolia tuotekehityksessä sekä sen merkitystä ilmastotavoitteiden saavuttamisessa ja yritysten kilpailukykyyn kehittämisessä.

6. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten tuotekehityksen eri vaiheet vaikuttavat lopputuotteen ympäristövaikutuksiin ja millä tavoin vastuullisuutta voidaan toteuttaa tuotteen koko elinkaaren ajan. Työssä ei heti syvennytty yksittäisiin ympäristövaikutuksiin, vaan ensin esiteltiin yleisesti tuotekehitysprosessin vaiheet: käynnistysvaihe, luonnosteluvaihe, kehitysvaihe ja viimeistelyvaihe. Näissä vaiheissa käytiin läpi muun muassa ideointimenetelmät, materiaalivalinnat, tekniset ja taloudelliset riskit sekä asiakastestauksen rooli.

Kolmannessa luvussa käsiteltiin nykypäivän ilmastotavoitteita EU-sääntelyn näkökulmasta. Tärkeitä ohjaavia tekijöitä ovat esimerkiksi ekosunnitteludirektiivi ja kestävyysraportointidirektiivi, joiden tavoitteena on parantaa tuotteiden energiatehokkuutta, vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia ja edistää vastuullista liiketoimintaa. Myös elinkaariajattelu ja ISO 14040 -standardi nostettiin esiin tärkeinä työkaluina ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Neljännessä luvussa keskityttiin vastuullisen tuotekehityksen periaatteisiin ja niiden käytännön toteutukseen. Ekologinen kestävyys, kuten kierrätettävyys, materiaalitehokkuus ja vähähiiliset ratkaisut, olivat keskeisiä aiheita. Innovaatio ja vastuullisuus nähtiin sekä haasteena että mahdollisuutena: esimerkiksi tekoälyn hyödyntäminen materiaalien optimoinnissa voi vähentää ympäristökuormitusta merkittävästi.

Työssä esiteltiin myös kyselytutkimus, jossa selvitettiin, miten yritykset yhdistävät energiatehokkuuden ja tuoteinnovaation. Tuloksista kävi ilmi, että yrityksillä on usein haasteita näiden yhdistämisessä, mutta strategisella suunnittelulla ja mittareiden käytöllä voidaan saavuttaa sekä ympäristöllisiä että taloudellisia hyötyjä.

Lopuksi työssä pohdittiin digitalisaation ja teknologisen kehityksen roolia vastuullisessa tuotekehityksessä. Esille nousivat muun muassa tekoäly, biomateriaalit ja suljetun kierroksen tuotantomallit. Työn perusteella vastuullinen tuotekehitys on tärkeä osa tulevaisuuden kilpailukykyä ja ilmastotavoitteiden saavuttamista, ja siihen voidaan vaikuttaa tehokkaasti jo tuotteen suunnitteluvaiheessa.

LÄHTEET

Abele, E., Anderl, R. and Birkhofer, H. (eds) (2005) *Environmentally-Friendly Product Development*. London: Springer. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/b138604>.

Bao, H., Liu, G. and Wang, J. (2013) 'Optimal design of products with low-carbon based on carbon footprint analysis', ResearchGate. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/289059256_Optimal_design_of_products_with_low-carbon_based_on_carbon_footprint_analysis (Viitattu: 04.04.2025).

BIO IS et al. (2014) *Consumer market study on environmental claims for non-food products: final report*. Publications Office of the European Union. Saatavilla: <https://data.europa.eu/doi/10.2838/646530> (Viitattu: 18.03.2025).

Davim, J.P. et al. (2024) *Environmentally Responsible Product Design and Model Making*, in *Sustainable Manufacturing*. United States: Taylor & Francis Group. Saatavilla: <https://doi.org/10.1201/9781003309123-7>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EU energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista (2009). Euroopan unionin virallinen lehti, L285/10. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj/eng>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2022/2464/EU asetuksen (EU) N:o 537/2014, direktiivin 2004/109/EY, direktiivin 2006/43/EY ja direktiivin 2013/34/EU muuttamisesta yritysten kestävyysraportoinnin osalta (2022). Euroopan unionin virallinen lehti, L322/15. Saatavilla: <http://data.europa.eu/eli/dir/2022/2464/oj/eng>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2023/166/EU nimenomaisten ympäristöväitteiden perustelemisesta ja esittämisestä (viherväitteitä koskeva direktiivi) (2023). Asiakirja 52023PC0166. Saatavilla: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/8308>

Euroopan komissio, pääosasto (2025) *Omnibus I – Euroopan komissio*. Saatavilla: https://commission.europa.eu/publications/omnibus-i_en (Viitattu: 18.03.2025).

Gerstlberger, W., Præst Knudsen, M. and Stampe, I. (2014) 'Sustainable Development Strategies for Product Innovation and Energy Efficiency', *Business Strategy and the Environment*, 23(2), Saatavilla: <https://doi.org/10.1002/bse.1777>.

Jokinen, T. (2001) *Tuotekehitys*. 6. korj. p. Helsinki: Otatieto (Otatieto, 500).

Katsikeas, C.S., Leonidou, C.N. and Zeriti, A. (2016) 'Eco-friendly product development strategy: antecedents, outcomes, and contingent effects', *Journal of the Academy of Marketing Science*, 44(6), pp. 660–684. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s11747-015-0470-5>.

Kralj, D. and Markič, M. (2008), *Sustainable Development Strategy and Product Responsibility*, ENVIRONMENT and DEVELOPMENT. Saatavilla: <https://www.wseas.us/e-library/transactions/environment/2008/25-764.pdf>.

Leal Filho, W. et al. (2025) 'European sustainability reporting standards: An assessment of requirements and preparedness of EU companies', *Journal of Environmental Management*, 380, p. 125008. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125008>.

Lewis, H. and Gertsakis, J. (2001) *Design + environment: a global guide to designing greener goods*. Sheffield: Greenleaf. Saatavilla: <https://doi.org/10.4324/9781351282208>

Marquis, J. and Deeb, R.S. (2018) 'Roadmap to a Successful Product Development', *IEEE Engineering Management Review*, 46(4), pp. 51–58. Saatavilla: <https://doi.org/10.1109/EMR.2018.2884275>.

Rajitha, A. et al. (2024) 'Biomaterials and Artificial Intelligence: Predictive Modeling and Design', *E3S Web of Conferences*. Edited by V. Msomi and T. Ngonda, 505, p. 01003. Saatavilla: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450501003>.

SFS-EN ISO 14040 (2006). Helsinki. Saatavilla: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1063478.html.stx> (Viitattu: 12.02.2025).

Ulrich, K.T., Eppinger, S.D. and Yang, M.C. (2020) *Product design and development*. Seventh edition. New York: McGraw-Hill Education.

Varaniūtė, V., Žičkutė, I. and Žandaravičiūtė, A. (2022) The Changing Role of Management Accounting in Product Development: Directions to Digitalization, Sustainability, and Circularity, *Sustainability*, 14(8), Saatavilla: <https://doi.org/10.3390/su14084740>.