

Kiertotalouden mukainen rakennustuote

Komposiittituotteiden asettaminen markkinoille rakennus- tuotteina

Tiivistelmä

Tekijä(t) Anne-Marie Mäntylä	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK	Valmistumisaika 2025
	Sivumäärä 66 + 7 liitesivua	
Työn nimi Kiertotalouden mukainen rakennustuote Komposiittituotteiden asettaminen markkinoille rakennustuotteina		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (YAMK), Kestävä rakentaminen		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Metropolia Ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Kestävän rakentamisen ja kiertotalouden mukaiset rakennustuotteet varmennetaan samalla tavalla kuin muutkin rakennustuotteet. Niiden valmistus perustuu rakenteiden ja rakennuskohteiden vaatimuksiin, jotka määritellään laeissa, asetuksissa ja standardeissa. Rakentamisen suunnittelu ja toteutus edellyttävät tuotetietoja. Komposiittituotteille ja 3D-tulostustuotannolle ei kuitenkaan ole vielä vakiintuneita tuotehyväksyntämenetelmiä, joiden avulla tuotteiden tekniset ominaisuudet ja 3D-tulostustuotanto voitaisiin virallisesti todentaa käyttötarkoitustaan varten. Kun tuotteen tekniset ominaisuudet ja tuotetuotanto ovat varmennettu, tuotetta voidaan käyttää rakentamisessa Suomessa ja muualla Euroopassa.</p> <p>Tätä työtä on toteutettu Metropolian MINNO-konseptin innovaatioprojekteissa, ja sen yhteydessä on myös ohjattu AMK-opinnäytetyötä lopputuotteen markkinoista. Lisäksi ai- hetta on syvennetty kirjallisuustiedon ja käytännön työkokemuksen avulla. Kira Circularis -hankkeen sekä muiden tämän opinnäytetyön selvitystöiden kautta on kerätty tietoa noin vuoden ajan.</p> <p>Työn aikana laadittiin komposiittituoteryhmälle esimerkkimalli tuotehyväksynnän arviointiperusteista. Lopputuotteiden tuotteistaminen, prototyyppien suunnittelu ja valmistus sekä tuotehyväksynnän edellyttämien teknisten ominaisuuksien testaaminen on joskus vuosien kehittämistyötä.</p>		
Asiasanat Kestävä rakentaminen, kiertotalous, komposiittituotteet, tuotehyväksyntä, arviointiperusteet		

Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Anne-Marie Mäntylä	Thesis, Master of Engineering	2025
	Number of Pages	
	66 + 7 pages of appendices	
Title of Publication		
Construction product in accordance with the circular economy Placing composite products on the market as construction products		
Degree, Field of Study		
Master of Engineering, Sustainable Construction		
Organisation of the client		
Metropolia Ammattikorkeakoulu		
Abstract		
<p>Building products that align with the principles of sustainable construction and the circular economy are subject to the same verification processes as conventional construction products. Their manufacturing is based on structural and site-specific requirements defined by legislation, regulations, and standards. Successful planning and implementation in construction demand comprehensive product information. However, standardized approval procedures for composite materials and 3D-printed construction products are still lacking, making it challenging to officially validate their technical performance and production methods for specific applications. Once a product's technical characteristics and production process have been verified, it becomes eligible for use in construction projects in Finland and throughout Europe.</p> <p>This study was conducted as part of innovation projects within Metropolia University of Applied Sciences' MINNO concept and included supervision of a bachelor's thesis focused on the market potential of the final product. The topic was further explored through a literature review and practical work experience. Additional data was collected over approximately one year through the KIRA Circularis project and related investigations.</p> <p>As part of this work, an example model for assessing product approval criteria for a composite product group was developed. The commercialization of end products, the design and fabrication of prototypes, and the testing of technical properties required for product certification can take several years of development effort.</p>		
Keywords		
Sustainable construction, Circular economy, Composite products, Product approval, Assessment criteria		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kestävä kehitys, rakentaminen, yhdyskunta ja tuotetuotanto	4
2.1	Kestävä kehitys ja rakentaminen	4
2.2	Kestävä yhdyskunta	7
2.3	Kestävä tuotetuotanto.....	7
3	Rakentamisen kiertotalous ja lainsäädäntö	9
4	MINNO ja MOOVIn innovaatioprojektit.....	12
4.1	Metropolia Ammattikorkeakoulun MINNO	12
4.1.1	MOOVI ja MINNO	12
4.1.2	MOOVI:n innovaatioprojektit.....	13
5	Rakennusmateriaalin tuotteistamisen selvitys.....	15
5.1	Tuotteistamisen periaatteet ja vaiheet	15
5.2	MOOVI-lopputuote	16
5.2.1	MOOVI-lopputuotteen raaka-aineet	17
5.2.2	Kiertotalouden mukaisia raaka-aineita MOOVI-elementtiin	18
5.3	3D-tulostus ja MOOVI-elementin kehitys	28
5.3.1	Muovituotteiden valmistusmenetelmät	29
5.3.2	Komposiittituotteiden valmistusmenetelmät	32
5.4	MOOVI-rakennustuotteen tuotteistaminen.....	38
5.4.1	Rakennustuotteen teknisten ominaisuuksien todentaminen.....	39
5.4.2	Rakennusmateriaalista rakennesuunnitteluun	49
5.4.3	Markkina-analyysi.....	55
5.4.4	Markkinoille saattaminen-asettaminen.....	58
5.4.5	MOOVI-elementin arviointiperusteet.....	59
6	Johtopäätökset ja pohdinta	61

LIITE 1 MOOVI - elementin arviointiperusteet

1 Johdanto

Uusia innovaatioita syntyy jatkuvasti, ja tuotteita kehitetään monipuolisesti erilaisista raaka-aineista. Nykykehityksessä pyritään hyödyntämään ensisijaisesti jo olemassa olevia materiaaleja sen sijaan, että tuotettaisiin uutta raaka-ainetta suoraan luonnosta. Neitseellisten raaka-aineiden käyttöä on syytä vähentää, sillä maapallon luonnonvarat ovat rajalliset. Lisäksi on vältettävä tarpeetonta tuotantoa, sillä ilmastonmuutoksen kiihtyminen on seurausta muun muassa teollisesta toiminnasta ja kulutuskeskeisestä elämäntavasta.

Kestävässä tuotannossa keskiöön nousee kiertotalousajattelu, jossa materiaalit pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Muovijäte on merkittävä ympäristöongelma, ja sen haitalliset vaikutukset ovat laajasti tunnettuja. Mikromuovia on löydetty ihmisen verenkierrosta, ja se aiheuttaa vakavaa vahinkoa meriympäristölle estäen kasvuston ja eliöstön normaalia kehitystä. Muovijätteen käsittelyä ja tuotteistamista on kuitenkin tutkittu laajasti, sillä muovin keveys ja muokattavuus tekevät siitä monikäyttöisen materiaalin. Tulevaisuuden haasteena on muovijätteen tehokas talteenotto sekä mikromuovien poistaminen vesistöistä. Samalla on varmistettava, ettei uusia päästöjä enää pääse luontoon.

Muovijätettä voidaan hyödyntää erilaisten uusioraaka-aineiden, kuten pellettien, tuotannossa. Pellettejä voidaan käyttää mm. 3D-tulostamisessa tai muutoin raaka-aineena lopputuotteelle erilaisilla tuotantomenetelmillä. Erityisen merkittäviä ovat muovikomposiitit, jotka muodostuvat muovin ja muiden materiaalien yhdistelmästä. Komposiitit tarjoavat kevyen ja helposti muokattavan ratkaisun esimerkiksi rakennusteollisuuden tarpeisiin. Näiden materiaalien kehittäminen ja hyödyntäminen tukee kestävän kehityksen tavoitteita ja vähentää riippuvuutta neitseellisistä raaka-aineista.

Metropolian ammattikorkeakoulussa järjestettiin IHME-kilpailu, jossa eri alojen opiskelijat pääsivät innovoimaan asumiseen liittyviä tuotteita ja järjestelmiä. Kilpailun teemana oli parantaa asumisviihtyvyyttä, asumisen helppoutta tai turvallisuutta esimerkiksi rakennustuotteiden avulla.

Kilpailun voittanut ryhmä ei koostunut rakennusalan opiskelijoista, vaikka heidän kehittämänsä tuote on rakennustuote. Tämä ei kuitenkaan ole yllättävää, sillä eri alojen ammattilaisten yhteistyö ja monialainen näkökulma voivat tuottaa erityisen innovatiivisia ratkaisuja.

Kilpailun voittajaksi valittiin MOOVI-ryhmä, joka keskittyi kehittämään ääneneristystä parantavaa rakennustuotetta. He suunnittelivat kevyen ja helposti asennettavan väliseinäratkaisun asuinhuoneistoihin, jossa yhdistyvät hyvä ääneneristys ja helppokäyttöisyys.

Metropolian ammattikorkeakoulussa on käytössä nk. MINNO-menetelmä, jossa oppilaat työstävät itsenäisesti innovaatioprojekteja. MOOVI-ryhmän voitokkaasta ideasta koottiin 4 innovaatioryhmää. Innovaatioryhmät olivat: MOOVI 1 Kiertotalous, MOOVI 2 Tekniset ominaisuudet, MOOVI 3 Rakennesuunnittelu, MOOVI 4 Markkina-analyysi

Innovaatioprojektien tarkoituksena oli selvittää tuotteistamiseen pohjatietoa. Metropolian AMK:n IHME-kilpailun rahapalkinnon lisäksi toinen palkinto oli auttaa tuotteen kehittämisessä ja mahdollisessa tuotteistamisessa. Tämän opinnäytetyön lisäksi on tulossa myös AMK opinnäytetyö MOOVI-elementin markkina-analyysistä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, millaiset raaka-aineet tai tuotantomenetelmät soveltuisivat kehitettävään rakennusmateriaaliin. Raaka-aineiden tulee täyttää kestävän kehityksen ja kestävän rakentamisen periaatteet, eli niiden on oltava kiertotalouden mukaisia. Kilpailun voittanut ryhmä on suunnitellut rakennusmateriaalia, joka valmistetaan muovijätteestä. Muovijätteestä on jo olemassa komposiittituotteita, ja näiden pohjalta ryhmä on alustavasti kartoittanut raaka-aineita, joita voitaisiin hyödyntää uuden MOOVI-rakennusmateriaalin kehittämisessä.

Rakennusmateriaalin tuotteistaminen on monivaiheinen prosessi. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vaiheita, jotka alkavat raaka-aineiden kartoituksesta ja päättyvät tuotehyväksyntään, eli valmiin tuotteen markkinoille saattamiseen. Rakennusmateriaalia ei kuitenkaan vielä lanseerata markkinoille, vaan tavoitteena on selvittää, mitä menetelmiä ja testauksia tarvitaan, jotta tuotetta voitaisiin käyttää rakennusmateriaalina Suomessa ja Euroopassa.

Rakennustuotteen markkinoille saattaminen Suomessa ja Euroopan Unionin jäsenmaissa edellyttää, että se täyttää kaikki standardien, lakien ja asetusten vaatimukset. Tämä prosessi on monivaiheinen ja vaatii perusteellisia tutkimuksia, teknisiä testauksia sekä pätevää dokumentaatiota tuotehyväksyntää varten. Lisäksi markkinoille saattaminen on aikaa vievä ja kustannuksia synnyttävä prosessi, mikä asettaa tälle tutkimukselle omat rajoituksensa. Työn tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää seuraavassa vaiheessa, kun valmistelua jatketaan kohti tuotteen markkinoille viemistä.

Tutkimuksen tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva siitä, mitä vaaditaan, jotta komposiittirakennustuote tai -järjestelmä voidaan saattaa markkinoille pysyvänä rakennusmateriaalina. Tämä tarkoittaa, että tuotteen tekniset ja toiminnalliset ominaisuudet on todennettava ja varmennettava Suomen rakennusmääräysten mukaisesti. Vaikka komposiittituotteiden kehitystyötä on jo tehty, niiden lopullinen hyväksyntä rakennuskäyttöön puuttuu edelleen.

Tästä syystä kyseisillä tuotteilla ei ole vielä voitu rakentaa rakenteita, jotka täyttäisivät pysyvän asuinrakennuksen vaatimukset.

2 Kestävä kehitys, rakentaminen, yhdyskunta ja tuotetuotanto

2.1 Kestävä kehitys ja rakentaminen

Kestävä kehitys on periaate, jonka tavoitteena on turvata nykyisten ja tulevien sukupolvien mahdollisuudet hyvään elämään luonnon kantokykyä kunnioittaen. Se kattaa ekologiset, sosiaaliset ja kulttuuriset sekä taloudelliset näkökulmat. Rakennusalalla kestävä kehitys konkretisoituu kestävä rakentamisen periaatteina, joissa painotetaan rakennusten ja rakennusprosessien ympäristövaikutusten minimointia, resurssitehokkuutta sekä turvallista ja toimivaa rakennettua ympäristöä. (Ympäristöministeriö 2025.)

Kestävä kehitys rakentuu kolmesta toisiinsa kytkeytyvästä ulottuvuudesta: ekologisesta, taloudellisesta, sosiaalisesta ja kulttuurisesta kestävydestä. Kestävä kehitys toteutettaessa on tärkeää huomioida kokonaisvaltaisesti ympäristö, ihminen ja talous – päätöksenteossa, suunnittelussa ja käytännön toiminnassa.

Usein vähemmälle huomiolle jää teknologian merkitys osana kestävä kehityksen kokonaisuutta. Teknologia ei ole pelkästään väline tai taustatekijä, vaan se on kiinteästi mukana kaikissa kestävä kehityksen näkökulmissa. Ilman teknologiaa emme voi kehittää uusia ratkaisuja, tehostaa toimintaa tai edes mahdollistaa monia perustoimintoja nykyaikaisessa yhteiskunnassa.

Esimerkiksi sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys eivät nykypäivänä ole täysin erotettavissa teknologiasta. Teknologia mahdollistaa terveydenhuollon kehittämisen ja saavutettavuuden parantamisen – olipa kyse sitten lääketieteellisistä laitteista, etävastaanoitoista tai terveysdatan hallinnasta. Kulttuurisesti teknologia edistää tiedon saatavuutta, kielten ja perinteiden tallentamista. Laadukkaan tiedon saatavuus ja hallinta on turvattava.

Ekologisessa mielessä teknologia toimii ratkaisujen mahdollistajana. Kehittyvä bioteknologia, uudet energiaratkaisut, älykäs jätehuolto ja ympäristön tilaa seuraavat järjestelmät ovat kaikki esimerkkejä siitä, miten teknologian avulla voidaan vähentää ympäristökuormitusta ja edistää luonnonvarojen kestävä käyttöä.

Näin ollen teknologiaa voidaan perustellusti pitää neljäntenä näkökulmana kestävä kehityksen viitekehityksessä. Se on yhdistävä ja mahdollistava tekijä, joka tukee kaikkia muita kestävyden osa-alueita – niin nykyhetken kuin tulevaisuuden tarpeita silmällä pitäen. (Kuntaliitto 2025.)

Kestävä rakentaminen pyrkii pienentämään rakentamisen ja rakennusten käytön aikaisia hiilidioksidipäästöjä, vähentämään energiankulutusta sekä edistämään materiaalien kierräystä ja rakennusosien uudelleenkäyttöä. Tämä edellyttää esimerkiksi rakennusmateriaalien elinkaariajattelun huomioimista, energiatehokkuuden maksimointia sekä kiertotalouden mukaisien materiaalien suosimista. (Ympäristöministeriö 2025.)

Rakennusten energiatehokkuus on keskeinen osa kestävästä rakentamisesta. Hyvin suunnitellut ja eristetyt rakennukset kuluttavat vähemmän energiaa lämmitykseen ja viilennykseen. Lisäksi uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja maalämmön hyödyntäminen, on tärkeää ympäristökuorman pienentämisessä. (Motiva 2025.) Rakennusten käytönaikaisista ympäristövaikutuksista noin 80–90 % liittyy energiankulutukseen, mikä tekee energiatehokkuudesta tärkeän asian otettavaksi huomioon rakentamisessa (Betoni 2025).

Materiaalivalinnoilla on keskeinen rooli rakennusten ympäristövaikutusten vähentämisessä. Puu on uusiutuva ja hiiltä sitova rakennusmateriaali, joka soveltuu erinomaisesti kestävästä rakentamiseen. Puun käyttö vähentää rakennuksen hiilijalanjälkeä, sillä se sitoo hiilidioksidia koko elinkaarensa ajan. Lisäksi puu on kierrätettävä ja biohajoava materiaali. (Ilmasto-opas.fi 2025.)

Kuitenkin uusiutuvien materiaalien, kuten puun, käyttöä tulee suunnitella vastuullisesti. Puun kierrätys ja uudelleenkäyttö rakennusprojekteissa ovat tärkeitä keinoja vähentää neitseellisten luonnonvarojen kulutusta ja rakennusjätteen määrää.

Kierrätysmateriaalien, kuten betonimurskeen ja teollisuuden sivutuotteiden, hyödyntäminen rakennusmateriaaleina vähentää neitseellisten luonnonvarojen tarvetta ja kaatopaikkajätteen määrää. Esimerkiksi betonimurskeen käyttö maarakentamisessa, perustuksissa tai teollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen uusien materiaalien valmistuksessa tukee kiertotalouden periaatteita rakennusalalla. (Helsinki Testbed 2023.)

Lisäksi biopohjaiset komposiitit ja innovatiiviset sideaineet, kuten ligniinipohjaiset liimat, ovat nousemassa esiin vaihtoehtoina fossiilisten materiaalien korvaajiksi. Biopohjaiset viinyliesterihartsit, jotka valmistetaan uusiutuvista luonnonvaroista, ovat kestävä vaihtoehto perinteisille petrokemikaalipohjaisille hartseille. Nämä materiaalit eivät ainoastaan vähennä riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista, vaan niillä on myös potentiaalia parantaa rakennusmateriaalien palonkestävyyttä ja muita teknisiä ominaisuuksia. (Stora Enso 2025.)

Materiaalivalinnoilla on merkittävä vaikutus rakennusten ympäristökuormaan. Uusiutuvien ja kierrätettävien materiaalien, kuten puun, betonimurskeen ja biopohjaisten komposiittien,

käyttö edistää kestäväää rakentamista ja tukee siirtymää kohti vähähiilistä ja resurssitehokasta rakennusalaä. (Motiva. Materiaalitehokkuus 2025.)

Kestävä rakentaminen on myös sosiaalinen kysymys: terveelliset sisäilmaolosuhteet, esteettömyys ja turvallisuus ovat olennaisia osia kestäväää rakennettua ympäristöä. Lisäksi rakennusten joustavuus ja muunneltavuus lisäävät niiden elinkaarta ja vähentävät tarvetta purkamiselle ja uudelleenrakentamiselle. (YK, Yhdistyneet Kansakunnat 2025.)

Kestävä rakentaminen ei onnistu ilman laajaa yhteistyötä eri toimijoiden välillä sekä suunnittelusta vastaavien, rakentajien ja käyttäjien tietoisuuden lisäämistä ja asenteiden muuttamista. Kestävän rakentamisen kehittäminen luo uusia mahdollisuuksia teknologiselle kehitykselle, materiaalitutkimukselle ja kiertotalouden edistämiselle.

Kestäväällä rakentamisella tarkoitetaan materiaali- ja energiatehokasta rakentamista, jolla tuotetaan pitkäikäisiä rakennuksia, liikenne- ja infraratkaisuja sekä teollisuuslaitoksia. Kestävän rakentamisen ytimessä on pyrkimys hiilineutraaliuteen ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseen.

Uusi Rakentamislaki tuli voimaan tänä vuonna, 2025, joka velvoittaa tietyiltä uudisrakennuksilta ilmastaselvitystä, jonka sisältämä hiilijalanjäljen laskenta ja siihen liittyvä raja-arvo-ohjaus tukevat purkumateriaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä (RakL 15 § ja 38 §). Oletetaan, että uudelleenkäyttö- ja kierrätystuotteet ovat neitseellisistä luonnonvaroista valmistettuja tuotteita vähähiilisempiä.

Toinen rakentamisen uusi olennainen tekninen vaatimus, Rakennuksen elinkaariominaisuudet (RakL 39 §) taas velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvää: ”Erytistä huomiota on kiinnitettävä pohjarakenteiden ja kantavien rakenteiden kestävyteen sekä rakennuksen ja sen tilojen, rakennusosien sekä teknisten järjestelmien käyttöikään, käytettävyyteen, huollettavuuteen, muunneltavuuteen ja korjattavuuteen sekä rakennusosien purettavuuteen ja uudelleenkäytettävyyteen.” Lisäksi laissa veloitetaan rakentamishankkeeseen ryhtyvää huolehtimaan, että laaditaan materiaaliseloste, joka sisältää koneluettavassa muodossa tiedot rakentamisessa käytetyistä materiaaleista ja tuotteista.

Kestävä rakentaminen tarkoittaa rakennus- ja rakennusmateriaalien käyttöä tavalla, joka minimoi ympäristövaikutukset, parantaa energiatehokkuutta ja edistää taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestäväää kehitystä. Kestävän rakentamisen tavoitteena on luoda rakennuksia, jotka ovat ympäristöystävällisiä koko elinkaarensa ajan, aina materiaalien hankinnasta purkuun saakka. (Ympäristöministeriö 2025.)

2.2 Kestävä yhdyskunta

Kestävän kehityksen periaatteet konkretisoituvat yhdyskuntasuunnittelussa ja kaupunkirakenteessa kestävien yhdyskuntien muodossa. Kestävä yhdyskunta on ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti toimiva kokonaisuus, jossa luonnonvarojen käyttö, liikkuminen, rakentaminen ja palvelut on järjestetty niin, että ne tukevat pitkäjänteisesti ympäristön hyvinvointia ja ihmisten elämänlaatua. (Ympäristöministeriö 2025.)

Ekologisesti kestävä yhdyskunta käyttää luonnonvaroja tehokkaasti ja säästää energiaa. Tiivis, joukkoliikennettä ja kevyttä liikennettä suosiva kaupunkirakenne vähentää liikenteen päästöjä ja energiankulutusta. Viherrakenteet, kuten puistot ja viherkatot, edistävät kaupunkiluonnon monimuotoisuutta ja parantavat ilmastokestävyyttä esimerkiksi viivyttämällä huivesiä ja viilentämällä mikroilmastoa. (Helsingin kaupunkiympäristön toimiala 2025.)

Sosiaalisesti kestävä yhdyskunta on yhdenvertainen, turvallinen ja osallistava. Kaikilla ihmisillä on pääsy peruspalveluihin, kuten koulutukseen, terveydenhuoltoon ja julkisiin liikennevälineisiin. Esteettömyys, asuinalueiden sosiaalinen monimuotoisuus ja yhteisöllisyys ovat keskeisiä elementtejä, jotka ehkäisevät eriarvoisuutta ja tukevat yhteiskunnan eheyttä.

Taloudellisesti kestävä yhdyskunta mahdollistaa työllistymisen, kestävä liiketoiminnan ja tehokkaan infrastruktuurin käytön. Pitkäikäiset ja muuntojoustavat rakennukset, kestävät materiaalit sekä älykäs energiankäyttö vähentävät kustannuksia ja parantavat alueiden vetovoimaa pitkällä aikavälillä. Lisäksi paikallinen elinkeinorakenne ja lyhyet toimitusketjut tukevat alueellista resilienssiä (muutoskyky) ja kriisikestävyyttä.

Kestävä yhdyskuntarakenne rakentuu siis monialaisesta suunnittelusta, jossa yhdistyvät arkkitehtuuri, liikenne, energia, ympäristönsuojelu ja yhteiskunnalliset näkökohdat. Teknologinen kehitys, kuten älykaupungit ja dataohjattu kaupunkisuunnittelu, tarjoavat uusia työvälineitä kestävien ratkaisujen toteuttamiseen, mutta tärkeintä on silti kokonaisvaltainen näkemys ihmisestä ja ympäristöstä osana samaa järjestelmää. (Kuntaliitto 2025; Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2025; Fingrid 2025.)

2.3 Kestävä tuotetuotanto

Kestävän kehityksen periaatteita sovelletaan yhä laajemmin myös teolliseen tuotantoon ja tuotesuunnitteluun kestävä tuotetuotannon keinoin.

Kestävä tuotetuotanto tarkoittaa tuotteiden valmistusta, joka minimoi luonnonvarojen kulu- tusta, päästöjä ja jätettä tuotteen koko elinkaaren ajan – raaka-aineiden hankinnasta

valmistukseen, käyttöön ja kierrätykseen. Tavoitteena on tuottaa pitkäikäisiä, korjattavia ja kierrätettäviä tuotteita, jotka vastaavat käyttäjien tarpeisiin mahdollisimman pienellä ympäristökuormalla. (European Commission 2025.)

Tuotesuunnittelu on keskeisessä roolissa kestäväen tuotetuotannon toteuttamisessa. Ekosuunnittelu eli ympäristönäkökulman sisällyttäminen tuotteen suunnitteluun auttaa vähentämään tuotteen valmistuksen ja käytön aikaisia päästöjä sekä mahdollistaa osien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen tuotteen elinkaaren päättyessä. (Motiva 2025.)

Kestävä tuotetuotanto tukee siirtymää lineaarisesta talousmallista kiertotalouteen, jossa tuotteet ja materiaalit pysyvät kierrossa mahdollisimman pitkään. Tämä edellyttää esimerkiksi uusiutuvien, kierrätettyjen tai biopohjaisten materiaalien käyttöä sekä modulaarisia ja huollettavia tuoterakenteita.

Myös toimitusketjujen vastuullisuus on osa kestävää tuotantoa. Tämä tarkoittaa, että tuotteiden valmistuksessa otetaan huomioon työntekijöiden oikeudet, työolosuhteet ja paikallisten yhteisöjen hyvinvointi. Eettinen tuotanto on tärkeää erityisesti globaalissa tuotannossa, jossa työvoiman ja raaka-aineiden alkuperä voi olla haasteellista jäljittää.

Uudet teknologiat, kuten automaatio, digitalisaatio ja tekoäly, mahdollistavat tarkemman resurssien hallinnan, älykkään tuotannonohjauksen sekä energiatehokkuuden parantamisen. Myös 3D-tulostus ja hajautettu valmistus voivat vähentää materiaalihukkaa ja logistiikasta aiheutuvia päästöjä, mikä lisää tuotannon kestävyyttä.

Lopulta kestävä tuotetuotanto edellyttää myös kuluttajien sitoutumista vastuullisiin valintoihin. Kun kysyntä suuntautuu ympäristöystävällisiin ja eettisesti valmistettuihin tuotteisiin, yritykset reagoivat ja kehittävät tuotantotapojaan entistä vastuullisemmiksi. (Sitra 2025)

3 Rakentamisen kiertotalous ja lainsäädäntö

Rakentamisen kiertotalous perustuu materiaalien ja rakenteiden tehokkaaseen hyödyntämiseen koko rakennuksen elinkaaren ajan. Sen tavoitteena on vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä, pidentää materiaalien käyttöikää, edistää uudelleenkäyttöä ja kierrätystä sekä vähentää rakentamisesta syntyvää jätettä (Ympäristöministeriö 2025; Motiva 2025.)

Kiertotalouden ytimessä on siirtyminen lineaarisesta talousmallista suljettuun kiertoon, jossa materiaaleja ei kuluteta kertakäyttöisesti, vaan ne pidetään kierrossa mahdollisimman pitkään. Rakentamisessa tämä tarkoittaa muun muassa rakennusmateriaalien huolellista valintaa, suunnittelua rakennusten purkamisen mahdollistamiseksi sekä purkumateriaalien tehokasta hyödyntämistä.

Purkaminen ei kuitenkaan ole ensisijainen toimenpide rakentamisen kiertotaloudessa. Sen sijaan pyritään hyödyntämään olemassa olevia rakennuksia tehokkaasti suunnittelussa ja toteutuksessa. Korjausrakentaminen, jossa huonot ja vahingoittuneet rakenteet poistetaan ja korvataan uusilla tai hyväkuntoisilla rakennustuotteilla, on yksi keino pidentää rakennusten elinkaarta ja vähentää ympäristövaikutuksia.

Kiertotalouden periaatteet rakentamisessa edellyttävät myös joustavaa suunnittelua, joka mahdollistaa rakennusten monikäyttöisyyden, muunneltavuuden sekä purkamisen ja uudelleenkäytön. Tällainen suunnittelu tukee materiaalien uudelleenkäyttöä ja vähentää jätteen syntymistä. (HSY 2025)

Lisäksi rakennusten purkamisen yhteydessä on tärkeää suorittaa purkukartoitus, jossa arvioidaan rakennusmateriaalien ja haitallisten aineiden hyödyntämismahdollisuudet. Tämä mahdollistaa materiaalien tehokkaan uudelleenkäytön ja kierrätyksen, mikä on keskeistä kiertotalouden tavoitteiden saavuttamisessa. (Circuwaste 2025)

Kiertotalouden toteuttaminen rakentamisessa edellyttää kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa huomioidaan materiaalivalinnat, suunnittelu, korjausrakentaminen ja purkumateriaalien hyödyntäminen.

Rakentamisen kiertotalouden edistäminen on keskeinen osa kestäväen rakennetun ympäristön kehittämistä. Suomessa ja Euroopan unionissa kiertotalouden tavoitteita tukevat monipuoliset lainsäädännölliset ohjaukeinot, jotka ohjaavat rakentamisen prosesseja.

Rakennuslaki (RakL 39 §) velvoittaa huomioimaan rakennusosien purettavuuden, uudelleenkäytettävyyden sekä rakennusmateriaalien huollettavuuden ja muunneltavuuden jo rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa (Ympäristöministeriö 2025). Tämä tarkoittaa, että rakentamisen kiertotalouden periaatteet eivät rajoitu vain purkutilanteisiin, vaan ne ohjaavat jo uusien rakennusten suunnittelua niin, että tulevaisuudessa rakennusosat ja materiaalit on mahdollista ottaa talteen ja käyttää uudelleen. Näin edistetään materiaalikiertoa ja vähennetään rakennusjätteen määrää pitkällä aikavälillä.

Vähähiilisen rakentamisen ohjaus rakentuu Rakennuslain 15 ja 38 §:n pohjalle, jossa edellytetään ilmastaselvityksen laatimista osana rakennushanketta. Ilmastaselvityksessä arvioidaan rakentamisen hiilijalanjälki ja etsitään keinoja sen pienentämiseen.

Jätelaki (646/2011) ja siihen liittyvät säädökset tukevat kiertotaloutta jätteen synnyn ehkäisyn ja materiaalien uudelleenkäytön ja kierrätyksen edistämisen kautta. Jätelain mukaan rakennus- ja purkujätteistä on hyödynnettävä materiaalina vähintään 70 prosenttia (Ympäristöministeriö 2025.) Tämä velvoite koskee niin yksityisiä kuin julkisiakin rakennushankkeita ja se haastaa toimijat kehittämään tehokkaita tapoja erotella, kerätä ja käsitellä purkumateriaaleja.

Euroopan unionin tasolla kiertotaloutta edistetään rakennustuoteasetuksen (Construction Products Regulation, CPR) sekä EU:n kiertotaloustavoitteiden avulla. Rakennustuoteasetus tukee tuotteiden ympäristövaikutusten läpinäkyvyyttä ja standardien yhdenmukaistamista. Tämä helpottaa erityisesti kierrätettyjen ja uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden tuotehyväksyntää ja markkinoille pääsyä. Rakennustuoteasetus on Euroopan Unionin jäsenmaiden sisämarkkinoiden työväline. Yhdenmukaiset standardit yhtenäistävät rakennustuotteiden teknisiä ominaisuuksia ja eurokoodien yhtenäistäminen taas suunnittelun yhtenäistämistä. Yhtenäistäminen tarkoittaa, että valtioiden välillä markkinoitaisiin samankaltaisia tuotteita ja näin markkinointi ja rakentaminen olisi sujuvampaa. Eurooppa on kuitenkin laaja ja ilmasto-olosuhteet vaihtelevat, joten kansallisia standardeja on jouduttu laatimaan, jotta voidaan rakentaa turvallisia rakennelmia erilaisissa olosuhteissa.

Lainsäädännön lisäksi rakentamisen kiertotalouden käytännön edistämiseen kehitetään uusia työkaluja ja ratkaisuja. Materiaalipankit ovat yksi tällainen keino: niissä käytetyt tai ylijääneet rakennusosat voidaan varastoida ja välittää uusiokäyttöön. Materiaalipankit tukevat rakennusosien elinkaaren pidentämistä ja vähentävät tarpeetonta materiaalihukkaa. Toisaalta digitaalisten materiaaliselosteiden käyttö yleistyy nopeasti: niiden avulla tuotteiden koostumus ja käyttöominaisuudet voidaan dokumentoida tarkasti. Tämä parantaa

rakennustuotteiden jäljitettävyyttä ja helpottaa niiden uudelleenkäyttöä rakennuksen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa.

Lainsäädännöllinen ohjaus luo rakentamisen kiertotaloudelle vahvan perustan, mutta onnistunut siirtymä edellyttää myös käytännön työvälineitä, innovatiivisia ratkaisuja ja koko rakentamisen arvoketjun yhteistyötä. (Ympäristöministeriö 2025.)

4 MINNO ja MOOVIn innovaatioprojektit

4.1 Metropolia Ammattikorkeakoulun MINNO

Metropolia Ammattikorkeakoulussa on käytössä menetelmä, joka kehittää opiskelijoiden innovointitaitoja ja projektinhallintakykyä. Yrityksiä pyritään saamaan mukaan projekteihin pienellä rahallisella panostuksella, jolloin ne hyötyvät opiskelijoiden osaamisesta sekä Metropolian tarjoamista laitteista ja menetelmistä.

Metropolia Minno sai tammikuussa 2024 merkittävän tunnustuksen Maailman talousfoorumilta (World Economic Forum, WEF). Reskilling Revolution -ohjelman Skills-First Lighthouse -tunnustus annetaan yhteiskuntaa ja yksilöä hyödyttävästä käytännölläheisestä ja innovatiivisesta toiminnasta, jossa osaamista tunnustetaan, vahvistetaan ja sanoitetaan työelämäperusteisesti. (Metropolia Ammattikorkeakoulu 2024.)

4.1.1 MOOVI ja MINNO

Opiskelijaryhmät kartoittivat innovaatioprojekteissa alustavasti tuotteistamiseen tarvittavia tietoja ja pyrkivät kehittämään MOOVI-ryhmän ideasta erilaisia rakennustuotteita ja -osia. Puumuovikomposiitista sekä muista muovikomposiittimassoista on mahdollista valmistaa monenlaisiin käyttötarkoituksiin soveltuvia lopputuotteita. MOOVI-innovaatioprojektiryhmät ideoivat muun muassa MOOVI-elementin, joka voitaisiin valmistaa esimerkiksi 3D-tulostamalla. Tällainen elementti voitaisiin tulostaa yhtenä kappaleena aina kohteen mukaisesti, ja sen ääneneristävyys voisi olla parempi kuin perinteisissä kiinteissä rakennusosissa.

Tässä opinnäytetyössä syvennetään innovaatioprojektien opiskelijaryhmien kokoamaa tietoa ja pyritään valmistamaan koekappaleita tai prototyyppisiä ominaisuuksien testaamista varten. Tavoitteena on rakentaa koeseinä rakennusfysikaalisten ominaisuuksien, kuten ääneneristävyden, todentamiseen. Lisäksi tutkitaan muita keskeisiä teknisiä ominaisuuksia, kuten palokäyttäytymistä, lujuutta ja vakautta. Aikataulun rajallisuuden vuoksi tässä työssä voidaan keskittyä pääasiassa teoreettisen tiedon kokoamiseen, ja muutoin MOOVI-projekti jatkuu tämän opinnäytetyön ohessa ja jälkeen.

Työn tavoitteena on edistää muovikomposiitin tuotteistamista rakennusmateriaaliksi, joka täyttää Suomessa ja Euroopan unionin alueella asetetut rakentamiseen liittyvät vaatimukset. Työtä jatketaan Metropolian ammattikorkeakoulussa vuonna 2025 ja 2026 osana KIRA Circularis -hanketta.

Kira Circularis on valtakunnallinen hanke, jolla edistetään rakennusalan kiertotalouteen siirtymistä. Hankkeen toteutusaika on 1.4.2024–31.3.2026 ja sen osa rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto. (EAKR, Kira Circularis 2024.)

Metropolian ammattikorkeakoulussa jatketaan laitteistojen, kuten 3D-tulostukseen tarkoitettua robotin, kehittämistä, jonka puitteissa perustetaan uusia innovaatioprojekteja opiskelijoille. Näissä projekteissa voidaan jatkaa MOOVI-elementin tuotteistamista ja rakentaa prototyyppien avulla koetutkimusseinä Metropolian tutkimustiloihin. Tutkimustilat sijaitsevat niin sanotussa olosuhdehuoneessa, joka koostuu kahdesta kammioista. Kammiot erotetaan koeseinällä, ja erilaisia rakennusfysikaalisia ominaisuuksia, kuten ääneneristävyyttä, mitataan antureiden ja mittalaitteiden avulla.

4.1.2 MOOVI:n innovaatioprojektit

Markkina-analyysi ja lopputuotteen käyttötarkoitus selvitetään yleensä, kun tuotteistamista suunnitellaan aloitettavaksi. Tuotteistamista ei aloiteta, jos markkina-analyysin tulos on huono. Innovaatioprojektit aloitettiin kuitenkin samaan aikaan, joten pohjatietona tuotteistamiseen oli, että MOOVI on kiertotalouden mukainen rakennustuote, jonka tärkeimpänä ominaisuutena on ääneneristävyys.

MOOVI 1: Kiertotalous ja lopputuotteen raaka-aineet

Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti selvitettiin lopputuotteen raaka-aineiden saatavuutta ja laatua. Kiertotaloudessa tasalaatuisten ja helposti saatavien raaka-aineiden löytyminen on usein tuotannon suurin haaste. Laadukas tuotanto edellyttää jatkuvasti saatavilla olevia raaka-aineita, joista voidaan valmistaa ominaisuuksiltaan sopivia massoja. Tuotteistamisen alkuvaiheessa tarvitaan perusteellista tutkimusta raaka-aineiden ja niistä valmistettavien massojen ominaisuuksista.

MOOVI 2: Tekniset ominaisuudet

Selvitettiin lopputuotteen käyttötarkoituksen kannalta keskeisiä teknisiä ominaisuuksia sekä niiden todentamismenetelmiä. Selvitettiin standardit ja testausmenetelmät, joita käytetään komposiittituotteiden laadun varmistamisessa. MOOVI-elementin kaltaisten uusien rakennustuotteiden kohdalla ei ole vielä vakiintuneita testauskäytäntöjä. Siksi oli tärkeää tunnistaa oikeat standardit ja menetelmät, joilla tuotteen perusominaisuudet, kuten ääneneristävyys, lujuus ja vakaus sekä palokäyttäytyminen voidaan varmentaa. Tämä on edellytys sille, että MOOVI-elementillä voidaan rakentaa esimerkiksi kevyitä ääneneristäviä väliseiniä asuinrakennuksiin Suomessa ja Euroopan Unionin jäsenmaissa.

MOOVI 3: Rakennesuunnittelu

Tavoitteena oli suunnitella rakennetyyppejä erilaisista MOOVI-tuotteista. Tuotteina oli rakennuslevyjä sekä kennoelementti. Tarkoitus oli, että olisi mallinnettu rakennusfysikaalisia ominaisuuksia teoriassa sekä lujuus ja vakaus olisi mallinnettu laskentaohjelmistolla. Ominaisuuksia oli tarkoitus mallintaa laskentaohjelmistojen avulla. Koska tuotteiden tarkat tekniset ominaisuudet eivät olleet vielä tiedossa, laskennalliset mallit olisivat toimineet vertailupohjana konkreettisille testituloksille. Joitakin teknisiä ominaisuuksia voitiin arvioida muista puumuovikomposiittituotteista, mutta täysin vastaavia tuotteita ei ollut vertailtavissa. MOOVI-elementistä rakennetaan kuitenkin koeseinä, jonka avulla saadaan konkreettisia tuloksia jatkokehitystä varten. Rakennesuunnittelua ja muita MOOVI-projekteja on tarkoitus jatkaa tulevaisuudessa.

MOOVI 4: Markkina-analyysi

Markkina-analyysi on keskeinen osa tuotteistamisprosessia. Projektissa kartoitettiin samankaltaisten tuotteiden saatavuutta ja markkinoita sekä arvioitiin rakennuskustannuksia eri rakenteille. MOOVI on ainutlaatuinen tuote, eikä vastaavaa ole saatavilla Suomessa tai Euroopassa. Vastaavilla tuotteilla ei ole vielä rakennettu rakenteita rakennuksiin. Tuote sopii kestäväen rakentamisen tarpeisiin ja voi parantaa asuinviihtyvyyttä myös olemassa olevissa rakennuksissa. MOOVI-elementillä voidaan helposti jakaa tiloja tai uusia vanhoja, huonosti äänieristettyjä väliseiniä.

Alkuvaiheessa MOOVI-elementti keskittyy erityisesti kevyisiin väliseiniin, mutta tulevaisuudessa kehitystyötä laajennetaan muihin rakenteisiin. Seuraavaksi markkina-analyysiä syvennetään erillisessä opinnäytetyössä, jossa keskitytään yksinomaan tuotteen markkinapotentiaalin arviointiin.

5 Rakennusmateriaalin tuotteistamisen selvitys

5.1 Tuotteistamisen periaatteet ja vaiheet

Tuotteistaminen tarkoittaa prosessia, jossa idea, keksintö tai palvelu kehitetään valmiiksi, selkeästi määritellyksi ja markkinakelpoiseksi tuotteeksi. Tavoitteena on, että tuote täyttää asiakkaiden tarpeet, on toistettavissa, helposti ymmärrettävä ja kaupallisesti hyödynnettävissä. (Tuotteistajan taskuraamattu 2014.)

Rakennusalaalla rakennustuotteiden tulee täyttää turvallisuus- ja ympäristövaatimukset, rakentamisen määräykset. Rakennustuotteen tuotteistamiseen liittyy yleensä lainsäädännön ja standardien vaatimukset, sertifikaatit ja tuotetestaukset, teknisesti dokumentit ja brändäys. (TUKES 2025)

Rakennustuotteen kehittäminen ideasta markkinoille vaatii systemaattista ja vaiheittaista tuotteistamisprosessia. Tämä prosessi varmistaa, että lopputuote täyttää tekniset, sääntelyyn liittyvät ja markkinoiden vaatimukset. Tuotteistamisen eri vaiheet muodostavat kokonaisuuden, jossa liiketoimintaosaaminen ja tekninen kehitystyö yhdistyvät.

Ensimmäinen vaihe on tarpeen ja markkinan tunnistaminen. Tässä vaiheessa selvitetään, millaista ongelmaa tuote on ratkaisemassa ja kuka on sen kohdeasiakas. Tavoitteena on ymmärtää markkinan todellinen tarve, jotta tuote vastaa käytännön haasteisiin. MOOVI-elementistä on kirjoitettu opinnäytetyö, jossa mm. haastateltiin rakennusalan toimijoita. Miten rakennusalan toimijat ottaisivat uuden tuotteen käyttöön ja olisiko uusilla kiertotalouden mukaisilla tuotteilla mahdollisuutta rakennusalan markkinoilla.

Seuraavaksi siirrytään konseptointiin ja tekniseen kehitykseen, jossa alkuperäinen tuoteidea muokataan toteuttamiskelpoiseksi tekniseksi ratkaisuksi. Tässä vaiheessa arvioidaan tuotteen toiminnallisuus, valmistettavuus ja säädösten mukaisuus. On tärkeää, että suunnittelu huomioi rakennusalan erityiset standardit ja vaatimukset jo varhaisessa vaiheessa.

Kolmas vaihe on testaus ja hyväksyntä. Rakennustuotteille vaaditaan usein CE-merkintä, joka voi perustua joko harmonisoituun eurooppalaiseen standardiin (hEN) tai eurooppalaiseen tekniseen arviointiin (ETA) Rakennustuoteasetuksen mukaan. Myös kansallisia ja EU:n tuotestandardeja voidaan soveltaa tuotehyväksynnän perustana. Testausvaihe ei ole pelkästään byrokraattinen vaatimus, vaan se mahdollistaa kehittää ja innovoida tuotetta edelleen teknologian ja käytettävyyden näkökulmasta. (Ympäristöministeriö 2025).

Neljännessä vaiheessa keskitytään dokumentointiin, joka on olennainen osa rakennustuotteen hyväksyntää ja markkinoille pääsyä. Laaditaan tuotehyväksyntädokumentaatio mm. suoritustasoilmoitus (DoP), tekniset tiedot, käyttöohjeet ja ympäristöselosteet, kuten EPD (Environmental Product Declaration) EN 15804 -standardin mukaisesti.

Viidennessä vaiheessa valmistellaan tuotanto ja toimitusketju. Tämä sisältää valmistusprosessien suunnittelun, logistiikan järjestämisen ja raaka-aineiden saatavuuden varmistamisen. Hyvin suunniteltu toimitusketju mahdollistaa tuotteen tehokkaan ja kannattavan valmistuksen.

Kuudennessa vaiheessa panostetaan markkinointiin ja myyntiin. Tuote brändätään ja sille laaditaan selkeä markkinointi- ja myyntimateriaali, joka puhuttelee kohdeyleisöä. Tässä vaiheessa korostuu tuotteen arvolupaus ja erottautuminen kilpailijoista.

Lopuksi seitsemäs vaihe on jatkuva kehittäminen. Asiakaspalautteen perusteella tuotetta parannetaan edelleen, jotta se säilyy kilpailukykyisenä muuttuvassa markkinatilanteessa. Palaute voi koskea esimerkiksi käyttökokemusta, tuotteen suorituskykyä tai teknisiä ominaisuuksia. (Tuotteistajan taskuraamattu 2014; Sustainable Product Design and Development 2020.)

5.2 MOOVI-lopputuote

Rakennustuotteiden ja -järjestelmien tuotteistaminen edellyttää perusteellista tutkimusta ja kehitystyötä ennen markkinoille viemistä. Prosessi alkaa tieto- ja aineistopohjan keräämisellä sekä vertailumateriaalien analysoinnilla. Analysoitavina toimivat niin innovatiiviset uutuustuotteet kuin jo markkinoilla olevat ratkaisut, joita verrataan omaan testattuun ja kerättyyn dataan.

Tässä työssä keskitytään erityisesti MOOVI-elementin tuotteistamiseen. Lopputuote voisi olla esimerkiksi rakennuslevy, alakattojärjestelmän äänieristävä osa tai märkätilojen valmisosa. MOOVI-elementtiä voisi valmistaa esimerkiksi 3D-tulostamalla tai muilla tuotantomenetelmillä, ja raaka-aineena voisi toimia esim. hienojakoinen kiinteä vaatekuitu komposiittimassassa.

Koska tuotteistaminen on vielä teoriavaiheessa, tutkimus ja kehitys keskittyvät tässä vaiheessa konseptointiin. Tavoitteena on valmistaa koekappaleita ja prototyyppejä testattavaksi joko tämän työn aikana tai myöhemmissä jatkoprojekteissa. Lisäksi hankitaan vertailutuotteita analysoitavaksi.

Vaikka muovikomposiittimassoista on valmistettu erilaisia rakennustuotteita, ei ole vielä olemassa riittävästi dokumentoituja tutkimustuloksia, joiden perusteella näitä materiaaleja voitaisiin käyttää esimerkiksi asuinhuoneistojen rakenteissa. Joitakin tutkimuksia on tehty materiaalien palokäyttäytymisestä ja lujuudesta, mutta lopullinen hyväksyntä edellyttää, että tulokset ovat pätevien laitosten ja asiantuntijoiden tuottamia ja todennettuja. Tämä varmistaa, että tuotteita voidaan käyttää turvallisesti asuinrakentamisessa.

Rakentamisessa tuotteen ominaisuudet, kuten lujuus, paloturvallisuus ja kosteudenkestävyys, ohjaavat sekä suunnittelua että toteutusta. Lopputuotteen tekniset ja muut ominaisuudet määräytyvät pitkälti käytettyjen raaka-aineiden ja niiden yhteistoiminnan perusteella. Koska MOOVI-elementtiä ei ole vielä fyysisesti olemassa, sen soveltamismahdollisuuksia voidaan edelleen kehittää.

5.2.1 MOOVI-lopputuotteen raaka-aineet

Raaka-aineiden valinnassa on huomioitava myös turvallisuus. Materiaalikoostumus ei saa mm. vapauttaa myrkyllisiä kaasuja palotilanteessa. Tämä opinnäytetyö keskittyy kartoittamaan uusien raaka-aineyhdistelmien ja niistä valmistettavien lopputuotteiden teknisiä ominaisuuksia. Tämän opinnäytetyön jälkeen seuraava askel on selvittää, miten nämä rakenteet toimivat ja voisivatko ne keveydellään ja lujuudellaan sopeuttaa rakennuksia ja rakennelmia ilmastomuutoksen tuomiin haasteisiin. Tämä edellyttää uusien innovatiivisten rakenteiden suunnittelua, toteutusta ja pitkäaikaista tutkimusta.

Kiertotalouden mukaiset teollisuuden sivutuotteet eivät ole jätelain mukaan jätteitä, vaan raaka-aineita, joita voidaan käyttää tuotteiden valmistamiseen, jos niiden kriteerit täyttyvät jätelain mukaisesti. Jätelain mukaan sivutuotteilla on mm. oltava suunniteltua käyttöä kuten uudelleenkäytettävillä rakennusosilla. Oikeastaan mitään ei saisi jätelain mukaan varastoida, vaan kierrätettävillä, uudelleenkäytettävillä ja teollisuuden sivutuotteilla on oltava aina suunnitelmallista käyttöä markkinoille. Suunnitelmallinen käyttö voi olla esim. asetetaan lopputuote markkinoille rakennustuotteita myyvään liikkeeseen, suoraan kauppatavaraksi kaupan hyllyille. Varastointi ilman suunnitelmallista käyttöä, antaa varastoitavalle jätestatuksen, jonka saa pois ympäristöluvulla tai EEJ-EOW-asetuksilla. Edellä mainitut asetukset ovat EEJ Ei enää jätettä ja EOW End of Waste-asetukset. Taho, joka haluaa tuotteistaa jätteen, on siten tuotettava tuote ko. asetusten mukaisesti. Asetukseen liittyvät siihen tarkoitukseen suunnitellut testit ja toimenpiteet, joilla voidaan jäte tuotteistaa markkinoille. (Ympäristöministeriö 2025.)

Opinnäytetyön aikana aloitettiin 3D-tulostamisen suunnittelu ja toteutus. Myllypuron kampuksen robottia ohjelmoidaan tulostamiseen, mutta ensimmäiset prototyypit tulostetaan Myyrmäen tulostimilla tavallisella muovinauhalla, joka soveltuu 3D-tulostamiseen.

Kiertotaloudessa on vaikeaa saada tasalaatuista raaka-ainetta. Puumuovikomposiittituotteita on tuotettu mm. muovipelleteillä, sahanpurusta tai kutterinlastusta sekä myös haketta on käytetty. MOOVI-elementin valmistamiseen tarvittaisiin hyvin tasalaatuista massaa, jos lopputuote tuotetaan 3D-tulostamisella. Tulostamiseen käytetään yleensä pellettejä tai pelleteistä valmistettua nauhaa. Massan koostumus vaikuttaa, millä systeemillä voidaan massaa muokata lopputuotteiksi. Kiertotalouden mukaisia raaka-aineita on monenlaista, jota voitaisiin kokeilla MOOVI-elementtiin.

Muovipellettejä valmistetaan jätemuovista ja ne sisältävät myös neitseellistä muovia. Neitseellistä muovia on paljon pelleteissä ja se olisikin yksi kehitettävä asia ko. raaka-aineessa. MOOVI-ryhmän yksi tavoite on ollut myös miettiä, miten muovijätettä saataisiin lisättyä enemmän esim. MOOVI-tuotteisiin. Vaihtoehtona olisi kokeilla vähemmällä pellettimäärällä massoissa ja lisäämällä esim. tekstiilikuituja, kuten polyesterikuituja, jotka sulavat massaan. Selvityksessä on myös oman pellettireseptin toteuttaminen, jossa olisi mm. kierrätetty polyesterikuitu ja muuta kiertotalouden mukaista raaka-ainetta.

Komposiittimassoja on erilaisia. Massat voivat olla matriisiin tai kuituihin, eli lujitettaviin massoihin perustuvia. Yleensä puumuovikomposiitit ovat matriisimassoja, eli muovi on matriisi, pääaines, johon lisätään jotain muuta ainetta. Matriisiaine sitoo kaiken yhdeksi massaksi. MOOVI-ryhmä ja opiskelijat valitsivat muovipellettejä matriisiksi lopputuotteen massaksi. Vaikka pelleteillä työstetään massaa, voidaan kokeilla kuitenkin erilaisia tapoja lujittaa ja kehittää lopputuotteen ominaisuuksia lisäämällä erilaisia aineita raaka-ainemassoihin.

5.2.2 Kiertotalouden mukaisia raaka-aineita MOOVI-elementtiin

MUOVIPELLETIT

Seuraavia muovipellettejä voitaisiin käyttää MOOVI-elementin raaka-aineiksi:

Valutyöstöön Fortum Circo PP-CF selluloosikuidulla vahvistettua uusiomuovikompaundi:
Fortum Circo PP-CF 30-30003.

Ruiskupuristuksiin soveltuvaa Fortum Circo PP-T, joka on vahvistettu talkilla: Fortum Circo PP 11-T21 tai Circo PP, ilman lisättyjä vahvistaineita. Ruiskuvaluun soveltuu Fortum Circo PP 11-1000 Grey.

HDPE: Fortum Circo: Ruiskuvaluun soveltuva HD on ekstruusiolaatu (MFR n. 1,7), joka ei sovellu ruiskupuristukseen. (Fortum Kierrätysmuovigranulaatit.)

Syklo on yritys, joka kierrättää ja tuottaa erilaisia granulaatteja jätteistä. Hyvinkäälle on tuossa tehdas, joka tuottaa erilaisista muovijätteistä tehtyjä pellettejä. Pellettejä voidaan käyttää muovikomposiittituotteiden raaka-aineina. Tällä hetkellä Syklo tuo Brittein saarilta muovijätteistä valmistettuja pellettejä. Muovigranulaattia valmistavan Syklon tuotteita voidaan myös kokeilla MOOVIn raaka-aineiksi. Syklon tuotteiden käyttö aiotaan selvittää tämän työn ohella ja kokeilla MOOVIn raaka-ainereseptin matriisina. LPDE (muovityyppi) voi toimia matriisina, johon sulatetaan joukkoon muovitekstiilikuitua. Molemmat ovat kierrätettävää raaka-ainetta. Toisena MOOVI-pellettireseptinä voidaan kokeilla LPDE (muovityyppi) matriisina ja Kiille jauheena sekoitetaan matriisiin. Kiille on kaivosteollisuuden sivutuote. Kolmantena kokeilureseptinä voidaan sekoittaa kaikki kolme raaka-ainetta pelleteiksi. LPDE matriisina, jonka joukkoon sulatetaan muovitekstiilikuitu ja sekoitetaan Kiille. Tuotteistaminen on kokeilua. Lopputuotteeseen halutaan mukaan mahdollisimman paljon kiertotalouden mukaista raaka-ainetta.

KIILLE

Kiille on kaivannaisteollisuuden sivutuote. Kiillettä on käytetty muovikomposiittituotteisiin mm. autojen muoviosiin sisätiloissa. Kiille antaa lopputuotteelle muotolujuutta ja parantaa lopputuotteen palo-ominaisuuksia.

Kiille on luonnonkivimineraali, joka ei pala. Se kestää hyvin korkeita lämpötiloja ilman että syttyy tai palaa. Kiille kestää jopa 500–1000 °C lämpötiloja riippuen tyypistä (moskoviitti kestää enemmän kuin biotiitti). Kiille sulaa vasta noin 1200 °C–1400 °C lämpötiloissa.

Kiilteellä saadaan erittäin hyvää eristeominaisuutta, siksi sitä on käytetty esimerkiksi sähkölaitteissa, eristelevyissä ja palonkestävissä pinnoitteissa. Kiille ei johda sähköä.

Vaikka Kiille ei pala, kiille voi hilseillä tai hajota pitkän kuumuusaltistuksen jälkeen, erityisesti kosteuden vaikutuksesta.

Kiille ei muodosta savua tai myrkyllisiä kaasuja palaessaan, koska se ei sisällä orgaanisia yhdisteitä. (Syklo; LKAB kaivosyhtiö.)

LDPE-muovin ominaisuudet ja kierrätysaasteet

Muovien käyttö on kasvanut merkittävästi viime vuosikymmeninä, ja niillä on keskeinen rooli nykyaikaisessa yhteiskunnassa. Yksi yleisimmin käytetyistä muovilaaduista on LDPE (Low-

Density Polyethylene), eli matalatiheyksinen polyeteeni. LDPE on termoplastinen polymeeri, jota hyödynnetään laajasti muun muassa muovipusseissa, elintarvike- ja pakastekääreissä, puristettavissa muovisäiliöissä sekä sähköjohtojen pinnoitteissa.

LDPE:n suosiota selittävät sen käyttökelpoiset ominaisuudet: se on kevyt, joustava, iskunkestävä ja kemiallisesti melko inertti. Näiden piirteiden vuoksi LDPE soveltuu erityisesti ohuiden kalvopakkausten valmistukseen. Juuri tästä syystä se esiintyy usein yksittäiskäytöissä pakkauksissa, joiden kierrätys aiheuttaa merkittäviä ympäristöllisiä ja logistisia haasteita.

Vaikka LDPE on teknisesti kierrätettävissä, sen kierrätysaste on kansainvälisesti matala. Tämä johtuu pääasiassa sen fyysisistä ominaisuuksista: ohutkalvomaiset muovit likaantuvat helposti ja ovat vaikeasti eroteltavissa mekaanisessa lajittelussa. Lisäksi LDPE:n alhainen tiheys suhteessa tilavuuteen tekee sen kuljettamisesta ja käsittelystä taloudellisesti haastavaa.

Tällä hetkellä LDPE kierrätetään pääasiassa mekaanisesti: materiaali murskataan, pestään, sulatetaan ja muotoillaan uudelleen. Kierrätetystä LDPE:stä valmistetaan esimerkiksi jättesäkkejä, ei-elintarvikekäyttöön tarkoitettuja kalvoja, rakennuslevyjä sekä ulkokäyttöön sopivia tuotteita kuten aitoja ja kalusteita. Kuitenkin suljettu kierto – eli käyttö takaisin alkuperäiseen tarkoitukseensa, kuten elintarvikepakkauksiin – on harvinaista, sillä puhdistusvaatimukset ja kontaminaatioriski ovat korkeat.

Kiertotalouden tavoitteiden saavuttaminen edellyttää LDPE:n tehokkaampaa kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Tämä vaatii paitsi uusia teknologioita, myös aktiivista osallistumista niin kuluttajilta kuin teollisuuden toimijoiltakin. Esimerkiksi kemiallisia kierrätysmenetelmiä, kuten pyrolyysiä, kehitetään parhaillaan. Niiden avulla LDPE voitaisiin palauttaa takaisin raaka-aineiksi ja mahdollistaa siten laajempi suljettu kierto.

LDPE on merkittävä materiaali sekä laajan käytön että ympäristövaikutustensa vuoksi. Sen kierrätyspotentiaali on olemassa, mutta nykyinen kierrätysinfrastruktuuri ei vielä tue tehokasta suljettua kiertoa. Jotta LDPE:n käyttö voisi tulevaisuudessa perustua kestävään kehitykseen, tarvitaan kokonaisvaltaisia ratkaisuja, jotka yhdistävät kuluttajavalistuksen, lainsäädännön, kierrätysteknologian kehityksen ja teollisuuden sitoutumisen kiertotalouteen.

Rakennustuotteiden kehityksessä raaka-aineiden lisäksi oleellista on myös tuotantotapojen valinta. Muovipelletit ovat valmiiksi tuotteistettuja, ja niille on olemassa testattuja prosesseja, joilla niitä voidaan työstää valmiiksi lopputuotteiksi. Osassa pellettityypeistä voi olla mukana muitakin ainesosia, mikä mahdollistaa kehitystyön ja uusien yhdistelmien

tutkimisen. Valmiiksi tuotteistettujen raaka-aineiden käyttö antaa myös teknistä varmuutta esimerkiksi MOOVI-elementin valmistukseen.

Kestävän kehityksen näkökulmasta ei ole järkevää kehittää jatkuvasti täysin uusia materiaaleja tai tuotteita ilman perusteltua tarvetta. MOOVI-lopputuote mahdollistaa kuitenkin potentiaalia monipuolisiin käyttötarkoituksiin ja voi edistää kevyempiä rakenteita, vähäisempää kuormitusta maaperään sekä rakenteellista yksinkertaistamista. Samalla voidaan kehittää uusia, parannettuja toiminnallisuuksia rakenteisiin, edellyttäen, että löydetään ihan-teellinen raaka-ainemassa lopputuotteelle.

TEKSTIILIKUIDUT

Lounais-Suomen jätehuolto vastaanottaa ja lajittelee tekstiilijätettä. Aiemmin jätehuoltolaitos myös valmisti kuituja tekstiilijätteistä.

Varastoista löytyy kierrätysmateriaalia mm. paaleja, joissa on puuvillaa (väreinä esim. musta, sinimusta ja lämminharmaa/pellavan sävy), farkkua (Denim, sininen), tekokuitua, polyesterikuitua (PES, lämminharmaa/pellavan sävy), neuloskuitua (Knitted, lämminharmaa/pellavan sävy) ja sekakuitua (Cellu, lämminharmaa/pellavan sävy). Jonkin verran on myös ns. rouhetta eli hieman karkeampaa olomuotoa mm. PES-polyesteristä. Poistotekstiilimme on GRS sertifioitua ja kerätty suomalaisilta kotitalouksilta (Resterillä on materiaali-virtana kaupallisten yritysten poistotekstiilit). (Lounais-Suomen jätehuolto.)

PES-polyesteri (polyeteenitereftalaatti, PET) on synteettinen polymeeri, jota käytetään laajasti tekstiileissä, pakkauksissa ja teollisuudessa. Se on tunnettu kestävydestään, joustavuudestaan ja kosteudenhylykivyydestään.

PES-polyesteri kestää hyvin kulutusta, kemikaaleja ja UV-säteilyä. Se ei ime kosteutta helposti, mikä tekee siitä suosittua urheilu- ja ulkoiluvaatteissa. Se säilyttää muotonsa eikä rypisty helposti. Pesunkestävä, nopeasti kuivuva ja sietää hyvin useimpia pesuaineita. PES:ä käytetään vaatteissa, kodintekstiileissä (esim. verhot, vuodevaatteet), teknisissä ja urheilu-kankaissa. Polyesteristä valmistetaan pakkauksia ja PET-muovipulloja. Rakennusteollisuudessa siitä tuotetaan eristemateriaaleja pinnoitteita. Komposiitteihin sitä käytetään yhdistettynä muihin materiaaleihin kestävyuden ja jäykkyyden parantamiseksi. (Muoviteollisuus ry.)

STANDARDIEN MUKAISTA TUOTANTOA

GRS (Global Recycled Standard) on kansainvälinen sertifiointi, joka varmistaa kierrätettyjen materiaalien alkuperän ja ympäristöystävällisen tuotannon. Se keskittyy erityisesti kierrätetyn sisällön läpinäkyvyyteen, vastuulliseen kemikaalien käyttöön ja eettisiin työoloihin.

GRS-sertifioitu polyesteri (esim. GRS PES) tarkoittaa, että materiaali on peräisin kierrätetystä polyesteristä ja täyttää sertifikaatin vastuullisuuskriteerit. Tämä on yleistä esimerkiksi kestävässä vaatteissa ja teknisissä tekstiileissä.

GRS (Global Recycled Standard) -sertifioinnin taustalla on Textile Exchange, joka asettaa vaatimukset sertifikaatin saamiselle. GRS-standardi perustuu useisiin kriteereihin, jotka liittyvät kierrätetyn materiaalin osuuteen, kemikaalien hallintaan, sosiaalisiin vaatimuksiin ja ympäristövaikutuksiin.

GRS-sertifikaatin keskeisiä vaatimuksia ovat kierrätetyn sisällön vaatimus, jäljitettävyys, kemikaalirajoitukset, sosiaalinen vastuu ja ympäristövaatimukset.

Kierrätetyn sisällön vaatimus tarkoittaa, että tuotteen on sisällettävä vähintään 50 % kierrätettyä materiaalia, joka on todennettava toimitusketjussa. Kierrätysmateriaalin on oltava peräisin joko kuluttajakäytön jälkeisestä (post-consumer) tai teollisesta (pre-consumer) jätteestä.

Jäljitettävyys tarkoittaa, että kaikkien tuotantoketjun osapuolten on oltava GRS-sertifioituja. Jäljitettävyys toteutetaan Chain of Custody -periaatteella (CoC), joka perustuu ISO 22095 -standardiin.

GRS-sertifikaatti kieltää haitallisten aineiden, kuten raskasmetallien, formaldehydin ja myrkyllisten väriaineiden käytön, joka perustuu ZDHC (Zero Discharge of Hazardous Chemicals) -ohjelmaan ja REACH-asetukseen, EU 1907/2006. (ZDHC.)

Sosiaalinen vastuu tarkoittaa, että sertifioitujen tuotantolaitosten on noudatettava kansainvälisiä työstandardeja, kuten ILO:n (International Labour Organization) säädöksiä. Työolot arvioidaan SA8000-, BSCI- tai WRAP-standardien mukaisesti.

Ympäristövaatimuksina suositellaan veden ja energian kulutuksen vähentämistä sekä jätteenkäsittelyä ja saastumisen ehkäisyä seurataan. Vaatimukset perustuvat ISO 14001 -ympäristöjärjestelmään ja Higg Index -arviointiin. (Higg tools.)

GRS (Global Recycled Standard) sisältää vaatimukset kierrätys sisällölle, kemikaaleille ja sosiaalisille/ympäristökriteereille. RCS (Recycled Claim Standard) keskittyy vain kierrätetyn materiaalin alkuperän todentamiseen ilman lisävaatimuksia. (GRS, Global Recycled Standard.)

SIDEAINEET

MOOVI-elementin raaka-aineita ei ole vielä kokeiltu käytännössä. Tämän opinnäytetyön ohessa elementin parissa työskennellään ja erilaisia reseptejä myös tullaan kokeilemaan. Kokeillaan tuottaa pellettejä, joita voidaan käyttää 3D-tulostamiseen. Sideaineet ovat tärkeä osa muiden raaka-aineiden sitomiseen yhtenäiseksi massaksi. Kemiallisia tai fysikaalisia sidoksia ei tässä opinnäytetyössä tarkastella. Lopputuotteen erilaisten pellettien ominaisuudet tutkitaan seuraavissa töissä. Tuotteistaminen on pitkäaikainen prosessi.

Ligniini biopohjaisena sideaineena muovikomposiiteissa

Ligniini on yksi luonnon yleisimmistä polymeereistä, ja se muodostaa noin 15–30 % kasvien kuiva-aineesta. Sitä esiintyy erityisesti kasvien soluseinissä yhdessä selluloosan ja hemiselluloosan kanssa. Ligniini toimii kasvien rakenteellisena tukiaineena ja suojaa niitä mikrobien hyökkäyksiltä sekä veden läpäisyltä. Teollisesti ligniiniä saadaan pääasiassa paperi- ja selluteollisuuden sivutuotteena, erityisesti sulfaatti- ja sulfiittiprosesseissa. Nykyään valtaosa tästä ligniinistä poltetaan energian tuotantoon, mutta sen hyödyntämiselle on myös merkittävä potentiaali materiaalikehityksessä, kuten biopohjaisena sideaineena muovikomposiiteissa.

Ligniini on rakenteeltaan amorfinen, monimutkainen aromaattinen polymeeri, jonka kemialliset ominaisuudet mahdollistavat sen sitoutumisen muihin materiaaleihin. Tämän vuoksi ligniiniä on tutkittu laajasti sideaineena sekä matriisina erilaisissa komposiittirakenteissa. Sitä voidaan käyttää sellaisenaan tai kemiallisesti modifioituna. Esimerkiksi fenoliryhmiensä ansiosta ligniini voidaan muuntaa fenolihartseiksi, joita käytetään mm. liimoissa ja sideaineina kuitukomposiiteissa. (Upton & Kasko 2016.)

Ligniinipohjaiset sideaineet soveltuvat erityisesti biohajoaviin tai biopohjaisiin komposiitteihin, joissa käytetään luonnonkuituja, kuten hampusta, pellavasta tai puukuiduista peräisin olevia vahvikemateriaaleja. Kun ligniini toimii sideaineena, se auttaa sitomaan kuidut yhteen ja antaa rakenteelle mekaanista lujuutta. Lisäksi ligniinin luonnollinen hydrofobisuus voi parantaa komposiitin kosteudenkestoa verrattuna esimerkiksi tärkkelyspohjaisiin matriiseihin.

Yksi suurimmista haasteista ligniinin käytössä sideaineena on sen vaihteleva rakenne ja koostumus, joka riippuu käytetystä lähdemateriaalista ja erotusprosessista. Tämä tekee ligniinin standardoinnista ja ennustettavasta suorituskyvystä vaikeaa teollisessa mittakaavassa. Näihin haasteisiin vastataan kehittämällä erilaisia kemiallisia muokausmenetelmiä,

kuten hydroksylointia, karboksylointia ja sulfonointia, jotka parantavat ligniinin reaktiivisuutta ja sidoskykyä. (Kai et al. 2016.)

Ympäristönäkökulmasta ligniinillä on merkittäviä etuja. Ligniini on uusiutuvaa, eikä kilpaile ruoantuotannon kanssa, ja sen käyttö voi pienentää fossiilipohjaisten polymeerien tarvetta. Lisäksi se voidaan valmistaa jo olemassa olevista teollisuuden sivuvirroista.

PUUMATERIAALI

Sahanpuru

Sahanpuru on puunjalostusteollisuuden yleinen sivutuote, jota syntyy suuria määriä esimerkiksi sahauksessa ja höyläyksessä. Perinteisesti sahanpurua on hyödynnetty energiantuotannossa tai eläinten kuivikkeena, mutta sen käyttö materiaalina on lisääntynyt erityisesti biokomposiittien kehityksen myötä. Yhtenä merkittävänä käyttökohteena on muovikomposiittien täyteaine, jossa sahanpuru yhdistetään termoplastisiin matriiseihin, kuten polypropeeniin (PP), polyeteeniin (PE) tai biopohjaisiin muoveihin, kuten PLA:han (polylaktidihappo).

Sahanpurulla on monia hyviä ominaisuuksia. Sahanpuru on uusiutuvaa, kevyttä ja hinnaltaan edullista. Se toimii vahvikemateriaalina, joka parantaa komposiitin mekaanisia ominaisuuksia, kuten jäykkyyttä ja taivutuslujuutta. Erityisesti sahanpurulla voidaan korvata osittain fossiilipohjaista muovia, jolloin tuotteen hiilijalanjälki pienenee. (Klyosov 2007.)

Muovikomposiitit, joissa käytetään sahanpurua, tunnetaan yleisesti nimellä wood plastic composites (WPC). Näitä materiaaleja käytetään erityisesti rakennus- ja puutarhatuotteissa, kuten terassilautoissa, kaiteissa, aidoissa ja huonekalusteissa. Ne yhdistävät puun esteettiset ominaisuudet muovin kestävyteen ja säänkestoon. Lisäksi WPC-materiaalit eivät vaadi samanlaista huoltoa kuin täyspuiset rakenteet.

Haasteena sahanpurun käytössä on sen luontainen hydrofiilisyyden, mikä voi heikentää sidosvoimaa hydrofobisen muovimatriisin kanssa. Tämän vuoksi tarvitaan usein pintakäsittelyä tai sidosaineita (kuten maleiinianhydridi-graftattua polypropeenia, MAPP), jotka parantavat puun ja muovin välistä tarttuvuutta. Lisäksi kosteuden pääsy komposiittiin voi ajan mittaan aiheuttaa turpoamista tai heikentää mekaanisia ominaisuuksia. (Stark & Rowlands 2003.)

Tutkimuksissa on myös havaittu, että sahanpurun hiukkaskoko vaikuttaa komposiitin ominaisuuksiin. Finerakeinen sahanpuru parantaa tasalaatuisuutta, kun taas karkea sahanpuru

voi lisätä huokoisuutta ja heikentää iskulujuutta. Optimaalinen seossuhde, hiukkaskoko ja lisäaineistus ovat keskeisiä muuttujia komposiittien suorituskyvyn kannalta.

Kiertotalouden ja resurssitehokkuuden näkökulmasta sahanpurun hyödyntäminen muovikomposiiteissa on erinomainen esimerkki teollisuuden sivuvirtojen arvonlisäyksestä. Yhdistämällä biopohjaisia komponentteja ja kierrätysmateriaaleja voidaan kehittää kestävämpiä tuotteita ilman merkittäviä kompromisseja suorituskyvyssä.

Sahanpurun käyttö muovikomposiiteissa tukee selkeästi kiertotalouden periaatteita. Sen hyödyntäminen vähentää jätettä ja korvaa neitseellisiä raaka-aineita. Lisäksi WPC-tuotteet ovat usein kierrätettäviä – vanha komposiittimateriaali voidaan murskata ja prosessoida uudelleen uusiksi tuotteiksi. (Clemons 2002.)

Biopohjaisiin polymeereihin, kuten PLA:han, yhdistettynä sahanpuru mahdollistaa myös biohajoavien komposiittien valmistamisen, mikä laajentaa niiden käyttöpotentiaalia esimerkiksi pakkausteollisuudessa tai kertakäyttötuotteissa.

Kuitenkin säänkestävyys, UV-säteilyn vaikutus ja kosteuden imeytyminen ovat edelleen tutkimuksen ja tuotekehityksen kohteena, jotta WPC-materiaalien pitkäaikaiskestävyys olisi kilpailukykyinen verrattuna synteettisiin komposiitteihin.

Kutterinpuru ja hakemateriaali muovikomposiittituotteiden raaka-aineena

Puunjalostusteollisuuden sivuvirroissa on runsaasti potentiaalisia raaka-aineita muovikomposiittituotantoon. Näistä erityisesti kutterinpuru ja hakemateriaali ovat ylijäämäisiä tuotteita höyläyksestä ja haketuksesta. Ne ovat kiinnostavia vaihtoehtoja materiaalitehokkuuden ja kiertotalouden näkökulmasta. Kuten sahanpuru, myös kutterinpuru ja hake sisältävät lignoselluloosaa ja soveltuvat siten täyte- tai vahvikemateriaaleiksi puumuovikomposiitteihin. (WCP.)

Kutterinpuru on höyläyksen sivutuote, joka koostuu kevyistä ja kierteisistä lastuista. Se eroaa sahanpurusta muotonsa ja hiukkasrakenteensa puolesta: kutterinpurun partikkelit ovat yleensä pidempiä, leveämpiä ja ohuempia, mikä vaikuttaa merkittävästi komposiitin ominaisuuksiin.

Kutterinpurun kuidunomainen rakenne voi parantaa komposiitin mekaanista lujittumista, erityisesti taivutus- ja vetolujuutta, jos partikkelit järjestäytyvät mahdollisimman tasaisesti prosessoinnin aikana. Toisaalta sen alhainen tiheys ja suuri tilavuus voivat aiheuttaa haasteita materiaalin syötössä ja tasaiseen sekoittumiseen termoplastisen matriisin kanssa (Clemons 2002). Muovipohjaiset materiaalit ovat termoplastisia, joita voi uudelleen sulattaa ja

muovata. Lisäksi ilman esikuivausta kutterinpuru voi sisältää korkeita kosteusmääriä, mikä heikentää komposiitin mekaanisia ja esteettisiä ominaisuuksia sekä lisää huokoisuutta. (Stark & Rowlands 2003).

Tutkimuksissa on havaittu, että kutterinpurua voidaan käyttää tehokkaasti esimerkiksi PE- ja PP-matriisien kanssa, erityisesti kun käytetään kompatibilointiaineita, jotka parantavat tartuntaa ja vähentävät kosteuden vaikutuksia. Kompatibilointiaineet (engl. *compatibilizers*) ovat lisäaineita, joita käytetään polymeeriseosten ja komposiittien valmistuksessa parantamaan eri aineosien yhteensopivuutta. Ne edistävät kemiallisesti tai fysikaalisesti erilaisten materiaalien, kuten hydrofobisen muovin ja hydrofiilisen täyteaineen välistä tarttumista (adheesiota) ja sekoittumista. (Stark & Rowlands 2003).

Hakemateriaali komposiittien komponenttina

Hakemateriaali (eli metsähake tai teollinen puuhake) koostuu puun paloista, joita syntyy esimerkiksi puun ensikäsitelyssä, energiapuun tuotannossa tai kierrätyspuun haketuksessa. Hake ei ole yhtenäinen materiaali, vaan se voi sisältää puhdasta puuta, kuorta, oksia ja toisinaan jopa maalattua tai käsiteltyä puuta, mikä tekee sen käytöstä haastavampaa.

Kuitenkin esilajiteltu ja hienonnettu hake, joka on peräisin puhtaista puuraaka-aineista, voidaan käyttää muovikomposiittien täyteaineena. Hakemateriaalin käyttö vaatii kuitenkin jatkojalostusta, kuten murskausta ja seulontaa, jotta saavutetaan tasalaatuinen ja pienikokoinen partikkelikoko, joka soveltuu ekstruusioon tai ruiskuvaluun.

Yksi merkittävä etu hakemateriaalissa on sen halpa ja runsas saatavuus, erityisesti metsätalouden ja energiateollisuuden sivuvirtana. Haketta voidaan hyödyntää erityisesti karkeampien tai mekaanisesti vähemmän vaativien komposiittien valmistuksessa, kuten rakennuslevyissä, puutarhatuotteissa tai meluuste-elementeissä, joissa ulkonäölliset tai huippusuorituskykyyn liittyvät vaatimukset ovat vähäisempiä.

Kutterinpurun ja hakemateriaalin hyödyntäminen muovikomposiittituotteissa tukee materiaalien kiertoa ja teollista symbioosia. Ne ovat biopohjaisia, uusiutuvia ja pääsääntöisesti muuten alikäytettyjä jakeita. Erityisesti hakkeen käyttö vähentää materiaalin polttamista energiaksi, mikä kasvattaa sen jalostusarvoa ja hiilikädenjälkeä.

Jatkokehityksen kohteena ovat mm. komposiittien biohajoavuus, täyteaineiden kemiallinen funktionalisointi ja prosessointimenetelmien kehitys, jotta kuitupitoiset materiaalit voidaan yhdistää tehokkaammin eri polymeerimatriiseihin. Tutkimuksessa on myös tarkasteltu

täyteaineiden seoksia, joissa yhdistetään esimerkiksi kutterinpurua ja haketta optimaalisen suorituskyvyn ja prosessointiominaisuuksien saavuttamiseksi (Migneault et al. 2009).

Teollinen symbioosi on yhteistyöhön perustuva toimintamalli, jossa yritykset ja muut toimijat hyödyntävät toistensa sivuvirtoja, teknologiaa, osaamista tai palveluja. Tavoitteena on tehostaa resurssien käyttöä, vähentää ympäristövaikutuksia ja synnyttää uutta liiketoimintaa. Esimerkiksi toisen yrityksen jäte tai sivuvirta voi toimia raaka-aineena toiselle yritykselle, mikä säästää kustannuksia ja vähentää jätettä.

Suomessa teollista symbioosia edistetään FISS-toimintamallin (Finnish Industrial Symbiosis System) avulla, jota koordinoi Motiva Oy yhteistyössä alueellisten toimijoiden kanssa. FISS-malli auttaa yrityksiä löytämään kumppaneita, joiden kanssa voidaan hyödyntää toistensa resursseja tehokkaammin. (Motiva 2025)

PAJU

Paju (*Salix* spp.) on nopeasti kasvava lehtipuu, jota on perinteisesti käytetty esimerkiksi korinpunonnassa ja bioenergian tuotannossa. Viime vuosina kiinnostus pajun käyttöön rakentamisessa ja rakennustuotteiden raaka-aineena on kasvanut, erityisesti kestävän kehityksen, hiilensidonnassa ja kiertotalouden näkökulmasta. Pajun biologiset ominaisuudet, ekologinen kasvutapa ja mahdollisuudet korvata fossiilipohjaisia tai hitaasti uusiutuvia materiaaleja ovat mielenkiintoisia ja merkittäviä ominaisuuksia vaihtoehtoisiksi tulevaisuuden rakennusmateriaaliksi.

Paju kasvaa nopeasti ja on harvinaisen monivuotinen lyhytkiertoinen puulaji, jota voidaan kasvattaa erilaisissa maaperissä ja jopa kosteikoilla. Sen biomassatuotto on suuri, ja se soveltuu hyvin säännölliseen korjuuseen. Rakentamisen kannalta pajun suurimpia etuja ovat sen keveys, joustavuus ja uusiutuvuus. Toisaalta haasteina ovat puun suhteellisen alhainen tiheys ja lujuus verrattuna esimerkiksi kuuseen tai mäntyyn.

Pajua voidaan käyttää sellaisenaan esimerkiksi punotuissa rakenteissa, biokomposiittien raaka-aineena, puulevyjen valmistuksessa tai biopohjaisissa eristemateriaaleissa. Esimerkiksi lastulevyt tai kuitulevyt voivat sisältää pajukuituja, mikä vähentää neitseellisten puuraaka-aineiden käyttöä.

Paju on ekologisesti arvokas, koska se sitoo tehokkaasti hiilidioksidia ja kasvaa nopeasti ilman suurta tarvetta lannoitteille tai torjunta-aineille. Se soveltuu myös suopeltojen, marginalisoituneiden maatalousalueiden ja pilaantuneiden maiden hyödyntämiseen, jolloin sen viljely ei kilpaile ruoan tuotannon kanssa.

Pajun hyödyntäminen rakennustuotteissa tukee kiertotaloutta ja vähentää metsien hakkuupainetta, mikä on tärkeää luonnon monimuotoisuuden ja hiilivarastojen säilyttämisen kannalta. Lisäksi pajunviljely voi tarjota uusien maaseutuelinkeinojen mahdollisuuksia.

Pajun erilaisia käyttökohteita rakentamisessa ovat seuraavanlaisia:

Biokomposiitit: Pajukuituja voidaan yhdistää esimerkiksi biohartsien kanssa kevyiksi rakennuslevyiksi tai akustisiksi elementeiksi.

Eristeet: Pajukuitu voi toimia raaka-aineena puukuitueristeissä, joissa vaaditaan hengittävyyttä ja ekologisuuutta.

Muotoiluelementit: Pajun taivuteltavuus tekee siitä kiinnostavan materiaalin esimerkiksi kaareviin sisustuselementteihin tai tilanjakajiin.

3D-painetut rakenteet: Pajukuituja voidaan hyödyntää biopohjaisissa 3D-tulostusmateriaaleissa, joissa keveys ja ekologisuus ovat tärkeitä ominaisuuksia.

Vaikka pajussa on merkittävää potentiaalia, sen käyttöä rakennusteollisuudessa rajoittavat vielä standardien ja testauksen puute, lujuusominaisuudet sekä kosteudenkestävyys. Pajun käyttö edellyttää materiaalin jatkojalostusta, kuten lämpökäsittelyä, komposiittirakenteiden kehittämistä tai kemiallista stabilointia.

Lisäksi rakennustuotteiden tulee täyttää rakennusmääräysten ja turvallisuusstandardien asettamat vaatimukset. Tällä hetkellä pajupohjaisia rakennusmateriaaleja ei vielä ole laajalti kaupallisessa käytössä, mutta tutkimus etenee erityisesti bio- ja puutekniikan aloilla.

Paju edustaa kiinnostavaa ja ekologista raaka-ainetta rakennusteollisuudelle, etenkin materiaalien keventämisen, hiilijalanjäljen pienentämisen ja uusiutuvuuden näkökulmista. Sen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin jatkotutkimusta, tuotekehitystä ja pilotointia. Mikäli tekniset haasteet voidaan ratkaista, pajusta voi tulla merkittävä osa tulevaisuuden biopohjaisia ja kestäviä rakennusratkaisuja. (Textile Exchange; LUKE -Luonnonvarakeskus; European Forest Institute.)

5.3 3D-tulostus ja MOOVI-elementin kehitys

Roboteilla voidaan 3D-tulostaa sekä suurikokoisia elementtejä että kokonaisia rakennuksia. Tulostusmahdollisuudet ulottuvat myös hyvin pieniin, tarkkoihin tuoteosiin. Tulostusmateriaaleina voidaan käyttää monenlaisia massoja, mikä mahdollistaa laajan valikoiman sovelluksia rakenteellisista elementeistä yksityiskohtaisiin komponentteihin.

3D-tulostuksen etuna on sen tarkkuus. Robottien avulla voidaan valmistaa rakenteita, joissa yksityiskohtaisuus ja muotoilu ovat keskeisiä. MOOVI-elementissä tavoitteena on esimerkiksi kehittää kennomainen sisärakenne, joka hajottaa ääniaaltoja. Tällainen rakenne parantaisi väliseinien ääneneristystä. Tällä hetkellä ratkaisu on vielä teoreettinen, ja sen toimivuutta testataan tulevaisuudessa koeseinillä MOOVI-prototyyppien avulla.

Vaikka 3D-tulostus rakennusalalla on lupaava teknologia, se ei ole vielä yleistynyt, eikä sen tuotantoprosesseja ole täysin varmennettu. Samanaikaisesti kehittyvät sekä itse tulostusprosessit että lopputuotteiden laadunvarmennus. MOOVI-elementti, joka perustuu muovikomposiittimateriaaliin, ei ole vielä tuoteistettu niin, että sen tekniset ominaisuudet olisi virallisesti todennettu.

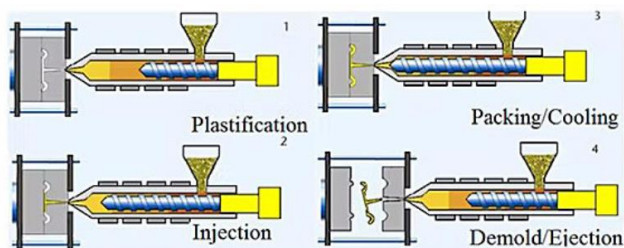
Toisaalta MOOVI-elementtiä voitaisiin valmistaa myös perinteisillä menetelmillä, tai 3D-tulostusta voitaisiin hyödyntää esimerkiksi muottien tekemiseen, joiden avulla elementtejä voidaan valaa.

5.3.1 Muovituotteiden valmistusmenetelmät

Muovikomposiittituotteita voidaan valmistaa useilla eri teollisilla prosesseilla, jotka vaihtelevat tuotteen koon, muodon, tarkkuuden ja sarjatuotantotarpeen mukaan. MOOVI-elementin tuoteistamiseen on selvitetty erilaisia tuotantotapoja. MOOVI-elementistä voi myös valmistaa muottien avulla, jos muotit 3D-tulostetaan. Kuitenkin elementin tärkein rakenneosuus on edelleen kennosto elementin sisällä, jota on vaikeaa tuottaa muoteilla. Kennoston tiheyttä ei ole vielä päätetty.

Ruiskuvalu

Ruiskuvalu on yksi merkittävimmistä ja yleisimmin käytetyistä valmistusmenetelmistä muoviteollisuudessa. Sen avulla voidaan valmistaa tarkkoja, toistettavia ja monimutkaisia muoviosia suuressa mittakaavassa tehokkaasti ja taloudellisesti. Kuviossa 1 on havainnollistettu prosessia.



Kuvio 1. Muovin ja komposiittituotteiden ruiskuvalu (dj Molding)

1. Muoviraaka-aineen syöttö – prosessin alku

Ruiskuvaluprosessi käynnistyy muoviraaka-aineen syöttämisellä koneen syöttösuppilon. Käytettävä materiaali on tavallisesti termoplastinen muovi rakeina tai pelletteinä. Painovoiman avulla rakeet siirtyvät ruuvin päälle, joka aloittaa materiaalin kuljettamisen ja sulattamisen. Tämä vaihe vaikuttaa prosessin sujuvuuteen ja tuotteen laatuun, joten syöttömateriaalin puhtaus ja tasainen virtaus ovat oleellisia.

2. Sulatus ja homogenisointi – materiaalin valmistelu ruiskutukseen

Muoviraaka-aine sulaa ruuvin ja sylinterin sisällä yhdistetyn lämmityksen ja mekaanisen kitkan avulla. Tässä vaiheessa materiaali saavuttaa tasaisen lämpötilan ja viskositeetin, jotka ovat olennaisia muotin täyttämiseksi. Ruuvin erityinen muotoilu varmistaa muovin homogeenisuuden, mikä vähentää mahdollisia tuotantovirheitä ja varmistaa tasalaatuiset tuotteet.

3. Muotin sulkeminen – lujuuden ja tiiviiden varmistus

Samanaikaisesti muovin sulamisen kanssa koneen puristusyksikkö sulkee muotin. Muotin puolikkaat puristetaan yhteen huomattavalla voimalla, estäen sulan muovin karkaamisen saumoista. Muotin rakenteellinen eheys on tärkeää, jotta saavutetaan vaadittu mittatarkkuus ja tuotantotehokkuus.

4. Muovin ruiskutus – muotin täyttö

Sulanut muovi ruiskutetaan korkealla paineella muotin onteloon. Tämä vaihe on hyvin nopea, mutta samalla ratkaiseva lopputuotteen laadun kannalta. Paine ja ruiskutusnopeus säädetään materiaalin ja tuotteen vaatimusten mukaan. Väärät asetukset voivat johtaa muotin osittaiseen täyttymiseen tai virheisiin, kuten ilmakupliin tai muotovirheisiin.

5. Jälkipaine ja jäähtyminen – kutistumisen hallinta

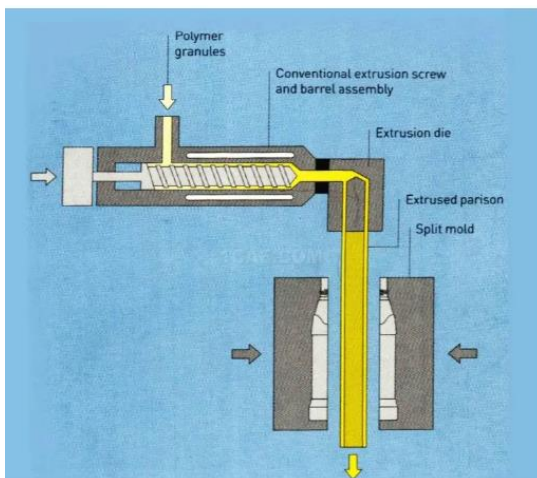
Kun muotti on täynnä, ruuvi ylläpitää hetken jälkipainetta, jolla kompensoidaan jäähtymisestä aiheutuvaa materiaalin kutistumista. Tämä vaihe takaa osan mittatarkkuuden. Samalla käynnistyy jäähdytys, joka tehdään muottiin integroitujen kanavien avulla. Jäähdytysvaihe on usein ruiskuvaluprosessin aikakriittisin osa ja määrää pitkälti valmistusnopeuden.

6. Muotin avautuminen ja osan poisto – tuotteen irrotus

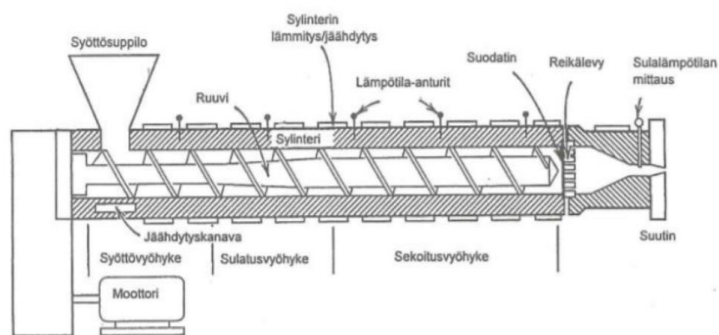
Kun osa on jäähtynyt ja kovettunut, muotti avautuu ja poistotapit työntävät valmiin osan ulos. Tämä vaatii muotin tarkan suunnittelun, jotta osa ei vaurioidu poistovaiheessa. Automaattinen poisto nopeuttaa tuotantoa ja vähentää työvoimakustannuksia.

7. Valmiin osan käsittely – laadunvarmistus ja jatkoprosessointi

Valmistettu osa siirretään seuraavaan vaiheeseen. Se voi olla manuaalinen tarkastus, robotin suorittama käsittely tai suora käyttö kokoonpanoprosessissa. Tarvittaessa osasta poistetaan purseet, suoritetaan mekaanisia viimeistelyjä tai testataan laatua. Tämä vaihe varmistaa, että osat täyttävät sekä visuaaliset että toiminnalliset vaatimukset.



Kuvio 2. Perinteinen ruiskupuristus (oepin technology)



Ekstruuderin rakenne. Kuva: Jukka Seppälä.

Kuvio 3. Ekstruusio (Kaksiruuviekstruuderilla työstetään uusiomuovia 2020)

Ekstruusio on yksi tärkeimmistä ja laajimmin käytetyistä prosesseista muoviteollisuudessa. Se on jatkuvatoiminen menetelmä, jossa termoplastinen materiaali lämmitetään, sulatetaan ja muotoillaan haluttuun poikkileikkaukseen suulakkeen kautta. Tämän prosessin

keskiössä toimii ekstruusiopuristin, jonka tekninen rakenne ja toimintaperiaate mahdollistavat tehokkaan ja hallitun tuotannon erilaisille muovituotteille.

Ekstruusiopuristin koostuu useista avainosista: syöttösuppilo, sylinteri, pyörivä ruuvi, lämmitysvastukset ja suulake. Prosessi alkaa raaka-aineen, yleensä muovirakeiden, syöttämisellä suppiloon. Rakeet siirtyvät painovoimaisesti pyörivän ruuvin eteen, joka sijaitsee pitkän sylinterin sisällä. Ruuvi kuljettaa raaka-aineen läpi lämmitetyn sylinterin, jossa muovi sulaa kitkan ja lämpöenergian vaikutuksesta.

Ruuvi jakautuu kolmeen vyöhykkeeseen: syöttö-, sulatus- ja paineistusvyöhykkeeseen. Jokaisella vyöhykkeellä on oma roolinsa sulamisen, sekoittumisen ja paineen rakentamisen kannalta. Kun muovi saavuttaa suulakkeen, se puristetaan ulos muotin läpi halutun muotoisena jatkuvana nauhana (Rosato et al. 2000).

Ekstruusiopuristimen avulla voidaan valmistaa laaja kirjo tuotteita, mukaan lukien: putket ja profiilit (esim. PVC-putket, ikkunalistat), kalvot ja levyt (esim. pakkauskalvot, eristelevyt), kaapeleiden päällysteet sekä ruokateollisuuden tuotteet (esim. muotopastat, proteiinipastat).

Ekstruusio mahdollistaa suurten tuotemäärien valmistuksen kustannustehokkaasti ja jatkuvasti, toisin kuin erämenetelmissä, kuten ruiskuvalussa.

Ekstruusiolla saavutetaan korkea tuotantotehokkuus, materiaalin tasainen laatu ja vähäinen hävikki. Koska prosessi on jatkuvatoiminen, se soveltuu erityisen hyvin pitkien tai jatkuvamuotoisten tuotteiden valmistukseen.

Toisaalta menetelmä ei sovellu monimutkaisille kolmiulotteisille muodoille, ja laitteiston optimointi vaatii osaamista esimerkiksi ruuvigeometrian ja lämpötilaprofiilien suhteen (Stron 2006).

Ekstruusiopuristin on keskeinen osa nykyaikaista muoviteollisuutta. Sen yksinkertainen rakenne ja tehokas prosessointi tekevät siitä ihanteellisen laajalle tuotevalikoimalle.

Ekstruusiotekniikan kehittyessä edelleen esim. monikerrosrakenteiden ja kierrätysmateriaalien hyödyntämisen osalta, sen merkitys kestävän tuotannon näkökulmasta kasvaa jatkuvasti.

5.3.2 Komposiittituotteiden valmistusmenetelmät

Komposiittimateriaalit ovat yhdistelmämaterialleja, joissa kaksi tai useampi eri materiaali yhdistetään yhdeksi lopputuotteeksi. Rakennus-, ilmailu-, autoteollisuuden ja

urheiluvälineiden aloilla komposiitit ovat keveyttä, kestävyyttä ja kemiallista säänkestävyyttä. Komposiittien valmistusprosesseja on useita, ja niiden valinta riippuu tuotteen muotoilusta, vaadituista ominaisuuksista ja tuotantomääristä.

Komposiitti koostuu kahdesta pääkomponentista: Matriisi, joka on yhtenäinen faasi, joka pitää rakenteen koossa (esim. epoksiharts, polyesteri, polymeeri). Lujutta lisäävä ainesosa (lujite) voi olla erilaisia materiaalikuituja (lasi-, hiili-, aramidikuitu) tai rakeisia täyteaineita (esim. keramiikka, metalli, puu).

Matriisi siirtää kuormituksia ja suojaa lujitemateriaalia ympäristörasituksilta. Lujitteet puolestaan antavat materiaalille sen mekaaniset ominaisuudet, kuten vetolujuuden ja jäykkyyden.

MOOVI-elementin tuotannossa voitaisiin kokeilla yhdistettyjä tuotantomenetelmiä. Jos MOOVI-elementin levyt ja pontit tuotetaan eri menetelmin ja kennosto 3D-tulostetaan. Lopullinen tuotantotapa hahmottuu, kun saadaan prototyyppjä tuotettua. Tuotteistaminen on myös kehittämistä. (Mallick 2007; Apunen & Parantainen 2014.)

Komposiittituotteiden keskeiset valmistusmenetelmät

Käsinlaminointi (Hand Lay-Up) on yksi vanhimmista ja yksinkertaisimmista valmistusmenetelmistä. Kuivakuitukerrokset asetetaan muottiin ja päällystetään hartsilla käsin telalla tai siveltimellä. Kovetus tapahtuu huoneenlämmössä tai lämmityksellä. Soveltuu pieniin tuotantomääriin ja suuriin kappaleisiin (esim. veneet, säiliöt). Etuna menetelmässä on alhaiset investointikustannukset ja haittana työvoimavaltaisuus ja epätasainen laatu.

Infuusiomenetelmässä (Resin Transfer Molding, RTM & Vacuum Infusion) kuidut asetetaan kuivina muottiin, jonka päälle asetetaan kalvo tai suljettava muotti. Tyhjiöpumpun avulla hartsi imeytyy muottiin ja tunkeutuu kuituihin. Kovettuminen voi tapahtua huoneenlämmössä tai uunissa. Etuna on tasaisempi laatu ja hyvä kuitujen kyllästäminen. Menetelmää voi soveltaa autonosien ja tuulivoimalapojen kuorien tuotantoon. (Mallick 2007.)

Filamenttikelauksella (Filament Winding) kuituja kyllästetään hartsilla ja kierretään pyörivän muotin päälle määrättyssä kulmassa. Soveltuu sylinterimäisiin osiin kuten paineastiat ja putket. Menetelmän etuna on tarkka ohjaus ja automaattisuus. Menetelmän haittana voi pitää rajoittunutta muotogeometriaa.

Pultruusio (Pultrusion) menetelmässä jatkuvat kuidut vedetään hartsikylvyn läpi ja sen jälkeen lämmitetyn muotin läpi, joka antaa halutun muodon ja kovettaa komposiitin. Soveltuu profiileille kuten palkit ja kaiteet. Menetelmä on erittäin nopea ja automatisoitu.

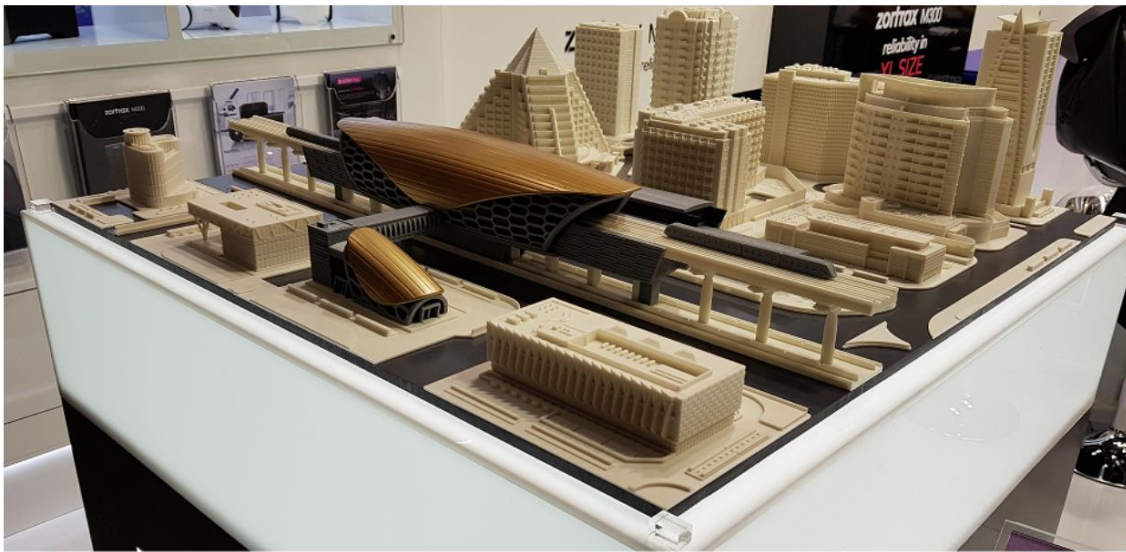
Autoklaavimenetelmät (Autoclave Molding) ovat yleisiä menetelmiä ilmailuteollisuudessa. Esivalmistetut kuitu-hartsilevyt asetetaan muottiin, tyhjiöpakataan ja kovetetaan paineen ja lämmön avulla autoklaavissa. Menetelmällä valmistuu huippuluokan lopputuotteet, mutta haittana menetelmälle muodostuu korkeat tuotantokustannukset ja tuotannon hitaus. (Mallick 2007.)

Komposiitteja käytetään mm. rakennusteollisuudessa tuottamalla esim. julkisivupaneeleita, Ilmailu- ja avaruusteollisuudessa lentokoneiden rungoissa ja siivissä, autoteollisuudessa mm. auton sisäosat ovat komposiittituotteita sekä urheilutuotteissa kuten polkupyörissä, mailoissa ja veneissä. (Mallick 2007.)

Vaikka komposiittituotteet omaavat pitkän käyttöiän ja keveyden ansiosta pienemmän energiankulutuksen, niiden kierrätys on haasteellista erityisesti, jos käytetään termo- tai epoksihartseja. Kierrätysratkaisuja tutkitaan aktiivisesti. MOOVI-elementin kierto voi olla myös uudelleenkäyttö, koska elementti ei oletettavasti kulu väliseinänä. MOOVI-elementin pitkän käyttöiän ominaisuus tulee todennettua, kun elementillä rakennetaan rakenteita ja niitä käytetään, niihin ripustetaan, mahdollisesti pinnoitetaan toisilla materiaaleilla. Rakentamisen kiertotaloudessa on hyvä selvittää pitkän käyttöiän ominaisuutta. Purettavista rakennuksista on selvitetty ontelolaatoista ja betonielementeistä lujuuksia. Miten ne ovat lujittuneet vuosikymmenten aikana. Näin kerrytetään tietoa rakennusosien ja materiaalien pitkän käyttöiän ominaisuudesta, jota on vaikeaa joskus todentaa. Voimme oppia uudelleenkäytettävistä ja muista kierrätetyistä materiaaleista niiden ominaisuuksia, miten ne ovat muuttuneet siinä käyttötarkoituksessa, missä niitä on käytetty.

Komposiittien valmistus on monipuolinen ja nopeasti kehittyvä teollisuudenala. Oikean valmistusmenetelmän valinta riippuu tuotteen geometriasta, tuote- ja rakentamisvaatimuksista ja tuotantomääristä. Edistyneimmät menetelmät, kuten autoklaavitekniikka ja automatisoitu infuusio, mahdollistavat erittäin tarkkojen ja suorituskykyisten osien valmistuksen.

3-D-tulostuksella rakennusala on siirtymässä kohti digitaalisempaa ja resurssitehokkaampaa tuotantotapaa. 3D-tulostus voi olla vielä hidasta, mutta se yleensä säästää materiaaleissa, kun tuotannosta ei jää hukkaa tai ylijäämää. Valmistus mahdollistaa rakennustuotteiden, kuten rakenteellisten ja arkkitehtonisten osien valmistamisen suoraan digitaalisen mallin pohjalta, kerros kerrokselta. Tämä prosessi lisää suunnitteluvapautta, nopeuttaa rakentamista ja vähentää materiaalihukkaa.



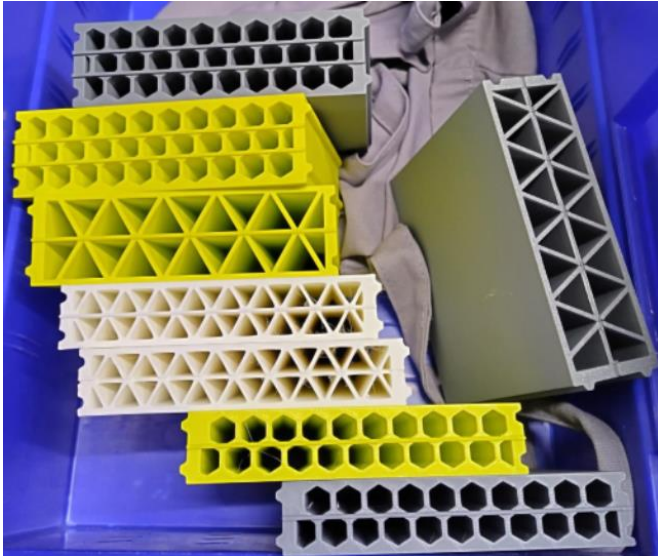
Kuva 1. Esimerkki 3D-tulostetusta pienoismallista, Lähde: Zortax Inventure, Formnext 2017

Kuva 1. Esimerkki 3D-tulostetusta pienoismallista (Zortax Inventure, Formnext 2017)



Kuva 2. Muutamia kuvia rakennusalaan liittyvistä suurempikokoisista 3D-tulostuksista, Lähteet: MX3D, Stuttgartin yliopisto, WASProject

Kuva 2. Esimerkkejä suuremmista 3D-tulostuksista (MX3D, Stuttgartin yliopisto, WASproject)



Kuva 3. Metropolian Myyrmäen innovaatioprojektien tuloksia, MOOVI-elementtien pienoismalleja

Valmistusmenetelmän valintaan vaikuttavat tuotteen koko, muoto, vaadittu tarkkuus, materiaalin ominaisuudet ja tuotantomäärä. MOOVI-elementin kehitysprosessissa keskiössä on 3D-tulostuksen hyödyntäminen uusien, tehokkaiden ja kevyiden rakennusratkaisujen toteuttamiseksi. MOOVI-elementin sisälle muodostettava kennorakenne on myös vaikeaa tuottaa muutoin kuin 3D-tulostamalla.

Rakennusalan 3D-tulostus eroaa pienemmistä muovitulostimista siten, että materiaalina käytetään tavallisesti sementtipohjaista seosta, geopolymeerejä tai savenseoksia. Tulostin voi olla kiinteä portaalijärjestelmä, robottivarsi tai mobiili laite, joka liikkuu rakennuskohdessa. Tulostusprosessissa ohjattu suutin kerrostaa materiaalin tarkasti mallin mukaisesti ilman muotteja.

Yleisimmin käytetty menetelmä on ekstruusiopohjainen betonin 3D-tulostus, jossa viskooisia massaa pursotetaan kerros kerrokselta. Tulostus voidaan toteuttaa tehdasolosuhteissa tai suoraan työmaalla.

Yksi 3D-tulostuksen merkittävimmistä eduista on materiaalin tarkka käyttö vain siellä, missä sitä tarvitaan. Rakenteissa voidaan hyödyntää optimoituja ontelorakenteita, jotka vähentävät esimerkiksi betonin määrää. Tämä säästää resursseja ja mahdollistaa myös kierrätettyjen tai uusiutuvien materiaalien, kuten geopolymeerien ja tuhkapohjaisten sideaineiden, käytön (Vandevyvere 2017).

Muotoilun osalta 3D-tulostus mahdollistaa arkkitehtonisesti monimutkaisten rakenteiden toteutuksen ilman erillisiä muotteja tai lisäkustannuksia. Rakennuselementeistä voidaan tehdä samalla kertaa sekä esteettisiä että toiminnallisia, mikä lisää niiden arvoa ja käyttökohteita (Buswell et al. 2018).

Tulostusprosessi voi toimia ympäri vuorokauden ja vähentää työvoimatarvetta. Kokonaisia pieniä rakennuksia voidaan tulostaa vuorokaudessa. Automaatio vähentää inhimillisiä virheitä ja lisää turvallisuutta työmailla.

Automaattinen tulostusprosessi voi toimia ympärivuorokautisesti ja vähentää merkittävästi työvoiman tarvetta. Esimerkiksi pieniä taloja voidaan valmistaa 24 tunnissa. Samalla automaatio vähentää inhimillisiä virheitä ja parantaa työmaan turvallisuutta.

3D-tulostamista voidaan soveltaa toteuttamalla pientalot ja erilaisia moduuleita. Useita yksikerroksisia asuintaloja on rakennettu 3D-tulostamalla, erityisesti kehittyvissä maissa, joissa kustannustehokkuus ja nopeus ovat tärkeitä. Betoniset rakennusosat voidaan tulostaa esim. julkisivuelementit, holvit, portaat ja seinärakenteet voidaan räätälöidä kohdekohtaisesti ilman muotteja. Infrastruktuurissa sillat, kevyet väylärakenteet ja jopa kokonaiset puistoelementit kuten penkit ja suihkulähteet ovat olleet 3D-tulostuksen kohteita. Korjausrakentaminen ja ornamentit mahdollistavat 3D-tulostus, joka sopii erityisen hyvin historiallisten rakennusten koristeiden rekonstruointiin.

Vaikka 3D-tulostuksella on monia etuja, teknologian laaja käyttöönotto kohtaa vielä haasteita. Yksi keskeinen este on tuotetuotannon standardoinnin ja sääntelyn puute. Nykyiset Suomen rakentamismääräykset eivät vielä täysin huomioi 3D-tulostettuja rakenteita. Suomessa ja EU:n jäsenvaltioiden yhtenäiset rakennustuotteiden ja -tuotejärjestelmien tuotehyväksyntä ei tunne vielä 3D-tulostamisella tuotettuja tuotteita. Toisaalta olemme kehitysvaiheessa, jolloin voimme itsekkin pilotoida, kokeilla ja kehittää tuotehyväksyntämenetelmiä yleiseen käyttöön. Lisäksi suunnittelijoiden ja rakentajien osaaminen digitaalisissa työkaluissa ja tietomalleissa kaipaa vahvistamista kuten muutoinkin kehitystyössä tarvitaan aina lisäkoulutusta. Uudenlaista osaamista ja ammattialoja asiantuntijoihin kehittyvät uudenlaisten teknologioiden mukana.

Tulevaisuudessa rakentamisen digitalisaatio, tekoälyn ja robotiikan kehitys voivat mahdollistaa täysin uudenlaisia, joustavia ja massakustomoituja ratkaisuja. 3D-tulostus voi kehittyä keskeiseksi tuotantotavaksi sekä rakennusten että infrastruktuurin suunnittelussa ja toteutuksessa.

5.4 MOOVI-rakennustuotteen tuotteistaminen

Tuotteistaminen tarkoittaa innovaation kehittämistä kaupalliseksi kokonaisuudeksi, joka kattaa koko prosessin raaka-aineiden tutkimisesta ja kehittämisestä aina valmiiseen lopputuotteeseen saakka. Keskeistä tuotteistamisessa on liiketoiminta-ajattelu, pelkkä tekninen tuote ei riitä, vaan sen on oltava markkinoitavissa, kilpailukykyinen ja liiketoiminnallisesti kannattava. Siksi tuotteistamisprosessin alkuvaiheessa on olennaista tehdä kattava markkina-analyysi. Innovaatiota ei kannata viedä eteenpäin, jos sen kaupallista potentiaalia ei tunnusteta tai markkinat puuttuvat. (Järvinen & Lehtonen 2016).

MOOVI-elementin kehitys lähti liikkeelle opiskelijaprojekteista, joiden osana tehtiin myös markkinatutkimusta. Näiden opiskelijaryhmien innovaatioprojektien tulokset muodostivat pohjan, jota on täydennetty ja syvennetty noin kymmenen vuoden rakennustuotteiden tuotehyväksynnän, tuotetiedon, hankintojen ja ominaisuustestauksen parissa kertyneellä kokemuksella. Näiden vuosien aikana on syntynyt vahvaa kiinnostusta tuotteistamiseen erityisesti kestävän kehityksen ja kiertotalouden näkökulmasta.

Rakennusalan kiertotalouteen perustuvien tuotteiden tuotteistaminen noudattaa pitkälti samoja periaatteita kuin muidenkin tuotteiden tai tuotejärjestelmien kaupallistaminen. Rakentaminen Suomessa perustuu lakeihin, asetuksiin ja viranomais määräyksiin, jotka säätelevät myös rakennustuotteiden kelpoisuutta (Ympäristöministeriö 2025).

Toisaalta kiertotalouden mukaisia tuotteita koskeva sääntely ei ole vielä kaikilta osin kehittynyttä. Monille uudelleen käytettäville tai uusiomateriaaleihin tai kiertotalouden mukaisiin raaka-aineisiin perustuville tuotteille ei ole vielä olemassa tarkkoja standardeja, lakeja tai teknisiä ohjeita (Sitra 2020). Tällöin sovelletaan jo olemassa olevia standardeja ja ohjeituksia parhaalla mahdollisella tavalla uudenlaisten tuotteiden arviointiin ja hyväksyntään niiden käyttötarkoituksiinsa. Näin on toimittu myös MOOVI-elementin kehittämisessä, jossa hyödynnetään soveltuvia standardeja ja testimenetelmiä, vaikka kyseessä on kiertotalousperustainen tuote.

Kiertotalous rakentamisessa tarkoittaa paitsi materiaalien uudelleen käyttöä, myös niiden arvojen säilyttämistä tai nostamista ja elinkaaren pidentämistä. Tuotteistamisessa tämä näkyy erityisesti siinä, että jo tuotekehitysvaiheessa huomioidaan materiaalien ja lopputuotteiden alkuperä, kierrätettävyys, purettavuus ja uusio- tai uudelleen käyttö mahdollisuudet. Näin kiertotalous ei ole vain ympäristöteko, vaan myös kilpailuetu ja arvoa luova osa liiketoimintaa. (Sitra 2025).

5.4.1 Rakennustuotteen teknisten ominaisuuksien todentaminen

MOOVI-elementin suunnitellut raaka-aineet koostuvat muovipelleteistä, erilaisista luonnon- ja teollisuuskuiduista, sideaineista sekä kierrätyspohjaisista materiaaleista, kuten puu- ja tekstiilijätteestä. MOOVI-elementtiin kokeillaan myös Kiillettä, joka tuo lopputuotteeseen muotolujuutta ja parantaa palo-ominaisuuksia. Näiden materiaalien yhdistelmällä pyritään kehittämään kevyt, ei-kantava ja ääntä eristävä väliseinäelementti.

MOOVI-elementtistä ei ole vielä koekappaleita tai prototyyppejä valmistettu, joten tässä kappaleessa luetellaan ja esitetään lopputuotteen ominaisuuksia ja niiden tutkimusmenetelmiä, joita voidaan soveltaa käytäntöön.

Yksi keskeinen MOOVI-elementin suunnitteluperuste on parantaa sisätilojen asumismukavuutta etenkin ääniympäristön osalta. Rakennusten ääneneristävyys on yhä tärkeämpi laatu- ja hyvinvointitekijä, mutta erityisesti sisäseinäratkaisuissa on edelleen kehittämisen varaa. Tavanomaiset kipsiväliseinät eivät eristä riittävästi ääntä, koska niissä ei ole eristerrosta, ja niiden ääntä absorboiva kyky on rajallinen.

MOOVI-elementti voisi toimia ratkaisuna tähän ongelmaan. Sen monikomponenttinen rakenne, jossa kennomainen sisärakenne hajottaa ääniaallot, voi lisätä väliseinän ääneneristävyyttä ilman monikerroksista rakennetta. MOOVI-elementin voi myös pinnoittaa joko kankaalla tai vain maalata. MOOVI-elementin pinnan voi myös muotoilla. MOOVI-elementti ei tarvitsisi olla välttämättä sileä. Tuotteiden muotoilulla, oikeanlaisilla kiinnityssysteemeillä ja pinnoitteilla saadaan rakenteille parempia teknisiä ominaisuuksia, jotka parantavat mm. asuinviihtyvyyttä.

MOOVI-elementti sopisi erityisen hyvin asuinrakennuksiin, joissa halutaan parantaa yksityisyyttä perheiden tai soluasukkaiden välillä. Toimitiloissa osataan ääneneristävyys toteuttaa ääniaaltoja absorboivilla materiaaleilla, mutta edelleen yksityisyys wc-tiloissa ei toteudu. MOOVI-elementillä voi mahdollisesti toteuttaa märkätilojen väliseiniä, jos elementin tekniset ominaisuudet ko. vaatimukseen saadaan todennettua. Väliovet ovat olleet täyspuisia tai kevyitä ja kennorakenteisia. Väliovien ääneneristävyys on myös kehitettävä ja kehittyvä tekninen ominaisuus. Palveluasumiseen ja hoivatiloihin, joissa akustinen ympäristö vaikuttaa suoraan asukkaiden viihtyvyyteen ja toimintakykyyn, MOOVI-elementillä saataisiin hiljaisempia tiloja.

Lisäksi voidaan suorittaa mm. pinnan kulutustestejä, puristus- ja taivutuslujuutta, vedenimeytymistä sekä palokäyttäytymistä. Rakennustuotteen käyttötarkoitusten mukaisesti laaditaan tarkoituksenmukainen tutkimussuunnitelma.

MOOVI-elementin kehitystyössä voidaan hyödyntää Taulukossa 1 esitettyjä tutkimusmenetelmiä:

Taulukko 1. Rakennusmateriaalien tutkimusmenetelmiä

Ominaisuus	Tutkimusmenetelmä
Ääneneristävyys	ISO 10140: Laboratoriotestaus rakennusosien ääneneristävydestä
Taivutus- ja puristuslujuus	ISO 178 (taivutus), ISO 604 (puristus)
Paloturvallisuus	EN 13501-1: Rakennustuotteiden paloluokitus
Kosteudenkesto	ASTM D570: Vedenimeytymistesti
Kierrätettävyyden arviointi	Materiaalikoostumusanalyysi ja elinkaarianalyysi (LCA)
Pinnan kulutuskestävyys	Taber-abraasiotesti (ASTM D4060)

Ääneneristävyys

Metropolia on koordinoimassa Kira Circularis¹ hanketta, jota Euroopan Unioni osittain rahoittaa. Turun Ammattikorkeakoulussa on korkeatasoista akustotutkimusta uusine tiloineen. MOOVI-elementin tuotteistamista pyritään edistämään monella taholla, myös ko. hankkeessa. Taulukossa 2 on lueteltu, millaisia teknisiä ominaisuuksia voidaan todentaa ko. standardeilla.

Taulukko 2. Teknisten ominaisuuksien todentaminen

Laboratoriotestistandardi	Menetelmän arkikielinen kuvaus	Testattavat tuotteet, materiaalit tai rakenteet
ISO 10140-2	Ilmaääneneristävyuden määrittäminen	Seinät, välipohjat, yläpohjat, ovet, ikkunat, läpivientielementit
ISO 354	Äänenabsorptiosuhteen määrittäminen huoneessa	Huokoiset materiaalit, reikälevyt, huonekalut, rakenteet
ISO 10534-2	Äänenabsorptiosuhteen määrittäminen putkessa	Huokoiset materiaalit, reikälevyt
ISO 9053-1	Virtausvastuksen määrittäminen	Huokoiset materiaalit
ISO 10140-3	Askelääneneristävyuden määrittäminen	Välipohjarakenteet, lattiapäällysteet
ISO 11654	Äänen absorptioluokan määrittäminen	Huokoiset materiaalit, reikälevyt, huonekalut, rakenteet
ISO 717-1	Ilmaääneneristysluvun määrittäminen	Seinät, välipohjat, yläpohjat, ovet, ikkunat, läpivientielementit
ISO 717-2	Askelääneneristysluvun määrittäminen	Välipohjarakenteet, lattiapäällysteet

¹ <https://www.metropolia.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hankkeet/kira-circularis>

ISO 9052-1	Lattianaluslevyn dynaaminen jäykkyys	Kelluvien laattojen alle sijoitettavat joustavat alusmateriaalit
------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------------

Metropolian ammattikorkeakoulun Myllypuron olosuhdehuone koostuu kahdesta tiiviistä kammiosta, joiden väliin voidaan rakentaa erilaisia rakenteita tai asentaa rakennusosia. Myllypuron olosuhdehuoneen kammioiden väliin toteutetaan MOOVI-elementteinä, jonka ääneneristävyys todennetaan Taulukko 2 esitetyillä standardeilla.

Taulukko 3 esitetään ilmanääneneristävyden mittausmenetelmät ja laskenta rakennusmateriaaleille standardien SFS-EN ISO 10140-2, SFS-EN ISO 717-1 ja SFS-EN ISO 354 mukaisesti.

Taulukko 3. Ilmanääneneristävyden mittausmenetelmät ja laskenta

Ominaisuus	Mittaus- / laskentatapa	Standardi	Yksikkö	Huomio
Ääneneristävyys (R)	$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(S/A)$	ISO 10140-2	dB	$L_1 =$ lähetys, $L_2 =$ vastaanotto
Äänen absorptioala (A)	$A = 0.16 \cdot V / T$	ISO 354	m ²	V = tila (m ³), T = jälkikaiunta-aika
Rw-indeksi	Painotettu käyrä 100–3150 Hz	ISO 717-1	dB	Käytetään vertailuun
Korrektio (ΔR)	Korr = - ΔR liitoksista	ISO 16283-1	dB	Liittyvien rakenteiden vaikutus

Taulukko 4 havainnollistaa esimerkkilaskelmalla ääneneristävyyden (R) määrittämisen tyypillisessä tilanteessa.

Taulukko 4. Esimerkkilaskelma ääneneristävyyden (R) määrittämisestä

Tilanne	Vaihe 1: Absorptioala A	Vaihe 2: Ääneneristävyys R	Tulos	Sovellettavat standardit:
Lähetyshuoneen äänitaso (L_1): 75 dB Vastaanottohuoneen äänitaso (L_2): 45 dB Rakenteen pinta-ala (S): 10 m ² Vastaanottohuoneen tilavuus (V): 50 m ³ Mitattu jälkikaiunta-aika (T): 1.0 s	$A = 0.16 \times V / T = 0.16 \times 50 / 1.0 = 8.0 \text{ m}^2$	$R = L_1 - L_2 + 10 \times \log(S/A)$ $R = 75 - 45 + 10 \times \log(10/8) \approx 30 + 0.97 = 30.97 \text{ dB}$	R = 31 dB	SFS-EN ISO 10140-2 – Rakennusosien ääneneristävyyden laboratoriomittaus. Osa 2: Ilmanääneneristävyyden luokittelu. Osa 1: Ilmanääneneristys. SFS-EN ISO 717-1 – Rakennusakustiikka – Ääneneristävyyden luokittelu. Osa 1: Ilmanääneneristys. SFS-EN ISO 354 – Akustiikka – Huoneen äänenvaimennus – jälkikaiuntamenetelmä. SFS-EN ISO 16283-1 – Rakennusten akustiset mitaukset paikan päällä – Osa 1: Ilmanääneneristys.

Kosteudenkesto ja vedenimeytymisestä rakennusmateriaaleissa

Vedenimeytymisestä on olennainen menetelmä rakennusmateriaalien kosteudenkestävyyden arvioinnissa. Testin avulla tutkitaan, kuinka paljon vettä materiaali kykenee absorboimaan, sekä miten tämä vaikuttaa sen painoon, tilavuuteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Testi on erityisen tärkeä materiaaleille, joita käytetään kosteille tai märille alueille altistuvissa rakenteissa, kuten kylpyhuoneissa, kellareissa tai ulkotiloissa. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi betoni, tiilet, puu, komposiitit ja erilaiset lämmöneristeet.

MOOVI-elementin käyttökohteita voitaisiin laajentaa kevyisiin väliseinärakenteisiin myös märkätiloissa, kuten pesuhuoneissa. Tätä varten elementin kosteudenkestävyyttä on arvioidava huolellisesti. Testaus aloitetaan materiaalikohtaisesti, esimerkiksi yksittäisten muovipelletinäytteiden avulla. Eri reseptejä ja materiaalikoostumuksia kokeillaan, ja niistä valmistetaan koepellettejä. Lopullinen elementti on kuitenkin testattava kokonaisuutena, jotta voidaan arvioida, miten 3D-tulostus on onnistunut ja miten lopputuote käyttäytyy testitilanteissa.

Vedenimeytymistestissä materiaalinäytteet punnitaan ennen ja jälkeen vesialtistuksen. Tavoitteena on määrittää materiaalin vedenimeytymisnopeus ja -määrä, muutokset massassa, tilavuudessa ja rakenteessa, mahdollinen heikkeneminen mekaanisissa tai rakennusfysikaalisissa ominaisuuksissa ja visuaaliset muutokset, kuten turpoaminen, pehmeneminen tai halkeamat. Lisäksi voidaan tehdä jälkikokeita, kuten puristus- tai taivutuslujuuden mittauksia, mikäli testinäytteet ovat olleet vedessä tietyllä aikavälillä (esimerkiksi 24 h tai 7 vrk).

Rakennustuotteen ominaisuuksien todentamiset suoritetaan seuraavien standardien ja ohjeiden mukaisesti:

ISO 62 Muovit: Veden absorptiokyvyn määrittäminen (Plastics — Determination of water absorption)

ASTM D570 -standardi: Muovien vedenimeytymisen testausmenetelmä (Standard Test Method for Water Absorption of Plastics)

EN 1609 Lämmöneristystuotteet rakennuskäyttöön — Lyhytaikaisen vedenimeytymisen määrittäminen osittaisessa upotuksessa (Thermal insulating products for building applications — Determination of short-term water absorption by partial immersion)

EN ISO 12572 Rakennusmateriaalit—Hygrotermien suorituskyky—Vesihöyrynläpäisevyyden määrittäminen (Building materials — Hygrothermal performance — Determination of water vapour transmission properties)

Rakennustieto RT-kortit – esim. RT 21-10984: Rakennustuotteiden kosteustekniset ominaisuudet

Taivutus- ja puristuslujuus

Taivutuslujuustesti mittaa materiaalin kykyä kestää taivutusvoimaa murtumatta. Testi antaa tietoa jäykkyydestä, kimmoisuudesta ja murtumiskestävydestä. MOOVI-elementin ensimmäinen käyttötarkoitus on ei-kantava kevyt väliseinä, mutta elementin on kuitenkin pysyttävä koossa ja lujuus tuloksia voidaan käyttää tuotteen jatkokehittämiseen. Koska MOOVI-elementtiä aiotaan käyttää seinänä, on sen ripustuslujuus myös todennettava. Seinielle yleensä ripustetaan painavaakin tarviketta.

Yleisesti käytetty testimenetelmä on kolmipistetaivutus (three-point bending). Näytteeseen kohdistetaan kuorma keskeltä, kahden tukipisteen väliin. Testissä määritettäviä ominaisuuksia ovat taivutuslujuus (σ_f), taivutusmoduuli (E_f) ja murtovenymä.

Rakennustuotteen ominaisuuksien todentamiset suoritetaan Liitteessä 1 esitettyssä MOOVI-elementin arviointiperusteissa.

Puristuslujuustestillä selvitetään, kuinka hyvin materiaali kestää puristusta ennen murtumista tai muodonmuutosta. Testi on oleellinen esimerkiksi betonille, puulle, komposiiteille ja rakenteellisille muovituotteille.

Tyypillinen testausprosessi on, kun materiaali asetetaan kahden levyn väliin ja siihen kohdistetaan voimaa, kunnes tapahtuu murtuma tai kriittinen muodonmuutos.

Testissä määritettäviä ominaisuuksia ovat puristuslujuus (σ), muodonmuutos (deformaatio) ja säröily-/murtumismekanismi.

Rakennustuotteen ominaisuuksien todentamiset suoritetaan Liitteessä 1 esitettyssä MOOVI-elementin arviointiperusteissa.

Seinän **ripustuslujuuden** todentaminen on tärkeä osa rakennustuotteiden ja erityisesti kevyiden väliseinäelementtien (kuten MOOVI-elementin) teknistä arviointia. Tämä ominaisuus kertoo, miten hyvin seinärakenne kestää siihen kiinnitettyjen esineiden, kuten hyllyjen, kaappien tai näyttöjen aiheuttaman pistekuormituksen.

Ripustuslujuus määrittää, kuinka suuri pistekuorma voidaan turvallisesti kiinnittää seinään ilman, että kiinnityskohta pettaa, seinämateriaali murtuu tai seinän runkorakenne vaurioituu.

Testissä käytetään yleisesti mekaanista kiinnikettä, kuten ruuvia, ankkuria tai ripustuslistaa, joka kiinnitetään seinään valmistajan suositusten mukaisesti. Sen jälkeen kuormaa lisätään asteittain ja seurataan kiinnityskohdan siirtymää, seinärakenteen mahdollista halkeilua, muodonmuutosta tai murtumaa.

Tietyissä sovelluksissa testataan myös dynaamista kuormaa, joka jäljittelee esimerkiksi oven tai liikkuvan esineen vaikutuksia.

Testiseinä rakennetaan samasta materiaalista ja samalla tavalla kuin varsinainen rakennustuote: seinä voi olla esimerkiksi komposiittia, kipsilevyä tai betonilevyä, ja testiseinä voi sisältää kehikon tai olla itseseisova.

Taulukko 5. Ripustuslujuuteen liittyviä standardeja ja ohjeita

EN 13115	<i>Doors — Mechanical strength — Requirements and test methods</i> (sisältää ripustuskuorman testausmenetelmiä, sovellettavissa seinärakenteisiin)
EN 15283-1	<i>Gypsum boards — Definitions, requirements and test methods</i> (esim. ripustuskyvyn testaus kipsipohjaisille tuotteille)
EN 1990–1999 (Eurokoodit)	Kantavuuden ja kuormien määrittäminen
RT 21-11119 – Kevyiden väliseinien ripustuslujuus	Rakennustieto-ohjekortti, soveltuu erityisesti sisäseinäratkaisuille
BY 65 – Ripustuslujuuden suunnitteluohje (RIL)	Suunnitteluohjeisto seinien kuormitukselle
ETA-ohjeet	Jos tuotteella haetaan CE-merkintää, voidaan määrittää ripustuslujuus ETA-arvion kautta (esim. EAD 090062-00-0404: "Wall lining kits").

Taulukko 6. Ripustuslujuuden esimerkkiarvoja RT 21-11119 mukaan

Seinämateriaali	Pistekuorman kesto (N)	Huomautuksia
Kipsilevy, 1 x 13 mm	n. 150–200 N	ilman lisätukea
Kipsilevy + runko	jopa 600 N	riippuu tukirakenteesta
Betonielementti	>1000 N	suuri kapasiteetti
Komposiittielementti	testattava erikseen	materiaalikohtainen vaihtelu

MOOVI-komposiittielementin ripustuslujuus voidaan testata rakentamalla testiseinä ja kiinnittämällä siihen yleisimmin käytettyjä kiinnikkeitä kuormineen (esim. ruuvit, proput, ripustuskiskot). Testissä mitataan ripustuskuorman suuruus (N tai kg), mahdollinen siirtymä (mm) ja murtopiste. Ripustuslujuuteen liittyviä standardeja, ohjeita ja esimerkkiarvoja on esitelty Taulukoissa 5 ja 6.

Palokäyttäytymisen todentaminen rakennustuotteille on keskeinen osa tuotteen turvallisuuden arviointia. Erityisesti sisäverhoukset, väliseinät ja muut rakennusosat tulee testata järjestelmällisesti palonkestävyyden ja -käyttäytymisen osalta, jotta ne täyttävät kansalliset ja eurooppalaiset vaatimukset.

Rakennusmateriaalin palokäyttäytyminen tarkoittaa sen reaktiota tuleen, kuten syttyvyys, liekin leviäminen, savunmuodostus ja palavien pisaroiden muodostuminen.

Palokäyttäytyminen vaikuttaa merkittävästi tilojen turvallisuuteen ja palon etenemisnopeuteen rakennuksessa. Palo-osastoinnit suunnitellaan rakentamismääräysten mukaisesti ja toteutetaan tuotteiden palokäyttäytymisien perusteella. Paloluokitus määritetään Taulukko 7 esitetyn standardin paloluokitusjärjestelmän mukaisesti.

Taulukko 7. Eurooppalainen paloluokitusjärjestelmä EN 13501-1

Paloluokka	Kuvaus
A1	Ei osallistu paloon
A2	Erittäin rajoitetusti osallistuu paloon
B	Rajoitetusti osallistuu
C–E	Suurempi osallistuminen
F	Luokittelematon materiaali

MOOVI-elementin kaltainen komposiitti tähtäisi luokkaan C tai B, mikäli siihen lisätään paloa hidastavia aineita kuten kiillettä (mica).

Luokkiin liitetään myös savuntuotto- ja pisaramuodostusluokat, jotka ovat s1, s2, s3 (savu) ja d0, d1, d2 (palavat pisarat).

EN ISO 11925-2 standardin mukaisessa syttyvyystestissä (Single flame source test) kohdistetaan pieni liekki tuotteen pintaan ja tarkkaillaan liekin leviäminen ja liekin korkeus.

EN 13823 – SBI standardin mukaisessa testissä (Single Burning Item) koko rakennusosaa testataan simuloitussa palotilanteessa. Tuloksista saadaan selville tuotteen lämpökehitys, savun muodostuminen ja palon leviäminen.

EN ISO 1182 – standardin mukaisesta palamattomuustestiä käytetään lähinnä epäorgaanisille materiaaleille (kuten kivi- tai lasivilla). MOOVI-elementti ei sovellu tähän testiin, koska se sisältää orgaanisia komponentteja.

Muovi on orgaaninen yhdiste, koska se koostuu pääasiassa hiilestä (C) ja vedystä (H), aivan kuten monet muutkin orgaaniset aineet, kuten sokerit, rasvat ja proteiinit. Orgaanisuus viittaa siihen, että aineen rakenne perustuu hiiliatomien ketjuihin tai runkoihin, joihin on liittynyt erilaisia atomeja tai atomiryhmiä, yleisimmin juuri vetyä.

Orgaaninen kemia tutkii hiilipohjaisia yhdisteitä. Muovit eli polymeerit rakentuvat monomeereistä, jotka ovat pieniä hiilivety-yhdisteitä. Näistä monomeereistä valmistetaan pitkäketjuisia rakenteita polymeroinnin avulla. Esimerkiksi polyeteeni (PE) koostuu toistuvista eteeniyksiköistä ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), ja polypropeeni (PP) taas propeenista ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$).

Koska muovit ovat orgaanisia (sisältävät hiiltä ja vetyä), ne ovat palavia materiaaleja. Palo tuottaa lämpöä, savua (hiilimonoksidi, hiilidioksidi, hiukkaset), ja usein myrkyllisiä kaasuja (esim. halogenoitujen muovien tapauksessa). Palamisen yhteydessä vapautuu energiaa, koska hiilen ja vedyn sidosenergia vapautuu hapen kanssa reagoidessa. Siksi paloturvallisuus on keskeinen osa muovikomposiittien rakennuskäytön arviointia. (Brydson, J.A. 1999; RT 84-10825.)

Testausprosessin vaiheita ovat valmistetaan tarvittava määrä koekappaleita (yleensä 5–10 kpl / testi). Testit suoritetaan akkreditoidussa laboratoriossa (esim. VTT tai Eurofins Expert Services). Tulosten perusteella määritetään paloluokka (EN 13501-1 mukaan). Jos tuote täyttää vaatimukset, se voidaan CE-merkitä kyseisen luokituksen mukaisesti. Jos tuote määritetty harmonisoidun standardin mukaisesti tai sille hankitaan EAD ja ETA, se voidaan CE-merkitä. Edellä mainitut CE-merkintätavat ovat Euroopan Unionin jäsenmaiden yhteisiä tuotehyväksyntämenetelmiä rakennustuotteille ja rakennustuotejärjestelmille. Taulukko 8 on koottu yhteenvetona, millaisia tuotetestejä tai muuta tietoa tuotteiden ominaisuuksien todentamiseen käytetään.

Taulukko 8. Käytettävät standardit ja tietolähteet

Lähde / Standardi	Sisältö
EN 13501-1	Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus
EN ISO 11925-2	Pienten liekkiin syttyvyydestä
EN 13823	SBI (Single Burning Item) -testi
EN ISO 1182	Palamattomuuden määrittäminen
RT 84-10825	Rakennustuotteiden palokäyttäytyminen
VTT / Eurofins	Paloluokitustestien akkreditoidut laboratoriot Suomessa
Rakennustuoteasetus (EU 305/2011)	CE-merkintä ja tuotehyväksyntäprosessi

Koska MOOVI on komposiittimateriaali, sen palokäyttäytyminen riippuu polymeeripohjasta, kuituvahvikkeista sekä lisäaineista. Kuten kaikki tuotteet, niin myös MOOVI-elementin raaka-aineet valikoituvat mahdollisimman hyvin toimivista raaka-aineista, jotta lopputuote olisi mahdollisimman turvallinen ja terveellinen käyttää. Lisäksi kestävä kehitys ja kiertotalouden näkökulmat otetaan huomioon tuotteistamisessa.

Kierrätettävyyttä arvioidaan useilla teknisillä, taloudellisilla ja ympäristöllisillä mittareilla, jotka muodostavat kokonaisvaltaisen arvion siitä, kuinka hyvin tuote tai materiaali voidaan kierrättää elinkaarensa lopussa. Taulukossa 9 on koottu mittarit, joilla tuotteiden kierrätettävyyttä arvioidaan.

Komposiittituotteet ovat vaikeita kierrätettäviä. Muovilla on itsellään huono maine, koska se maatu, hajoaa hitaasti. Kun muovi sitten hajoaa, se hajoaa mikromuoviksi, joka kertyy kaikkeen elävään sekä tukehduttaa meret. Muovi tappaa hitaasti. Komposiittituotteet ovat vaikeasti kierrätettävissä myös sen takia, koska se sisältää niin montaa erilaista komponenttia, raaka-ainetta. Tosin kuten MOOVI-elementti olisi niin kestävä, että sen voisi

uudelleenkäyttää, eikä hajottaa kierrätettäväksi. Uudelleenkäyttäminen on muutoinkin kestävämpää kuin materiaalien hyödyntäminen energiaksi tai uudeksi lopputuotteeksi.

Seuraavissa kappaleissa esitetään mittareita, joilla voidaan tuotteiden kierrätettävyyttä arvioida:

Tekninen kierrätettävyys (ISO 22628:2002) tarkoittaa tuotteen tai materiaalin kykyä säilyttää ominaisuutensa kierrätysprosessissa siten, että se voidaan käyttää uudelleen vastaavassa tai toisessa käyttötarkoituksessa. Arviointikriteereinä tekniselle kierrätettävyydelle ovat materiaalikoostumus, jossa yksimateriaaliset tuotteet ovat yleensä kierrätettävämpiä kuin monimateriaaliset. Eli komposiitit ovat vaikeampia kierrätettäviä kuin yhdestä materiaalista valmistetut. Toinen arviointikriteeri on erottelukelpoisuus, joka tarkoittaa, voidaanko eri materiaalit erotella mekaanisesti tai kemiallisesti. Kolmas arviointikriteeri on saastumisherkkyys, joka tarkoittaa, voiko tuote sisältää aineita (esim. liimoja, lisäaineita), jotka estävät kierrätyksen. Neljäs arviointikriteeri on kulumisen kierrätyksessä, joka tarkoittaa, kuinka monta kertaa materiaali kestää mekaanisen tai termisen kierrätyksen laadun heikkenemättä. (Ellen MacArthur Foundation 2015.)

Taloudellinen kierrätettävyys tarkoittaa sitä, onko kierrätys prosessina kannattavaa. Vaikka materiaali olisi teknisesti kierrätettävissä, korkeat kustannukset voivat estää käytännön toteutuksen. Arviointikriteereitä taloudelliseen kierrätettävyyteen ovat materiaalin arvo, joka määrittää onko uudelleen käytettävällä tai kierrätetyllä materiaalilla taloudellista arvoa, kierrätyskustannukset, joka sisältää kuljetuksen, lajittelun, puhdistuksen ja uudelleenkäsittelyn sekä kysynnän, joka kysyy, onko kierrätettävälle markkinoita, että mittakaavaedut, joka selvittää, onko kierrätystä mahdollista toteuttaa teollisesti tehokkaasti. (European Commission 2020.)

Ympäristöllinen kierrätettävyys tarkastelee (ISO 14040:2006), vähenevätkö ympäristövaikutukset kierrätyksen avulla elinkaaren aikana verrattuna neitseellisten raaka-aineiden käyttöön. Arviointikriteereitä ovat elinkaariarviointi (LCA), jossa arvioidaan tuotteen ympäristövaikutukset, kuten hiilijalanjälki, energiankulutus ja vedenkulutus kierrätysprosessissa. Toisena kriteerinä arvioidaan päästövähennykset, jossa lasketaan, kuinka paljon kierrätys vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Kolmantena arviointikriteerinä on jätteen vähentyminen ja paljonko jätettä vältetään tuotettavan verrattuna kaatopaikkasijoitukseen tai polttoon.

Kierrätettävyysindikaattoreina käytetään numeerisia tai asteikollisia mittareita arviointiin esim. Material Circularity Indicator (MCI) (Ellen MacArthur Foundation), ReCiPe-menetelmä

ympäristövaikutusten LCA:ssa ja kierrätettävyyssprosentti (% massasta, joka voidaan palauttaa käyttöön). (ISO 20887:2020.)

Taulukko 9. Kierrätettävyyttä arvioidaan kolmella pääulottuvuudella

Ulottuvuus	Mitä arvioidaan	Menetelmä/Lähde
Tekninen	Materiaalin käsittelykelpoisuus	ISO 22628, materiaalitestaukset
Taloudellinen	Kustannukset ja markkinat	EU Circular Economy Plan, WRAP
Ympäristöllinen	Ympäristövaikutukset LCA:n avulla	ISO 14040, ReCiPe, EMF MCI

5.4.2 Rakennusmateriaalista rakennesuunnitteluun

MOOVI-elementtien muoto ja kiinnityssystemit suunnitellaan ja pyritään toteuttamaan. Metropolian olosuhdehuoneeseen voidaan toteuttaa testiseinä MOOVI-elementeistä. Tällöin voidaan testata myös kiinnityssystemejä. Kiinnitykset on myös testattava ja niitä kehitetään. Samoin materiaalit, joita voitaisiin käyttää pinnoitteina tai tasoitteina MOOVI-elementtiseinä on olisi valittava ja testattava. Yleensä tuotteen ominaisuudet määräävät myös kiinnitys- ja muut materiaalit.

Muovikomposiittituotteiden kiinnitystapa voi olla erilaiset liimat tai ruuvit sekä kulmaraudat. Yleensä muovikomposiittituotteiden kiinnitystavat eivät juuri poikkea esim. puun kiinnitystavasta. Kuitenkin kiinnityssystemit ja pinnoitteet on kokeiltava uusiin materiaaleihin, joten tulevaisuuden kiertotalouden mukaisiin innovointeihin tarvitaan lisää tietoa ja tutkimusmenetelmiä. Kiinnityssystemejä ja pinnoitteita on tutkittu ja kehitetty vuosikymmenet, joten tuotestandardia ja menetelmiä on löydettävissä ja sovellettavissa muovikomposiittituotteidenkin tutkimiseen ja kehittämiseen. Tässä työssä on esitelty menetelmiä, joita voitaisiin kokeilla ja soveltaa.

Rakennesuunnittelun apuna käytetään monenlaisia simulointiohjelmiä, joilla todennetaan rakenteiden toimivuutta teoreettisesti. Materiaaliominaisuuksien avulla voidaan simuloida ko. ohjelmilla rakenteiden rakennusfysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia.

Rakennustyyppien rakennusfysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet todennetaan teoreettisesti hyödyntämällä laskentamenetelmiä, fysikaalisia lakeja ja rakennusalan standardeja. Nämä ominaisuudet vaikuttavat rakennuksen kestävyys, toiminnallisuuteen ja energia- tehokkuuteen.

MOOVI-elementtien muoto ja kiinnitysjärjestelmät suunnitellaan ja pyritään toteuttamaan testattavaksi käytännössä. Yksi keskeinen kehitysalusta on Metropolian olosuhdehuone, johon voidaan rakentaa testiseinä MOOVI-elementeistä. Tämän avulla voidaan arvioida sekä elementtien rakenteellista toimivuutta että eri kiinnitysjärjestelmien soveltuvuutta. Kiinnitysratkaisut on testattava huolellisesti ja niitä kehitetään edelleen käytännön kokeilujen pohjalta.

Samanaikaisesti on tärkeää valita ja testata materiaalit, joita voidaan käyttää MOOVI-elementtien pinnoitteina tai tasoitteina. Yleisesti ottaen tuotteen ominaisuudet vaikuttavat ratkaisevasti siihen, millaisia kiinnitys- ja pintamateriaaleja voidaan käyttää.

Muovikomposiittituotteet voidaan kiinnittää liimoilla, ruuveilla tai esimerkiksi kulmarauodoilla, samalla tavoin kuin puutuotteet. Kiinnitystavat eivät siis välttämättä eroa merkittävästi perinteisistä ratkaisuista. Kuitenkin uusien, kiertotalouden mukaisten materiaalien käyttöön-otto edellyttää aina materiaali-kohtaisia testauksia, jotta kiinnitysjärjestelmien ja pintakäsittelyjen toimivuus voidaan varmistaa. Tietoa ja testausmenetelmiä on runsaasti saatavilla, sillä rakenteita ja tuotteita on kehitetty vuosikymmenten ajan. Vakiintuneita tuotestandardia ja menetelmiä voidaan soveltaa myös uusien materiaalien tutkimukseen ja tuotekehitykseen.

Tässä työssä on esitelty keskeisiä testausmenetelmiä, joita voidaan hyödyntää MOOVI-elementin kehittämisessä. Lisäksi rakenteiden toimivuutta voidaan ennakoida ja kehittää digitaalisten simulointiohjelmien avulla. Näillä ohjelmilla voidaan mallintaa materiaalien käyttäytymistä ja arvioida rakenteiden rakennusfysikaalisia sekä mekaanisia ominaisuuksia ennen varsinaista valmistusta.

Rakennustyyppien mekaaniset ja rakennusfysikaaliset ominaisuudet voidaan todentaa teoreettisesti laskentamenetelmien ja rakennusalan standardien avulla. Nämä tuotteiden ominaisuudet vaikuttavat suoraan rakenteiden kestävyys-, toimivuus- ja energiatehokkuuteen, joten niiden hallittu suunnittelu on olennainen osa tuotteistamisprosessia.

Rakennusfysikaalisten ominaisuuksien teoreettisessa todennuksessa arvioidaan seuraavia lämpöteknisiä ominaisuuksia:

Lämmönläpäisykertoimen, U-arvon laskenta

$$U = \frac{1}{\sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{sisä} + R_{ulko}}$$

d_i = kerroksen paksuus (m)

λ_i = lämmönjohtavuus (W/mK)

R = lämpövastus

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimen U-arvon laskentakaava

Sovelletaan standardia EN ISO 6946 väli- ja ulkoseinille, lattioille ja vesikatoille.

Vesihöyrynläpäisevyys on vaikeaa todentaa materiaaleista. Standardinmukaiseen todentamiseen voidaan käyttää menetelmiä, joissa vakioidaan olosuhteita, missä voidaan mitata vedenhöyrynläpäisy tietyistä materiaaleista. Yleensä vedenhöyrynläpäisy arvioidaan teoreettisesti.

Vesihöyrynvastuskerroin (μ) ja diffuusiovastus (S_d):

$$S_d = \mu \cdot d$$

μ = vesihöyrynvastuskerroin (materiaalikohtainen)

d = materiaalin paksuus (m)

Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuskertoimen laskentakaava

Sovelletaan standardia EN ISO 12572 rakenteiden kosteusturvallisuuden suunnittelu.

Vedenhöyrynläpäisevyys materiaalien ominaisuuksina on tärkeää todentaa, varsinkin märkätilojen kohdalla, mutta myös muiden rakenteiden materiaaleissa. Rakenteissa pitää olla mahdollisuus kosteuden poistumiseen ja kuivumiseen. Alapohjat saattavat olla liian tiiviitä, jolloin kosteus saattaa jäädä rakenteeseen.

Ääneneristävyys (ilmanääni)

Ääneneristävyyden (R) teoreettinen arviointi:

$$R = 20 \cdot \log_{10} (m \cdot f) - 47$$

Missä:

m = rakenteen pinta-alamassa (kg/m^2)

f = äänen taajuus (Hz)

Rakenteiden ääneneristävyyden laskentakaava

Sovelletaan standardia EN ISO 12354-1 ilmanääneneristävyys teoreettisesti arvioiden asuinrakennusten väliseinistä ja ulkovaipoista.

MOOVI-elementin yksi tärkeimmistä ja halutuimmista ominaisuuksista. MOOVI-elementin kennostoa pyritään kehittämään mahdollisimman tiiviiksi, niin, että ääni pääsee kuitenkin kulkemaan kennostossa rikkoutuen elementin sisällä.

Mekaanisten ominaisuuksien teoreettinen todennus

Taivutuslujuus lasketaan käyttämällä taivutuskaavaa

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

Missä:

σ = taivutuslujuus

M = taivutusmomentti

y = etäisyys neutraalista akselista

I = poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

Taivutuslujuuden laskentakaava

Sovelletaan seuraavia standardeja EN 1995-1-1 (puu), EN 1992-1-1 (betoni) ja EN 1993-1-1 (teräs), jotka ovat Eurokoodeja. Suomessa ja EU:n jäsenvaltioiden jäsenmaiden kesken on yhtenäistetty myös rakentamisen suunnittelua, jota varten ko. standardisarja on laadittu. Tuotetuotantoa on myös pyritty yhtenäistämään harmonisoitujen standardien myötä.

Tuotetuotannossa ja rakentamisessa käytetään standardeja. Laatu standardit eivät aina takaa ja onkin ohjeistettu asetuksissa, että aina parempaan saa pyrkiä, eikä tyytyä standardien vähimmäisvaatimuksiin.

Puristuslujuus lasketaan käyttämällä taivutuskaavaa

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Missä:

σ = Puristuslujuus

F = Kuormitusvoima

A = puristuspinta-ala

Puristuslujuuden laskentakaava

Sovelletaan standardeja EN 12390-3 (betoni), EN ISO 604 (muovit).

Edellä esitetyt laskentamenetelmät voivat olla yleisiä erilaisille materiaaleille. MOOVI-elementti on komposiittituote, joten ominaisuuksien todentamiseen on etsittävä myös valmiiden tuoteryhmien laskentatapoja tai tutkimusmenetelmiä, joita voitaisiin soveltaa.

Taulukossa 10 on jaoteltu kolmeen päämateriaalityyppiin: puu, betoni ja komposiitti (esim. muovipohjaiset materiaalit kuten MOOVI-elementti).

Taulukko 10. Rakennusfysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien teoreettinen todennus eri rakennusmateriaaleille

Ominaisuus	Puu	Betoni	Komposiitti / Muovipohjainen	Standardi / Lähde
Lämmönläpäisy U-arvo	Lasketaan kerrospaksuuden ja λ -arvon mukaan	Sama menetelmä	Sama menetelmä	EN ISO 6946
Vesihöyrynvastus Sd	$\mu \approx 20-50$, riippuu puulajista	$\mu \approx 50-100$	μ -arvo määritetään koemittauksin	EN ISO 12572
Ilmanääneristävyys R	$R \approx 30-40$ dB (pinta-alamassa tärkeä)	$R \approx 50$ dB	Riippuu rakenteen massasta ja jäykkyydestä	EN ISO 12354-1, EN ISO 10140
Vedenimeytyminen	Korkea kapillaarisuus	Riippuu huokoisuudesta	Määritetään testein (esim. ISO 62)	ISO 62, ASTM D570, EN 1609
Taivutuslujuus	Lasketaan taivutusmomentin perusteella	Ei käytännössä taivu, murtuu	Lasketaan mekaanisten testien tai FEM-mallin avulla	EN 1995-1-1 (puu), EN ISO 178

Puristuslujuus	20–40 MPa (syy-suunnassa)	20–80 MPa	Lasketaan pinta-alan ja voiman suhteena	EN 12390-3 (betoni), EN ISO 604 (muovit)
Rakenteellinen vakaus	Nurjahduskaavat, kimmomoduuli	Kimmomoduuli ja puristuslujuus	FEM-analyysi tai koestus	EN 1990–1999 (Eurokoodit)
Palokäyttäytyminen	Luokiteltavissa (esim. D-s2, d0)	Hyvä palonkesto	Määritetään testeillä, esim. SBI- tai cone calorimeter -testi	EN 13501-1, ISO 5660-1
Ripustuslujuus (seinä)	Lasketaan naulat tai ruuvikapasiteetilla	Yleensä korkea kestävyys	Vaatii mekaanisia testejä tai ankkurivertailua	RT 41-10974, EN 594, EN 526-1

Komposiittimateriaalien ominaisuudet vaihtelevat enemmän reseptin ja prosessoinnin mukaan, joten kokeelliset testit ovat oleellinen osa teoreettista arviointia. Rakennusfysikaaliset ominaisuudet voidaan usein laskea teoreettisesti, mutta koetulokset ovat mahdollisesti pakollista suorittaa, jos aikoo tuotteen saada markkinoille. Monimutkaisimmissa rakenteissa rakenteiden ominaisuuksien laskennassa käytetään usein rakennusfysiikan simulointiohjelmiä kuten WUFI, IDA ICE, FEMAP tai COMSOL.

Rakennustuotteiden ja -järjestelmien rakennusfysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien arviointiin voidaan käyttää useita simulointiohjelmiä, riippuen siitä, mitä ilmiötä tarkastellaan (esim. lämmönsiirto, kosteudenhallinta, rakennevärähtelyt, lujuus, palokäyttäytyminen jne.). Taulukossa 11 on luettelo tunnetuista simulointiohjelmissä eri käyttötarkoituksiin.

Taulukko 11. Simulointiohjelmiä rakennustuotteiden ja -järjestelmien rakennusfysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien arviointiin

Ohjelma	Kuvaus	Käyttötarkoitus
WUFI	Simuloi lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä rakennusosissa	Diffuusiokosteus, kapillaarinen virtaus, kondensoituminen
IDA ICE	Dynaaminen simulointiohjelma rakennusten energiatehokkuuden laskentaan	Energiasimulointi, sisäolosuhteet, ilmanvaihto, lämpötila
COMSOL Multiphysics	Monifysikaalinen simulointiohjelma, erittäin laaja-alainen	Lämpö, kosteus, virtaus, rakenteellinen mekaniikka, akustiikka
Delphin	Kosteus- ja lämpösimulointiin tarkoitettu työkalu (saksalainen)	Rakenteiden kosteusliikkeet ja lämpökäyttäytyminen
THERM	2D-lämpövirta-analyysi	U-arvojen, kylmäsiltojen ja rakenteiden lämpösimulointi
AnTherm	3D-lämpösimulointi, erityisesti detaljien tarkasteluun	Kolmiulotteinen lämpövirtaus ja kosteusanalyysiin

Taulukko 12. Mekaanisen käyttäytymisen ja rakenteiden simulointiohjelmat

Ohjelma	Kuvaus	Käyttötarkoitus
Autodesk Fusion 360 / Inventor	Mekaanisten rakenteiden FEM-analyysi, muovien käyttäytyminen	Taivutus, puristus, jännitysanalyysi, plastisuus
Solid Works Simulation	CAD-pohjainen mekaniikkasimulointi	Jäykkyys, taipuma, väsymislujuus, lämpölaajeneminen

ANSYS	Erittäin tarkka monifysikaalinen simulointi	Lujuuslaskenta, värähtely, kuormitusmallinnus, palokäyttäytyminen
ABAQUS	Suunniteltu erityisesti komposiiteille ja epälinearisille materiaaleille	Muovikomposiittien FEM, kytketyt ilmiöt (esim. lämpö+lujuus)
RFEM / RSTAB	Rakenteiden laskentaohjelmisto erityisesti rakennusinsinööreille	Rakennetekninen kuormitus, taipumat, kapasiteetit

Taulukko 13. Palokäyttäytymisen simulointiohjelmat

Ohjelma	Kuvaus	Käyttötarkoitus
FDS (Fire Dynamics Simulator)	NIST:n kehittämä laskennallinen palosimulointi	Savun kulku, palolämpö, tilan kuormittuminen
PyroSim	Graafinen käyttöliittymä FDS:lle	Palosimulointi 3D-mallien avulla
SAFIR	Rakenneosien palonkestävyys FEM-menetelmällä	Teräs-, puu- ja betonirakenteiden palokesto

Taulukko 14. Äänen ja akustiikan simulointi

Ohjelma	Kuvaus	Käyttötarkoitus
INSUL	Yksinkertainen äänenläpäisy- ja eristyslaskuri	Rakenteiden ääneneristävyys
ODEON	Akustiikkasimulointi tiloihin ja saleihin	Äänen eteneminen, jälkikaiunta, absorptio
COMSOL	Myös akustiset simulaatiot	Äänenvaimennus, resonanssit, vaimennuskerroin

5.4.3 Markkina-analyysi

Markkina-analyysi on keskeinen osa uuden tuotteen tuotteistamista ja kaupallistamista. Se toimii siltana innovaation ja markkinoiden välillä: analyysin avulla voidaan selvittää, onko tuotteelle todellista kysyntää, millaisia asiakastarpeita se täyttää, ketkä ovat sen kilpailijat ja millaisessa toimintaympäristössä tuote tulee kilpailemaan. Erityisesti kiertotalouteen perustuvien rakennustuotteiden kohdalla markkina-analyysi on paitsi hyödyllinen myös välttämätön, sillä ala on vielä kehittymässä eikä siihen liittyvä sääntely ole täysin vakiintunutta.

MOOVI-elementti on kierrätysmateriaaleihin pohjautuva rakennusosa, joka on suunniteltu erityisesti sisätilojen rakenteisiin. Sen kehityksessä hyödynnetään kiertotalousperiaatteita, esimerkiksi kotimaista muovijätettä, joka muutetaan kevyeksi, kennomaiseksi komposiittirakenteeksi. Tällainen rakennustuote edellyttää markkina-analyysia, joka kattaa sekä nykyiset että tulevat asiakastarpeet, teknologiset riskit, kilpailukentän, lainsäädännön kehityksen, että vastuullisuusnäkökulmat.

Rakentamisen markkinaympäristö on murroksessa. EU:n European Green Deal -toimintasuunnitelma, kiristyvät rakennusmääräykset ja yritysten vastuullisuusraportointivaatimukset

ohjaavat kehitystä yhä enemmän vähähiilisiin ja uusiomateriaaleihin perustuviin ratkaisuihin. Rakennusalalla tämä näkyy muun muassa julkisten hankintojen vastuullisuuskriteereissä ja suunnittelijoiden kasvavassa kiinnostuksessa materiaalien elinkaareen. Tässä kontekstissa MOOVI-elementillä voi olla selkeä markkinarako, kunhan se täyttää tarvittavat tekniset, ekologiset ja sääntelyyn liittyvät vaatimukset.

Kuitenkin haastatteluissa rakennusalan toimijat ilmaisivat varovaisuutta uusien rakennusmateriaalien käyttöönotossa. Tämä johtuu osittain Suomen tiukasta rakennussääntelystä, mutta myös epävarmuudesta tuotteiden pitkäaikaisesta toimivuudesta. Vaikka tuote näyttäisi lupaavalta laboratorio-olosuhteissa tai teoreettisissa laskelmissa, todellinen luotettavuus mitataan vuosien käyttökokemuksella.

MOOVI-elementin markkina-analyysi haastaa perinteiset lähestymistavat. Sillä ei ole suoraa kilpailijaa: vaikka kierrätysmuovista on valmistettu erilaisia rakennusmateriaaleja kuten Durat, Block Solutions ja Plaex-crete, ei niistä mikään muodosta samalla tavalla kiinteää, kevyttä ja sisäkäyttöön suunniteltua rakennusosaa. Siksi kilpailija-analyysia ei voida suorittaa. (Durat Plus). (Block solution). (Plaex-crete, Tekniikka ja Talous-lehti).

Tuotteen valmistusmenetelmänä tutkitaan 3D-tulostusta, joka mahdollistaa monimutkaisten muotojen ja rakenteiden toteuttamisen. Se on kuitenkin vielä rakentamisessa uusi teknologia, eikä sen tuotanto ole laajassa teollisessa käytössä. Tämä luo sekä mahdollisuuksia että haasteita. MOOVI-elementti voi erottua innovatiivisuudellaan, mutta tarvitsee pilotointikohteita, joissa tuotteen käyttäytymistä voidaan seurata käytännössä.

Rakennustuotteen markkinoillepääsy edellyttää CE-merkintää, kansallisia tuotehyväksyntiä ja testituloksia, jotka varmentavat sen soveltuvuuden rakenteelliseen käyttöön.

MOOVI-elementin markkina-analyysi edustaa monialaista ja monivaiheista prosessia. Se vaatii yhteistyötä tutkijoiden, tuotesuunnittelijoiden, markkina-asiantuntijoiden ja sääntelyelinten kanssa. Tuotteen menestys riippuu siitä, kuinka hyvin analyysissä tunnistetut riskit ja mahdollisuudet voidaan kääntää tuotekehityksen ja liiketoimintastrategian hyödyksi. (Euroopan komissio 2020; Rakennustieto 2024; Ympäristöministeriö 2023.)

Seuraavassa taulukossa on esitetty PESTEL-analyysi MOOVI-elementistä. PESTEL-analyysi on strategisen suunnittelun työkalu, jota käytetään yrityksen tai tuotteen toimintaympäristön kartoittamiseen. Sen avulla tunnistetaan makrotason ulkoiset tekijät, jotka voivat vaikuttaa organisaation toimintaan, päätöksentekoon ja menestykseen. PESTEL on lyhenne kuudesta näkökulmasta: **P** – Poliittiset tekijät (*Political*), **E** – Taloudelliset tekijät

(*Economic*), **S** – Sosiokulttuuriset tekijät (*Social*), **T** – Teknologiset tekijät (*Technological*), **E** – Ekologiset tekijät (*Environmental*) ja **L** – Lainsäädännölliset tekijät (*Legal*)

Taulukko 15. MOOVI-elementin PESTEL-analyysi

Tekijä	Vaikutukset MOOVI-elementtiin
P = Poliittiset	<p>EU:n European Green Deal -ohjelma ja Suomen kansallinen kiertotalousstrategia tukevat uusiomateriaaleihin perustuvien rakennustuotteiden kehitystä.</p> <p>Rakennusalan sääntely on tarkkaa (CE-merkintä, tuotehyväksynät), mikä luo sekä esteitä että mahdollisuuksia innovatiivisille tuotteille.</p> <p>Julkisten rakennushankkeiden hankintakriteerit sisältävät yhä enemmän ympäristötavoitteita, mikä suosii kestäviä ratkaisuja.</p>
E = Taloudelliset	<p>Kiertotalouteen ja rakennusten päästövähennyksiin suunnattuja tukia ja investointeja on saatavilla EU- ja kansallisella tasolla.</p> <p>Rakennusalan suhdanteet vaikuttavat suoraan tuotteiden kysyntään.</p>
S = Sosiokulttuuriset	<p>Kasvava kuluttajien ja rakentajien kiinnostus vastuullisiin ja vähähiilisiin ratkaisuihin.</p> <p>Asumisviihtyvyys, kuten hyvä ääneneristys, on noussut tärkeäksi valintakriteeriksi.</p> <p>Kiertotalous ja materiaalien uudelleenkäyttö nähdään positiivisena brändi- ja markkinointitekijänä.</p>
T = Teknologiset	<p>3D-tulostus mahdollistaa yksilölliset ja modulaariset rakenteet, joilla voidaan korvata perinteisiä ratkaisuja.</p> <p>Muovikomposiittien valmistus vaatii kehittynyttä materiaaliteknologiaa ja testausosaamista.</p> <p>Simulointiohjelmat tukevat tuotteiden kehittämistä ja ominaisuuksien mallinnusta ilman täysimittaista koerakentamista.</p>

E = Ekologiset	<p>Materiaalien kierrätys ja uusiokäyttö vähentävät neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja pienentävät hiilijalanjälkeä.</p> <p>Tuotteiden koko elinkaaren kestävyys ja ympäristövaikutukset (LCA) tulevat yhä tärkeämmiksi.</p> <p>Ympäristösertifikaatit (esim. RTS, BREEAM, LEED) voivat tukea tuotteiden hyväksyntää ja valintaa rakennushankkeissa.</p>
L = Lainsäädännölliset	<p>Tuotteelle tarvitaan kansalliset ja/tai eurooppalaiset tuotehyväksyn- nät.</p> <p>Kemikaalilakeja ja asetuksia on noudatettava. Suomessa tuotetu- tanto on myös säänneltyä toimintaa kuten rakentaminenkin.</p>

5.4.4 Markkinoille saattaminen-asettaminen

Rakennustuotteiden markkinoille saattaminen edellyttää, että tuote täyttää kansalliset ja mahdollisesti EU:n asettamat vaatimukset. Suomessa rakennustuotteiden on oltava uuden Rakentamislain sekä rakentamismääräysten mukaisia käyttötarkoituksensa perusteella (Ympäristöministeriö, 2020).

Markkinoille saattaminen tarkoittaa tuotteen ominaisuuksien määrittämistä, testaamista ja dokumentointia, jotta tuotteen soveltuvuus käyttötarkoitukseensa voidaan osoittaa. Markkinoille asettaminen puolestaan liittyy tuotteen tarjoamiseen markkinoille myyntiä varten, esimerkiksi CE-merkinnän tai muun tuotehyväksyntämenettelyn avulla. Hyväksynnän lisäksi tuotteelta edellytetään usein valmistajan omaa laadunhallintajärjestelmää, jolla varmistetaan tuotannon ja lopputuotteen tasalaatuisuus (Tukes, 2023).

Koska MOOVI-elementille ei ole olemassa harmonisoitua eurooppalaista standardia (hEN), sitä ei voida CE-merkitä tämän menettelyn kautta. Vaihtoehtoisesti voidaan soveltaa ETA-menettelyä (European Technical Assessment), jos tuotteen tekniset ominaisuudet voidaan todentaa soveltuvan EAD-menettelyn (European Assessment Document) kautta. Jos valmis EAD on olemassa ja sopii MOOVI-elementtiin, voidaan se CE-merkitä tämän perusteella (EOTA, 2024).

Uusien innovaatioiden, kuten MOOVI-elementin, kohdalla sovelletaan jo olemassa olevia testausstandardeja, joita voidaan soveltaa tuotteen ominaisuuksien määrittämiseen. MOOVI-elementin ensisijainen käyttötarkoitus on äänieristävä ja kevyt väliseinä, joten sen

osalta tarvitaan testauksia ainakin ääneneristyksestä (EN ISO 10140), palokäyttäytymisestä (EN 13501-1), mekaanisesta kestävyydestä sekä emissioista sisäilmaan (esim. M1-luokitus tai EN 16516).

Paloturvallisuus on yksi rakennustuotteen keskeisistä ominaisuuksista. Tuotteen palokäyttäytyminen luokitellaan standardin EN 13501-1 mukaan, jossa arvioidaan muun muassa syttyvyyttä, liekin leviämistä, savunmuodostusta ja palavia pisaroita. Palotilanteessa tuotteesta ei saa vapautua myrkyllisiä päästöjä, eikä sen tule edistää palon leviämistä esimerkiksi sulamalla tai tiputtelemalla palavia pisaroita (RIL 245-2022; Rakennustieto, 2023).

MOOVI-elementti on uusi, kiertotalouden periaattein kehitetty rakennustuoteinnovaatio, joka vaatii markkinoille pääsyynsä tarkkaan suunnitellun hyväksyntäprosessin. CE-merkintä voidaan mahdollisesti toteuttaa ETA/EAD-menettelyllä. Teknisten ominaisuuksien määrittämiseen ja tuotehyväksyntään tulee soveltaa soveltuvia olemassa olevia standardeja. Jos mahdollista, voidaan hakea myös tuotesertifikaatti joltain akreditoitulta laitokselta, mikäli CE-merkintä ei ole ensivaiheessa mahdollinen. Rakentamisessa voidaan rakennustuotteita tai -tuotejärjestelmiä varmentaa käyttötarkoituksiinsa rakennuspaikkakohtaisella varmennuksella, joka on Suomen tuotehyväksyntälain mukainen kansallinen tuotehyväksyntämenetelmä. Jos MOOVI-elementillä on pätevien laitoksien todentamat ja vaaditut tekniset ominaisuudet, voidaan elementillä rakentaa, kun sen kelpoisuus käyttötarkoitukseen voidaan osoittaa.

5.4.5 MOOVI-elementin arviointiperusteet

Arviointiperusteet perustuvat Suomen kansalliseen tuotehyväksyntämenetelmään Varmennustodistukseen. Arviointiperusteiden avulla ohjeistetaan valmistajia tuotteen tai tuotejärjestelmän teknisten ominaisuuksien arviointiin ja ilmoittamiseen, kun muuta hyväksyntämenetelmää ei ole saatavilla. (Ympäristöministeriö 2025.)

Tällaiset arviointiperusteet on laadittu erityisesti tuoteryhmille, joilta puuttuu harmonisoitu eurooppalainen tuotestandardi tai muu CE-merkintään oikeuttava tekninen spesifikaatio. Niiden avulla on mahdollista osoittaa tuotteen kelpoisuus ilman, että se edellyttää rakennuspaikkakohtaista arviointia, mikä on muutoin välttämätöntä CE-merkinnän puuttuessa.

Liitteessä 1 esitetään MOOVI-elementille luonnos arviointiperusedokumentiksi, jonka avulla voidaan varmentaa tuotteen tekniset ominaisuudet sen suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Vaikka dokumentilla ei voi hakea virallista Varmennustodistusta, sen avulla

voidaan pätevien osapuolten, kuten akkreditoitujen laboratorioiden toteuttamana todentaa MOOVI-elementin ominaisuudet ja osoittaa sen soveltuvuus tiettyyn rakennuskohteeseen. (Ympäristöministeriö 2025).

Arviointiperusteet mahdollistavat todentaa MOOVI-elementin tekninen suorituskyky sellaisessa tuoteryhmässä, jolta puuttuu CE-merkintään oikeuttava harmonisoitu standardi. Tämä menettely parantaa tuotteen hyväksyttävyyttä rakennushankkeissa ja toimii pohjana jatkokehitykselle mm. ETA-hyväksynnän hakemiselle. MOOVI-elementin arviointiperusteet-dokumenttia ja sen toimenpiteitä voidaan käyttää rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen toteuttamisessa. Rakennuspaikkakohtainen varmennus on virallinen ja lainmukainen Suomen kansallinen tuotehyväksyntämenetelmä, jota käytetään sellaisissa tapauksissa, missä tuotteen kelpoisuutta käyttötarkoitukseensa ei kyetä millään muulla tavoin osoittamaan (Ympäristöministeriö 2025).

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän YAMK-opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millaisia raaka-aineita, tuotanto- ja tutkimus-arviointimenetelmiä voitaisiin hyödyntää MOOVI-nimisen kiertotalouden mukaisen rakennustuotteen kehittämisessä siten, että tuote täyttäisi rakentamisen tekniset vaatimukset. Työssä tarkasteltiin tuotteistamisen alkuvaiheita, kuten raaka-aineiden soveltuvuutta, komposiittimateriaalien teknisiä ominaisuuksia sekä rakennustuotteen markkinoille saattamisen edellyttämiä menettelyjä Suomessa ja EU:n jäsenvaltioiden alueella.

Muovijätteen hyödyntäminen komposiittirakennustuotteiden valmistuksessa voi mahdollistaa sekä ympäristön kannalta kestäviä että teknisesti tarkoituksenmukaisia rakennusratkaisujen kehittämiseen. MOOVI-elementin osalta selvitetään edelleen tämän opinnäytetyön aikana, että jälkeen, tuotantomenetelmiä ja teknisiä ominaisuuksia. Tämän työn tarkoituksena oli koota tieto tuotteistamiseen ja selvittää millaisia menetelmiä voitaisiin tuotteistamiseen käyttää. Lisäksi etsittiin sopivaa tuotehyväksyntädokumenttimallia. MOOVI-elementti on materiaaliratkaisuna potentiaalinen erityisesti kevyiden väliseinäratkaisujen kontekstissa, sillä sen suunnittelussa pyritään ottamaan huomioon hyvä ääneneristys, keveys sekä asennuksen helppous, ominaisuudet, jotka tukevat asumisviihtyvyyttä ja rakennustyömaiden tehokkuutta.

Työssä hyödynnettiin ajankohtaista kirjallisuutta, säädöspohjaa sekä asiantuntijalähteitä. Lisäksi opinnäytetyö ankkuroituu Metropolia-ammattikorkeakoulussa toteutettuun IHME-innovaatiokilpailuun, jossa moniammatillinen oppilasryhmä innovoi uutta rakennustuotetta. IHME-kilpailun teema oli asumisviihtyvyyden parantaminen. Teemaa ei ollut muutoin rajattu. Kilpailun palkinnon rahallisen osan lisäksi oli Metropolia Ammattikorkeakoulun apu MOOVI-elementin tutkimiseen ja kehittämiseen tuotteeksi. Lisäksi MOOVI-elementin ympärillä on tehty työtä muissa innovaatioprojekteissa ja opinnäytetöissä. MOOVI-elementti on siis tuottanut paljon opintopisteitä ja toivottavasti tuottaa tulevaisuudessa myös arvoa rakentamiseen.

MOOVI-tuotteelle ei ole vielä suoritettu rakennustuotteilta edellytettäviä teknisiä testauksia (kuten paloluokitus, puristuslujuus, akustinen suorituskyky). Tämän vuoksi osa johtopäätöksistä jää ennakoiviksi, ja tuotteen markkinakelpoisuus voidaan lopullisesti varmistaa vasta jatkotestauksen ja hyväksyntäprosessien jälkeen. MOOVI-elementin puitteissa töitä on tehty jo kohta 2 vuotta ja työ jatkuu edelleen.

Kiertotalouslähtöisen tuotekehityksen eettinen ulottuvuus liittyy keskeisesti luonnonvarojen säästämiseen, ympäristövaikutusten minimointiin ja uusiomateriaalien turvalliseen

hyödyntämiseen. MOOVI-hankkeen eettinen arvo korostuu erityisesti siinä, että se pyrkii ehkäisemään muovijätteen ympäristöhaittoja samalla, kun se mahdollistaa rakennusalalle uudenlaisen materiaalikonseptin.

Jatkotutkimuksen osalta suositellaan seuraavia toimenpiteitä: MOOVI-komposiittielementin ominaisuuksien todentaminen ja hyväksyminen kansallisten ja eurooppalaisten rakennusstandardien mukaisesti (esim. EN-standardit, Ympäristöministeriön asetukset), European Assessment Document (EAD) -prosessin käynnistäminen tuotteen mahdollista CE-merkintää varten, elinkaariarviointi (LCA) tuotteen ympäristövaikutusten määrittämiseksi, koe-käyttö rakennusprojekteissa esimerkiksi väliseinäratkaisuina, yhteistyön syventäminen kiertotalousverkostojen ja korkeakoulujen kesken, erityisesti tuotannon skaalaamisen 3D-tulostusteknologian osalta. 3D-tulostamisen tuotannon mahdollisuus ja tuotannon varmentamisen toimenpiteet olisi selvitettävä. Rakentamisen tuotetuotanto 3D-tulostamisella ei ole vielä yleistä maailmanlaajuisestikaan.

MOOVI-konseptin jatkokehittäminen on perusteltua sekä ekologisesti, teknisesti että markkinataloudellisesti. Tämä opinnäytetyö toimii pohjana jatkoprojekteille ja kaupallistamistoimenpiteille, joiden tavoitteena on kehittää muovijätettä hyödyntävä, testattu ja hyväksytty rakennusmateriaali pysyvään rakentamiseen. Näin ollen työ tukee kestävän kehityksen periaatteiden mukaista innovaatiotoimintaa rakennusalalla ja vastaa ajankohtaisiin ympäristö- ja materiaalikysymyksiin.

Lähteet

Apunen, Antti, kirjoittaja; Parantainen, Jari, kirjoittaja, 1961-Talentum 2014. Antti Apunen & Jari Parantainen. Tuotteistajan taskuraamattu / Antti Apunen & Jari Parantainen.

Betoni. Rakennusten elinkaari. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://betoni.com/pe-rustietopaketti/ekologisuus/rakennuksen-elinkaari/?utm_source=chatgpt.com

Biotalous. Sahanpuru – arvokas sivuvirta - Biotalous - Bioeconomy. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa <https://www.biotalous.fi/sahanpuru-arvokas-sivuvirta/>

Brydson, J. A. 1999. *Plastics Materials* (7th ed.). Butterworth-Heinemann.

Buswell, R.A., Leal de Silva, W.R., Jones, S.Z., & Dirrenberger, J. 2018. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*.

Circuwaste. Kiertotalousratkaisuja. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://kiertotalousratkaisuja.syke.fi/circuwaste/>

Clemons, C. 2002. Wood–plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*, 52(6), 10–18.

Durat Plus. Uusi Durat Plus sisältää noin 50 % kierrätysmateriaalia. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [Uusi Durat Plus sisältää noin 50 % kierrätysmateriaalia | RakennusFakta.fi](#)

Dj Molding. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [Mikä on muovin ruiskuvalu - muovin ruiskupuristusvalmistaja](#)

Ellen MacArthur Foundation. 2015. *Circular Economy and Material Circularity Indicators*.

Ellen MacArthur Foundation. 2016. *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics*.

EOTA. 2024. European Organisation for Technical Assessment. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa <https://www.eota.eu>.

European Commission. *Circular Economy Action Plan 2020*. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa [EU Greenddeal Circular economy en.pdf](#)

European Forest Institute. (2023). *Alternative Fibres in Construction*. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [New EFI report on wood-based textiles & modern wood buildings | European Forest Institute](#)

Eurokoodi-sarja (EN 199x) – Rakenteiden mitoitus eri materiaaleilla. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [Help desk](#)

Fingrid. Kestävää teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureja. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/yritysvastuu/liiketoiminnan-vaikutus-ykn-kestavan-kehityksen-periaatteisiin/kestavaa-teollisuutta-innovaatioita-ja-infrastruktuureja/>

Fortum. Kierrätysmuovigranulaatit. Viitattu 22.02.2025. Saatavissa <https://www.fortum.com/fi/kierratys-ja-jate/kierratysmuovigranulaatit>

GRS, Global Recycled Standard. Viitattu 13.4.2025. Saatavissa https://icea.bio/en/certifications/non-food/biological-and-sustainable-textile-products/global-recycled-standard/?utm_source=chatgpt.com

Helsinki. Testbed. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://testbed.hel.fi/kiertotalous/kiertotalouden-rakennusmateriaaleja-on-yha-enemman-tutustu-raporttiin-markkinatilanteesta/?utm_source=chatgpt.com

Helsingin kaupungin kaupunkitilaohje. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://kaupunkitilaohje.hel.fi/kortti/kestava-kaupunkitila/>

Higg tools. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa <https://cascale.org/tools-programs/higg-index-tools/>

HSY. Rakentamisen kiertotalous - HSY. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa [Rakentamisen kiertotalous - HSY](#)

Ilmasto-opas.fi. Ilmastonmuutos kiihdyttää puiden kasvua Suomessa. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutos-kiihdyttaa-puiden-kasvua-suomessa#ref_PEL04

Järvinen, J., & Lehtonen, T. 2016. Tuotteistaminen – Ideasta tuotteeksi ja palveluksi. Talentum Pro.

Kaksiruuviekstruuderilla työstetään uusiomuovia. Ida Määttä 2020. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [Kaksiruuviekstruuderilla työstetään uusiomuovia - LAB Focus](#)

Kira Circularis -hanke. Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden tuotteet, palvelut ja innovaatiot. Viitattu 09.02.2025. Saatavissa <https://www.metropolia.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hankkeet/kira-circularis>

Klyosov, A. A. 2007. Wood–Plastic Composites. Wiley-Interscience.

Kuntaliitto. Kestävä kehitys. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://www.kuntaliitto.fi/kuntajohtaminen-ja-digitalisaatio/kestava-kehitys?utm_source=chatgpt.com

Kuntaliitto. Sosiaalinen kestävyys. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://www.kuntaliitto.fi/hyvinvointi-ja-sivistys/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistaminen/sosiaalinen-kestavyys>

LKAB. Viitattu 6.4.2025. Saatavissa <https://www.lkabminerals.com/news/responsible-sourcing-mica/>

Lounais-Suomen jätehuolto. Viitattu 22.02.2025. Saatavissa <https://www.lsjh.fi/>

Mallick, P. K. 2007. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. CRC Press.

Metropolia Ammattikorkeakoulu. 2024. Metropolia sai kansainvälisen tunnustuksen Maailman talousfoorumilta. Viitattu 09.02.2025. Saatavissa <https://www.metropolia.fi/fi/metropoliasta/ajankohtaista/uutiset/metropolia-sai-kansainvalisen-tunnustuksen-maailman-talousfoorumilta>

Migneault, S., Koubaa, A., Erchiqui, F., Chaala, A., Englund, K., & Wolcott, M. P. (2009). Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 113(2), 1230–1241.

- Motiva. Energian käyttö Suomessa. Energiatehokkuus. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus/energiankaytto_suomessa
- Motiva. Materiaalitehokkuus. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://www.motiva.fi/ratkaisut/materiaalitehokkuus>
- Muoviteollisuus ry. Viitattu 6.4.2025. Saatavissa <https://plastics.fi/muovitieto/muovit/>
- OEPIN Technology. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa [Puhallusmuovaus - Oepin](#)
- Parantainen, J. 2007. Tuotteistaminen: Rakenna palvelusta tuote 10 päivässä. Talentum.
- PlasticsEurope. 2021. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa <https://plasticseurope.org>
- Purusta Arvoa Suomelle - LUT Research Portal Converis - LUT University. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa [Purusta Arvoa Suomelle - LUT Research Portal Converis - LUT University](#)
- Recover fiber. Viitattu 13.4.2025. Saatavissa https://recoverfiber.com/newsroom/what-is-grs?utm_source=chatgpt.com
- RIL 245-2022. Rakennusten paloturvallisuus – Suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- Rosato, D. V., & Rosato, D. V. 2000. Plastic Product Material and Process Selection Handbook. Elsevier.
- Sitra. Etusivu - Sitra. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa [Etusivu - Sitra](#)
- Sitra. 2020. Kiertotalouden mahdollisuudet rakentamisessa. Viitattu 4.6.2025. Saatavissa <https://www.sitra.fi>
- Stark, N. M., & Rowlands, R. E. 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood and Fiber Science, 35(2), 167–174.
- Stora Enso. Ligniini. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin>
- Suomen kestävän kehityksen toimikunta. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://kestavakehitys.fi/etusivu>
- Syklo. Viitattu 6.4.2025. Saatavissa <https://syklo.fi/tuotteet/kierratysmuovigranulaatti/>
- Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://thl.fi/aiheet/hyvinvoinnin-ja-terveyden-edistamisen-johtaminen/yhdenvertaisuuden-edistaminen/yhdenvertaisuussuunnittelu>
- Tukes. 2023. Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://tukes.fi/rakennustuotteet>.
- Upton, B. M., & Kasko, A. M. 2016. Strategies for the conversion of lignin to high-value polymeric materials: Review and perspective. Chemical Reviews, 116(4), 2275–2306.

WPC. UPM launches WPC for molding. Viitattu 24.5.2025. Saatavissa <https://www.plasticsnews.com/article/20111109/NEWS/311099995/finland-s-upm-launches-wpc-for-molding>

YK, Yhdistyneet Kansakunnat. Agenda 2030. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa [Kestävä kehitys | Suomen YK-liitto](#)

Suomen YK-Liitto 2025. Kestävän kehityksen tavoitteet. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys#tavoitteet>

Ympäristöministeriö. 2020. Rakennustuotteiden hyväksyntäjärjestelmä Suomessa. <https://ym.fi/rakennustuotteet>.

Ympäristöministeriö. Jätelainsäädäntö. 2025. Viitattu 22.02.2025. Saatavissa <https://ym.fi/jatelainsaadanto>

Ympäristöministeriö. Mitä on kestävä kehitys. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys?utm_source=chatgpt.com

Ympäristöministeriö. Rakennusten energiatehokkuus. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>

Ympäristöministeriö. Rakennustuoteasetus. Viitattu 4.5.2025. Saatavissa <https://ym.fi/-/eu-n-rakennustuoteasetus-voimaan-7.-tammikuuta-2025>

ZDHC (Zero Discharge of Hazardous Chemicals). Viitattu 4.6.2025. Saatavissa <https://chem-map.com/zdhc-mrsl/>

LIITE 1 MOOVI-elementin arviointiperusteet

Arviointiperusteet ovat luonnosvaiheessa, joka viimeistellään MOOVI-elementin tuotteistamisen edetessä.

Soveltamisala

Nämä arviointiperusteet koskevat muovikomposiittielementtejä, joista voi toteuttaa kevyitä ääneneristäviä väliseiniä. Elementit ovat valmistettu uusioraaka-aineista. Rakennusosat voivat olla mitä tahansa väliseiniä, mutta ei kantavia rakenteita. Elementeistä voidaan toteuttaa myös märkätilarakenteita.

Valmistaja esittää rakennusosien käyttöalueen ja myös rajaukset käyttökohteista, joihin rakenneosia ei voida käyttää.

Tuotteiden varmentamisen edellytyksenä ovat seuraavat toimenpiteet:

(Seuraavat toimenpiteet suoritetaan, kun prototyyppejä ja koekappaleita saadaan 3D-tulostettua ja tuotantoa on aloitettu niin, että sille on järkevää laatia laadunhallintajärjestelmää.)

- alkutestaus- ja sen tulosten arviointi,
- valmistajan suorittaman laadunvarmistuksen ja valmistusmenetelmän alkukatselmus,
- valmistajan suorittama jatkuva laadunvarmistus sekä/tai muun laadunvalvonnan varmentajan suorittama kolmannen osapuolen valvonta. (Kolmas osapuoli tarkoittaa ilmoitettua tai akreditoitua laitosta.) (Suomen yksi kansallinen tuotehyväksyntämenetelmä on myös Valmistuksen laadunvalvonta, jonka voi suorittaa Ympäristöministeriön valtuuttama sertifiointi- tai muu laitos (laboratoriot yms.)). (Ympäristöministeriö 2025).

1. Tuotekuvaus

Muovikomposiittielementti on 100–150 mm paksu, 200–500 mm korkea ja 200–500 mm leveä. Elementti 3D-tulostetaan. Elementin sisälle tulostetaan kennosto, joka toimii ääneneristeenä. Elementeistä voidaan rakentaa huoneistojen tai tilojen kevyitä ja väliseiniä. Elementillä ei saa toteuttaa kantavia rakenteita. (Märkätilaväliseiniä ja kantavia rakenteita tutkitaan ja kehitetään seuraavissa projekteissa.)

2. Tuotteen ja sen laadunvalvonnan vaatimukset

a. Vaatimukset suunnittelulle

Kevyen väliseinän rakennuskohteen vaatimuksissa ei varsinaisesti ole vaatimuksia: tässä tapauksessa kuitenkin ääneneristävyys on yksi haluttu ominaisuus. Suunnittelussa on otettava huomioon palo-osastoinnit ja muut rakennuskohteen vaatimukset. Suunnittelussa ja toteutuksessa noudatetaan Suomen Rakentamismääräyksiä ja suunnitellaan Eurokoodien mukaisesti.

Märkätiloja suunnitellaan Suomessa seuraavan asetuksen mukaisesti: Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, 782/2017

b. Materiaalivaatimukset

Lopputuotteen raaka-aineina käytetään uusioraaka-aineita. Muovipellettejä, jotka sisältävät jätemuovia tai muuta uusio- tai teollisuuden sivutuotteita tai ylijäämämateriaalia. *MOOVI-elementin kehitystyön edetessä tätä dokumenttia täydennetään. Raaka-aineista kokeillaan erilaisia massoja ja tuotetaan pellettejä 3D-tulostamiseen. Esimerkkinä seuraava standardi ja standardit haetaan käyttöön tarkoitusten mukaisesti.*

SFS-EN ISO 527-1:2019 Muovit. Veto-ominaisuuksien määrittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet

c. Rakennusosille asetetut vaatimukset

Tässä opinnäytetyössä kappaleessa 5.4.1 Tekniset ominaisuudet selvitetään, millaisia testejä ja laskelmia sovelletaan seuraavien vaatimusten todentamiseksi. *MOOVI-elementin tuotekehityksen edetessä tämä tuotehyväksyntädokumentti päivitetään saaduilla tuloksilla ja sovelletuilla standardeilla ja ohjeilla. Asetetaan vaatimuksille raja-arvoja, luokkia tms., joilla voidaan uutta MOOVI-elementtiä tuottaa ja rakentamisessa osoittaa kelpoisuutta käyttötarkoitukseensa.*

Elementin mitat: 100–150 mm leveä, 200–500 mm leveä ja korkea

Elementin rakenne: elementin sisäosa on kennosto ja elementin molemmat seinäsviivat ovat 5–10 mm paksuinen levy ja päädyt ovat pontilliset

Ääneneristävyys: standardien, simulointiohjelmien ja tuotetestien mukainen arvo: Sovelletaan standardia EN ISO 12354-1 ilmanääneneristävyys teoreettisesti arvioiden asuinrakennusten väliseinistä ja ulkovaipoista.

Arvioidaan lopputuotteen mukaisesti. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman äänieristävä tuote.

Sovelletaan standardeja SFS-EN ISO 10140-2, SFS-EN ISO 717-1 ja SFS-EN ISO 354 tutkimuksiin ja arviointeihin.

Arvioidaan ja todennetaan MOOVI-elementin kehitystyön edetessä.

Palokäyttäytyminen: Suomen Rakentamismääräysten mukaisesti:

Luokkiin liitetään myös savuntuotto- ja pisaramuodostusluokat:

s1, s2, s3 (savu) ja d0, d1, d2 (palavat pisarat).

EN ISO 11925-2 syttyvyydesti (Single flame source test)

EN 13823 – SBI standardin mukaisessa testissä (Single Burning Item) koko rakennusosaa testataan simuloitussa palotilanteessa. Tuloksista saadaan selville tuotteen lämpökehitys, savun muodostuminen ja palon leviäminen.

Arvioidaan ja todennetaan MOOVI-elementin kehitystyön edetessä:

EN 13501-1 Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus

EN ISO 11925-2 Pienten liekkien syttyvyydesti

EN 13823 SBI (Single Burning Item) -testi

EN ISO 1182 Palamattomuuden määrittäminen

RT 84-10825 Rakennustuotteiden palokäyttäytyminen

VTT / Eurofins Paloluokitustestien akkreditoidut laboratoriot Suomessa

tai Rakennustuoteasetus (EU 305/2011) CE-merkintä ja tuotehyväksyntäprosessi

Puristus- ja taivutuslujuus:

Puristuslujuus:

ISO 604 – Plastics — Determination of compressive properties

ASTM D695 – Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics

EN 12390-3 – Testing hardened concrete — Compressive strength of test specimens (betonille)

RT 21-10983 – Rakennustieto: Rakennustuotteiden mekaaniset ominaisuudet

Taivutuslujuus:

ISO 178 – Plastics — Determination of flexural properties

ASTM D790 – Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

EN 63-41 (Suomessa käytettävissä komposiittimateriaaleissa)

Ripustuslujuus:

EN 13115 Doors — Mechanical strength — Requirements and test methods (sisältää ripustuskuorman testausmenetelmiä, sovellettavissa seinärakenteisiin)

EN 15283-1 Gypsum boards — Definitions, requirements and test methods (esim. ripustuskyvyn testaus kipsipohjaisille tuotteille)

EN 1990–1999 (Euro-koodit) Kantavuuden ja kuormien määrittäminen

RT 21-11119 – Kevyiden väliseinien ripustuslujuus. Rakennustieto-ohjekortti, soveltuu erityisesti sisäseinäratkaisuille

BY 65 – Ripustuslujuuden suunnitteluohje (RIL) Suunnitteluohjeisto seinien kuormitukselle

ETA-ohjeet, jos tuotteella haetaan CE-merkintää, voidaan määrittää ripustuslujuus ETA-arvion kautta (esim. EAD 090062-00-0404: "Wall lining kits").

Kosteudenkestävyys:

ISO 62 – Plastics — Determination of water absorption

ASTM D570 – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics

EN 1609 – Thermal insulating products for building applications — Determination of short-term water absorption by partial immersion

EN ISO 12572 – Building materials — Hygrothermal performance — Determination of water vapour transmission properties

Rakennustieto RT-kortit – esim. RT 21-10984: Rakennustuotteiden kosteustekniset ominaisuudet

Kierrätettävyyden arviointi: Materiaalikoostumusanalyysi ja elinkaarianalyysi (LCA)

Tekninen: Materiaalin käsittelykelpoisuus, ISO 22628, materiaalitestaukset

Taloudellinen: Kustannukset ja markkinat, EU Circular Economy Plan, WRAP

Ympäristöllinen: Ympäristövaikutukset LCA:n avulla ISO 14040, ReCiPe, EMF MCI

3. Suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen

Rakennustuotteen kelpoisuuden osoitus käyttötarkoitukseensa:

Tarkasta tuotteiden tuotannon laadunhallintajärjestelmä. Se voi olla valmistajan oma laatima tai jonkun sertifiointi- tai muun laitoksen tai asiantuntijan laatima dokumentti. Dokumentissa pitää käydä selväksi se, miten tuotantoa valvotaan ja lopputuotteiden laatua.

Tarkista kaikki mahdollinen tutkimustieto, jonka valmistaja haluaa toimittaa nähtäväksi.

a. Lähtötiedot

- Valmistuspaikkatiedot
- Tuotekuvaus, piirustukset käsittäen materiaalitiedot ja käyttökohteet

- Suunnittelutiedot
- Kohdan 3 edellyttämän alkutestauksen arviointi-, luokitus- ja testiraportit sekä muut selvitykset.
- Selvitys tehtaan oman laadunvalvonnan rakenteesta ja ohjeistuksesta.
- Mahdolliset muut selostukset ja raportit
- Kuljetus- ja varastointiohjeet
- Käyttö- ja huolto-ohjeet

b. Valmistuksen sisäisen laadunvalvonnan alkukatselmus

Valmistajalla tulee olla kirjallisesti kuvattu tuotannon laadunvalvontajärjestelmä. Tehtaan laadunvalvonta katselmoidaan dokumenteista ja käymällä myös tehtaalla. Tarvittaessa tehdaskäynnin yhteydessä otetaan näytteitä testattavaksi.

Tehdaskäynnillä tarkastetaan sisäisen laadunvalvonnan toimivuus, ohjeistus, mittausvälineet, mittavälineiden kalibroinnit, reklamaatioiden käsittelytapa, organisaatio ja laadunvalvontavastuut.

Tuotantolaitteista tarkastetaan niiden ympäristöolosuhteet (soveltuvuus tasalaatuisen tuotantoon) ja kunto (saavutetaanko toleranssit).

Lisäksi tarkastetaan raaka-aineiden vastaanottomenettely ja niiden vaatimukset ja työntekijöiden koulutus.

Valmistajalla tulee olla ohjeistus ja dokumentointi vähintään seuraavista asioista:

- Sisään tulevan raaka-aineen tarkistusmenettelyohje ostoerittäin
- Valmiiden, ulos lähtevien tuotteiden testaus-/ tarkastus-/ hyväksyntäohje
- Laadunvalvontatulosten dokumentointi
- Reklamaatioiden käsittelymenettelystä

4. Jatkuva laadunvalvonta

Valmistajan sisäinen laadunvalvonta ja ulkoisen laadunvalvonnan varmentaminen:

Laadunvarmistus koostuu valmistajan sisäisestä laadunvalvonnasta ja ulkopuolisesta laadunvalvonnan varmentamisesta. Tuotteiden laatu varmistetaan sekä valmistuksen että tuotteiden laadunvalvonnalla.

Valmistajan sisäisessä laadunvalvonnassa seurataan lopputuotteen raaka-aineiden ominaisuuksia niiltä osin kuin niitä käytetään suunnittelussa. Ominaisuudet ja menetelmät ovat tarkemmin kirjatut laadunvalvontajärjestelmään.

Tuotannon ulkoinen laadunvalvonta toteutetaan vähintään kerran vuodessa tehtaalla. Valvonnassa tarkastetaan valmistajan laadunvalvonnan toteutuminen sekä mahdollisesti sattunnaisesti valitussa työkohteessa käytössä olevat työskentelymenettelyt ja niiden ohjeidenmukaisuus.

Varmentamisessa tarkastetaan käytössä olevat menettelyt ja niiden ohjeidenmukaisuus sekä sisäisen laadunvalvonnan tulokset. Valvonnan yksityiskohdat esitetään laadunvalvontajärjestelmässä.