



Euroopan unionin
osarahoittama



Uudenmaan liitto
Nylands förbund



HÄMEEN LIITTO
Regional Council of Häme



BIM-tietosisällöt rakennusosien uudelleenkäyttöä ja rakennuksen purkamista varten

Digipurku-hanke

2025-05-05

Tiivistelmä

Digipurku-hankkeen tavoitteena oli kehittää tapoja esittää rakennusosien uudelleenkäytön, materiaalien kierrätyksen sekä rakennuksen purkamisen kannalta olennaisia tietoja siten, että ne on kytketty rakennuksen IFC-muodossa esitettyyn BIM-malliin. Tässä raportissa käydään läpi vaatimukset tähän käyttötapaukseen liittyville tiedoille, erilaiset tietojen lähteet, kiinnostavimmat olemassa olevat julkiset määritykset näille tiedoille, sekä tietojen tekniset esitystavat. Raportin lopussa käydään läpi sitä, mikä EU:ssa kaavaillun digitaalisen tuotepassin rooli voisi olla uudelleenkäytön ja purkamisen näkökulmasta. Tässä raportissa ei siis ehdoteta uutta määrittelyä uudelleenkäyttö- ja purkutiedoille, vaan pyritään tunnistamaan ja hyödyntämään olemassa olevia tiedonesitystapoja ja määrityksiä.

Osa Digipurun uudelleenkäytön ja purkamisen käyttötapauksessa tarvittavista tiedoista voidaan suoraan esittää IFC-mallissa: osat, niiden tyypit, tunnisteet, geometriat, sijainnit, määrät sekä joukko osien yleisiä attribuutteja. Merkittävä osa BIM-mallien uusiin käyttötapauksiin liittyvistä tiedoista pitää kuitenkin esittää IFC-mallin sisältämiin rakennusosiin lyhemmin kytkettyjen ominaisuuksien avulla. Tältä osin standardointi ja työkalutuki on vielä voimakkaassa ja osin jopa kaoottisessa kehitysvaiheessa, jota luonnehtii lukuisat tutkimushankkeet, säädäntäprosessit ja päällekkäiset kehitysideat. Lähivuosien aikana selviää, mitkä käytännölliset ratkaisut tulevat saavuttamaan laajimman hyväksynnän ja merkittävimmän aseman.

Tällä hetkellä uusiin käyttötapauksiin – kuten uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen – liittyvät ominaisuudet on teknisellä tasolla järkevintä esittää joko

1. IFC-mallin ominaisuusjoukoissa (*property set*) tai
2. ulkoisessa IFC-malliin linkitetystä taulukossa tai tietokannassa.

Ominaisuusjoukkoihin perustuvan lähestymistavan etu on se, että olemassa olevat BIM-mallien käsittelyä ja visualisointia tukevat ohjelmistot voivat suoraan käsitellä tällaisia uusiakin ominaisuusjoukkoja. Ominaisuuksien esittämistapa on määritelty standardeissa ISO12006-3 ja ISO23386/87 ja bSDD-palvelu (<https://bsdd.buildingsmart.org>) tarjoaa alustan ominaisuusjoukkojen kehittämiseen, hyödyntämiseen ja yhteenlinkittämiseen.

Ulkoinen linkitys taas voi perustua rakennusosien GUID-tunnisteisiin. Tällaiset ratkaisut ovat joustavia ja helposti toteutettavia, mutta olemassa olevat BIM-ohjelmistot eivät niitä suoraan tue, joten niihin voi liittyä tarve kehittää myös tarpeellisia ohjelmistotyökaluja.

Kehityksen nykytilassa käytännöllinen tekninen ratkaisu Digipurku-hankkeessa on ladata mallit soveltuvalle tiedonjakoalustalle ja kytkeä uudelleenkäyttöön ja purkamiseen määritettyjä ominaisuusjoukkoja malleihin. Alustan tulisi tukea myös uusilla ominaisuusjoukoilla rikastetun IFC-mallin kirjoittamista eikä bSDD-alustalla julkaistujen ominaisuusjoukkojen lukemista. Esimerkiksi Trimble Connect -alusta (TC) tarjoaa mahdollisuuden kytkeä malliin uusia ulkoisia ominaisuusjoukkoja alustan sisällä, vaikka ominaisuuksilla rikastetun IFC-mallin kirjoittamista eikä ominaisuusjoukkojen lukemista bSDD:stä.

Sisällys

1 Johdanto	4
2 Vaatimukset tietosisällöille.....	6
2.1 Kierrätys- ja purkuprosessit	7
2.2 Tietosisällöt.....	8
2.2.1 Uuden kohteen suunnittelussa tarvittavat tiedot.....	8
2.2.2 Osien kuntoa koskevat tiedot.....	9
2.2.3 Osan hankintaan liittyvät tiedot.....	10
2.2.4 Tarkennetut tiedot uudelleenkäyttöä varten.....	10
2.2.5 Testaustiedot kelpoisuuden varmentamiseksi.....	11
2.2.6 Purkuprosessin tiedot.....	12
2.2.7 Ilmastovaikutukset.....	12
3 Tiedon lähteet	13
3.1 3D-mittaus.....	13
3.2 Purkukartoitus	13
3.3 Testausmenetelmät	14
4 Tietosisältöjen esittäminen	15
4.1 IFC-standardin tiedonesitysrakenteet	15
4.2 Osan perustiedot IFC:llä.....	15
4.3 Osan materiaalit IFC:llä.....	16
4.4 Purkuaikataulu IFC:llä	17
4.5 Lisäominaisuudet IFC:llä	19
4.5.1 IFC:n ominaisuus- ja määräjoukot.....	19
4.5.2 Tietohakemistojen ja ominaisuusjoukkojen luominen.....	21
5 Julkiset ominaisuusjoukot	24
5.1 IFC-standardiin kuuluvat ominaisuusjoukot.....	24
5.2 bSDD-alustalla julkaistut ominaisuusjoukot	25
6 Kiertotalouden tulevaisuus: digitaalinen tuotepassi	27
7 Viitteet	29

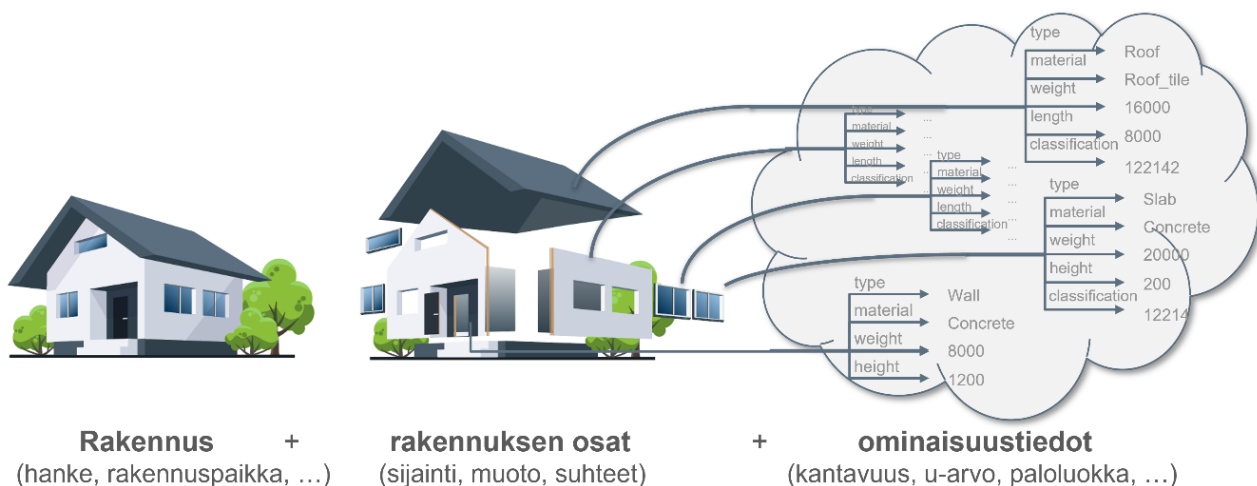


1 Johdanto

Digipurku-hankkeen tavoitteena on tutkia ja kehittää ratkaisuja BIM-mallien käyttöön rakennuksen elinkaaren lopussa kolmeen eri käyttötapaukseen:

1. *Rakennusosien uudelleenkäyttö* – Kuinka uudelleenkäyttöön tarjottavista osista ja niiden ominaisuuksista ja kunnosta voidaan välittää niiden mahdollisille hyödyntäjille tarkkaa tietoa?
2. *Materiaalien kierrätys* – Kuinka kierrätettävissä olevista materiaaleista voidaan välittää tietoa ja materiaalmääriä hallita?
3. *Rakennuksen purkuprosessin hallinta* – Kuinka purkuprosessi voidaan suunnitella ja ohjata uudelleenkäytön ja kierrätyksen tarpeiden mukaisesti, eli esimerkiksi tukea osien irrottamista ehjinä ja oikeassa aikataulussa.

Tämä raportti käsittelee tapoja esittää näiden käyttötapausten kannalta olennaisia tietoja siten, että ne on kytketty rakennuksen avoimessa IFC-muodossa esitettyyn BIM-malliin. Tavoitteena on avoimen standardien mukainen, tarvittaessa yksityiskohtaiseen tarkkuuteen skaalautuva ja olemassa olevien ratkaisujen kanssa yhteentoimiva esitystapa, jota voidaan käsitellä tarjolla olevien BIM-ohjelmistojen avulla.



Kuva 1. BIM-mallien sisältämät tiedot

Jos tarkasteltavien käyttötapausten vaatimia tietoja halutaan välittää eri osapuolten kesken digitaalisessa muodossa, BIM-mallien käyttäminen prosessin perustana on BIM-teknologian nykyisen kehityksen ja käyttöönoton vaiheessa ilmeinen valinta, mitä tukee myös asiaan liittyvä tutkimuskirjallisuus, esim. Honic et al (2021), Gargia et al (2017) ja Sanchez et al (2021). BIM-malleissa pystytään esittämään (Kuva 1):

1. Yleistietoja koko rakennuksesta, kuten rakennuspaikka, rakennus- ja korjausvuosi ja hanke;
2. Jokaisen (mallin suunnittelualaan kuuluvan) rakennusosan tyyppi, geometria, sijainti, suhteet muihin rakennuksen osiin ja mahdollisesti tarkempi sisäinen rakenne;
3. Kunkin osan ominaisuustiedot, esimerkiksi uudelleenkäyttöä tai purkamista koskien; erilaisia ominaisuustietoja voi olla rajoittamaton määrä ja eri organisaatiot voivat määrittää uusia ominaisuusjoukkoja.

BIM-mallit ovat yhteentoimivia lukuisten eri ohjelmistojen välillä, sillä ne voidaan julkaista avoimen IFC-määrittelyn mukaisessa muodossa (buildingSmart, 2024), jonka sekä ISO:n että CEN:n ovat

standardoineet (EN ISO 16739). Kaikki laajasti käytetyt BIM-työkalut tukevat mallien viemistä IFC-muotoon. IFC-muodossa olevien mallien visualisoimiseen ja käsittelemiseen löytyy myös monia ohjelmistoja, myös ilmaisohjelmia.

Rakennusosista on aiemmin välitetty tietoja uudelleenkäyttöä ja kierrätystä varten erilaisissa taulukoissa ja tekstidokumenteissa. Näiden tietojen esittämisen rakenteellisemmassa ja organisoidummassa muodossa BIM-malleihin kytkettynä tarjoaa seuraavia hyötyjä:

1. BIM-malleissa on esitetty jokaisen rakennusosan sijainti ja geometria, eli muoto ja mitat, mikä yksinkertaisemmissa esitystavoissa – esimerkiksi taulukoissa – olisi joko toivottoman hankalaa tai hyvin epätasmoista.
2. Rakennusosiin voidaan liittää tarvittavia rakenteita (esim. materiaalikerrokset) ja ominaisuuksia yhteentoimivassa muodossa eli siten, että eri ohjelmistot pystyvät niitä hyödyntämään.
3. BIM-työkalujen avulla osia voidaan visualisoida (esim. leikkausten, läpinäkyvyyksien ja suodatusten avulla), esittää niiden sijainti ja ympäristö rakennuksessa, suorittaa määrälaskentaa, selailla ominaisuuksia, jne.
4. Rakennusosan tunniste (GUID) avulla siihen voidaan linkittää muita tietoja (esim. tuotetietoja) tai sisältöjä (esim. valokuvia tai dokumentteja).
5. Uuden rakennuksen suunnittelija voi suoraan hyödyntää uudelleenkäytettävien osien BIM-malleja uuden rakennuksen suunnittelussa.

Lisäksi purkuprosessista voidaan tuottaa 4D-BIM-simulaatio. Kuhunkin osaan liitetään tieto sen purkuvaiheesta ja purkuprosessin etenemistä ajan suhteen voidaan animoida kolmiulotteisesti. Tämä tekee prosessista eri sidosryhmille yksinkertaisemmän ymmärtää, helpottaa uudelleenkäytettävien osien irrottamisen suunnittelua ja auttaa mahdollisten ongelmien tunnistamista ja ratkaisemista.

Avoin ja yhteentoimiva BIM-pohjainen esitystapa uudelleenkäyttö-, kierrätys- ja purkutiedoille on tässä vaiheessa vielä tulevaisuutta, mutta kuitenkin hyvin todennäköistä tulevaisuutta, sillä BIM:n käyttö on jatkuvasti laajenemassa ja käytännössä tulossa pakolliseksi, monet työkalut kuten laserkeilaimet tulevat halvemmiksi ja helppokäyttöisemmiksi, ja tekoälyteknologia tulee osittain automatisoimaan BIM-mallien luomista.

Tässä raportissa keskitytään siihen, mitä uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja purkamiseen tietoja tarvitaan ja kuinka ne voidaan sisällyttää purettavasta rakennuksesta luotavaan BIM-malliin.

2 Vaatimukset tietosisällöille

Viime kädessä rakennushankkeeseen ryhtyvä on vastuussa siitä, että rakennustuotteiden ominaisuudet soveltuvat rakennuskohteeseen ja että kohteelle asetetut tekniset viranomaisvaatimukset täyttyvät. Rakennustuotteiden kelpoisuus voidaan normaalisti osoittaa CE-merkinnällä tai mikäli sitä ei voida soveltaa, jollain kansallisella hyväksymismenettelyllä kuten tyyppihyväksynnällä tai varmentodistuksella. Nämä menettelyt soveltuvat kuitenkin uusille tuotteille, silloin kun tuote kuuluu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai valmistaja on hakenut tuotteelleen ETA:n eli eurooppalaisen teknisen arvioinnin.

Koska uudelleenkäytettävän rakennusosan kunto ja ominaisuudet ovat nimenomaisen osan käyttöhistorian vuoksi usein hyvin yksilöllisiä, tällaiset yleiset kelpoisuuden osoittamisen menetelmät soveltuvat niihin huonosti. Tällöin joudutaan käyttämään rakennuspaikkakohtaista kelpoisuuden varmentamista (Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä, 21.12.2012/954 § 17): *”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on selvitettävä rakennuspaikkakohtaisesti, että rakennustuote täyttää sitä koskevat olennaiset tekniset vaatimukset, jos tuotteen kelpoisuutta ei ole muutoin osoitettu. Rakennusvalvontaviranomainen voi velvoittaa hankkeeseen ryhtyvän osoittamaan, että rakennustuote täyttää sitä koskevat olennaiset tekniset vaatimukset, jos on syytä epäillä, että tuote ei niitä täytä.”* Eli tämä tarkoittaa osien yhteensopivuuden tarkastelua uuden rakennuksen suunnitelmien, säädösten ja rakennusmääräysten kanssa.

Koska rakennusosien yksilöllisen luonteen vuoksi kysymys ei ole pelkästään niiden yleisestä kelpoisuudesta vaan myös soveltuvuudesta uudelleenkäyttökohteeseen, puhutaan jatkossa rakennusosien kelpoisuuden ja sovelutisuuden määrittämisestä.

Vaatimuksia tarvittaville tietosisällöille, joita voidaan käyttää osana rakennuspaikkakohtaista varmentamista on esitetty Helsingin Kiertotalousklusterin uudelleenkäytettävien rakennusosien tuotekelpoisuusmäärittelyissä (Helsingin kaupunki, 2023). Nämä määrittelyt perustuvat sekä rakennusosan tyyppiin (esim. liimapuu, teräs, ovi) että osan tulevaan käyttötarkoitukseen kohderakennuksessa. Monet näistä määrittelyistä vaativat testejä, joissa esimerkiksi otetaan näytteitä uudelleenkäytettävistä osista.

Kelpoisuuden ja soveltuvuuden varmistavat tiedot ovat kuitenkin tarve hankkia vasta uudelleenkäyttöprosessin loppuvaiheessa kun alustavasti on saatu jo selvitettyä, että kierrätysosia olisi ylipäättään mahdollista käyttää tulevan rakennuksen osina. Tässä vaiheessa joudutaan varmentamaan, että osat täyttävät kaikki kohteen vaatimukset.

Lopullisen kelpoisuuden ja soveltuvuuden varmistamisen lisäksi uudelleenkäyttöprosessin alkuvaiheessa on haasteena se, kuinka prosessi saataisiin alkuun. Kuinka saataisiin kerättyä sellaiset minim tiedot mahdollisesti uudelleenkäytettäväksi kelpaavista osista, joiden avulla potentiaaliset asiakkaat voisivat tunnistaa uudelleenkäytön mahdollisuuden.

Uudelleenkäyttöprosessin alussa, kun asiakas vasta etsii kierrätysosia tai -materiaaleja käytettäväksi uudessa rakennuskohteessa, hänen tietotarpeensa liittyvät lähinnä niihin rakennusosien ominaisuuksiin, joita tarvitaan uuden kohteen suunnittelussa, kuten mitat, muodot, päämateriaali, määrä ja osien yleinen kunto.

Suunnittelun edetessä ja suunnitelmien konkretisoituessa tietotarpeet tarkentuvat asteittain. Tätä prosessia on mallinnettu Digipurku-hankkeessa kuten alla on kuvattu.

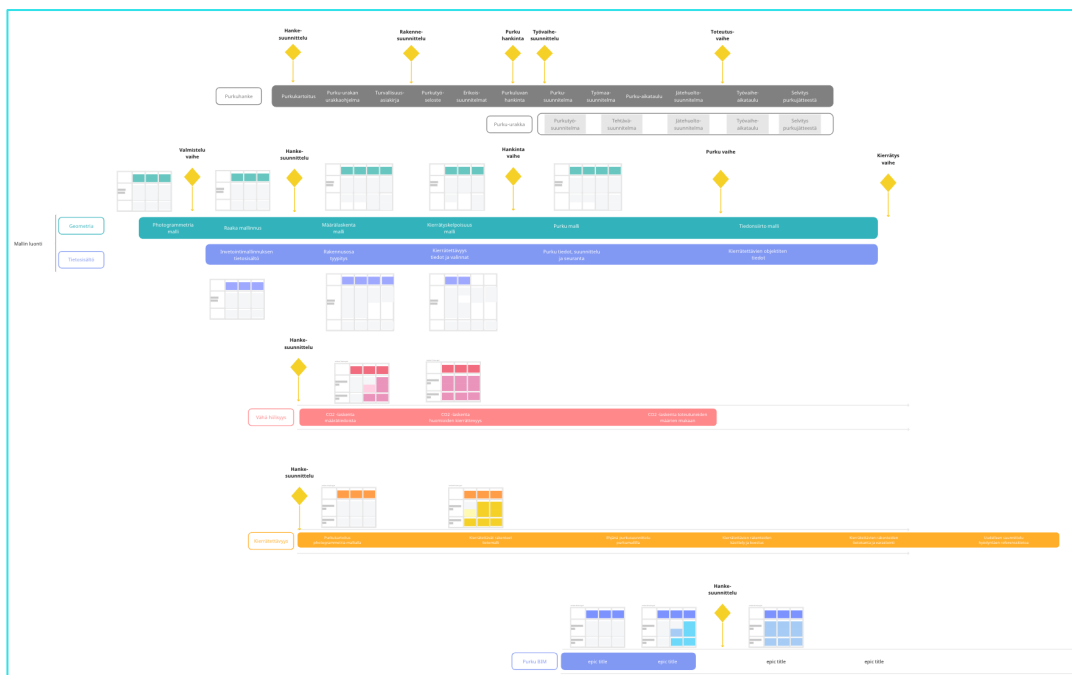
Purettavan rakennuksen BIM-mallia ei kannata laatia tarkemmaksi tai yksityiskohtaisemmaksi kuin mistä on hyötyä niissä päätöspisteissä, jotka koskevat rakennusosien uudelleenkäyttöä, materiaalien kierrätystä tai rakennuksen purkuprosessia. Rakennuksen elinkaaren lopussa BIM-mallia on järkevä



2.1 Kierrätys- ja purkuprosessit

Vähittäinen mallinnusprosessi on kuvattu Digipurku-hankkeen prosessikaaviossa, joka kattaa kierrätystietojen tuottamisprosessin sekä itse purkuhankkeen etenemisen.

- Ensimmäisenä vaiheena on tuottaa kohteesta 3D-mittauksen avulla fotorealistinen tai vähintäänkin väritetty pistepilviaineisto, jota voidaan käyttää kohteen visuaaliseen esittelyyn mahdollisille ostajille sopivalla jakamisalustalla (esim. pistepilvestä tuotettuna polygoniverkkomallina).
- Pistepilven pohjalta voidaan myös tehdä alustava BIM-malli, ns. inventointimalli, joka sisältää rakennuksen tärkeimmät osat sekä niiden tyypit ja geometriat.
- BIM-mallista voidaan laskea eri osien ja materiaalien määrät uudelleenkäyttökohteen kriteerien perusteella. Uudelleenkäytön kannalta on tärkeä tieto, kuinka paljon jotain osia tai materiaaleja on saatavilla, jos niitä käyttäen aiotaan suunnitella tulevia rakennuksia.
- Kierrätettävien osien tietosisältöjä voidaan rikastaa määrittämällä ominaisuuksia, jotka ovat uudelleenkäytön kannalta tärkeitä, kuten osan jäljellä oleva käyttöikä, sen vauriot ja kulumat, jne.
- Jos kierrätys vaikuttaa mahdolliselta, voidaan osia tutkia tarkemmin esimerkiksi koeporauksin, joiden tulokset voidaan sisällyttää osan tietosisältöihin.
- Ennen purkamista osiin voidaan liittää purkutietoja, koskien purkujärjestystä ja purkumenetelmiä. Uudelleenkäyttöön määrätyt osat täytyy esimerkiksi irrottaa vahingoittamatta niitä purkuprosessin aikana.



Kuva 2. Kierrätys- ja purkuprosessit (Digipurku-hanke)

Kierrätysprosessit ovat osittain erilaisia sen mukaan, meneekö kierrätettävät rakennusosat suoraan seuraavaan rakennuskohteeseen vai kulkevatko ne jonkin materiaalipankin kautta, joka varastoi ja mahdollisesti kunnostaa osia myöhempien rakennuskohteiden tarpeita silmällä pitäen. Siten vaatimukset tietosisällöille voivat syntyä joko uuden kohteen erityistarpeista tai materiaalipankin esittämistä yleisistä tietotarpeista. Molemmissa tapauksissa tietosisältöjen määrittäminen tapahtuu asteittain asiakkaan mielenkiinnon ja tarpeiden konkretisoituessa.

2.2 Tietosisällöt

Uudelleenkäytettäviä rakennusosia etsittäessä on ensimmäisessä vaiheessa tärkeintä saada selville, onko tarjolla mahdollisesti lainkaan uuteen kohteeseen sopivia rakennusosia. Tällöin keskeiset rakennusosien tiedot ovat jakautuvat kahteen ryhmään:

1. Ehdotussuunnitteluvaiheessa tarvittavat tiedot (mitat, muoto, päämateriaali)
2. Osien yleistä kuntoa koskevat tiedot (vauriomäärät, yleinen kunto, ulkonäkö)
3. Hankintaan liittyvät tiedot (määrä, sijainti, aika, hinta)

Näitä tietoja syntyy toisaalta BIM-mallinnuksen sekä toisaalta ominaisuusjoukkoihin kuuluvien ominaisuuksien asettamisen tuloksena.

Osien kunnon arvioinnissa sovelletaan UURAKET-hankkeessa (RTS, 2025) laadittuja kuntoluokittelun tasoja 1-5 huonoimmasta parhaimpaan uudelleenkäyttöpotentiaaliin (Taulukko 1).

Taulukko 1. Rakennusosan luokittelu uudelleenkäytön näkökulmasta

Taso	Nimi	Kuvaus
1	Heikko	Rakennusosa ei sovellu uudelleenkäytettäväksi
2	Välttävä	Rakennusosan uudelleenkäyttö edellyttää merkittävää työtä (uudelleenkäyttö ei lähtökohtaisesti ole suositeltavaa)
3	Tyydyttävä	Rakennusosa on uudelleenkäytettävissä joko sellaisenaan tai kevyellä kunnostuksella (uudelleenkäyttö on mahdollista)
4	Hyvä	Rakennusosa on uudelleenkäytettävissä sellaisenaan ilman merkittäviä riskejä
5	Erinomainen	Rakennusosa on uudelleenkäytön näkökulmasta uutta vastaava

Tätä asteikkoa voidaan soveltaa eri näkökulmista, eli osan yleisen kunnon arviointiin, vaurioiden arviointiin, kontaminaation arviointiin ja ehjänä irrottamisen arviointiin.

2.2.1 Uuden kohteen suunnittelussa tarvittavat tiedot

Jos uudelleenkäytettäviä osia halutaan käyttää uudessa rakennuksessa, sen BIM-mallintamisessa tarvitaan seuraavat tietosisällötä kustakin rakennusosasta:

- Tyyppi
 - Osan perustyyppi (seinä, ikkuna, pilari, ...)
- Geometria (muoto ja mitat)
 - Geometriatieto sisältää osan tarkan muodon ja siihen liittyvät mitat normaalilla mallinnustarkkuudella
 - Sijainti rakennuksessa
- Päämateriaali
 - Mistä materiaalista osa pääosin koostuu?
- Määrä
 - Kuinka monta kappaletta kuvatun tyyppisiä osia on saatavilla

- Tätä tietoa ei mallinneta erikseen vaan se syntyy implisiittisesti mallinnuksen tuloksena.

Taulukko 2. Tietotarpeet rakennusosan käyttämiseksi uuden rakennuksen suunnittelussa

	Nimi	Kuvaus
RA1	Tyyppi	Osan perustyyppi (seinä, ikkuna, pilari, ...)
RA2	Geometria	Osan muoto ja mitat (ehdotussuunnittelun vaatimalla tarkkuudella)
RA3	Päämateriaali(t)	Mistä materiaalista osa pääosin koostuu
RA4	Määrä	Kuinka monta kappaletta kuvatus tyypistä osaa on saatavilla

2.2.2 Osien kuntoa koskevat tiedot

Tällaisia tietoja ovat ainakin seuraavat:

- Valmistusvuosi
 - Antaa lähtökohdan osan jäljellä olevan käyttöiän arvioimiseen
- Haitta-aineet
 - Kuuluuko osaan joitain haitta-aineita, jotka vaikuttavat sen purkuprosessiin, myöhempään käsittelyyn tai hyödyntämiseen?
 - Arvio haitta-aineista asteikolla 1-5.
- Arvio vauriomääristä
 - Kuinka merkittäviä vaurioita, taipumia, yms. osassa on, vähäisestä merkittäviin?
 - Arvio vauriomääristä asteikolla 1-5.
- Arvio kontaminaatiosta
 - Onko osa kontaminoitunut sikäli kuin se voidaan arvioida ilman erityisiä kokeita?
 - Arvio kontaminaatiosta asteikolla 1-5.
- Arvio yleisestä kunnosta
 - Arvio osan yleisestä kunnosta asteikolla 1-5.
- Visuaalinen ulkonäkö
 - Rakennusosan valokuvin dokumentoitu ulkonäkö

Taulukko 3. Tietotarpeet rakennusosan kunnosta sen hyödyntämismahdollisuuksien arvioimiseksi

	Nimi	Kuvaus
RB1	Valmistusvuosi	Osan käyttöiän arviointi
RB2	Haitta-aineet	Osan purkuun, käsittelyyn tai hyödyntämiseen vaikuttavat haitta-aineet
RB3	Vaurioarvio	Arvio osan vauriomääristä, vähäisestä merkittäviin
RB4	Kontaminaatioarvio	Arvio osan kontaminaatioiden määristä
RB5	Kuntoarvio	Arvio osan yleisestä kunnosta
RB6	Ulkonäkö	Osan visuaalinen ulkonäkö (esim. valokuva)

2.2.3 Osan hankintaan liittyvät tiedot

Uudelleenkäytettävien osien hankinnassa tarvitaan seuraavia tietoja:

- Maantieteellinen sijainti
 - Missä osa sijaitsee? Alkuperäinen rakennus, välivarasto, materiaalipankki?
- Aikaikkuna
 - Milloin osa on saatavilla uudelleenkäyttöä varten?
- Hintatiedot
 - Millä kustannuksilla osat ovat saatavissa?

Taulukko 4. Tietotarpeet rakennusosan hankinnan kannalta

	Nimi	Kuvaus
RC1	Sijainti maantieteellisesti	Rakennuksen tai välivaraston sijainti, jossa osa on noudettavissa
RC2	Sijainti rakennuksessa	Tarkempi sijainti rakennuksessa tai välivarastossa
RC3	Aika-ikkuna	Aikaväli, jolloin osa on saatavilla uudelleenkäyttöä varten
RC4	Hintatiedot	Millä kustannuksilla osa on saatavilla

2.2.4 Tarkennetut tiedot uudelleenkäyttöä varten

Mikäli jotkin osat vaikuttavat alustavien tietojen perusteella soveltuvilla uuteen kohteeseen, niiden ominaisuuksien yksityiskohtaisempi selvittäminen on tarpeen.

- Rakennetyyppi
 - Kohdekohtaisesti määritelty tyyppi (esim. VS1, VS2, US1) ja kyseiselle tyypille määritetty rakenne
 - Materiaalikerrokset, materiaaliprofiilit ja/tai materiaalin ainesosat
- Mittatarkka geometria
 - Vaadittavan mittatarkkuuden huomioiminen ja tarvittaessa mittojen tarkentaminen
- Haitta-aine-esiintymät
 - Haitta-aineiden sijainti rakennusosassa
- Vauriot ja kuluminen
 - Vauriotyypit
 - Rakenteelliset vauriot (murtumat, halkeamat, yms.)
 - Kosteusvauriot
 - Auringon aiheuttama kuluminen
 - Kuormituksen aiheuttama kuluminen
 - Kontaminaatio
 - Kustakin vauriosta esitetään sen
 - Sijainti
 - Geometria tai laajuus
 - Vakavuus
 - Mahdollisesti kuvamateriaalia
- Jäljellä oleva käyttöikä
 - Arvio osan käyttöiästä uuteen kohteeseen asennettuna
- Ympäristövaikutukset
 - Käyttövaihe

- Kierrätysvaihe

Taulukko 5. Tietotarpeet yksityiskohtaista suunnittelua varten

	Nimi	Kuvaus
RD1	Rakennetyyppi	Osan kohdekohtaisesti määritelty tyyppi (esim. VS1, VS2, US1) ja tiedot sen rakenteesta (esim. materiaalikerroksista ja -profiileista)
RD2	Mittatarkka geometria	Uuden käyttökohteen suunnittelun vaatima mittatarkkuus
RD3	Jäljellä oleva käyttöikä	Arvio osan jäljellä olevasta käyttöiästä
RD4	Ympäristövaikutukset	Osan hiilijalanjälki
RD5	Vioittumat	Osan erilaiset vioittumat, kukin kuvattu tarkemmin RD5.1 – RD5.5

Kustakin vioittumasta esitetään erikseen sen tyyppiä, sijaintia ja vakavuutta koskevat tiedot (Taulukko 6).

Taulukko 6. Tietotarpeet rakennusosan vioittumasta

	Nimi	Kuvaus
RD5.1	Vioittuman tyyppi	Esimerkiksi: Rakenteellinen vaurio (murtuma, halkeama, taipuma), kosteusvaurio, auringon aiheuttama kuluminen, kuormituksen aiheuttama kuluminen, tai kontaminaatio
RD5.2	Vian sijainti osassa	Esimerkiksi: koko osa, kulma, ulkopuoli, jne.
RD5.3	Vian laajuus osassa	Esimerkiksi kattavasta vähäiseen
RD5.4	Vian vakavuus	Esimerkiksi vakavasta vähämerkityksiseen
RD5.5	Vian ulkonäkö	Esimerkiksi valokuva

2.2.5 Testaustiedot kelpoisuuden varmentamiseksi

Nämä tarkemmat tietosisällöt riippuvat kahdesta asiasta:

1. Osan tyypistä
 - a. Onko kysymyksessä rakenneosa
2. Aiotusta käyttötarkoituksesta
 - a. Uuden rakennuksen tyyppi
 - b. Osan rooli kyseisessä rakennuksessa, esim. tuleeko osaksi kantavana rakennetta tai onko kontaktissa sisäilmaan

Monet näiden ominaisuuksien selvittäminen vaatii enemmän työtä, mahdollisesti erilaisten testaus- ja analyysimenetelmien käyttämistä.

Esimerkkeinä ovat puristuslujuuteen, vedenimukykyyn, yms. liittyvät ominaisuudet.

Taulukko 7. Tietotarpeet osa- ja käyttökohdekohtaisista testeistä

	Nimi	Kuvaus
RE1.x	Testaustiedot	Osan tyypistä ja uudesta käyttötarkoituksesta riippuvat vaatimukset

2.2.6 Purkuprosessin tiedot

Purkuprosessia voidaan hallita eri tarkkuustasoilla. Seuraavat tietosisällöt ovat relevantteja ainakin uudelleenkäytettävien osien hallitun ja oikea-aikaisen irrottamisen kannalta:

1. Purkujärjestys tai purkuaikataulu – Missä järjestyksessä tai missä ajankohdassa osa irrotetaan. Kysymyksessä voi olla viikko- tai päivätasoinen aikataulu, tai tarkemmin laadittu suunnitelma siitä minkä purkutoimenpiteiden pitää edeltää myöhempiä toimenpiteitä.
2. Purkumenetelmät – Erityisesti niiden menetelmien määrittäminen, joilla osia pyritään irrottamaan vahingoittumattomina.
3. Osan kiinnitystapa – Kiinnitystapa erityisesti sikäli kuin se vaikuttaa purkamiseen ja ehjänä irrottamiseen.
4. Osan saavutettavuus irrottamista varten (*accessibility for disassembly*) – Työskentelytila, joka on tarjolla siinä vaiheessa, kun osaa ollaan irrottamassa (Sanchez et al, 2021)

Taulukko 8. Tietotarpeet koskien purkuprosessia

	Nimi	Kuvaus
RF1	Purkuaika	Suunnitelmatarckkuuden mukainen määrittäminen osan purkuvaiheesta tai ajankohdasta
RF2	Purkumenetelmä	Kuinka osa irrotetaan vahingoittumattomana osan
RF3	Osan kiinnitystapa	Kuinka osa liittyy sitä ympäröiviin osiin
RF4	Osan saavutettavuus	Työskentelytila, joka on tarjolla siinä vaiheessa kun osaa irroitetaan

2.2.7 Ilmastovaikutukset

Osan uudelleenkäytöstä päätettäessä säästyvä hiilijalanjälki on yksi relevantti kriteeri. Eräs tapa arvioida sitä on olettaa, että uuden osan hiilijalanjälki vastaisi kierrätettävän osan hiilijalanjälkeä, jolloin se voidaan katsoa uudelleenkäytöstä seuraavaksi säästökseksi.

Taulukko 9. Ilmastovaikutuksiin liittyvät tietotarpeet

	Nimi	Kuvaus
RG1	Osan hiilijalanjälki	Osasta materiaaleista laskettu hiilijalanjälki

3 Tiedon lähteet

Koska nyt purettavat rakennukset ovat lähes aina vanhempia kuin BIM-teknologiat ja -työkalut, niistä ei pääsääntöisesti ole olemassa valmiita BIM-malleja, ellei sellaista sitten ole jossain myöhemmässä vaiheessa laadittu laajempaa korjausrakentamishanketta varten. Purkua lähestyttäessä BIM-malli joudutaan tyyppillisesti rakentamaan tyhjiä, keskittyen uudelleenkäytön, kierrätyksen ja purkuprosessin vaatimiin tietosisältöihin.

Näihin käyttötapauksiin tarvittavien tietojen tärkeimpinä lähteinä ovat 3D-mittaus, purkukartoitus sekä ominaisuus- ja tyyppikohtaiset testausmenetelmät.

3.1 3D-mittaus

BIM-mallien laatimista tehostamaan voidaan nykyään käyttää kehittyneitä 3D-mittausmenetelmiä, kuten laserkeilausta tai fotogrammetriaa, joiden avulla olemassa olevasta rakennuksesta voidaan muodostaa 3D-pintamalli, jota voidaan käsitellä joko pistepilvenä (*point cloud*) tai polygoniverkkona (*polygon mesh*).

3D-pintamallin pohjalta voidaan luoda BIM-malli, joko osittain automatisoitujen työkalujen avulla tai manuaalisena suunnittelutyönä – tai yhdistelmänä näitä. Näin aikaansaatuja alustavia BIM-malleja voidaan sen jälkeen syventää lisäämällä rakennusta ja sen osia kuvaaviin objekteihin tarpeellisia tietosisältöjä.

On syytä korostaa, että BIM-mallien sisältö on paljon yksityiskohtaisempi ja monipuolisempi kuin 3D-pintamallien sisältö, vaikka visualisoinneissa pintamallit voivat vähän hämäävästi näyttääkin tarkemmilta ja realistisemmilta koska ne ovat nimenomaan parhaimmillaan katselu- ja havainnollistamiskäytöissä. BIM-malleja voidaan pintamallien vastakohtana pitää rakennuksen syvämalleina.

Sekä pinta- että syvämalleilla on käyttötarkoituksensa, mutta purkuvaiheen mallintamisessa 3D-pintamalli toimii ensisijaisesti BIM-mallinnuksen pohjana. Toissijaisesti sen avulla voidaan arvioida rakennusosien kuntoa ja muotopoikkeamia.

3D-mittaus on kehittymässä voimakkaasti. Laitteet tulevat tarkemmiksi, halvemmiksi, nopeammiksi ja helpommiksi käyttää, jopa niin, että niiden käyttäminen ei tulevaisuudessa vaadi erityishenkilöstöä eikä merkittävästi häiritse normaalia työmaatoimintaa. Lisäksi mobiiliverkkojen, tietokoneiden laskentatehon ja tekoälyalgoritmien kehittyessä 3D-mittauksen tuloksena syntyvien suurten pistepilvien koko ei enää ole niin suuri ongelma tiedonsiirrossa, tietojen tallentamisessa tai automaattisessa prosessoinnissa, kuten objektien tunnistamisessa (*object recognition*).

3.2 Purkukartoitus

Kun rakennuksen purkaminen tulee ajankohtaiseksi, siihen on erityisesti kierrätystä harkittaessa syytä tehdä purkukartoitus. Purkukartoituksen tekeminen on vahvasti suositeltava ja monissa tapauksissa lain tai asetusten vaatimusten takia käytännössä välttämätöntä. Esimerkiksi ennen vuotta 1994 valmistuneista rakennuksista täytyy tehdä asbestikartoitus, joka on yksi purkukartoituksen osa. Lisäksi jätelainsäädäntö edellyttää rakennus- ja purkujätteen huolellista lajittelua ja mahdollisuuksien mukaan uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Monissa EU:n jäsenmaissa purkukartoitusta vastaava kartoitus (*pre-demolition audit*) on ainakin haitta-aineiden osalta pakollinen.

Purkukartoituksessa rakennuksesta selvitetään tietoja, jotka auttavat suunnittelemaan ja toteuttamaan rakennuksen purkamisen tehokkaasti ja turvallisesti (Hradil et al, 2019):

- Rakennuksen perustiedot



- Rakennustyyppi ja käyttötarkoitus
 - Rakennusvuosi ja peruskorjausvuodet
 - Rakennuksen kerrosala, bruttopinta-ala ja rakennuksen korkeus
- Rakenteelliset tiedot
 - Rakennusmateriaalit
 - Rakenteiden kunto: seinät, lattiat, katot, perustukset ja muut kantavat rakenteet sekä niiden kuntoarvio
- Kunnostustiedot ja haitta-ainekartoitus
 - Haitta-aineet: asbesti, PCB, PAH, lyijy, elohopea, kreosootti ja muut vaaralliset aineet sekä niiden sijainti ja määrä
 - Kunnostus- ja korjaushistoria: aiemmat erityisesti haitta-aineisiin liittyväremontit ja korjaukset
- Järjestelmien tekniset tiedot ja purkamiseen liittyvät erityispiirteet
 - LVI-järjestelmät
 - Sähköjärjestelmät
- Ympäristö- ja kierrätystiedot
 - Materiaalien kierrätyskelpoisuus
 - Ohjeet jätteiden lajitteluun purkamisen yhteydessä
- Ympäristövaikutukset
 - Purkamisen vaikutukset, kuten pöly, melu ja liikenne
- Purkamismenetelmät ja -suunnitelmat
 - Käytettävät tekniikat
 - Työvaiheet ja aikataulu
- Turvallisuus
 - Turvallisuussuunnitelma, ml. riskiarviointi ja suojatoimenpiteet
- Lupatiedot ja viranomaisvaatimukset

Purkukartoituksen yksi päätarkoitus on varmistaa, että purkuprosessi on hyvin suunniteltu, turvallinen ja ympäristöystävällinen, mutta sen lisäksi siinä kerätään tietoja, jotka ovat olennaisia rakennusosien uudelleenkäytön, materiaalien kierrätyksen sekä purkamisen toteutuksen kannalta.

Valtaosa purkukartoituksessa kerätyistä tiedoista voidaan liittää osaksi rakennuksen tai sen osien ominaisuuksiksi BIM-mallissa.

3.3 Testausmenetelmät

Uudelleenkäytettävään rakennusosaan voi liittyä vaikeammin päältä havaittavia ominaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa olennaisesti sen kelpoisuuteen uudessa käytössä. Monet tällaiset ominaisuudet riippuen rakennusosan tyypistä sekä sen aiotusta käyttötarkoituksesta uudessa kohteessa.

Esimerkiksi kantaviin rakenteisiin kaavailut rakennusosat voivat vaatia testejä niiden puristuslujuuden tai taipuman määrittämiseksi. Vastaavasti sisäilmakontaktiin tulevat osat voivat vaatia tarkempia testejä kontaminaation ja vaarallisten aineiden päästöjen määrittämiseksi.

Osaan testausmenetelmistä liittyy normit, joiden mukaan testaus on tehtävä, kuten EN 772-1 poltettujen tiilien puristuslujuuden tai EN 772-21 vedenimukyvyn määrittämiseksi.

Tarkemmat testit tulevat kyseeseen vasta niiden rakennusosien kohdalla, joiden uudelleenkäyttö on muuten todettu mahdolliseksi.



4 Tietosisältöjen esittäminen

Uudelleenkäytettävien rakennusosien tietoja samoin kuin purkamiseen liittyviä tietoja esitetään IFC-mallien yhteydessä eri tavoin. Kaikki tiedot eivät ole vain osien ominaisuuksia vaan saattavat olla esitettävänä osien rakenteina tai uusina IFC-entiteetteinä. Sen vuoksi alla esitetään lyhyesti keskeiset IFC:n tiedonesitysrakenteet ja sen jälkeen kuvataan millä rakenteilla eri tiedot tulisi esittää.

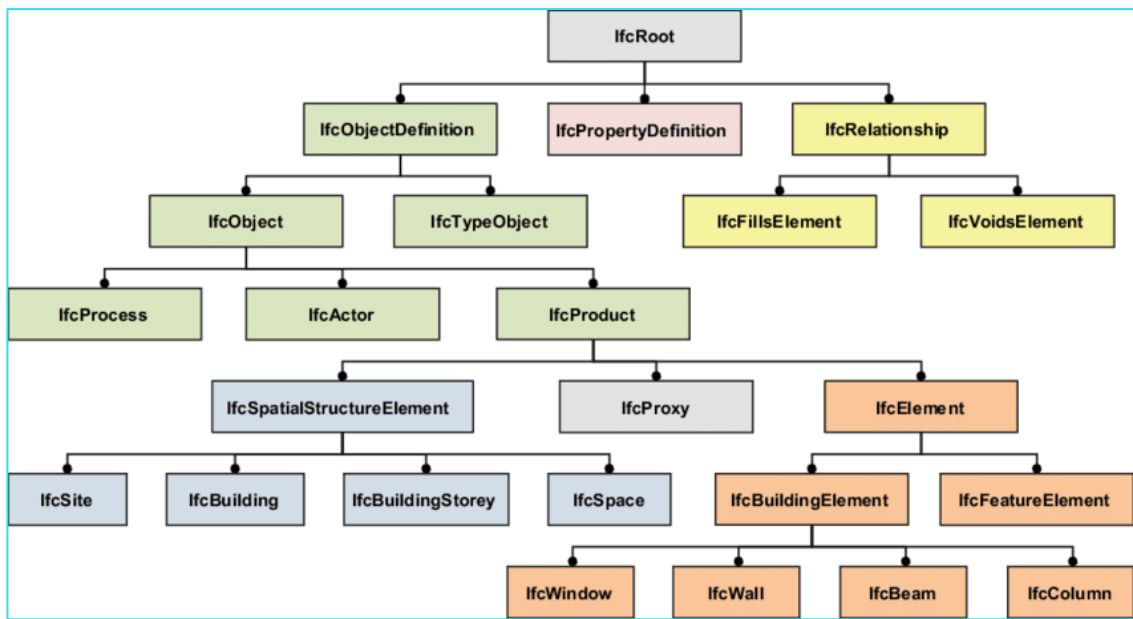
4.1 IFC-standardin tiedonesitysrakenteet

IFC:ssä rakennusosiin liittyvää tietoa voidaan esittää seuraavilla mekanismeilla:

- Rakennusosan luokka (IFC-entiteetti)
 - o Luokka kertoo rakennusosan perustyyppin, kuten ikkuna (*IfcWindow*), seinä (*IfcWall*), palkki (*IfcBeam*), jne.
 - o Luokat muodostavat hierarkian, jossa yleisemmät luokat (eli alaltaan laajemmat luokat) ovat ylempänä ja erityisemmät luokat alempana. Jokaisella luokalla – ylintä juuriluokkaa *IfcRoot* lukuunottamatta – on yläluokka. Pieni osa IFC luokkahierakiasta on alla (Kuva 3); kaikkiaan IFC:ssä on standardin versiosta riippuen 700-900 luokkaa.
- Luokkaan kuuluvien olioiden attribuutit
 - o Jokaisella luokalla on joukko attribuutteja, jotka ovat relevantteja jokaiselle luokkaan kuuluvalla objektilla. Esimerkkinä identiteetti (*GlobalId*), sijainti, geometria (muoto ja mitat). Attribuutit voivat olla erityisesti vain luokan olioille sopivia (kuten oven toimintatapa, *OperationType*, eli onko se kääntyvä, liukuva, taittuva tai pyörivä, kuinka monessa osassa ja mihin suuntaan).
- Luokkaan kuuluvien olioiden suhteet ja rakenteet
 - o Miten osa kytkeytyy toisiin osiin?
 - o Useat tärkeät relaatiot ovat tyyppiltään osinjakoja, eli niiden avulla voidaan esittää minkälaisista alemman tason osista tarkasteltava rakennusosa koostuu ja missä suhteissa nuo osat ovat toisiinsa. Esimerkkeinä *IfcRelAggregates* tai *IfcRelNests*
- Luokkaan liitettyihin ominaisuusjoukkoihin kuuluvat ominaisuudet
 - o Standardoidut ominaisuudet
 - Tyyppikohtaiset ominaisuudet (esimerkiksi *Pset_WallCommon*, ...)
 - Määräjoukot (*IfcElementQuantity*)
 - o Itse luodut ominaisuusjoukot
 - Esimerkiksi ominaisuusjoukot *Circularity*, *RecycleBIM*, ja *Decommissioning and Reuse*.

4.2 Osan perustiedot IFC:llä

Rakennusosien tyyppiin, sijaintiin, geometriaan (muotoon ja mittoihin), sekä suhteisiin liittyvät tiedot voidaan esittää keskeisillä IFC:n tietomallin rakenteilla.



Kuva 3. Osa IFC:n luokkahierarkiasta (Kolbe, 2021)

IFC sisältää luokkahierarkian, johon fyysiset rakennusosat sisältyvät *IfcProduct*-luokan alle. Tämän avulla voidaan esittää kaikki keskeiset rakennusosien tyypit (*IfcWindow*, *IfcWall*, *IfcBeam*, jne.). Jos jokin osa ei kuulu mihinkään tällaisista perustyypeistä, voidaan se esittää suoraan luokan *IfcBuiltElement* instanssina.

IfcProduct sisältää attribuuttiin *Representation*, jonka arvona on rakennusosan geometrinen esitys. Itse geometria voi olla hyvin monimutkainen tietorakenne, eli se koostuu lukuisista toisiinsa liittyvistä geometrisista primitiiveistä. Rakennusosien geometriat ovat aina sijoitusattribuuttiin *ObjectPlacement* kautta joko suoraan tai epäsuorasti suhteessa koko rakennuksen koordinaatistoon. Yhdessä rakennusosan sijoitusattribuutti ja geometrinen esitys määrittävät osan sijainnin rakennuksessa.

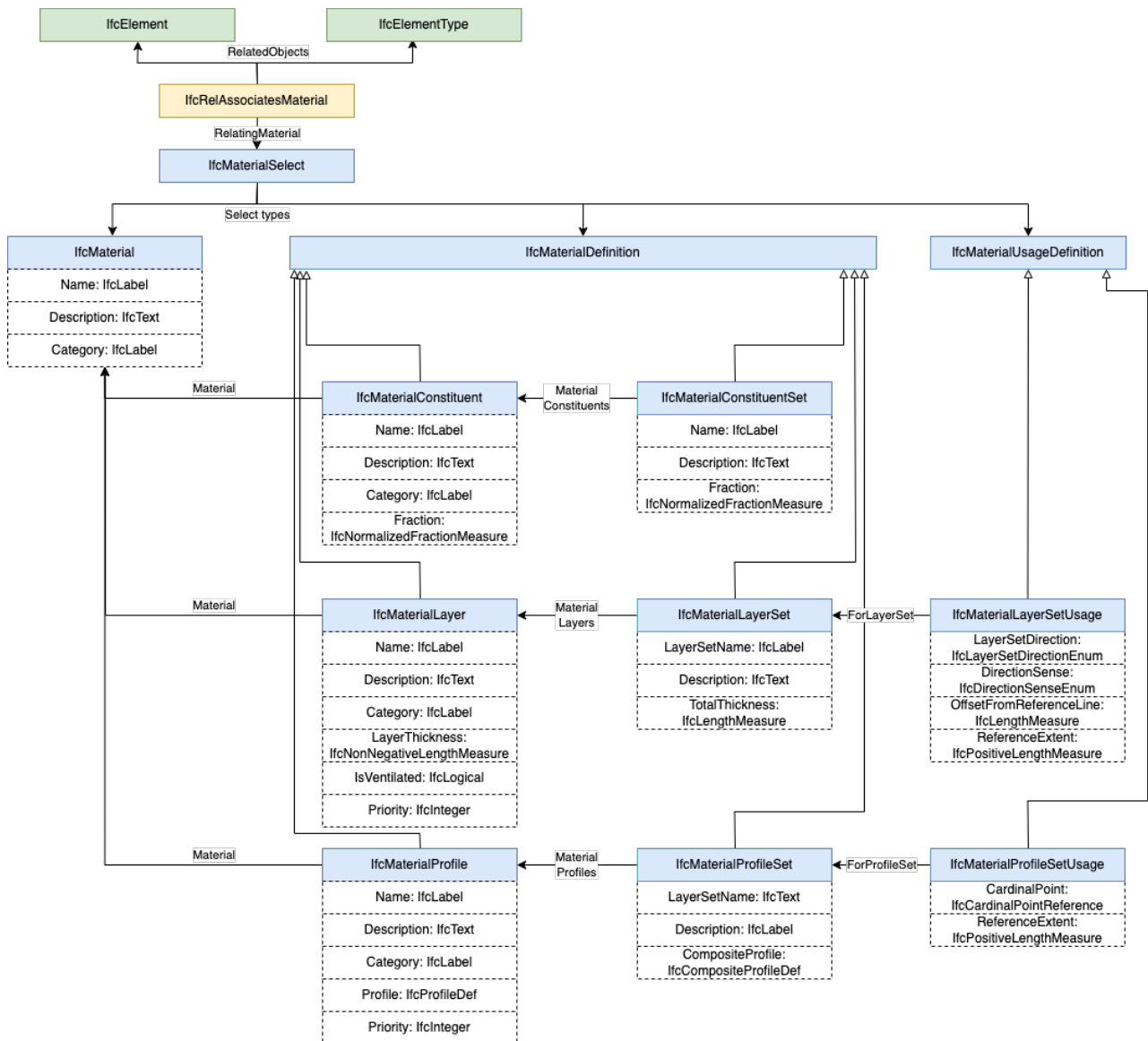
4.3 Osan materiaalit IFC:llä

Uudelleenkäytön kannalta yksi tärkeä tietosisältö on rakennusosan materiaalit. Monimutkaisemmissa rakennusosissa on useinkin tarpeen esittää sen materiaalirakennetta tarkemmin kuin päämateriaalin tasolla. IFC sisältää luokkamäärittelyt, joiden avulla voidaan jokaiseen rakennusosaan, joka kuuluu luokkaan *IfcElement* (Kuva 3) voidaan liittää suhteella *IfcRelAssociatesMaterial* tarkempi materiaalmäärittely, joka voi olla jotain seuraavista tyypeistä (Kuva 4):

1. Yksinkertainen materiaali (*IfcMaterial*) – kun osa koostuu yhdestä materiaalista
2. Kerroksellinen materiaalirakenne (*IfcMaterialLayerSet*) – kun osa koostuu useasta materiaalikerroksesta, joista jokaisen materiaali, paksuus ja läpäisevyystiedot kuvataan erikseen.
3. Materiaaliprofiili (*IfcMaterialProfileSet*) – kun osalla on monimutkainen ja mahdollisesti moniosainen profiili, jotka kuvataan profiilimäärittelyillä
4. Materiaaliseos (*IfcMaterialConstituentSet*) – kun osan materiaali on sekoitus muita materiaaleja annetussa suhteessa.

Kerroksellisesta materiaalirakenteesta ja materiaaliprofiilista voidaan lisäksi erikseen kuvata niiden sijoittumiseen ja suuntaan liittyviä tietoja suhteilla *IfcMaterialLayerSetUsage* ja *IfcMaterialProfileSetUsage*.

Materiaali itsessään määritetään nykyisellään *IfcMaterial*-luokan oliossa tekstimuotoisilla kuvauksilla, eli IFC ei sisällä eri materiaalien luokituksia. Esimerkiksi materiaalin nimiattribuutti (*Name*) voi kuvata sen laadun (esim. "C25/30") ja kategoria (*Category*) sen yleisemmän tyyppin ("Betoni"). Tarkemmat materiaalityyppien luokitukset voivat löytyä jostain muusta lähteestä. Esimerkiksi Suomessa voidaan hiilijalanjäljenlaskentaa varten käyttää co2data.fi-tietokannan materiaalityyppejä ja -laatuja.

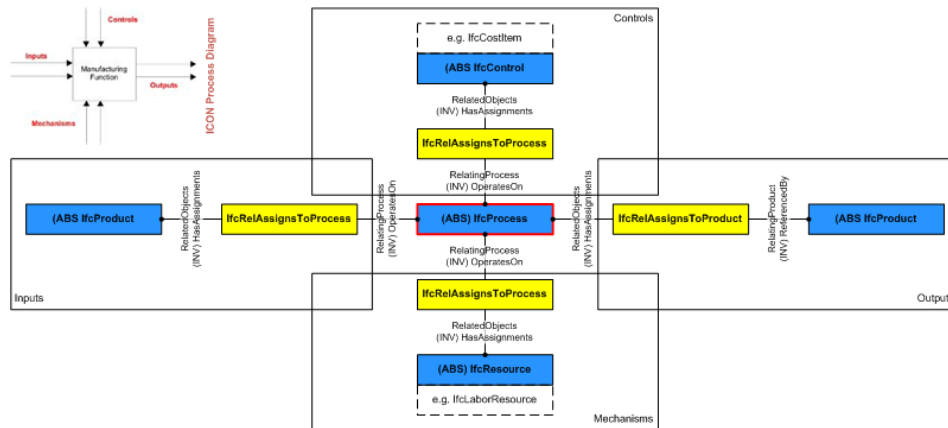


Kuva 4. IFC:n rakenteet materiaalien esittämiseksi: materiaalikerrokset, materiaaliprofiitit ja materiaaliainekset

4.4 Purkuaikataulu IFC:llä

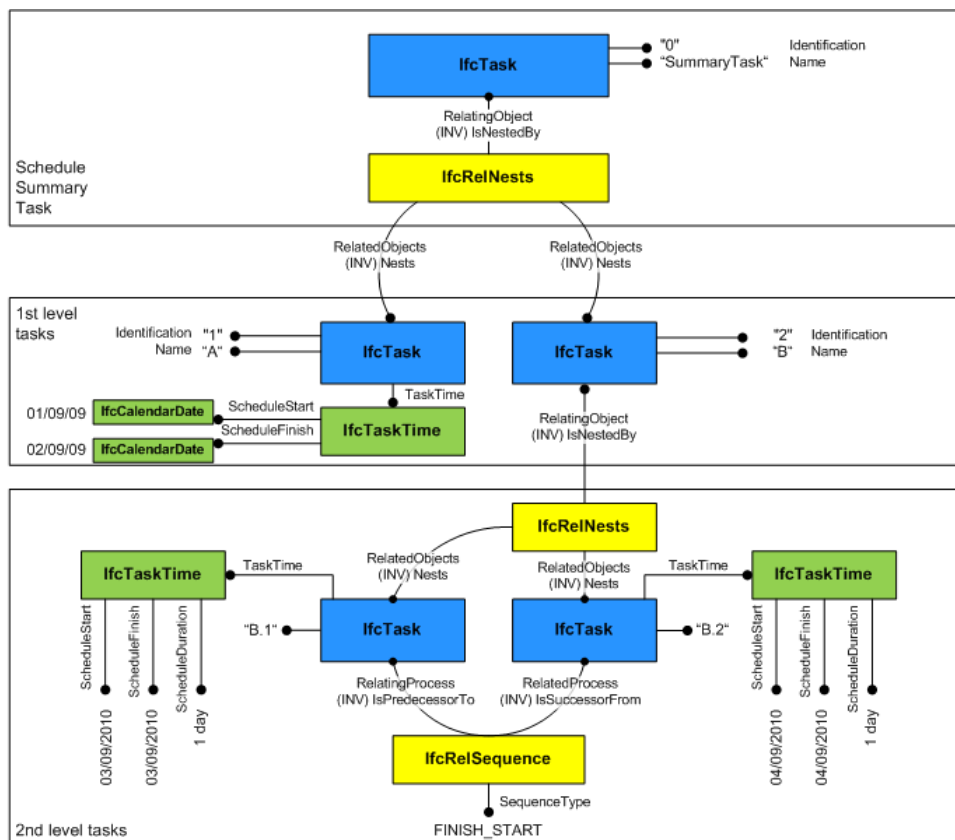
IFC:n luokka *IfcTaskDismantle* on tehty kuvaamaan purkuoperaatioita. Se yläluokka on *IfcTask*, jonka yläluokka on *IfcProcess*. *IfcTaskDismantle* perii molempien näiden luokkien ominaisuudet.

IfcProcess (Kuva 5) esittää kuinka rakennuksen osat voivat liittyä prosesseihin joko niiden syöteinä (*input*) tai tuotoksina (*output*). Prosessilla voi olla resursseja ja siihen voi liittyä ohjaustoimintoja, esimerkiksi kustannusseurantaa. Prosessilla voi olla myös yläluokilta perittyjä aliprosessitietoja (*IfcRelNests*) ja edeltäjäysrajoituksia toisiin prosesseihin *IsPredecessorTo* tai *IsSuccessorTo* -attributteihin liittyvän *IfcRelSequence*-relaation kautta.



Kuva 5. IfcProcess-luokka ja sen suhteet rakennusosiin, resursseihin ja ohjausprosesseihin

IfcTask sisältää aikataulutietoja, jotka liittyvät tehtävään *TaskTime*-attribuutin kautta (Kuva 6).



Kuva 6. Alitehtävien, peräkkäisyysrajoitusten ja aikataulujen esitystavat IFC:ssä

Yksinkertainen tapa käyttää *IfcTask*-entiteettejä purkuaikataulun esittämiseen on luoda jokaiselle purkuvaiheelle (esim. viikolle) oma *IfcTask*-olio, johon liitetään *OperatesOn*-attribuutin ja *IfcRelAssignsToProcess*-relaation kautta kaikki tuossa vaiheessa (esim. viikolla) purettavat rakennusosat. *IfcTask*-entiteetit kytketään sitten toisiinsa oikeassa järjestyksessä peräkkäisyysrajoitusten *IfcRelSequence* avulla.

4.5 Lisäominaisuudet IFC:llä

Yllä on kuvattu sitä, kuinka tietyt Digipurun käyttötapauksissa tarvittavat tiedot voidaan esittää IFC:n luokkarakenteeseen sisältyvien esitystapojen avulla. IFC:hen voidaan kuitenkin kytkeä tietosisältöjä voidaan usealla muullakin tavalla. Tässä tarkasteltavat tavat ovat:

1. IFC-mallin **rikastaminen** uusilla IFC-standardin mukaisilla ominaisuustiedoilla. Tässä vaihtoehdossa voidaan joko
 - a. luoda uusi IFC-tiedosto, johon tarvittavat ominaisuustiedot on lisätty tai
 - b. kytkeä IFC-malliin tarvittavia ominaisuustietoja BIM-tiedonjakoympäristössä (esim. Trimble Connect)
2. IFC-mallin rakennusosien **linkittäminen** ulkoisiin ominaisuustietoihin. Tässä vaihtoehdossa luodaan ulkoinen tietoaaineisto (esim. taulukko tai tietokanta) ja linkitys toteutetaan rakennusosien GUID-tunnisteiden avulla. Tällöin linkit voidaan lisätä joko
 - a. kunkin rakennusosan ominaisuudeksi IFC-tiedostoon, mikä edellyttää uuden IFC-tiedoston kirjoittamista, tai
 - b. ulkoiseen tietoaaineistoon esimerkiksi yhtenä tietona taulukon riville; edellyttää ohjelmistoa, jolla IFC-tiedostoa ja ulkoista tietoaaineistoa voidaan tutkia rinnakkain.

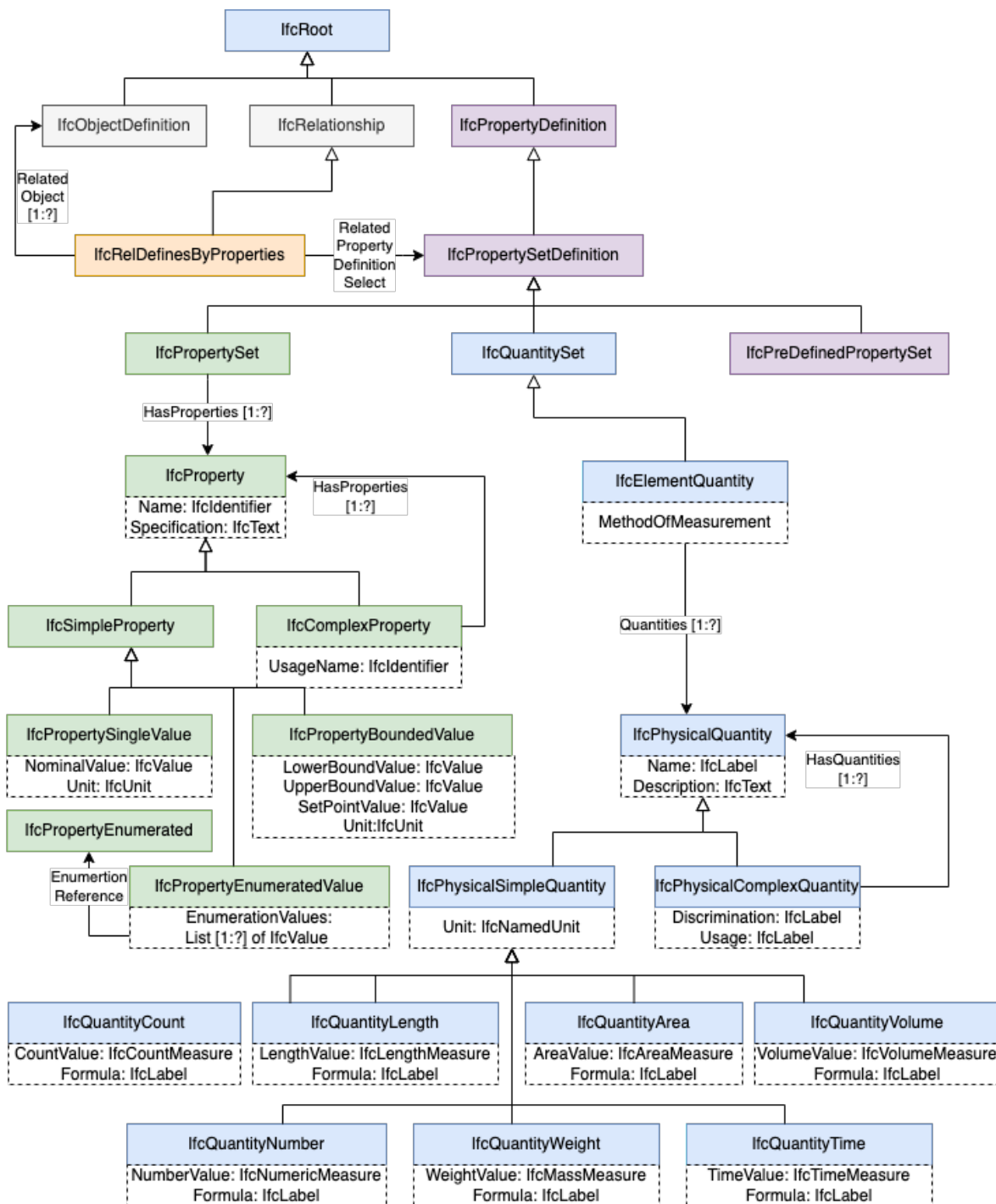
Mikään näistä tavoista ei ole ongelmaton. IFC-tiedostoja voi BIM-suunnitteluohjelmistojen lisäksi kirjoittaa vain harvoilla muilla ohjelmilla, joten uusien ominaisuusjoukkojen lisääminen IFC-tiedostoon vaatii erityisohjelmistojen (esim. SimpleBIM) käyttämistä.

Jatkossa käsitellään etupäässä lähestymistapaa 1, jolloin Digipurun käyttötapaukseen liittyviä tietoja pyritään esittämään IFC:n ominaisuusjoukkojen avulla. Tässä analyysissä eteen tulevat esitystaparatkaisut ovat sovellettavissa myös vaihtoehtoon 2, jonka toteutus voidaan tehdä kunkin toimijan vaatimusten mukaisesti.

4.5.1 IFC:n ominaisuus- ja määräjoukot

IFC:n ominaisuusjoukkoihin ja määrätietoihin liittyvät luokkarakenteet on esitetty alla (Kuva 7). Kaikki IFC:n GUID-tunnisteella varustetut entiteetit jakautuvat kolmeen alaluokkaan: objekteihin (*IfcObjectDefinition*-luokan alaluokat kuten seinät, ikkunat, palkit, jne.), suhteisiin (*IfcRelationship*-luokan alla) ja ominaisuuksiin (*IfcPropertyDefinition*-luokan alla). Kuten kaaviossa on esitetty, ominaisuusjoukot ja määrätiedot kytkeytyvät objekteihin suhteen *IfcRelDefinesByProperties* avulla. (Kysymyksessä on IFC-mallinnustapaa noudattava ns. objektifioitu relaatio, eli sitä esittää entiteetti, joka osoittaa toisaalta objektiin ja toisaalta siihen liittyvään ominaisuusjoukkoon.)

Kaaviossa (Kuva 7) on esitetty tärkeimmät ominaisuuksia kuvaavat luokat. Luokat jakautuvat ominaisuusjoukkoihin (*IfcPropertySet*) ja niiden sisältämiin ominaisuuksiin (*IfcProperty*) sekä määräjoukkoihin (*IfcQuantitySet*) ja niiden sisältämiin määriin (*IfcQuantity*). Ominaisuusjoukoissa itse ominaisuudet on yleensä esitetty luokan *IfcPropertySingleValue* arvona; muitakin alaluokkia on joista kaikkia ei ole esitetty kaaviossa.



Kuva 7. IFC:n ominaisuusjoukkoihin (IfcPropertySet, vihreällä) ja määrätietoihin (IfcQuantitySet, sinisellä) liittyvät luokat sekä näiden luokkien kytkeytyminen rakennuksen osiin (IfcRelDefinesByProperties, oranssilla)

Määrätietojen laskemiseen käytetään yleensä BIM-ohjelmistojen (Solibri, SimpleBIM, BIM-suunnitteluohjelmat) tai BIM-tiedonjakoympäristöjen (Trimble Connect, Dalux Box, ...) toimintoja. Laskenta on algoritmisesti yksinkertaista, eli lähinnä rakennuksen kokoonpanohierarkiassa tapahtuvaa lukujen summaamista. Tärkeämpää on yleensä se, kuinka tätä summaamisen kohteena olevia objekteja voidaan monipuolisesti suodattaa käyttäjän tarpeiden mukaan, huolehtien samalla siitä, että päällekkäistä laskentaa ei tapahdu.

Määrätietoja voidaan esittää erilaisina suureina, kappalemäärinä, pituus-, pinta-ala- ja tilavuusmäärinä, painona tai jopa aikana (esim. tehtävien määrätietoja laskettaessa) (Kuva 7).

IFC sisältää joukon ennalta määriteltyjä ominaisuusjoukkoja (yli 600 kappaletta), joiden määritykset kuuluvat luokkaan *IfcPreDefinedPropertySet*. Nämä joukot sisältyvät IFC-standardiin ja ne on nimetty siten, että nimi alkaa merkkijonolla "*Pset_*". Esimerkkeinä ovat *Pset_SpaceCommon*, *Pset_SpaceThermalLoad*, *Pset_MaterialConcrete*, *Pset_WallCommon*, jne. Ne sisältävät yhteensä yli 2500 yksittäistä ominaisuutta ja sama ominaisuus voi kuulua eri ominaisuusjoukkoihin. Ominaisuusjoukot voivat liittyä tiettyihin luokkiin, kuten *Pset_WallCommon*, joka sisältää yleisiä seiniin (*IfcWall*) liittyviä ominaisuuksia. Jotkin ominaisuusjoukot voivat taas olla liitettävissä laajaan joukkoon eri tyyppisiä entiteettejä.

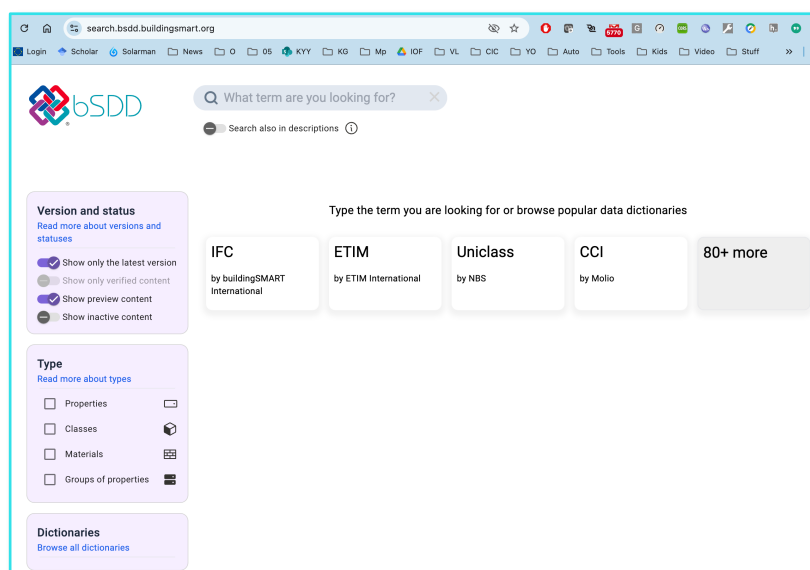
4.5.2 Tietohakemistojen ja ominaisuusjoukkojen luominen

Uusia ominaisuusjoukkoja voidaan myös vapaasti luoda. Eri BIM-ohjelmistoissa on tukea niiden vuorovaikutteiseen määrittämiseen. Niitä voivat määrittää erilaiset kansalliset vakiointiprojektit (tällaisia ominaisuusjoukkoja on mahdollisesti useita satoja), BIM-ohjelmistotoimittajat (myöskin satoja) sekä BIM-ohjelmistoja käyttävät yritykset tai projektit (ehkä tuhansia tai kymmeniä tuhansia). Joustavuuden kääntöpuolena on se, että näin on syntynyt paikallisia, hätäisesti määriteltyjä ja muiden kanssa päällekkäisiä ominaisuusjoukkoja, joissa olevien ominaisuuksien merkitystä ei ole huolellisesti määritelty niin, että eri osapuolet voisivat ne samalla tavalla ymmärtää. Tällaisten ominaisuusjoukkojen käyttäminen on ongelmallista järjestelmien yhteentoimivuuden kannalta, eli toinen järjestelmä ei pysty automaattisesti hyödyntämään tällaisissa ominaisuusjoukoissa olevia tietoja.

Tämän vapaudesta syntyneen osittain kaoottisen tilanteen ratkaisemiseksi tai helpottamiseksi on luotu erilaisia ratkaisuja. Tärkein käytännöllinen ratkaisu on IFC-standardin määritysorganisaation buildingSmart:n ylläpitämä bSDD-alusta (*buildingSmart Data Dictionary*¹). Se tarjoaa paikan, jossa mikä tahansa organisaatio voi julkaista ja jakaa määrittämiään ominaisuusjoukkoja ja niihin liittyviä muita määrityksiä sekä kytkeä niitä yhteen toisten – tyypillisesti toisten organisaatioiden julkaisemien – määritysten kanssa. Tarkoituksena on, että vähitellen eri organisaatiot alkaisivat käyttää joko samoja ominaisuusjoukkoja tai ominaisuusjoukkoja, jotka ovat linkitetty toisiinsa siten, että käytettyjen ominaisuuksien merkitys olisi ymmärrettävissä samalla tavoin eri organisaatioiden kesken.

Toinen ratkaisu löytyy standardista ISO23386, joka määrittelee prosessin siitä, kuinka ominaisuuksia voidaan kuvata, luoda ja ylläpitää yhteenkytketyissä termikirjastoissa, joita kutsutaan tietohakemistoiksi (*data dictionary*), joista bSDD on yksi esimerkki. Sen pyrkimyksenä on edistää olemassa olevien ominaisuusmäärittelyjen uudelleenkäyttöä sekä uusien määritysten luomista siten, että ne perustuvat standardeihin ja normeihin (esim. EN-normit). ISO23386 määrittää suuren joukon attribuutteeja kullekin ominaisuudelle, joita tarvitaan sen hallintaan. Esimerkkejä ovat ominaisuuden yksikkö, tekstimuotoinen määritelmä (eri kielillä), mittausmenetelmä, yhteydet muihin ominaisuuksiin, symbolit, esimerkit ominaisuuden käytöstä, jne. Uuden ominaisuuden määrittäminen noudattaa prosessia, jossa tietohakemistosta (kuten bSDD) ensin haetaan vastaavia ominaisuuksia ja mikäli niitä löytyy, niiden tarkat attribuuttitiedot. Tuloksena voi olla joko olemassaolevan ominaisuuden käyttäminen, pyyntö olemassaolevan ominaisuuden määritelmän tarkentamiseksi tai uuden ominaisuuden luominen siten, että se on linkitetty asianmukaisiin olemassaoleviin ominaisuuksiin.

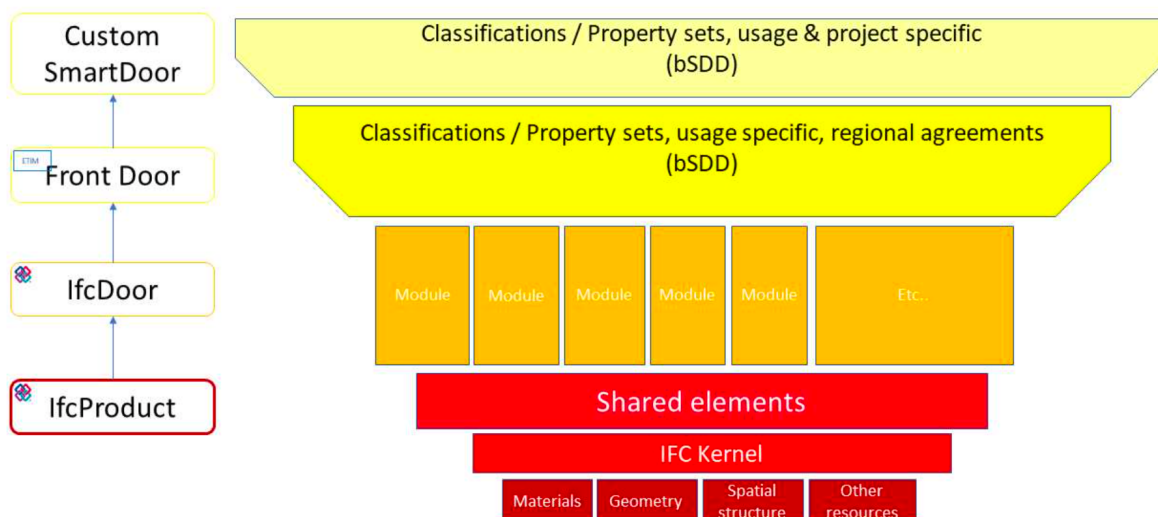
¹ <https://bsdd.buildingsmart.org>



Kuva 8. bSDD:n hakunäkymä

bSDD-alusta että ISO23386-prosessi pyrkivät eri suunnilta yhtenäistämään IFC-malleissa käytettäviä ominaisuusjoukkoja samalla sallien vapauden vakioida esimerkiksi kansallisia tai organisaatiokohtaisia sanastoja.

bSDD ei sisällä pelkästään ominaisuusjoukkoja vaan sisältää myös tavan luoda uusia luokkia, esimerkiksi IFC-standardin sisältämien luokkien alaluokiksi, joihin määritellyt ominaisuusjoukot sitten kuuluvat. Nämä uudet luokat voivat olla peräisin rakennusalan luokittelujärjestelmistä (Talo2000, ETIM, OmniClass, jne.), kansallisista vakioinneista, tai organisaatioiden tai projektien sisäisistä vakioinneista (Kuva 1).



Kuva 9. Erilaiset luokat: luokat jotka kuuluvat IFC-standardin ytimeen (esim. IfcProduct), sen suunnittelu-kohtaisiin moduleihin (IfcDoor), rakennusalan luokitusjärjestelmiin tai kansallisiin vakiointiin sisältyvät luokat (Front Door) ja projekti- tai organisaatiokohtaiset luokka (Custom SmartDoor)

bSDD:n käsitteet on esitetty alla (Kuva 10). Mikä tahansa organisaatio (*Organization*) eli vakiointiyhdistys, rakennusyritys, tms. voi luoda tietohakemiston (*Dictionary*), joka voi sisältää määrittelyjä sekä

luokista (*Class*) että ominaisuuksista (*Property*). Luokkamäärittelyt voivat olla neljää eri tyyppiä: *Class*, *Material*, *GroupOfProperties* tai *AlternativeUse*.

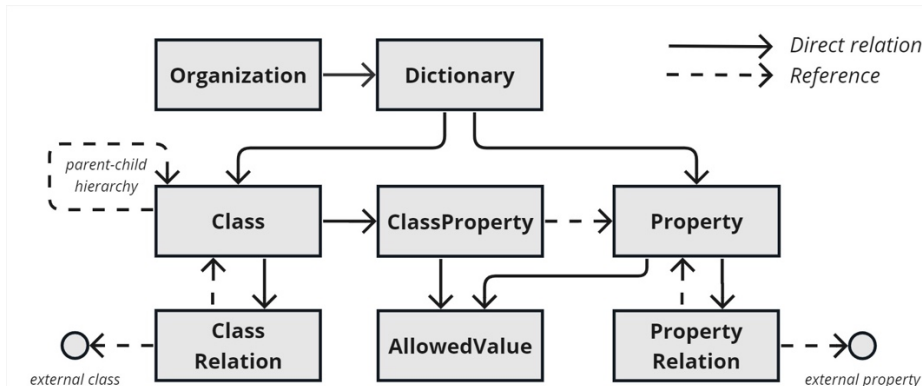
- *Class* tarkoittaa yksilöitäviä entiteettejä (ns. *countable* eli joista voidaan käyttää monikkomuotoa kuten "monta pilaria"), joka kuvaa entiteettejä, joilla on samoja ominaisuuksia.
- *Material* tarkoittaa fyysisiä substansseja, jota voidaan mitata erilaisia määriä, mutta joka ei koostu yksilöitävissä olevista osista (kuten sora, teräs tai vesi, eli joista ei ole järkevä käyttää monikkomuotoa).
- *GroupOfProperties* tarkoittaa määrittystä, joka kokoaa yhteen joukon ominaisuuksia, esim. vaikka Kierrätysominaisuudet. Kaikki IFC:n ominaisuusjoukot (*IfcPropertySet*) kuuluvat tähän tyyppiin, mutta kaikki tämän tyyppin määrittelyt eivät välttämättä ole ominaisuusjoukkoja.
- *AlternativeUse* tarkoittaa muunlaisia määrittelyksiä.

Koska kaikki IFC:n luokat on myös esitetty yhdessä bSDD:n tietohakemistossa, voidaan bSDD:ssä määrittely luokka liittää jonkin IFC-standardin sisältämän luokan aliluokaksi. Myös bSDD:n sisäisesti luokalla voi olla aliluokkia. Ominaisuusjoukot voidaan sitten kytkeä tiettyyn luokkaan, mutta on myös mahdollista luoda ominaisuusjoukkoja ilman luokkakytkentää.

Sekä luokkia että ominaisuuksia voidaan bSDD:ssä kytkeä toisiinsa seuraavilla relaatioilla:

- *ClassRelation*, suhde kahden luokan välillä, joka voi olla tyyppiä *HasMaterial*, *HasReference*, *IsEqualTo*, *IsSimilarTo*, *IsParentOf*, *IsChildOf*, *HasPart*, tai *IsPartOf*
- *PropertyRelation*, suhde kahden ominaisuuden välillä, joka voi olla tyyppiä *HasReference*, *IsEqualTo* tai *IsSimilarTo*

Näiden suhteiden avulla voidaan esimerkiksi kuvata, että kaksi ominaisuutta ovat samoja (*IsEqualTo*) tai kaksi luokkaa ovat samankaltaisia (*IsSimilarTo*) tai että toinen on toisen alaluokka (*IsChildOf*).



Kuva 10. bSDD:n käsitteet (buildingSmart, 2024)

Omia tietohakemistoja voi määrittää annetun tietorakenteen mukaisesti (buildingSmart, 2024) JSON-muodossa käyttäen bSDD:n julkaisemaa mallipohjaa. Oikeanlaisen JSON-tiedoston voi myös luoda ensin määrittämällä luokat ja ominaisuudet Excel-taulukoilla ja kääntämällä taulukot JSON-tiedostoksi. JSON-tiedosto ladataan bSDD:n hallintasivustolta², jonka käyttö vaatii organisaation rekisteröimisen.

² <https://manage.bsdd.buildingsmart.org/>

5 Julkiset ominaisuusjoukot

Alla on esitetty rakennusosien uudelleenkäyttöön sekä materiaalien kierrätykseen liittyviä ominaisuusjoukkoja.

5.1 IFC-standardiin kuuluvat ominaisuusjoukot

IFC-standardi itsessään sisältää suuren joukon valmiiksi määriteltäviä ominaisuusjoukkoja.

- IfcElementQuantity
 -
- [Pset_ManufacturerTypeInformation](#)
 - Manufacturer – Rakennusosan valmistaja
 - ProductionYear – Rakennusosan valmistusvuosi
 - AssemblyPlace – Osan asennuspaikka, esimerkiksi tehtaalla, rakennustyömaalla, jne.
 -
- Pset_BuildingCommon
 - [Year of Construction](#) – Koko rakennuksen valmistumisvuosi
 - [Year of Last Refurbishment](#) – Koko rakennuksen viimeisen korjausrakentamisen vuosi
 -
- [Pset_InstallationOccurrence](#)
 - [InstallationDate](#)
 - [AcceptanceDate](#)
 - [PutIntoOperationDate](#)
 -
- [Pset_ServiceLife](#)
 - [ServiceLifeDuration](#)
 - [MeanTimeBetweenFailure](#)
- [Pset_Condition](#)
 - [AssessmentDate](#)
 - [AssessmentFrequency](#)
 - [NextAssessmentDate](#)
 - [AssessmentCondition](#)
 - [AssessmentType](#)
 - [AssessmentMethod](#)
 - [LastAssessmentReport](#)
- [Pset_Asset](#)
 - [AssetStatus](#)
 - [AssetUse](#)
- [Pset_EnvironmentalImpactIndicators](#)
 - [Atmospheric Acidification](#) – Quantity of gases responsible for the atmospheric acidification calculated in equivalent SO₂.
 - [Climate Change](#) – Quantity of greenhouse gases emitted calculated in equivalent CO₂.
 - [Duration](#) Duration.
 - [Eutrophication](#) – Quantity of eutrophication compounds calculated in equivalent PO₄.
 - [Hazardous Waste](#) – Quantity of hazardous waste generated.



- [Inert Waste](#) – Quantity of inert waste generated .
- [Lead In Time](#) – Lead in time before start of process.
- [Lead Out Time](#) – Lead out time after end of process.
- [Non Hazardous Waste](#) – Quantity of non hazardous waste generated.
- [Non Renewable Energy Consumption](#)
- [Photochemical Ozone Formation](#) – Quantity of gases creating the photochemical ozone calculated in equivalent ethylene.
- [Radioactive Waste](#) – Quantity of radioactive waste generated.
- [Renewable Energy Consumption](#)
- [Resource Depletion](#) – Quantity of resources used calculated in equivalent antimony.
- [Stratospheric Ozone Layer Destruction](#) – Quantity of gases destroying the stratospheric ozone layer calculated in equivalent CFC-R11.
- [Total Primary Energy Consumption](#).
- [Water Consumption](#) – Quantity of water used.

5.2 bSDD-alustalla julkaistut ominaisuusjoukot

Tässä aliluvussa esitetään joitain bSDD-alustalla julkaistuja aktiivisia ominaisuusjoukkoja ja niiden ominaisuuksia, joiden avulla vaatimuksissa esitettyjä tietoja voitaisiin esittää.

Tärkein kokonaisuus on tietohakemisto Decommissioning and Reuse, jonka on julkaissut Eindhoven University of Technology.

- [Decommissioning and Reuse](#)
 - [Connection Type](#)
 - [Design Life](#)
 - [Economic Life](#)
 - [Hazardous Material](#)
 - [Exposure Requirement](#)
 - [Waste Code](#)
 - Circular Requirement
 - [Connection Type](#)
 - [Personnel Requirement](#)
 - [Intervention Requirement](#)
 - [Legal Requirement](#)
 - [Exposure Requirement](#)
 - [Logistics Requirement](#)
 - [Certification Requirement](#)
 - [Site Dependency](#)
 - Class Property Set – IfcMaterial
 - [Primary Raw Material](#)
 - [Secondary Raw Material](#)
 - [Recyclable Material](#)
 - [Renewable Material](#)
 - [Hazardous Material](#)
 - [Waste Code](#)
 - Class - Material Source
 - [Hazardous Material](#) – According to the Waste Directive 2008/98/EC, hazardous materials are sourced from the type of resources that will cause health damage to humans, animals, plants, living organisms, and the environment.

(Guidance on the classification and assessment of waste (1st Edition v1.2.GB) Technical Guidance WM3)

- [Primary Raw Material](#) – A type of resource that is extracted from the planet and used as inputs for industrial production. They are not processed or altered and are used in the first life cycle stage in the creation of a finished product.
- [Recyclable Material](#) – A type of resource that has the natural characteristics to be diverted from the waste stream thanks to available recycling processes and programmes. Once collected, they undergo processing to return to the value chain and further (re)use, often as raw materials for manufacturing or production.
- [Renewable Material](#) – A type of resource that can be grown, harvested and naturally replenished or cleansed on a human time scale.
- [Secondary Raw Material](#) – A type of resource that is recovered from previous use or is recovered waste originating from another product system and utilised as an input in another product system. Often, secondary raw material sources are recycled ones.
- [Waste Code](#) Represents the waste code associated with the material, as per waste management classification systems, for instance, the European Waste Code (EWC).

Lisäksi voidaan mainita seuraavat ei-aktiiviset (inactive) ja mahdollisesti vain testitarkoituksessa bSDD-alustalle ladatut tietohakemistot:

- [LCA-properties](#)
 - [Accessibility for Disassembly](#)
 - [Connection Method](#)
- [RecycleBIM](#)
 - [Can Be Recycled](#)
 - [Can Be Reused](#)
 - [Material Composition](#)
 - [Has Potential Danger](#)
 - [Type Of Joints](#)
- [Circularity](#)
 - [Type of Connection](#)
 - [Accessibility to connection](#)
 - [Reuse](#)
 - [Recycling](#)
- Hazardous substances information
 - [Asbestos survey report](#)
 - [Biological agents survey report](#)
 - [Gases survey report](#)
 - [Hazardous chemicals survey report](#)
 - [Heavy metals survey report](#)
 - [Lead survey report](#)
 - [Radioactive waste survey report](#)
 - [Unexploded ordnance survey report](#)
 - [Volatile organic compounds survey report](#)



6 Kiertotalouden tulevaisuus: digitaalinen tuotepassi

EU:n tavoitteena on kestävä kehitys edistämiseksi ottaa vuoteen 2030 mennessä käyttöön tuotteiden – mukaan lukien rakennusosien – elinkaaritietojen hallintaan liittyvä mekanismi, jota kutsutaan digitaaliseksi tuotepassiksi. Tällä tulee olemaan tärkeä rooli myös rakennusosien uudelleenkäytön ja materiaalien kierrätyksen tukemisessa.

Tällä hetkellä rakennusosien kierrättämisen kannalta relevanttien tietojen esittämiseen liittyy kaksi erilaista passi-käsitettä:

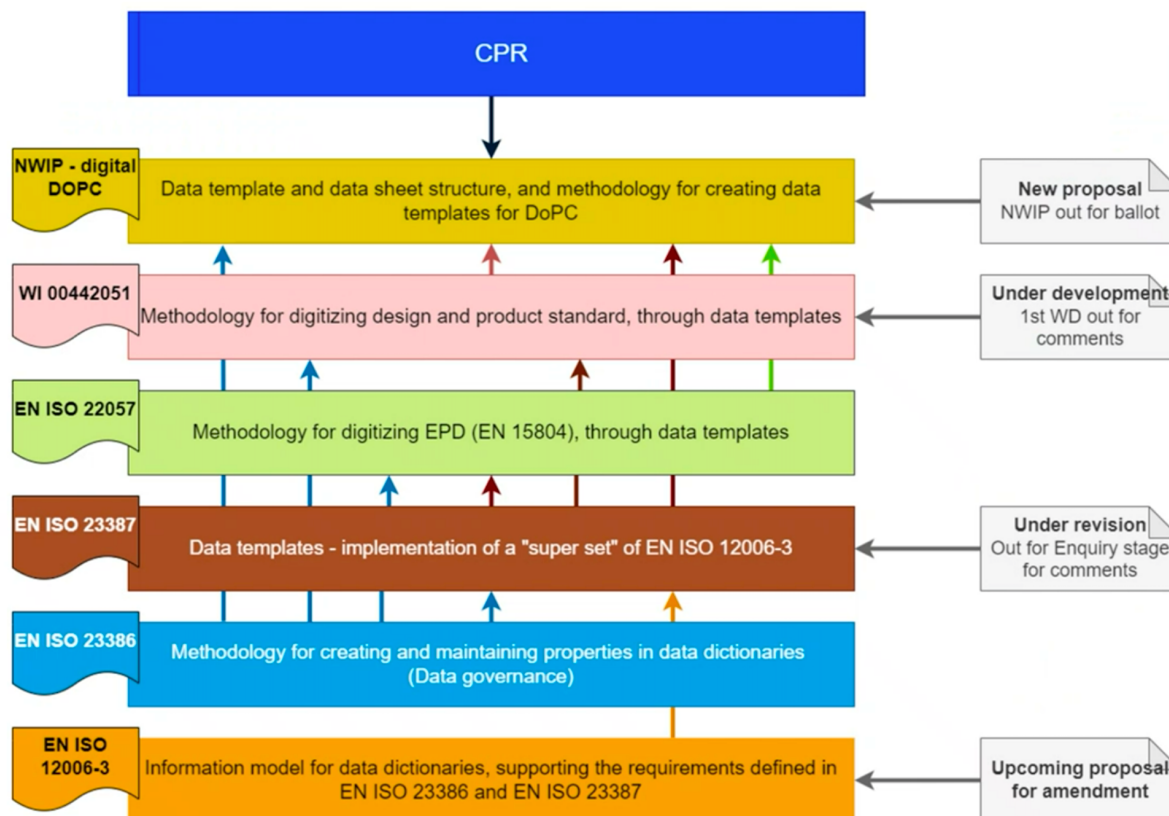
- Materiaalipassi (*material passport*) on rakennusosalalla käytetty dokumentti, joka yksilöi rakennusosan materiaalit ja kertoo niiden tyypin, määrän, koostumuksen, ominaisuudet, alkuperän, ilmastovaikutukset ja kierrätyspotentiaalin, mukaan lukien purkuohjeet. Tarkoituksena on rakentamisen kiertotalouden edistäminen ja elinkaarivaikutusten arviointi. Rakentamislain vaatimusta rakennuksen materiaaliselosteesta voidaan ajatella yksinkertaisena materiaali-passina.
- Digitaalinen tuotepassi (*digital product passport – DPP*) on kattava digitaalinen aineisto tuotteen elinkaaresta, valmistuksesta hävittämiseen. Se sisältyy EU:n tavoitteisiin vihreän siirtymän ja kiertotalouden edistämiseksi ja tulee aikanaan koskemaan kaikkia tuotteita (akut, elektroniikka, autot, tekstiilit, jne.), eikä siis rajoitu pelkästään rakennusalaan. Tietosisältö on laajempi kuin materiaalipassissa: DPP voi sisältää tietoa tuotteen suunnittelusta, valmistuksesta, käytöstä ja elinkaaren lopusta. Erityisesti yksityiskohtaiset tiedot (1) materiaaleista, komponenteista ja valmistusprosesseista, (2) ympäristövaikutuksista, energiatehokkuudesta ja hiilijalanjäljestä (3) huollosta, korjauksesta ja kierrätyksestä ja (4) säännösten ja standardien noudattamisesta. Tarkoituksena on kestävä suunnittelu, läpinäkyvyyden, jäljitettävyyden ja resurssitehokkuuden lisääminen sekä säännöstenmukaisuuden varmistaminen ja kuluttajätiedon parantaminen.

DPP määrittää kehikon rakennusosan tietojen esittämiseen, mutta itse rakennusosien tietosisältövaatimukset pitää määrittää erikseen kunkin rakennusosa tyypin perusteella. Vaatimukset tällaisten tietojen yhteentoimivuudelle ja avointen standardien ja formaattien käyttämiselle ovat erityisen korkeita, koska suuren joukon ennalta tuntemattomia osapuolia pitäisi pystyä tietojen ymmärtämään ja hyödyntämään, mieluiten vielä ilmaistyykaluilla.

DPP sisältyy sekä asetukseen kestävien tuotteiden ekologisesta suunnittelusta (*Ecodesign for Sustainable Product Regulation – ESPR*) että uudistettuun rakennustuoteasetukseen (*Construction Product Regulation – CPR*). Jälkimmäisen yhteydessä saatetaan joskus käyttää termiä rakentamisen digitaalinen tuotepassi (*construction digital product passport*), koska rakentamisen alueella tuotepassin sisällön ajatellaan mahdollisesti olevan laajempi kuin muilla tuotealueilla. Kun muilla tuotealueilla painopiste on kestävyystiedoissa (ilmastovaikutukset, kiertotalous) niin rakentamisen alueella se sisältäisi myös esim. suoritusasoilmoituksen (*declaration of performance – DoP*) ja vaatimustenmukaisuusvakuutuksen (*declaration of conformity – DoC*) edellyttämiä tietoja. Rakennusosalalle kehitettävän järjestelmän digitaalisille tuotepasseille pitää olla yhteensopiva ja yhteentoimiva sekä ESPR:n vastaavan järjestelmän että rakennustietomallien (BIM) kanssa.

The construction digital product passport shall be compatible and interoperable with the digital product passport established by the regulation (EU) [Regulation on eco design for sustainable products], without compromising interoperability with Building Information Modelling (BIM) by taking into account the specific characteristics and requirements related to construction products

Rakennusalan DPP-sisältöjen määrittämiseen, eli siihen mitä tietoja eri tyyppisistä tuotteista on kerrottava ja missä muodossa, on olemassa joukko standardeja (Kuva 11). ISO12006-3 määrittää tavan esittää entiteettien ominaisuustietoja, eli käytännössä se kuvaa olio-attribuutti-arvo -mallin, johon on lisätty tietohakemistojen ja organisaatioiden roolit. ISO23386 ja ISO23387 määrittävät tavan luoda uusia ominaisuuksia ISO12006-3:n mukaisesti siten, että eri tietohakemistojen yhteentoimivuutta voidaan edistää. ISO22057 soveltaa näitä periaatteita ympäristöselosteen (*environmental product declaration, EDP*) yhteentoimivien tietosisältöjen määrittämiseen. Tällä hetkellä työn alla ovat standardit tietosisältöjen mallipohjien luomiseksi suorituskyky- ja vaatimustenmukaisuusselosteelle (*declaration of performance and compliance, DoPC*).



Kuva 11 – Julkaistut rakennusalan standardit, jotka tukevat digitaalisia tuotepasseja

Digitaaliset tuotepassit ovat muovautumassa direktiivien, standardien ja käyttökokemusten perusteella ja niiden tähdätään olevan käytössä vuonna 2030.

7 Viitteet

Amendments adopted by the European Parliament on 11 July 2023 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011 (COM(2022)0144 – C9-0129/2022 – 2022/0094(COD))

Kolbe, Thomas & Donaubauer, Andreas. (2021). Semantic 3D City Modeling and BIM. 10.1007/978-981-15-8983-6_34.

Helsingin kaupunki (2023). Rakennustuotteiden uudelleenkäytön määrittelyt, versio 1. Excel-taulukko, URL: <https://testbed.hel.fi/wp-content/uploads/2023/08/rakennustuotteiden-uudelleen-kayton-maarittelyt-v1.0-2023-1.xlsx>

buildingSmart.org (2024). Data structure of bSDD. URL: <https://technical.buildingsmart.org/services/bsdd/data-structure/>

Sanchez, B., Rausch, C., Haas, C., & Hartmann, T. (2021). A framework for BIM-based disassembly models to support reuse of building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105825.

García, D., Plazaola, X., Vegas, I., & Areizaga, P. (2017). BIM for pre-demolition and refurbishment inventories and waste information management. In *Conference proceedings in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste* (pp. 130-133). Delft University of Technology, Delft.

Honic, M., Kovacic, I., Aschenbrenner, P., & Ragossnig, A. (2021). Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128702.

Hradil, P., Wahlström, M., Teittinen, T., & Lehtonen, K. (2019). Purkukartoitus–opas laatijalle. *Ympäristöministeriön julkaisuja*, 30.

Rakennustietosäätiö RTS (2025). *Opas uudelleenkäytettävien rakennusosien kelpoisuuden ja soveltuvuuden selvittämiseen sekä suunnitteluun*. UURAKET-hanke.

