Tampereen yliopisto

Osku Torro ja Piia Sormunen

Vakioitu tieto ja tekoäly talotekniikan datatalouden mahdollistajana

Talotekniikka 2030 TH12-hankkeen loppuraportti

Tampereen yliopisto
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Rakennustekniikka
Tampere 2025

TALO tekniikka 2030

Copyright © 2025 Tekijät

Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen (CC BY 4.0) -lisenssillä.
Tarkastele lisenssiä osoitteessa: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi

Tampereen yliopisto. Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 21
ISBN 978-952-03-4341-5 (verkkojulkaisu)
ISSN 2669-8838 (verkkoaineisto)

Tampere 2025

Tähän julkaisuun liittyvät tiedostot tulevat saataville seuraaviin Internet-osoitteisiin:
https://www.aalto.fi/fi/tutkimus-ja-taide/talotekniikka-2030-tutkimusraportteja

Tiivistelmä

Tämä raportti on Talotekniikka 2030 -hankkeen työpaketin 12 tuotos. Tavoitteena oli selvittää, miten talotekniikan alan yhteinen datahallinta voidaan organisoida, miten ala kykenee vastaamaan kiristyvään sääntelyyn ja miten samanaikaisesti voidaan avata uusia liiketoimintamalleja.

Työ toteutettiin kolmessa vaiheessa: ensin kartoitettiin nykytila ja keskeiset kipupisteet, sen jälkeen määriteltiin yhteinen dataperusta (tietomallit, tuotetieto, ontologiat, tietograafit sekä tilausten ja toimitusten vakiointi) ja lopuksi laadittiin kehitysehdotuksia datatalouden käynnistämiseksi ja tekoälyn hyödyntämiseksi. Menetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta, asiantuntijayhteistyötä ja käynnissä olevien standardointi- ja pilottihankkeiden analyysiä.

Raportin keskeinen viesti on, että rakennusalan digitalisaation tekniset ratkaisut ovat pitkälti olemassa, mutta ne on vietävä käytäntöön. Välittömiä hyötyjä saavutetaan, kun tietomallien tietosisällöt vakioidaan ja linkitetään jo vakioituun tuotetietoon sekä otetaan käyttöön avoimet tilaus-toimitusketjun standardit, jotka luovat läpinäkyvyyttä hankintaan ja mahdollistavat sähköisten prosessien käyttöönoton.

Seuraava askel on varmistaa, että tieto on sekä teknisesti että toiminnallisesti yhtenäistä, jolloin tekoälyn tarjoamat mahdollisuudet voidaan liittää koko alan kattavaksi kokonaisuudeksi. Tällöin sääntelyn edellyttämä raportointi automatisoituu, toimitusketjun ohjaus perustuu automaatioon ja analytiikkaan, ja datasta tulee koko toimialaa hyödyttävä liiketoiminnan perusta. Näin syntyy datatalouden mahdollisuuksia, joissa suomalaisella talotekniikalla on edellytykset merkittävään kansainväliseen läpimurtoon.

Tämän projektin toteutuksesta on vastannut post doc tutkija Osku Torro. Professori (associate) Piia Sormunen Tampereen yliopistosta on toiminut Tampereen yliopiston Talotekniikka 2030 hankkeiden johtajana.

Lämmin kiitos Otto Alhavalle (kehitysjohtaja Fira) syvällisestä panoksesta ja taustamateriaalista sekä Tero Järviselle (kehitysjohtaja Granlund) asiantuntevista kommenteista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. Datan pirstaleisuus ja vakioinnin tarve TATE-arvoketjussa 1
2. Yhteinen dataperusta luo datasta liiketoimintaa 2
2.1 Tietomallien tietosisältöjen vakiointi 3
2.2 Vakioitu tuotetieto 4
2.3 Ontologiat 5
2.4 Tietograafit 7
2.5 Tilausten ja toimitusten vakiointi 8
3. Tietosisältöjen ja tekoälyn saumaton integraatio 9
4. Datasta liiketoimintaa tekoälyavusteisesti 10
4.1 Datapohjaiset palvelut ja tuotteet 11
4.2 Älykkäät käyttöliittymät 14
4.3 Automaattiset työnkulut rakentamisessa ja ylläpidossa 17
4.4 Esimerkki 1: Älykäs toimitusketju 18
4.5 Esimerkki 2: Digitaalinen kaksonen 20
5. Johtopäätökset: muutos on välttämätön – mahdollisuudet valtavat, työtä riittää 21
5.1 Action points TATE-alalle 22

1. Datan pirstaleisuus ja vakioinnin tarve TATE-arvoketjussa

Rakennushankkeet sitovat huomattavia pääomia ja edellyttävät tarkkaa ohjausta, mutta tiedonhallinta on pirstaleista. Projektien keskeinen tieto (piirustukset, tuotetiedot, dokumentit) sijaitsee erillisissä järjestelmissä ja tiedostomuodoissa (PDF, Excel, BIM) ja hajautuu useiden osastojen sekä aliurakoitsijoiden omiin tietovarastoihin.

Rakennusalan ammattilaiset raportoivat käyttävänsä jopa 20 % työajastaan[1] oikean tiedon etsimiseen tai korjaamiseen. Kansainväliset vertailut osoittavat, että tehokkaammalla tiedonhallinnalla ja analytiikalla olisi saavutettavissa 10–15 % säästöt kokonaisrakennuskustannuksista[2]. Kiristyvä sääntely ja raportointivaatimukset (esim. CSRD) kasvattavat näitä haasteita entisestään – mutta toisaalta toimivat samalla vahvana ajurina prosessien uudistamiselle.

BIM:n tulisi olla rakentamisen digitalisaation peruspilari ja keskeinen datavirtojen alkulähde, mutta tiedonkäsittelyn suhteen se on nykyisellään epäoptimaalinen koko arvoketjun näkökulmasta. Kun 3D-tietomalli litistetään 2D-kuviksi ja PDF-liitteiksi, suuri osa tiedosta katoaa, eikä tietoa pystytä enää rikastamaan koneellisesti. Näin ollen suunnittelussa luotu tieto ei siirry saumattomasti hankintaan, työmaalle eikä ylläpitoon. Lisäksi standardoinnin ja yhtenäisten luokitusten puute estää tiedon koneluettavuuden ja johtaa merkittävään tehottomuuteen sekä virheisiin koko arvoketjussa.

Nykyiset tietomallien tietosisältöjä vakioimaan pyrkivät standardit[3] eivät yksilöi tietosisältöjä riittävällä tarkkuudella. Tämän seurauksena mallien sisältämät tietosisällöt eivät ole keskenään yhteensopivia edes samassa projektissa. Malli käytännössä “kuolee” suunnittelupöydälle sen sijaan, että toimisi hankinnan, rakentamisen ja ylläpidon elinkaaren yhteisenä tietolähteenä.

BIM:n sisältämän datan vakiointi on näiden haasteiden korjaamisen lähtökohta. Talotekniikka voi toimia rakennusalan digitalisaation eturintamassa, koska erityisesti sen vakiotuotteilla – eli valmistavan teollisuuden Make to Stock (MTS) -tuotteilla – on välitön potentiaali tuotetiedon automatisoituun käsittelyyn: niiden ympärille on jo Suomessa luotu yhtenäinen käsitejärjestelmä, tunnisteet ja ydintiedot, jotka mahdollistavat tiedon virtaamisen suunnittelusta hankintaan, logistiikkaan ja asennukseen samalla logiikalla kuin valmistavassa teollisuudessa.

Kun tämä dataperusta on kunnossa, voidaan edetä digitalisaation seuraavaan vaiheeseen: tekoälyn ja tietograafien hyödyntämiseen. Kun tieto on semanttisesti yhtenäistä ja koneellisesti luettavaa, tekoäly voi esimerkiksi yhdistää BIM- ja ERP-järjestelmät, koota ja tulkita tuotetietoa eri lähteistä, välittää tehtävä- ja aikataulutiedot työmaalle, tuottaa automatisoidut CO_2-raportit ja avata täysin uusia datavetoisia palveluja koko arvoketjulle. Ilman yhteistä ja koneluettavaa dataperustaa tekoälyn käyttöönotto jää kuitenkin hajanaiseksi, jolloin skaalaedut jäävät saavuttamatta ja koko alan kehitys hidastuu.

---

[1] https://www.autodesk.com/blogs/construction/top-2024-ai-construction-trends-according-to-the-experts/

[2] https://www.deloitte.com/ce/en/Industries/industrial-construction/perspectives/the-age-of-with-ai-in-construction-and-infrastructure.html

[3] Kuten YTV 2012: https://kortistot.rakennustieto.fi/kortistot/ratu-kortisto/9440/602283639

2. Yhteinen dataperusta luo datasta liiketoimintaa

Miten raakadata ja tietosisällöt saadaan yhdenmukaiseksi, jotta ne ovat käyttökelpoisia koko toimitusketjussa?

Rakennusalan digitalisaation ydin on yhteisen dataperustan rakentaminen. Tämä ei tarkoita uusien ratkaisujen keksimistä, vaan jo olemassa olevien ratkaisuiden kehittämistä ja viemistä käytäntöön.

Kyse ei siis ole tekniikan puutteesta, vaan **digitalisaation toimeenpanosta ja yhteisistä pelisäännöistä**. Kun rakennuksen data saadaan yhteensopivaksi jo suunnittelusta alkaen, voidaan suunnittelutietoon lisätä valittujen tuotteiden halutut tuotetiedot koneellisesti. Jo yksinään tämä suunnittelun ja hankinnan yhteinen dataperusta mahdollistaa radikaalin muutoksen liiketoiminnalle ja korvaa tietojen välittämisen 2D-suunnitelmina sekä muina tiedostoina. Yhteinen dataperusta avaa pohjan täysin uusille tuotteille, palveluille ja liiketoimintamalleille, joissa data toimii suoraan arvon lähteenä.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään tämän yhteisen dataperustan keskeiset rakennuspalikat:

- **Tietomallien tietosisältöjen vakiointi:** mahdollistaa suunnittelutiedon käyttämisen rakennuksen osaluettelon lähtökohtana siten että osaluetteloon voidaan linkittää valittujen toimittajien tuotteiden tuotetiedot.
- **Vakioitu tuotetieto:** talotekniikan tuotetietorekistereissä olevan tuotetiedon käyttöönotto koneellisesti ja sen liittäminen rakennuksen osaluetteloksi.
- **Ontologiat:** yhteinen käsitejärjestelmä, joka varmistaa tiedon samanlaisen tulkinnan kaikkialla sekä tiedon linkitettävyyden.
- **Tietograafit:** mahdollistavat IFC-muodossa olevasta tietomallitiedostosta saadun rakenteisen tiedon tallentamisen kone- ja tekoälykäsittelyn vaatimaan tietokantamuotoon.
- **Tilaus- ja toimitussanomien vakiointi:** hyödyntää avoimia standardeja ja mahdollistaa tilaus-toimitusketjun ja laskutuksen automatisoinnin.

2.1 Tietomallien tietosisältöjen vakiointi

Tietomallien tarkoitus on toimia yhtenäisenä lähtöpisteenä, josta suunnittelussa syntynyt tieto voidaan vakioinnin avulla muuttaa koneluettavaksi ja tukea automaattista tiedonsiirtoa eri hankeosapuolten välillä.

Nykyhaasteena kuitenkin on, että tietomalleihin tallennettu tieto ei useinkaan ole hyödynnettävissä rakentamisen alavirran prosesseissa. IFC tarjoaa standardoidun formaatin eri suunnittelualojen käyttämien ohjelmistojen tuottamien 3D-mallien yhdistämiseksi, mutta IFC-tiedoston sisältämä tieto ei useinkaan vastaa hankinnan, logistiikan ja työmaan käyttämiä nimiä ja käsitteitä. Näin ollen alavirrassa joudutaan yhä turvautumaan 2D-kuviin ja manuaaliseen määrälaskentaan, vaikka tieto olisi periaatteessa saatavilla mallista[4].

Siksi tietomallien tietosisältöjen vakiointi ja sen linkittäminen jo vakioituun tuotetietoon on kriittinen osa koko rakennetun ympäristön digitalisaatiota. Vain siten suunnittelutieto palvelee koko arvoketjua. Suunnitteluvaiheessa on määriteltävä yksilöitävät tiedot siten, että ne voidaan linkittää automaattisesti vakioituun tuotetietoon, joka on yksilöity tuotteiden artikkelitasolle saakka käyttäen esim. GS1/GTIN-yksilöintikoodeja (ks. *Tilausten ja toimitusten vakiointi*, s. 7). Tämä muodostaa kriittisen perustan koko rakennetun ympäristön digitalisaatiolle[5].

Suomessa talotekniikan datavirtojen digitaalinen yhteentoimivuus on edennyt nopeasti ja luo merkittävän kilpailuedun koko alalle. Lähtökohtana toimii talotekniikan kansallinen talotekniikan suunnittelun vakiointikokonaisuus, joka nojaa RAVA3Pro-hankkeessa laadittuihin tuoteosa- ja järjestelmäkoodistoihin sekä tietosisältömäärityksiin[6]. Vakioidut tuoteosien yleisnimet eli suunnittelunimet on julkaistu 2023 Ympäristöministeriön ylläpitämällä rakennetun ympäristön digitaalisella yhteentoimivuusalustalla[7] osana kansallista Suomi.fi-palvelua ja ne ovat heti käyttöönotettavissa yhdistämään dataperusta suunnittelutoimistojen ja urakoitsijoiden sekä toimittajien välillä.

Vakioidut koodit ja yleistunnukset varmistavat, että jokainen laite ja järjestelmä tunnistetaan IFC-mallissa yhtenäisellä tavalla, jolloin data liikkuu automaattisesti järjestelmästä toiseen. TATE-mallinnusohje tuo nämä säännöt suoraan suunnittelijoiden työkaluihin ja takaa, että talotekniikan mallit pysyvät yhdenmukaisina. Näin IFC-mallit voidaan jo nyt törmäyttää ja niiden tietosisällöt voidaan tarkistaa koneellisesti vakioinnin mukaisesti[8].

Ongelma ei kuitenkaan ratkea vain teknisillä standardeilla, vaan edellyttää koko alan yhteistä **toimintatapaa**. Standardit voidaan kirjoittaa tai malleja törmäyttää, mutta niistä ei ole hyötyä, jos suunnittelija jättää vakioinnin tekemättä tai mallit törmäyttämättä.

Tekoäly voi muuttaa tämän dynamiikan tuomalla vakioinnin ja laadunvalvonnan sujuvaksi osaksi työn tekemisen hetkeä. IFC-vakioinnin avulla tekoäly voi esimerkiksi ehdottaa mallinnuksen yhteydessä suoraan vakioitua nimikettä, vaikka suunnittelija ei tuntisi luokituksia itse (ks. *Älykkäät käyttöliittymät,* s. 16).

---

[4] Tietomalli on rakentamisen tiedon alkupiste (Alhava, 2025 LinkedIn)
[5] https://talotekniikka-lehti.fi/talotekniikan-kansallinen-vakiointikokonaisuus-palvelee-koko-alan-tarpeita-ifc-tietomallien-tietorakenne-ja-tietosisalto-ovat-talla-hetkella-kasa-hottoa/
[6] Julkaistu buildingSMART Data Dictionaryssä (bSDD): https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/
[7] https://koodistot.suomi.fi/codescheme;registryCode=rytj;schemeCode=LVI-TUOTEOSA_Versio_1_0
[8] https://www.tietomallintaja.fi/tate-mallinnus/

2.2 Vakioitu tuotetieto

Rakennustuoteteollisuuden yritysten EU-tasolla tekemä GS1-standardien käyttöönotto vakiotuotteissa ja toimitusketjun tietojen yksilöinnissä varmistaa jo nyt, että jokainen tuote on määritelty samalla tavalla ja että sen tekniset, kaupalliset ja elinkaaritiedot ovat hyödynnettävissä koko toimitusketjussa.

Vakioitu tuote- ja toimitusketjutieto mahdollistaa tuotevalmistajille ja tukuille tuotetiedon hallinnan, kuljetusten ja elinkaaren digitalisoinnin sekä pakkaamisen, pakkausmerkintöjen ja poiminnan automaation.

Nykyiset tuotetietokannat (esim. LVI-info, Sähkönumerot.fi ja RT) tarjoavat jo perustan, jota laajennetaan tuote- ja CO_2-tietojen lisäksi kattamaan yhä enemmän tuoteryhmäkohtaista vastuullisuustietoa. Rakennustuoteteollisuuden yritykset kehittävät jatkuvasti tuotetietostandardeja tavoitteenaan saavuttaa riittävä digitaalisen hallinnan taso vuoteen 2030 mennessä, jolloin EU:n digitaalinen tuotepassi (DPP) tulee pakolliseksi[9]. DPP asettaa yhtenäiset vaatimukset raaka-aineiden vastuullisuustiedoille, ympäristöjalanjäljen raportoinnille ja kiertotalouden huomioimiselle, mutta sen tarkka toteutus on vielä avoin. Se tekee tuotteiden perustietojen määrittelystä kieliriippumatonta ja globaalisti yhteensopivaa.

Rakennusalan yrityksille vakioitu tuotetieto on sekä välttämättömyys että strateginen mahdollisuus: sen avulla on mahdollista toteuttaa automatisoitu CO2-laskenta, ottaa käyttöön työmailla sähköinen vastaanotto, raportoida automaattisesti työmaan etenemisasteesta reaaliaikaisesti ja tehdä tilaajalle ylläpitojärjestelmien kanssa yhteensopiva sähköinen luovutus:

1. Toimijat, joilla on kattavat ja laadukkaat tuotetiedot, erottuvat markkinoilla – läpinäkyvyys (esim. CO_2-tiedot, vaatimustenmukaisuus) nostaa tehokkaimmat tuotteet esiin.
2. Toimijat, jotka hankkivat materiaalit sähköisesti, voivat hyödyntää muun teollisuuden ratkaisuja tulo- ja sisälogistiikan sähköistämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa materiaalitarvelaskennan (Material Requirements Planning, MRP) ja varastonhallinnan (Warehouse Management System, WMS) käyttöönottoa samaan tapaan kuin tehtaissa.
3. MRP:n ja WMS:n käyttöönotto mahdollistaa rakennuksen edistymisasteen seuraamisen reaaliajassa sekä raportoinnin tilaajalle.
4. Työmailla muodostettu As-Build-tieto voidaan linkittää elinkaaritietona suoraan asiakkaiden järjestelmiin, mikä vähentää manuaalista työtä ja säästää kustannuksia rakennuksen luovutusvaiheessa.

Digitaalinen tuotetieto mahdollistaa hankkeen digitaalisen johtamisen, kun siihen rikastetaan sekä toimitusprosessin että työmaan suunniteltu ja toteutunut tieto. Näin muodostuu **digitaalinen toimitusketju**, joka yhdistää rakennuksen osat, materiaalit ja prosessin yhdeksi kokonaisuudeksi.

[9] https://gs1.fi/fi/ratkaisut/digitaalinen-tuotepassi

2.3 Ontologiat

Ontologioiden tarkoitus on varmistaa, että tieto tulkitaan aina samalla tavalla koko arvoketjussa. Näin data virtaa luotettavasti yli organisaatio- ja järjestelmärajojen ja mahdollistaa skaalautuvan automaation.

Talotekniikan vakiotuotteiden osalta jo toteutettu suunnittelu- ja tuotetietojen vakiointi muodostaa toimivan ontologian, joka yhdistää tietomallin suunnittelutiedon ja tuotetietorekistereistä saatavan tuotetiedon konekäsiteltäväksi tietovirraksi BIM:stä hankintajärjestelmään.

Vaikka tietomallien tietosisällöt eli suunnittelutieto olisi täydellisen vakioituja, ne eivät yksin riitä mahdollistamaan ekosysteemitasoista tiedonvaihtoa eivätkä siten datatalouden täysimittaista kehittymistä talotekniikassa. Tietomallit antavat tiedolle **rakenteen** (mitä objekteja on, mitä attribuutteja niihin kuuluu, missä muodossa data esitetään). Ontologiat tuovat rakenteen rinnalle **semantiikan**: yhteisen käsitteistön ja käsitteiden väliset merkityssuhteet[10], jotta sekä ihmiset että koneet (ml. tekoäly) ymmärtävät saman asian aina samalla tavalla.

Toisin kuin perinteisissä teollisuuden toimitusketjuissa (joissa prosessit, tuotteet ja rajapinnat ovat pitkälle standardoituja ja toistuvia), rakentaminen on projektiluonteista ja monitoimijaista. Rakennushankkeissa ratkaisut muotoutuvat aina hankekohtaisesti eri toimittajien ja suunnittelijoiden yhteistyönä. Tämä tekee tuote- ja suunnittelutiedon käsitteistä ja tulkinnoista vaihtelevia, mikä vaikeuttaa tiedon yhtenäistä käyttöä ja automatisointia. Siksi rakentaminen tarvitsee **talotekniikan ontologian**, joka varmistaa, että käsitteet, roolit ja suhteet pysyvät samoina kaikilla osapuolilla – myös yksittäisten hankkeiden ulkopuolella koko alalla.

Ontologinen esitys varmistaa, että suunnittelutieto voidaan yhdistää muihin lähteisiin ja että sen alkuperäinen sisältö säilyy muuttumattomana. Samalla ontologiat mahdollistavat esimerkiksi **tiedon rikastamisen** (esim. automaattiset toimitusmäärät ja vaaditut toimitusajat), **tarkentamisen** (esim. suunnitteluvaiheen nimike täsmentyy hankinnassa tietyn toimittajan tuotteeksi) sekä toimitusketjun **ongelmien ratkonnan**[11] (esim. havaitaan, monessako kohteessa jokin tuote on vaihdettava).

Käytännössä tämä tarkoittaa, että tietosisältö määritellään **teknisesti ja toiminnallisesti** koko toimitusketjun läpi. Esimerkiksi ilmanvaihtokone tunnistetaan jo suunnittelussa, hankinnassa siihen liitetään toimittajan tiedot ja sovitut ominaisuudet (rooli, sijainti, pakolliset komponentit), rakentamisessa toimitus- ja asennustiedot sekä käyttöönotto. Lopuksi lisätään toteumatieto ja poikkeamat. Näin sama tieto palvelee koko arvoketjua ilman manuaalista tulkintaa.

Hankintaprosessissa ontologia tarjoaa yhteisen määrittelyn, jonka avulla suunnittelun osaluettelo (E-BOM) täydentyy automaattisesti hankintakelpoiseksi osaluetteloksi (M-BOM). Järjestelmä lisää tarvittavat tiedot – kuten komponentit, määrät ja yksiköt – ja muodostaa ostoslistan sekä tilausrivit ERP-järjestelmään, joka voi vertailla vaihtoehtoisia tuotteita saman määrittelyn perusteella. Näin hankinta automatisoituu suoraan BIM-tiedoista, mikä nopeuttaa

---

[10] Esim. IfcOWL esittää IFC-mallin semanttisena ontologiana: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/. Sittemmin kehitys on siirtynyt modulaarisiin ja kevyempiin ontologioihin (esim. BOT, Brick), joita voidaan yhdistää joustavammin eri käyttötapauksiin.

[11] Eero Hyvönen: "Semanttinen web – Linkitetyn avoimen datan käsikirja", Gaudeamus 2018

prosessia, parantaa vertailtavuutta ja tekee toimitusketjusta läpinäkyvämmän ja tehokkaamman kuin nykyiset manuaaliset käytännöt.

Kuva 1. Tietosisältöjen (kuvassa suunnittelu, hankinta, asentaminen) välinen yhteentoimivuus edellyttää, että tieto voidaan vakioida ja linkittää niin, että se virtaa koko arvoketjussa yhtenäisesti. Ilman ontologioita tämä joudutaan ratkaisemaan jokaisessa hankkeessa erikseen. Kuvitus: Osku Torro, Tampereen yliopisto ja ChatGPT.

2.4 Tietograafit

Keskeinen pullonkaula talotekniikan ja koko rakennusalan digitalisaatiossa on se, että BIM itsesään on epäoptimaalinen tiedonkäsittelyformaatti. Jo se, että eri suunnittelualojen BIM-mallit pakotetaan yhdeksi tekstitiedostoksi (IFC), riittää tekemään siitä käyttökelvottoman tietovarastona.

BIMiä käsitteleviä ohjelmistoja ei myöskään voida realistisesti pitää koko rakennusalan arvoketjun yhteisinä alustoina käytettävyyden, saavutettavuuden ja alan työntekijöiden IT-kyvykkyyksien näkökulmasta. Tarvitaan tietokantapohjaisia ratkaisuja, joissa useita eri tietolähteitä voidaan linkittää saumattomasti toisiinsa – ja joiden avulla ala voi viimein edetä kohti aitoa digitalisaatiota.

Siirtymällä tiedostojen käsittelystä datan tietokantapohjaiseen hallintaan eri tietolähteet voidaan yhdistää saumattomaksi kokonaisuudeksi rakentamisen kaikissa vaiheissa. Siksi BIM on käännettävä tietograafiksi.

Tietograafit yhdistävät hajanaiset lähteet (tuotetiedot, tietomallit, sensorit, laitetietokannat) semanttiseksi verkostoksi, jossa:

- ontologiat varmistavat tiedon yhtenäisen merkityksen (looginen tietorakenne)
- tietograafit mahdollistavat tarkat kyselyt ja tekevät datasta käytettävää (fyysinen tietorakenne)

Kun tieto on graafipohjaisessa muodossa, ontologian käyttöön liittyvät hyödyntämistavat (kuten edellisessä kappaleessa mainitut tiedon rikastaminen, tarkentaminen ja toimitusketjun ongelmien ratkonta) muuttuvat käytännön todellisuudeksi. **Graafit siis tekevät ontologiasta semanttisen infrastruktuurin koko arvoketjulle** – yhtä perustavan kuin sähköverkko tai tieverkko, mutta tiedolle[12].

Käytännössä graafi rakennetaan muuntamalla IFC-tiedosto ja muut tietolähteet tietokantapohjaiseen, linkitettyyn muotoon[13]. Tämä mahdollistaa sen, että eri lähteistä tuleva tieto ei jää siiloihin eikä erillisiin tiedostoihin, vaan linkittyy toisiinsa yhtenäiseksi verkostoksi. Näin luodaan pysyvä ja laajennettava dataperusta, johon voidaan liittää uusia tietolähteitä ja käyttötarkoituksia ilman raskaita integraatioita[14].

BIM-graafi-konversion avulla kaikki mallissa oleva tieto saadaan käsiteltyä tietokantapohjaisesti eri järjestelmien ja käyttäjien tarpeiden mukaan. Näin BIM ei enää ”kuole” suunnittelupöydälle, vaan saa uuden elämän dynaamisena ja monikäyttöisenä tietosisältönä, tietograafina.

“The BIM is dead – long live the Graph BIM!”

---

[12] Rakennusalan graafien ja ontologioiden kehitystä vie eteenpäin kansainvälinen Linked Data in Architecture and Construction (LDAC) -yhteisö. Tutkimuksessa painopiste on myös linkitetyn datan ja tekoälyn yhdistämisessä, mikä näkyy myös alan konferensseissa, kuten European Conference on Computing in Construction.

[13] IFC-malleja voidaan kääntää graafimuotoon ohjelmallisesti: Alhava, O., Oraskari, J., Arola, T., Järvinen, T., Järvenpää, M., & Ruottinen, B. (2025, July). BIM Data Content Guiding Takt Production Material Flow: IFC Meets MTS Supply Chain. In *International Workshop on Linked Data in Architecture and Construction*.

[14] Huom. Relaatiotietokannat eivät ole riittävän joustavia monimutkaisten suhteiden ja muuttuvien tietorakenteiden käsittelyssä, minkä vuoksi ne eivät sovellu tehokkaasti ontologioiden toteuttamiseen.

2.5 Tilausten ja toimitusten vakiointi

Tietovirtojen automatisointi edellyttää, että yritysten keskeiset tietojärjestelmät (ERP, taloushallinto, jne.) voivat keskustella keskenään standardoitujen tunnisteiden ja viestipohjien avulla – vakioidusti ja ilman manuaalisia välikäsiä.

Avoimet sähköiset sanomajärjestelmät, kuten PEPPOL (Pan-European Public Procurement OnLine)[15], mahdollistavat tiedon liikkumisen järjestelmästä toiseen yhtenäisellä ja koneellisesti käsiteltävällä tavalla. PEPPOL on korvaamassa perinteisen EDI:n (Electric Data Interchange), sillä se hyödyntää moderneja XML/UBL-formaatteja ja ratkaisee EDI:n merkittäviä kustannus- ja yhteentoimivuusongelmia.

Sen avulla tilaus-, toimitus- ja laskusanomat kulkevat järjestelmäriippumattomasti, mikä vähentää työmaan hallinnollista kuormaa, varmistaa materiaalien oikea-aikaisen toimituksen ja liittää logistiikan osaksi rakentamisen digitaalista ohjausta. Valtionkonttori johtaa pohjoismaista PEPPOL-foorumia[16], ja Suomessa kehitetty malli suunnittelu- ja tuotetiedon linkittämiseksi on tunnistettu siellä lupaavaksi ratkaisuksi. Talotekniikan kannalta on ratkaisevaa, että Pohjoismaihin syntyy yhtenäinen käytäntö, jolloin Suomi voi toimia suunnannäyttäjänä ja levittää ratkaisun myöhemmin EU-tasolle Valtionkonttorin laatimien soveltamisohjeiden pohjalta.

PEPPOL-standardin hankintasanomat perustuvat liiketoimintaprosessien määrittelyyn ja kunkin hankintatapahtuman tietosisältöjen (tilaus, lasku, lähetys, jne.) vakiointiin. Siksi PEPPOL on yhteensopiva GS1-standardiperheen ratkaisujen, kuten tuoteyksilöinnin GTIN-tunnisteen ja logistiikan SSCC-koodin (Serial Shipping Container Code), kanssa. Yhteentoimivuus mahdollistaa sen, että talotekniikan dataperusta voidaan ulottaa sähköisesti tukuille ja materiaalivalmistajille asti.

BEAst.se on Ruotsin rakennusalan ja rakennustuoteteollisuuden yhteenliittymä, joka on siirtynyt EDI:stä PEPPOLiin. Se on julkisen ja yksityisen sektorin yhteisrahoituksella ylläpidetty toimija, jonka tavoitteena on digitalisoida toimitusketjut hyödyntämällä mahdollisimman laajasti olemassa olevia standardeja. BEAst.se ja sen jäsenyritykset osallistuvat aktiivisesti Pohjoismaisen PEPPOL-foorumin toimintaan.

Vastaavasti Suomessa on tärkeää ottaa käyttöön talotekniikan tilaustoimitusketjua palveleva tapa hyödyntää PEPPOLia yhteistyössä Valtionkonttorin kanssa. Näin voidaan laajentaa talotekniikan digitalisaatio pohjoismaiseksi ratkaisuksi, joka hyödyttää koko teollisuutta ja avaa samalla uusia markkinoita myös suomalaisille ohjelmistoratkaisuille.

[15] https://www.valtiokonttori.fi/palvelut/valtion-konsernipalvelut/valtiokonttori-on-suomen-peppol-viranomainen/
[16] https://www.valtiokonttori.fi/en/nordic-peppol-construction-industry-forum/

3. Tietosisältöjen ja tekoälyn saumaton integraatio

Rakennusalan systeemistä murrosta kiihdyttää merkittävä teknologiatrendi: datalähteiden, järjestelmien ja tekoälyn välinen lähes saumaton integraatio. Avointen AI-protokollien[17] avulla eri järjestelmien data voidaan ottaa tekoälyn käyttöön ilman raskaita integraatioita.

- **Tekoäly kykenee hyödyntämään järjestelmistä löytyvää dataa plug-and-play -periaatteella**: se osaa lukea, tulkita ja käsitellä vakioituja tietosisältöjä suoraan.
- **Tekoälyagentit voivat kommunikoida keskenään kuin ihmistyöntekijät**, mikä mahdollistaa olemassa olevien työnkulkujen automatisoinnin ja uudenlaiset yhteistyön muodot eri organisaatioiden välillä.

Avoimet protokollat mahdollistavat tekoälyn skaalautuvan käytön, kun ratkaisut kytketään osaksi talotekniikan semanttista dataperustaa. Samalla vältetään riippuvuus yksittäisistä teknologiatoimittajista (esim. tekoälymallit, pilvialustat). Ratkaisuista tulee avoimempia, kestävämpiä ja paremmin skaalautuvia niin kansallisesti kuin kansainvälisillä markkinoilla.

- **Koneluettavuus ja semanttinen yhteensopivuus** hoitaa toimitusketjun digitalisoinnin ja tiedon perusvirtautuksen: samat kentät, yksiköt ja tunnisteet varmistavat, että tieto liikkuu järjestelmästä toiseen luotettavasti.
- **Tekoäly vie tämän ratkaisun seuraavalle tasolle,** jossa tiedon käsittely laajenee automaatioksi ja älykkääksi päätöksenteoksi: puuttuvat tai muuttuvat tiedot, korvaavat tuotteet, ristiriitaiset merkinnät, aikataulun, kustannusten ja CO_2:n optimointi sekä monimutkaisten tai useisiin eri järjestelmiin kohdistuvien tehtäväketjujen automatisointi ja ohjaus.
- Esimerkkeinä kaksi kokonaisuutta, joihin palaamme myöhemmin: **älykäs toimitusketju** (s. 19) ja **älykäs digitaalinen kaksonen** (s. 20).

[17] Esim. Model Context Protocol (MCP), Agent2Agent Protocol (A2A) ja AI-UI (The Agent-User Interaction Protocol). Muitakin protokollia todennäköisesti syntyy, mutta trendi on selvä: tekoälyn sekä järjestelmien ja datan välinen integroitavuus on helpottumassa merkittävästi.

4. Datasta liiketoimintaa tekoälyavusteisesti

Kun alan toimitusketjun yhteinen dataperusta on määritelty ja otettu käyttöön, syntyy edellytykset uudenlaiselle, dataan perustuvalle liiketoiminnalle. Yritykset voivat hyödyntää yhteisiä standardeja ja tietomalleja kehittääkseen omia palvelujaan, tuotteitaan ja prosessejaan – datan jakamisen, rikastamisen ja hyödyntämisen kannattavuus nousee keskiöön.

Dataperustan määrittämisen vaikutukset näkyvät talotekniikassa jo nyt. Ensimmäiset datapohjaiset palvelut ovat tulleet markkinoille, ja suunnittelutoimistot sekä startupit laajentavat tarjontaansa perinteisestä suunnittelusta kohti datapalveluja. BIM-mallien, piirustusten ja laiteluetteloiden rinnalle on tuotu koneluettavia osaluetteloita, joita on rikastettu sekä suunnittelunimikkeillä että valmistajan tuotekoodeilla.

Näiden palvelujen myötä näkyy, että jo nykyinen suunnittelu- ja tuotetiedon yhdistävä dataperusta luo vahvan pohjan arvonluonnille ja uudenlaiselle liiketoiminnalle. Kun tieto kulkee yhtenäisenä, urakoitsijat voivat siirtyä ERP-järjestelmiin ja ulottaa tietovirran myös työmaille. Osa ratkaisuista hyödyntää jo tekoälyä tiedon rikastamiseen, mikä onnistuu siksi, että yhtenäinen dataperusta tuottaa huomattavasti laadukkaampaa tietoa kuin perinteiset tiedostopohjaiset prosessit.

Seuraava askel on vakioidun datan yhdistäminen tekoälyyn, mikä mahdollistaa talotekniikan alan hyötymisen globaalista tekoälykehityksestä. Tämä avaa kolme keskeistä, toisiaan täydentävää liiketoimintamallia TATE-arvoketjussa:

- **Datapohjaiset palvelut ja tuotteet** – data liikkuu oikea-aikaisesti, rikastuu matkalla ja sen hyödyntämisestä syntyy mitattavaa arvoa, joka voidaan hinnoitella. *Mitä data on ja miten siitä syntyy arvoa*.
- **Älykkäät käyttöliittymät** – datalle rakennetaan helppokäyttöisiä, tekoälypohjaisia käyttöliittymiä ilman raskaita järjestelmäinvestointeja. *Miten ihminen näkee ja käyttää dataa*.
- **Automaattiset työnkulut rakentamisessa ja ylläpidossa** – virtautettu ja rikastettu data ohjaa työnkulkuja, järjestelmiä ja prosesseja joko ihmisen rinnalla tai automaattisesti. *Miten data ja tekoäly ohjaavat toimintaa*.

Nämä liiketoimintamallit näkyvät käytännössä erilaisina käyttötapauksina. Sama ratkaisu voi näyttäytyä eri tavoin riippuen näkökulmasta: esimerkiksi määrälaskenta voi olla datatuote (*valmis rikastettu E-BOM*), käyttöliittymä (*insinööri saa sen näkyviin pyytämällä*) tai automaatiota (*tekoäly hakee vaihtoehtoisia tuotteita tuotetietokannoista*).

4.1 Datapohjaiset palvelut ja tuotteet

Kun saamme regulaation velvoittaman CO_2-datan virtaamaan toimitusketjussa koneellisesti luettavan tuotetiedon avulla, niin miksi emme myös muuta dataa?

Toimitusketjun eri vaiheissa rikastettua dataa voidaan tuotteistaa ja tarjota käyttöön eri toimijoille:

- **TUOTEDATA → DATATUOTE**
- **Uusi arvonluontiketju:** raaka tuotetieto muuttuu suunnittelua ohjaavaksi E-BOMiksi, hankinnan M-BOMiksi, logistiikan reaaliaikaiseksi toimitusvirraksi ja lopulta ylläpidon digitaalisen kaksosen sekä kiinteistöportfolion pohjadataksi.

Vakioidut rajapintaratkaisut ja tietosisällöt mahdollistavat sen, että data voidaan hakea eri toimijoiden järjestelmistä automaattisesti.

Tekoälyn semanttinen ymmärrys mahdollistaa sen, että oikea data haetaan tai sitä ehdotetaan, vaikka käyttäjä (esim. suunnittelija, hankintainsinööri) ei tunne tarkkoja vakionimikkeitä.

Datan hinnoittelu ja laadunvarmistus voidaan mahdollisesti upottaa sisään tekniseen ratkaisuun esim. avoimilla metadatamalleilla:

- Esim. **ODPS (Open Data Product Specification)**[18]: avoimen lähdekoodin standardi, joka tarjoaa koneellisesti luettavan metatietomallin datatuotteiden kuvaamiseen, hallintaan ja hinnoitteluun.
- Datatuotteiden hinnoittelu siirtyy maksuperusteesta (”paljonko käytät”) kohti hyöty- ja tulospohjaista mallia (”mitä arvoa saat”).

Mikä on esimerkiksi määrälaskennan automatisoimisen arvo ja kuinka tämä kannattaa hinnoitella? Entä mikä on vakioidun tuotedatan arvo, kun tekoäly ehdottaa hankintaan vaihtoehtoisia tuotteita, jotka tuovat urakoitsijalle paremman katteen ja tilaajalle pienemmän hiilijalanjäljen?

Liiketoimintamalli: *Perusjärjestelmät toimivat taustalla luotettavana tietovarastona – arvo syntyy datatuotteista – rikastetusta ja vakioidusta tiedosta, jonka hinnoittelu perustuu käyttäjälle tuotettuihin hyötyihin.*

[18] https://opendataproducts.org/

Kuva 2. Kun talotekniikan dataperusta ja tekoäly yhdistyvät, tuotedata muuttuu datatuotteeksi. Kuvitus: Osku Torro, Tampereen yliopisto ja ChatGPT.

Esimerkkejä **datatuotteista** arvoketjun eri vaiheissa[19]:

Arvoketjun vaihe	Datatuote	Hyöty arvoketjulle
Tuotetietokanta/DPP-hakemisto	Yhteinen ”single source of truth” (tekn. tiedot, tunnistetiedot, CO_2-luvut, jne.)	Vakioidut tunnistetiedot ja tekniset perustiedot TATE-arvoketjuun; laatu- ja kestävyysdata (CSRD, taksonomia) palveluna; tuotteiden vertailtavuus; toimitusketjun läpinäkyvyys
Suunnittelu	Vakioitu IFC → semanttinen, koneellisesti luettava E-BOM/tietograafi	Mahdollistaa tuotetiedon automaattisen virtauksen ja rikastamisen → hankintaan, logistiikkaan, työmaalle ja digitaaliseen kaksoseen
Hankinta	E-BOM + GTIN, hinnat, toimitusajat, CO_2 → M-BOM (Peppol-sanomalähetys)	Nopea ja automaattinen tilaaminen; reaaliaikainen CO_2-seuranta; kustannusten ja riskien hallinta; helpottaa vaihtoehtoisten tuotteiden vertailua
Logistiikka & tukku	M-BOM kytketty varasto- ja kuljetus API:hin, sekä hintatietoihin	Materiaalivirta GTIN-skannauksella; ohjaa työlistoja ja aikataulutusta; tukee kustannusseurantaa ja varaston optimointia.
Laitevalmistaja	Manuaalit ja täydellinen tekninen data → asennus- ja käyttöohjeet; simulaatiot; liitetty graafipohjaiseen digitaaliseen kaksoseen	Sujuva asennus ja käyttöönotto; vähentää virheitä ja reklamaatioita; mahdollistaa AI-huoltoavustajat ja toiminnanvarmistuksen; luo perustan ennakoivalle huollolle ja optimoinnille
Ylläpito	Olosuhde-, Sensori-, huolto- ja käyttödata → päivittyvä digitaalinen kaksonen / tietograafi	Ennakoiva huolto ja vikojen varhainen tunnistus; elinkaaren CO_2- ja energiaraportit; käyttö- ja huoltokustannusten optimointi; tuottaa koulutusdataa AI-huoltoboteille ja tukee kiinteistöomistajien palveluliiketoimintaa

[19] Datatuotteen arvo ei synny vain teknisestä datasta, vaan myös liiketoiminta- ja sopimusjärjestelyistä osapuolten välillä (esim. digitaalisessa kaksosessa laitevalmistaja voi toimittaa täydellisen laitedatan, suunnittelutoimisto koota tietograafin, ja urakoitsija toimittaa kokonaisuuden osana digitaalista luovutusta).

4.2 Älykkäät käyttöliittymät

Älykkäät käyttöliittymät avaavat käyttäjille pääsyn rakennusalan datasisältöihin ilman syvällistä teknistä osaamista. Ne kokoavat eri järjestelmien tietoja yhteen ja esittävät ne helposti ymmärrettävässä muodossa[20].

Tekoälyn ja avointen protokollien ansiosta käyttöliittymät voidaan rakentaa suoraan olemassa olevien järjestelmien ja datalähteiden päälle. Tämä tekee tiedosta välittömästi hyödynnettävää – ilman, että käyttäjän tarvitsee hallita taustalla olevia järjestelmiä, datalähteitä, tai esimerkiksi tuntea kaikkien laitteiden ja niiden osien vakioituja nimikkeitä.

Samalla älykkäät käyttöliittymät toimivat helppokäyttöisenä ja intuitiivisena välineenä datatuotteiden esittämiseen: suunnittelussa syntyvä E-BOM, hankinnan M-BOM tai ylläpidon digitaalinen kaksonen voidaan tuoda näkyviin käyttäjälle kysymysten ja hakujen kautta ilman monimutkaisia työvaiheita.

Tekoälyn semanttinen ymmärrys linkittää käyttäjän aikomuksen ja kysymyksen oikeaan datalähteeseen, vaikka haku olisi vain ”sinne päin”[21]. Tämä laskee merkittävästi kynnystä hyödyntää monimutkaisia datasisältöjä käytännön työssä. Tietosisältöjen vakiointi ja rakenteellistaminen (tuotetieto, IFC, graafit) on kuitenkin tässä välttämätöntä, sillä vain niiden avulla tekoäly osaa hakea tarvittavat tiedot käyttäjälle riittävän tarkasti. Jos data on ei-rakenteellista, hakujen luotettavuus ei riitä rakentamisen ohjaukseen. Siksi tekoäly on kytkettävä koneluettavaan dataan ja olemassa oleviin työkaluihin, jotta ratkaisuista tulee aidosti käyttökelpoisia.

Laajemmin tarkasteltuna eri datalähteisiin ja järjestelmiin kytkeytyvät käyttöliittymät ilmentävät ohjelmistoalalla jo näkyvää trendiä, jossa tekoälyn tuoma parempi tiedon saavutettavuus on muuttamassa perinteistä SaaS-markkinaa[22]. Erityisesti pienemmät yritykset eivät enää välttämättä tarvitse laajoja lisenssipaketteja tai kokonaisia järjestelmiä (ERP, CRM jne.) jokaiseen tarpeeseen. Yksinkertaisissa ja rajatuissa tehtävissä riittävät perusjärjestelmät, joiden päälle voidaan rakentaa tekoälysovelluksia ilman suuria lisäinvestointeja (esim. asiakaspalvelubotti voi hakea tilausdatan suoraan pilvirajapinnasta tai tietokannasta ilman CRM:ää).

Monimutkaisemmissa työnkuluissa olemassa olevat SaaS-järjestelmät toimivat luotettavana tietovarastona ja työnkulkujen orkestroijana (ks. Automaattiset työnkulut rakentamisessa ja ylläpidossa, s. 19) jossa varmistetaan esimerkiksi datan oikeellisuus ja kriittiset integraatiot (esim. hankinta, taloushallinto, raportointi)[23]. Älykkäät käyttöliittymät tuovat käyttäjälle näkyväksi vain sen osan datasta ja prosesseista, jota hän tarvitsee.

Liiketoimintamalli: *Myydään helppokäyttöinen ja intuitiivinen käyttöliittymä olemassa oleviin järjestelmiin, dataan ja työnkulkuihin, joiden välillä tieto virtaa saumattomasti.*

---

[20] McKinsey & Company: Technology Trends Outlook 2025

[21] Kts. ”Hybridihaku” s. 20: Talotekniikan tuotedatan virtautus- ja hyödyntämismahdollisuudet generatiivisen tekoälyn avulla (Torro & Jalo, 2024)

[22] https://www.sijoittaja.fi/446605/tuhoaako-tekoaly-saas-yhtioiden-liiketoimet-hubspotin-ja-salesforcen-osakekurssit-jyrkassa-pudotuksessa

[23] Bain & Company: Will Agentic AI Disrupt SaaS?

Esimerkki 1: suunnitteluvaihe

- Tekoäly voi tukea tietomallien vakiointia esimerkiksi ehdottamalla IFC:n propertyseteille vakiintuneita nimikkeitä automaattisesti, jolloin suunnittelijoiden ei tarvitse ”osata” vakiointia.
- Vakiointiagentti integroidaan osaksi suunnitteluohjelmistoa.

Esimerkki 2: hankintavaihe

- Kysymys: “Mikä on suunnittelijan hyväksymä korvaava tuote kolmannen kerroksen ilmanvaihtojärjestelmään?”
- Ratkaisu hakee perustiedot tietograafista, sekä tuotetietokannasta tai DPP-hakemistosta käyttäen suunnittelijan hyväksymiä reunaehtoja.
- Asennukseen tarvittavat komponentit tuodaan käyttäjälle näkyviin pakettirekisterien kautta.
- Vastaavasti voidaan hakea esim. tuotteen EPD-, LCA- ja muut tarvittavat tiedot.

Uusimmat tekoälyratkaisut pystyvät käsittelemään suoraan myös Excel-dataa[24]:

- “Laske asennettavien ilmanvaihtolaitteiden CO_2-päästöt ja vertaa niitä suunnitteluvaiheen tavoitearvoon.”
- Tekoäly pystyy hyödyntämään suoraan taulukkolaskentaohjelmistoja, suorittamaan laskutoimituksia ja palauttamaan tulokset ilman manuaalista käsittelyä.

Esimerkki 3: rakentamisvaihe

- Älykkäät käyttöliittymät yhdistävät eri lähteiden dataa päätöksenteon ja operatiivisen työn tueksi
- Aikataulut[25], työlistat ja asennusohjeet toimitetaan suoraan työmaalle mobiilikäyttöliittymään
- Kyselyillä voidaan vastaavasti seurata esimerkiksi materiaalien sijaintia, pakkaustietoja ja toimitusten etenemistä.

Esimerkki 4: ylläpito

- Laitteita voidaan huoltaa ja ylläpitää tekoälybottien avustamana
- Esim. tekoäly antaa vaiheittaiset ohjeet kiinteistön toiminnanvarmistukseen, jotta rakennus toimiin niin kuin on suunniteltu
- Ratkaisun data saadaan täydellisenä suoraan järjestelmävalmistajalta, ja suunnittelutoimisto voi toimia sen välittäjänä, graafin koostajana, sekä loppuratkaisun kehittäjänä

[24] https://www.llamaindex.ai/blog/introducing-the-spreadsheet-agent-in-private-preview
[25] Esimerkki: The Trunk Tools Schedule Agent: https://trunktools.com/product/

- Vrt. tekoälybotit hissihuoltoon (KONE)[26].

[26] Kone keksi helpottaa huoltomiesten työtä tekoälyllä – ”Kukaan koekäyttäjistä ei halunnut lopettaa käyttöä”.

4.3 Automaattiset työnkulut rakentamisessa ja ylläpidossa

Tiedon vakiointi (tuotetieto, tietomallit, ontologiat), graafipohjainen käsittely ja tekoäly mahdollistavat dataohjattujen työnkulkujen automaation. Datasta tulee toimintaa ohjaava resurssi sekä rakentamisessa että ylläpidossa.

- **Vakioitu tuotedata → datatuotteet:** versioitu, dokumentoitu ja rajapinnoista haettava tieto.
- **Älykäs käyttöliittymä** kokoaa datan käyttäjälle näkyviin luonnollisen kielen kyselyiden perusteella.
- **Automaattiset työnkulut** hyödyntävät samaa dataa prosessien ohjaamiseen ja toimintojen käynnistämiseen (esim. tilaukset, aikataulujen päivitykset, raportointi) ilman käyttäjän väliintuloa.

Kun tieto on **semanttisesti yhtenäistä ja koneellisesti luettavaa**, tekoälyagentit voivat ohjata prosesseja alusta loppuun – aina suunnittelusta hankintaan, logistiikkaan, asennukseen ja ylläpitoon – yhteistyössä perinteisen ohjelmistorobotiikan (RPA), modernien ohjelmistoautomaation alustojen (esim. n8n[27]) ja ihmistyöntekijöiden kanssa[28].

Vakioitu data, avoimet AI-protokollat17 sekä moniagenttialustat[29] muodostavat **AI-natiivin ympäristön**, jossa eri järjestelmät ja toiminnot kytkeytyvät yhteen:

- Järjestelmien *väliset* työnkulut ja tiedon virtautus (esim. tuotetietokanta/DPP-hakemisto ↔ suunnittelu ↔ hankinta).
- Järjestelmien *sisäiset* työnkulut ja rutiinit (esim. ERP:n ja taloushallinnon automaatiot ja kyselyt tai vakiointiagentti suunnitteluohjelmistossa).

Liiketoimintamalli: *Automaatio palveluna, datavetoinen rakentaminen ja siihen kytkeytyvät ohjelmisto- ja AI-tuotteet. Rakentamisesta voi tulla prosessiohjattua, jossa pääurakoitsija omistaa prosessin. Jos esim. alhaisen IT-maturiteetin alaurakoitsijat eivät kykene hyödyntämään tarjottuja ratkaisuja, pääurakoitsijalle voi olla loogista pitää prosessit ja järjestelmät hallinnassaan ja ostaa työ tuntiresurssina.*

---

[27] n8n on avoimen lähdekoodin ohjelmistoautomaation alusta, joka yhdistää perinteiset sääntöpohjaiset työnkulut ja uusimmat AI-agentti-integraatiot.

[28] Alhava, O., Arola, T., Torro, O., Järvenpää, M., Järvinen, T., & Ruottinen, B. (2025). AI-Agent Application for Semantic Data Enrichment in Ventilation Systems Using National Nomenclature for IFC and GS1-Based Product Information. *LDAC2025*.

[29] Torro, O. & Jalo, H. (2024). Talotekniikan tuotedatan virtautus- ja hyödyntämismahdollisuudet generatiivisen tekoälyn avulla.

4.4 Esimerkki 1: Älykäs toimitusketju

Talotekniikan toimitusketju voidaan uudistaa, kun data nähdään yhteisenä resurssina ja tekoälyagentit otetaan käyttöön sen hallinnassa ja hyödyntämisessä. Tavoitteena ei ole rakentaa yhtä keskitettyä järjestelmää, vaan luoda hajautettu, standardeihin nojaava ratkaisu, jossa data virtaa eri toimijoiden välillä saumattomasti ja reaaliaikaisesti.

Keskeinen innovaatio on liittää agentit ja kielimallit talotekniikan alan semanttiseen dataperustaan. Ratkaisun ytimen muodostavat graafit ja niihin linkitetty vakioitu tuotedata. Semanttisesti yhtenäinen ja koneluettava graafi takaa, että dataa voidaan kysellä, päivittää ja rikastaa reaaliaikaisesti sen sijaan, että se jumittuisi yksittäisen ohjelmiston tiedostorakenteeseen.

Älykkään toimitusketjun alusta rakentuu kolmesta toisiaan täydentävästä elementistä ja liiketoimintamallista: 1) vakioidusta tuotedatasta ja datatuotteista, 2) älykkäistä käyttöliittymistä sekä 3) automaattisista työnkuluista. Agentit toimivat välittäjinä, jotka lukevat rajapintoja, tulkitsevat tietosisältöjä sekä käyttäjien kysymyksiä, ja vievät tehtäviä eteenpäin ilman raskaita integraatioita. Niiden älykkyys perustuu erikoistuneisiin ja avoimiin tekoälyn perusmalleihin: pienet LLM:t[30] hoitavat erikoistunutta tiedonhakua ja työkalujen kutsuja, suuremmat esimerkiksi raskaampaa analytiikkaa. Agenttien välinen kommunikointi ja ratkaisuiden integroiminen olemassa oleviin järjestelmiin sekä käyttäjärajapintaan toteutetaan standardoiduilla AI-protokollilla[17].

Datan laadunhallinta (esim. laatumittarit, SLA-taso, vastuut), omistajuus (esim. lisenssi tai käyttöoikeudet) ja hinnoittelu (esim. tilauspohjainen, kertamaksu, käytön mukaan maksettava) on sisäänrakennettu graafiin esimerkiksi koneluettavan ODPS-metadatamallin avulla[18]. Integraatiot keskeisiin järjestelmiin, kuten taloushallintoon ja työmaan ohjaukseen, ovat kriittisiä: niiden avulla saadaanko älykkään toimitusketjusta todelliset tehokkuushyödyt irti.

Hyödyt näkyvät usealla tasolla: reaaliaikainen tiedonkulku vähentää virheitä ja manuaalista työtä, skaalautuva arkkitehtuuri mahdollistaa uusien käyttötapausten ja toimijoiden liittämisen (esim. startupit), ja läpinäkyvyys tukee regulaatiota (CSRD, taksonomia, DPP), sekä toimitusketjun analytiikkaa ja optimointia. Samalla syntyy pohja uusille liiketoimintamalleille, joissa data itsessään on tuotteistettavissa.

Agenttien tutkimisessa ja kehittämisessä korostuvat esimerkiksi tarkkuus, tietoturva, kustannustehokkuus, agenttien välinen koordinaatio, sekä muisti, jatkuva oppiminen ja siten suorituskyvyn parantaminen. Erityisen tärkeää olisi kehittää palautesilmukka, jossa tekoäly oppii ihmiseltä ja ihminen saa tekoälyltä jatkuvasti enemmän hyötyä[31]. Samalla agenttien ylläpito ja seuranta edellyttävät myös järjestelmää, joka tarjoaa läpinäkyvän näkymän agenttien päättelyyn (miten tehtävä tehtiin) ja suorittamiseen (mitä tehtiin ja milloin).

Älykkäitä toimitusketjun elementtejä, kuten agentteja, voidaan kehittää jo nyt ilman täydellistä vakiointia hyödyntämällä rajattuja ontologioita, tuotedatan tulkkaustaulukoita tai graafeja. Näin voidaan vaiheittain osoittaa vakioinnin ja siihen kytkeytyvän tekoälyn arvo ennen laajempaa käyttöönottoa. Jo pelkät pistemäiset ratkaisut voivat kuitenkin mullistaa yksittäisten toimijoiden

[30] https://research.nvidia.com/labs/lpr/slm-agents/
[31] Torro, O. (2024). Tekoälyn hyödyntäminen kiinteistö- ja rakennusalalla. *Tampereen yliopisto*.

toimintaa esimerkiksi nopeuttamalla hankintoja, vähentämällä manuaalityötä tai avaamalla uusia palvelumalleja, vaikka ekosysteemitason ratkaisu ei vielä olisi valmis.

4.5 Esimerkki 2: Digitaalinen kaksonen

Rakennus- ja kiinteistöala tarjoaa ympäristön, jossa ihmiset viettävät valtaosan elämästään, mutta toisin kuin monilla muilla toimialoilla, alan ymmärrys omasta tuotteestaan – rakennusten todellisesta käytöstä ja toiminnasta – on yhä rajallista.

Nykyiset BIM-pohjaiset ratkaisut (joita usein kutsutaan digitaalisiksi kaksosiksi, mutta jotka nojaavat vielä vahvasti BIMin staattiseen logiikkaan) kärsivät merkittävistä rajoitteista: tieto ei päivity automaattisesti ja vanhenee nopeasti, data on hajautunut siiloihin ja eri datalähteiden yhteensopimattomuus on yleistä. Ilman yhtenäistä käsitejärjestelmää (l. ontologiaa) analytiikka ei skaalaudu, eikä rakennusten moniulotteisia riippuvuuksia voida hallita tai ennakoida (esim. HVAC–kuorma–käyttöaste–sää)[32].

Ylläpitovaiheen ontologioihin perustuva graafipohjainen digitaalinen kaksonen ylittää nämä rajoitteet muodostamalla semanttisesti yhtenäisen ja koneluettavan tietosisällön, joka päivittyy reaaliajassa useista datalähteistä[32]. Näin rakennuksen tila ja järjestelmät pysyvät jatkuvasti ajan tasalla, ja tieto on kyseltävissä ja analysoitavissa yli järjestelmärajojen. Älykkäästä toimitusketjusta syntynyttä TATE-tietograafia voidaan käyttää ratkaisun ytimenä. Graafipohjaiset tietorakenteet ovat huomattavasti kevyempiä kuin perinteiset BIM-tiedostot[33], minkä ansiosta digitaalinen kaksonen ja ylläpitomalli toimivat ketterämmin ja tehokkaammin myös tiedostokoon näkökulmasta.

Kuten älykkäässä toimitusketjussa, ratkaisu rakentuu samoista kolmesta pilarista: vakioidusta datasta ja datatuotteista, älykkäistä käyttöliittymistä sekä toimintojen automaatiosta. Graafi julkaisee tiedon datatuotteina, jolloin se on löydettävää, versioitua ja hyödynnettävissä esimerkiksi erilaisiin simulaatioihin (esim. EPD/DPP-linkitykset, tuotevalmistajan täydellinen data). Älykkäät käyttöliittymät tarjoavat roolipohjaiset näkymät ja luonnollisen kielen kyselyn graafista. Automaatio- ja työnohjauskerros toteuttaa esimerkiksi ennakoivan huollon, kiinteistön ohjauksen ja AI-avusteisen toiminnanvarmistuksen.

Omistajan näkökulmasta mahdollisesti erittäin merkittävä arvo syntyy, kun talotekninen, olosuhde- ja käyttödata yhdistetään samaan graafiin. Tällöin muodostuu kokonaiskuva rakennuksen toiminnasta, joka tukee sekä päivittäistä ylläpitoa että strategisia päätöksiä. Yhdistetty data mahdollistaa läpinäkyvän seurannan, ennakoivan huollon, reagoinnin muuttuviin tilatarpeisiin sekä uusien palvelu- ja ansaintamallien kehittämisen. Näin koko kiinteistön toiminta tunnetaan faktoihin eikä oletuksiin nojaten, ja investoinnit voidaan kohdentaa kohteisiin, joiden käyttöä ymmärretään ja joita voidaan seurata luotettavasti.

Graafipohjainen tiedonkäsittely lunastaa lopullisen arvonsa digitaalisessa kaksosessa. Käytännön eteneminen voidaan aloittaa erilaisten datalähteiden yhdistelystä graafiin ja LLM/agentti-integraatioista, vaikka alan vakiointi olisi vielä kesken. Proof-of-conceptit ja yksittäiset menestystarinat tekevät standardoinnin hyödyt näkyviksi. Tämä voi kiihdyttää ontologioiden, semantiikan ja graafien kehitystä sekä tekoälyn käyttöönottoa koko alalla, koska tilaajat kiinnostuvat digitaalisten kaksosten tuomista hyödyistä kiinteistöjen elinkaarella.

---

[32] Revolti, A., Gualtieri, L., Pauwels, P., & Dallasega, P. (2024). From building information modeling to construction digital twin: a conceptual framework. *Production & Manufacturing Research*, *12*(1), 2387679.

[33] Rasmussen, M. H., Lefrançois, M., Schneider, G. F., & Pauwels, P. (2020). BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group. *Semantic Web*, *12*(1), 143-161.

5. Johtopäätökset: muutos on välttämätön – mahdollisuudet valtavat, työtä riittää

Markkina ympärillä kiristyy: DPP tekee pian laadusta ja kestävyydestä läpinäkyvää, valmistajat hakevat etumatkaa todennettavalla tuotedatalla, ja arvoketjun työnjako järjestyy uudelleen. Kilpailuetu siirtyy kohti niitä, joilla on paitsi tehokkaimmat tuotteet myös standardoitu, historiallisesti rikas ja sääntelyä noudattava tietoperusta – ja kyky kytkeä tekoäly sen päälle. Graafit ovat tässä systeemisen ratkaisun seuraava askel, koska BIM ei yksin pysty vastaamaan näihin vaatimuksiin.

Graafit ja tekoäly muuttavat TATE-arvoketjua vain, jos ne kytketään hallituksi, poikkiorganisatoriseksi toimintamalliksi. Uuden teknologian käyttöönotto horjuttaa alan vakiintunutta tasapainoa teknologian, tehtävien, rakenteiden ja toimijoiden välillä[31]. Tasapaino palautuu vain, jos näitä neljää kehitetään rinnakkain: ihmiset koulutetaan, tehtävät ja vastuut järjestellään uudelleen, rakenteita päivitetään ja tekniset ratkaisut otetaan käyttöön hallitusti.

Ilman yhteistä kieltä, käsitteitä ja semantiikkaa tekoäly jää irralliseksi kokeiluksi; ilman rohkeaa kehittämistä standardit eivät muutu kilpailukyvyksi. Skaalaetujen saavuttaminen edellyttää, että vakiointi ja tekoälykokeilut kytketään toisiinsa alusta asti.

Data governance on toteutettava kahdella tasolla ja sovitettava toisiinsa:

- **Yhteinen, keskitetty ohjaus** määrittää pakolliset datasisällöt, standardit, ontologiat ja tunnisteet, sekä luo pelisäännöt[34] ja kannustimet datan jakamiselle ja monetisoimiselle.
- **Yrityskohtainen, hajautettu ohjaus** kääntää tämän käytännön toimiksi, jotka mahdollistavat ratkaisujen hallitun kaupallisen hyödyntämisen ja skaalaamisen.

Hankintojen ja sopimusten on tuettava yhteistä dataperustaa siten, että laatu, läpinäkyvyys ja hyödynnettävyys määritellään etukäteen, ja tieto kulkee selkeine omistajuuksineen läpi koko ketjun. **Osaamista** siirretään BIM-koordinaatiosta kohti laajempaa datalla ja tiedolla johtamista. Tämä edellyttää, että ala on houkutteleva myös data- ja tekoälyosaajille – mikä puolestaan vaatii globaalin mittakaavan onnistumisia ja korkeaprofiilisia hankkeita. **Perinteiset tiedonhallinnan periaatteet[35] on päivitettävä AI-aikaan**: datatuotteiden elinkaari, mallien hallinta (MLOps[36] + GenAIOps[37]), läpinäkyvä mittaristo ja jäljitettävyys kuuluvat osaksi normaalia tiedonhallintaa. Digitalisaatio ei kuitenkaan tarkoita vain raskaita ohjelmistoprojekteja, vaan ketterämpiä, modulaarisia ratkaisuja, joissa päähuomio on datassa sekä sen virtauttamisessa ja rikastamisessa.

Käytännön eteneminen kannattaa aloittaa tarkasti rajatusta kipupisteestä, joka todentaa hyödyn nopeasti ja ruokkii vakiointia. Esimerkiksi automaattinen CO_2- ja energiaraportointi (CSRD) voisi olla tässä ensimmäinen askel. Systeemisen ratkaisun kehitys voi kuitenkin edetä räjähdysmäisesti, jos panostukset vakiointiin, ontologioihin ja tekoälyn hyödyntämiseen ovat riittävän vahvat. Vastaavasti vaihtoehtona on myös pysähtyneisyyden tila, jos näihin kriittisiin teknologioihin ei panosteta.

---

[34] https://www.rts.fi/verkkojulkaisut/tekoalyn-pelikirja/
[35] https://dama.org/learning-resources/dama-data-management-body-of-knowledge-dmbok/
[36] https://cloud.google.com/discover/what-is-mlops?hl=en
[37] https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/ai-ml/guide/genaiops-for-mlops

5.1 Action points TATE-alalle

1. Välittömästi toteutettavissa: korjataan BIM

Korjataan BIM-tietosisältö ja kytketään se hankintaan (E-BOM → M-BOM).

- Otetaan käyttöön LVIS-tuoteosan mukainen vakioitu suunnittelunimikkeistö Rava3Pro-määritysten mukaisesti[38].
- Määritetään minimitietokentät ja viedään data rakenteisesti ERP-järjestelmiin.

Tuotetaan automaattiset osaluettelot ja käytetään tunnisteita (esim. GTIN), jotta mallit palvelevat hankintaa, logistiikkaa ja työmaata heti käytännössä.

2. Yhteinen dataperusta ja ontologiat

Luodaan yhteinen, kokonaisarkkitehtuuriin[39] sidottu dataperusta, jonka ytimessä ovat TATE-ontologiat toimitusketjun kaikista vaiheista (suunnittelu, hankinta, rakentaminen, käyttö ja ylläpito).

- Ontologiat muodostetaan organisaatiotyypeittäin arvoketjun eri vaiheissa.
- Ne yhdistetään tunnistamalla avainkäsitteet, jotka linkittävät eri ontologiat yhdeksi rakentamisen data-avaruudeksi[40].
- Työ voidaan aloittaa heti hyödyntäen olemassa olevaa työnjakoa: buildingSMART Finland/Rakennustietomalli Oy (*suunnittelu*), Rakennusteollisuus (RT) ja Rakennustuoteteollisuus (RTT) (*toimitusketju*), RT/TATE2030/Building2030 (*rakentaminen*), Valtionkonttori (*PEPPOL-yhteentoimivuus*).
- Lisäksi suomalaista Linked Building Data -osaamista on vankistettava, sen yhteisön johtamisesta on otettava vastuu ja sen toiminta kytkettävä käytännön kehittämiseen, erityisesti todelliseen maailmaan vietävien tietograafien rakentamiseen ja tekoälykytkentään.

3. TATE-sandbox tekoälypiloteille ja -tutkimukselle

Rakennetaan sandbox-testiympäristö[41], jossa tutkijat ja rakennusalan tekoälykehittäjät voivat kehittää ja testata tekoälyratkaisuja avoimen koodin ja yleisten protokollien pohjalta.

- Tekoälykehitys tarvitsee yhteisen alustan, sillä tällä hetkellä puuttuva infrastruktuuri on merkittävä pullonkaula.
- Sandbox mahdollistaa proof-of-concept-ratkaisujen kehittämisen ja testaamisen yhdessä alan toimijoiden kanssa.
- Alusta kehitetään AI- ja datasuvereniteetin näyteikkunaksi, jossa kaikki laskenta toteutetaan on-premise-ympäristöissä tai kotimaisilla ja EU:n palvelimilla.

---

[38] https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/rava3pro-hankkeen-tulokset-ovat-merkittavia/

[39] Kokonaisarkkitehtuurin rakenne - Kokonaisarkkitehtuuri toiminnan kehittämisessä - Suomi.fi kehittäjille

[40] https://www.sitra.fi/julkaisut/suomalaisten-data-avaruuksien-tilannekuva/

[41] Esimerkkinä Tampereen yliopiston GPT-Lab: https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/gpt-lab

- Julkishallinnon MiniSuomi-alusta[42] tarjoaa jo yrityksille kehitys- ja testaustyökalun, johon TATE-sandbox voidaan liittää.

[42] https://minisuomi.fi/