

Eero Niemi

# SUUNNITTELUN PERUSTEET OSANA TUOTETIEDON HALLINTAA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Helmikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Eero Niemi: Suunnittelun perusteet osana tuotetiedon hallintaa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Helmikuu 2021

---

Yrityksen tuotteisiin liittyvä informaatio ja asiantuntemus ovat erittäin arvokkaita kilpailuetua luovia ja ylläpitäviä pääomia. Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmät (engl. Product Lifecycle Management, PLM) ovat yleistyneet yrityksissä pääasiallisiksi tietojärjestelmiksi, jotka keräävät kaiken yrityksen tuotteisiin liittyvän informaation yhteen paikkaan. Suunnitteluprosessi on keskeinen asiantuntemuksen lähde, mutta siitä dokumentoidaan yleensä vain suunnittelutyön tulos ilman suunnittelun perusteita (engl. Design Rationale, DR). Vaikka suunnittelun perusteiden dokumentointiin on luotu vuosikymmenten aikana useita menetelmiä ja järjestelmiä, ei mikään järjestelmä ole saavuttanut laajaa käyttäjäkuntaa. Tässä kirjallisuusselvityksessä tutustutaan PLM-järjestelmän ominaisuuksiin ja selvitetään, onko mitään DR-menetelmää tai -järjestelmää integroitu toimimaan sen ympäristössä.

Työn ensimmäisessä osassa käsitellään PLM-järjestelmien sisältöä tuotetietojen osalta tuotesuunnittelun näkökulmasta. Toisessa osassa tutustutaan suunnittelun perusteiden dokumentointiin käytettyihin menetelmiin ja esitellään niihin perustuvia integraation kannalta oleellisia järjestelmiä. Kolmannessa osassa käsitellään näiden järjestelmien integraatiota PLM-järjestelmään taustatutkimuksien avulla ja arvioidaan niiden toteutusta sekä niiden kohtaamia ongelmia.

Lähdemateriaalin mukaan PLM-järjestelmän tavoitteena on parantaa yrityksen sisäistä ja organisaatioiden välistä kommunikaatiota. Se yhdistää tuotteen sidosryhmät työskentelemään yhden tietojärjestelmän yhteydessä ja mahdollistaa saumattoman tiedon välityksen muun muassa suunnittelun, tuotannon ja laadunhallinnan välillä. Selvityksessä tulee esille, kuinka järjestelmä käsittelee nimikkeistä koostuvia kokonaisuuksia ja luo niiden välille yhteyksiä nimikehierarkian avulla. Tuotteista voidaan luoda erilaisia tuotemalleja eri sidosryhmien näkökulmasta. Suunnittelun perusteet sisältävä dokumentaatio on esimerkiksi suunnittelun näkökulmasta luotu tuotemalli. Selvityksessä käsitellään myös tuotetietoja käsitteleviä standardeja, joiden avulla pyritään helpottamaan eri PLM-järjestelmien välistä tiedonvälitystä. Tuotekehityksen myötä tuotteen dokumentteihin tulee muutoksia, ja järjestelmän yksi tehtävistä on toimia nimikkeiden versiohistorian arkistona.

Suunnittelun perusteet käsittävät suunnitteluprosessin aikana syntyneen informaation sisältäen myös niin sanotun hiljaisen tiedon, joka ei ole nähtävissä valmiin tuotteen dokumentaatioissa. Perusteiden dokumentoinnin tavoitteena voi olla suunnittelutyön tuloksen parantaminen tai suunnittelutiedon uusiokäyttö tulevaisuudessa. Dokumentoinnilla voidaan myös helpottaa suunnitteluprosessin ymmärtämistä suunnitteluryhmän ulkopuolisille ja tukea suunnittelutyön yhteistuotantoa. Selvityksessä käsiteltävät tiedonkeruumenetelmät perustuvat argumentoivaan näkökulmaan.

IBIS (engl. Issue Based Information System) -konseptin sekä QOC (engl. Questions, Options, and Criteria) -menetelmän pohjalta on tehty useita DR-järjestelmiä, jotka ovat onnistuneesti integroitu PLM-järjestelmän ympäristöön. Esimerkiksi graafiseen IBIS-menetelmään perustuva Dred- (engl. Design Rationale editor) ohjelmisto on osa Rolls Roycen PLM-työkaluja ja on käytössä yrityksen suunnitteluosastoissa maailmanlaajuisesti. Keskeisiä ongelmia dokumentaatioon sekä integraatioon liittyen on tiedonkeruumenetelmän kustannustehokkuus sekä yleisen dokumentaatiomenetelmän uupuminen. Siksi dokumentaation tulevaisuuden kannalta olisi tärkeää, että jokin dokumentointimenetelmä yleistyisi uudeksi tai osaksi jotakin jo yleistynyttä standardia.

Avainsanat: Suunnittelun perusteet, Design Rationale, Tuotetiedon hallinta, PLM, IBIS, QOC, DRed

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. TUOTETIEDON HALLINNAN OMINAISUUDET .....	2
2.1 Tuotetiedon hallinnan sisältö ja tavoitteet.....	2
2.1.1 Nimikkeet.....	3
2.1.2 Tuotetiedot.....	5
2.1.3 Standardit .....	5
2.1.4 Tuotemallit ja -rakenteet.....	6
2.1.5 Muutosten hallinta.....	7
3. SUUNNITTELUN PERUSTEET .....	9
3.1 Dokumentoinnin tavoitteet ja sisältö .....	9
3.2 Tiedonkeruumenetelmiä.....	10
3.2.1 Issue-Based Information System .....	11
3.2.2 Questions, Options, and Criteria .....	13
3.3 Dokumentoinnin ongelmat.....	15
4. TIETOJÄRJESTELMIEN INTEGRAATIO.....	17
4.1 Toteutuneet integraatiot .....	17
4.1.1 Tapaustutkimus 1.....	17
4.1.2 Tapaustutkimus 2.....	18
4.1.3 Tapaustutkimus 3.....	20
4.1.4 Tapaustutkimus 4.....	20
4.2 Vertailua ja integraatioiden ongelmat .....	21
5. YHTEENVETO.....	23
LÄHTEET .....	25

# 1. JOHDANTO

Tekniikan ala on erittäin kilpailtua ja yksi yritysten tärkeimmistä tavoitteista on tuoda markkinoille innovatiivisia tuotteita kustannustehokkaasti. Suunnittelutiedon uusiokäyttö on tehokas tapa nopeuttaa suunnittelutyön etenemistä. (Brunsmann & Wilkes, 2009, s. 18–19) Dokumentoitu suunnittelutieto käsittelee kuitenkin yleensä vain suunnittelutyön lopullisen tuotoksen ilman käsitystä prosessin historiasta, kuten suunnittelupäätöksistä tai vaihtoehtoisista ratkaisuista (Pavković, et al. 2010). Suunnittelupäätökset ja niiden perustelut tarjoavat tietoja suunnittelijan syistä valita jokin tietty rakenne tai toiminnallisuus tuotteeseen (Pratt & Junhwan 2006, s. 235).

Suunnittelutietojen uusiokäyttö edellyttää tietojen arkistointia ja niiden helppoa saatavuutta. Tämän aikaansaamiseksi on luotu tuotetiedon hallintajärjestelmiä, jotka kokoavat yrityksessä kaiken sen tuotteisiin liittyvän informaation yhteen paikkaan.

Tässä kirjallisuusselvityksessä perehdytään suunnittelutiedon arkistointiin ja selvitetään, onko suunnittelupäätöksiä ja niiden perusteluita käsittelevää menetelmää tai järjestelmää integroitu tuotetiedon hallintajärjestelmään. Luvussa 2 esitellään tuotetiedon hallintajärjestelmien sisältöä ja tavoitteita suunnittelutyön näkökulmasta. Luvussa 3 perehdytään suunnittelun perusteiden dokumentointiin ja esitellään siihen tarkoitettuja menetelmiä. Luvussa 4 selvitetään suunnittelun perusteiden integraatiota tuotetiedon hallintajärjestelmiin ja arvioidaan lähdetutkimuksissa esiintyneitä tutkimustuloksia.

## 2. TUOTETIEDON HALLINNAN OMINAISUUDET

Modernissa liiketaloudessa yrityksiltä vaaditaan jatkuvaa kasvua. Asiakkaat haluavat uusia yksilöityjä tuotteita vastaamaan tarpeisiinsa entistä lyhyemmillä aikaväleillä. Vastatakseen kysyntään sekä kilpailuun, yrityksen tulee pystyä tekemään tiivistä yhteistyötä oman organisaationsa sisällä sekä toimittajien ja yhtiökumppaneiden kanssa.

Tuotekehitystyön nopeuttaminen sekä onnistuneiden uusien tuotteiden käyttöönoton määrän lisääminen ovat valtava haaste useimmille organisaatioille hajautettujen ja manuaalisten prosessien vuoksi.

Tuotetiedon hallintajärjestelmä, lyhyemmin PDM- (engl. Product Data Management) tai tuotteen elinkaaren hallinta PLM (engl. Product Lifecycle Management) -järjestelmä, tarkoittaa tietoteknistä järjestelmää, joka kokoaa yrityksen tuotteisiin liittyvää tietoa niiden koko elinkaarien ajalta sisältäen suunnittelun, valmistuksen, huollon sekä hävittämisen. PLM-järjestelmä käsittelee usein tuotesuunnittelun tuottamia tietoja eikä esimerkiksi tilaus- ja toimitusprosessien tietoja, joita käsitellään yleensä erillisessä ERP (Enterprise Resource Planning), eli toiminnanohjausjärjestelmässä. (Martio 2015, s.9)

Tuotetiedon hallintaa on kuvattu useilla, suunnilleen samaa tarkoittavilla termeillä: PIM (engl. Product Information Management), EDM (engl. Engineering Data Management) ja CPC (engl. Collaborative Product Commerce). Tuotetiedon hallinta on käsite itsessään, mutta tässä kirjallisuusselvityksessä käsitellään tuotetietoja hallintajärjestelmien näkökulmasta ja käytetään niistä lyhennettä PLM-järjestelmä.

### 2.1 Tuotetiedon hallinnan sisältö ja tavoitteet

Martion (2015, s. 48) mukaan yksi PLM-järjestelmän tärkeimmistä tehtävistä on yrityksen sisäisen kommunikaation parantaminen. Sen avulla yrityksen sisälle voidaan luoda yhteiset käsitteet ja yhteinen kieli, millä yrityksen tuotteista puhutaan. Martion (2015) mukaan tuotetiedon hallinta voidaan jakaa seitsemään pääalueeseen:

- nimikkeiden hallinta
- dokumenttien hallinta
- tuoterakenteiden hallinta
- konfigurointitietämyksen hallinta
- muutosten hallinta

- käyttäjän tunnistuksen ja käyttöoikeuksien hallinta
- liittymät suunnittelu-, dokumentointi- ja tuotannonohjausohjelmiin.

PLM-järjestelmän käyttöönoton tavoitteena on saada aikaan parannusta kaikilla näillä osa-alueilla.

PLM Technology Guide internetsivun mukaan PLM-järjestelmän avulla voidaan yhdistää tuotteen sidosryhmät työskentelemään yhdessä reaaliaikaisesti. Tämä saavutetaan, kun sidosryhmien omat tietojärjestelmät integroidaan yhteiseen PLM-järjestelmään.



**Kuva 1:** PLM-järjestelmä toimii sidosryhmien yhteisenä tietokantana sisältäen kaiken tuotteisiin liittyvän informaation. (Mukaillen, PLM Technology Guide 2020)

PLM-järjestelmiä on saatavilla useilta eri valmistajilta, mutta perustoiminnallisuudet ovat yleensä samat. Useilla PLM-palveluntarjoajilla on myös muita ohjelmistoja, jotka ovat suunniteltu toimimaan mahdollisimman hyvin palveluntarjoajan omassa PLM-järjestelmässä. Esimerkiksi järjestelmässä on usein suora yhteys yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään sekä suunnitteluohjelmistoon (eng. Computer Aided Design, CAD) (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 54).

### 2.1.1 Nimikkeet

Martion (2015, s. 51) mukaan tuotetiedon hallinta on suurelta osin nimikkeiden hallintaa. Nimike voi olla mikä tahansa tuotetiedon hallinnan kannalta itsenäinen elementti, jota

käytetään tuotteisiin liittyvissä prosesseissa. Se voi olla esimerkiksi tuote, materiaali, dokumentti, resurssi tai aktiviteetti.

Tuotetiedonhallinnan kannalta on olennaista, että tuotteiden luokittelu on yhdenmukaista yrityksen sisällä. Tämä edellyttää, että nimikehierarkia ja sen väliset suhteet ovat määriteltä ja dokumentoitu. (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 12). Yrityksen operatiivisen johdon vastuulla on määrittellä, mitä tietoja käsitellään nimikkeinä, ja näin luoda pohja tuotetiedon hallinnalle yrityksessä (Martio 2015, s.51).

Nimikkeelle on ominaista yksikäsitteinen tunniste, joka erottaa sen muista nimikkeistä. Kahdella nimikkeellä ei siis yleensä voi olla samaa tunnistetta, jos niitä käsitellään samassa järjestelmässä. Tunniste on yleensä alle 20 merkkiä pitkä kirjain- tai numeroyhdistelmä, jolla nimikettä voi etsiä ja kutsua järjestelmässä. Tunniste voi olla luokitteleva, eli se jotenkin kuvaa tunnisteeseen takana olevaa nimikettä. Esimerkiksi jollakin komponentilla voi olla tunnisteena numerosarja ja sen kokoonpanopiirustuksella sama tunniste sitä kuvaavalla etuliitteellä D-(Dokumentti). (Martio 2015, s. 54, 55).

Nimikkeiden luokittelu, eli indeksointi on tärkeää nimikehierarkian rakentamisen kannalta. Se tehdään nimikkeen metadatan perusteella, jota käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. Tunniste voi itsessään olla nimikettä määrittävä tieto, eli attribuutti, mutta se voi myös olla mielivaltainen. Tällöin nimikkeen kuvaus täytyy olla tunnisteeseen ohella järjestelmässä, jotta käyttäjä voi etsiä ja tunnistaa hakemansa nimikkeen. Nimikkeellä voi olla useampia luokitteluattribuutteja, jolloin se voi kuulua samanaikaisesti useaan nimikehierarkiaan. (Martio 2015, s. 55)

Tunnisteeseen parina kulkeva nimikkeen kuvaus on selväkielinen nimikkeen sisältöä kuvaava selostus, joka käyttää yritykselle ominaista terminologiaa, jotta järjestelmän käyttäjä voi löytää ja tunnistaa etsimänsä nimikkeen. (Martio 2015, s. 55)

PLM-järjestelmässä dokumentteja käsitellään nimikkeinä ja kuten aiemmin mainittiin, niilläkin on muiden nimikkeiden tapaan myös tyyppi, tunniste sekä luokitteluattribuutteja. Näiden lisäksi ne sisältävät dokumentin varsinaisen sisällön, joka voi olla mitä tahansa tietoa, jota käsitellään PLM-järjestelmän ulkopuolella sen käsittelyyn sopivalla työkalulla. Sisältö voi esimerkiksi olla tekstidokumentti, video, piirustus tai 3D-malli. (Martio 2015, s. 97)

## 2.1.2 Tuotetiedot

Tuotetiedot sisältävät informaation valmistettavista tuotteista ja yhdistävät yrityksen tietotaidon, eli aineettoman sekä valmistamiseen tarvittavan aineellisen osaamisen, jotka molemmat näkyvät valmiissa tuotteissa.

Sääksvuoren ja Immosen (2008, s. 7) mukaan kokonaisuudessaan tuotetiedot jakautuvat kolmeen osaan:

- Tuotteen määrittelytiedot
- Tuotteen elinkaaritiedot
- Tuotteen metadata.

Tuotteen määrittelytiedot kertovat fyysisen tai toiminnallisen tuotteen ominaisuudet, kuten koon, muodon sekä toiminnan. Ne sisältävät hyvin tarkkoja teknisiä tietoja sekä abstrakteja käsitteellisiä kuvauksia tuotteesta rakentaen kokonaiskuvan kaikesta tuotteeseen liittyvästä informaatiosta. Tuotteen elinkaaritiedot seuraavat tuotteen vaiheita läpi koko liiketoimintaprosessin, sisältäen teknologisen tutkimuksen, suunnittelun, tuotannon, käytön, kierrätyksen sekä hävityksen. Tuotteen metadata kuvailee nimikkeen tuotetietoja ja kertoo esimerkiksi mitä tyyppiä nimike on, missä sen tiedot sijaitsevat sekä milloin ja kuka ne on luonut. Kuten aiemmin mainittiin, luokittelu ja indeksointi tuotetiedon hallintajärjestelmässä tehdään yleensä juuri metadatan avulla. (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 7)

## 2.1.3 Standardit

Tuotetiedon hallinnan tavoite eri tietojärjestelmien yhdistämisessä, organisaatioiden sekä sidosryhmien välillä, asettaa tuotetiedon sisällön esittämiselle vaatimuksia. Koska tuotetietoa luodaan ja käsitellään erilaisilla ohjelmilla, eri sidosryhmien toimesta, täytyy tiedot olla sellaisessa muodossa, että ne ovat helposti siirrettävissä järjestelmästä toiseen. Tässä luvussa käsitellään erityisesti tuotetiedon esittämiseen liittyviä standardeja.

UML (Unified Modeling Language) on alun perin ohjelmointikehitystä varten luotu mallinnuskieli, jonka avulla kuvataan monimutkaisia ohjelmointiprojekteja. Sitä on kuitenkin hyödynnetty myös kuvaamaan prosessien yhteyksiä myös yritysmaailmassa mukaan lukien PLM-järjestelmissä. (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 240)

IGES (Initial Graphics Exchange Specification) on graafisen tiedon käsittelemiseen luotu standardi. Sen kehittäminen on aloitettu 1970-luvulla ja se on ensimmäinen neutraali järjestelmien välisen geometrisen tiedon välityksessä käytetty standardi. (Salonen &



Sääski 2005) IGES-tiedostoja pystytään lukemaan lähes kaikilla CAD (Computer Aided Design) -ohjelmistoilla, mutta eri ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa tiedostoissa voi esiintyä ongelmia esimerkiksi kappaleiden reikiintymisenä. (Salonen & Sääski 2005, s. 7, Sääksvuori & Immonen 2008, s. 236)

STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) -standardi, tarkemmin ISO-10303, on ISO (International Organization for Standardization) -organisaation luoma standardi tuotetietojen välittämiseen. STEP-standardin tarkoitus on olla kansainvälinen, neutraali kaupallisesti riippumaton, tuotetiedon esitystapa, jonka avulla tuotetiedon käsittely on mahdollista käytettävästä järjestelmästä tai ohjelmistosta riippumatta. (Salonen & Sääski 2005, s. 7; Sääksvuori & Immonen 2008, s. 236) STEP-standardin eri osat kattavat laajan valikoiman erilaisia tuotetyyppejä, eikä se IGES:in tapaan rajoitu graafisen tiedon käsittelemiseen, vaan sisältää myös tuotteen toiminnallisia tietoja sekä tuotteen elinkaaritietoja (Pratt, 2001). STEP:in tuotemallijärjestelmä tukee PLM-järjestelmän mahdollistamaa tiedon yhteiskäyttöä sekä suunnitteluvaiheiden ja toimintojen yhteistoi-  
mintaa. Kun tuotetieto on standardin mukaisessa esitysmuodossa, on muutosten hallinta sekä uusien ohjelmistojen integroiminen PLM-järjestelmään helpompaa. (Salonen & Sääski 2005, s. 7)

NIST (National Institute of Standards and Technology) information modeling framework on tuotetiedon hallintaan luotu viitekehys, joka tukee PLM-järjestelmän ominaisuuksia. Se perustuu NIST Core Product Model (CPM) tietomalliin sekä sen laajennuksiin. (Sudarsan et al. 2005, s. 1399)

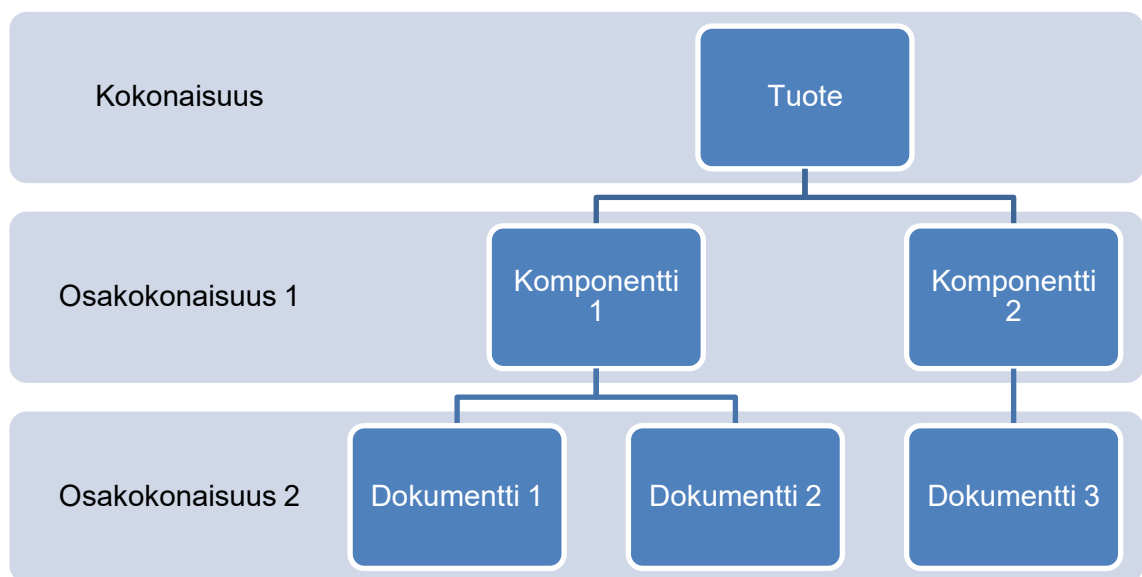
Fenvesin (2001, s. 8) mukaan aiemmin mainittu STEP-standardi tukee erityisesti valmiin tuotteen tiedon välitystä, kun taas CPM-tietomalli soveltuu suunnitteluprosessin aikaiseen tiedonvälitykseen paremmin. Hänen mukaansa CPM-tietomalli voisi olla suunnitteluprosessin valmistuttua muutettavissa STEP-standardin muotoon, joten se voisi toimia STEP:in rinnalla. CPM-tietomallia käsitellään tarkemmin luvussa 4.

#### **2.1.4 Tuotemallit ja -rakenteet**

Tuotteesta ja sen osista, eli moduuleista, voidaan luoda useita eri tuotemalleja, jotka kuvaavat tuotetta tai moduulia eri näkökulmista. Tällaisia kuvauksia tehdään yleensä jotta-  
tain tiettyä tarkoitusta varten. Mekaniikkasuunnittelussa erilaisia tuotemalleja voisi olla esimerkiksi: Jännitysmalli FEM (Finite Element Method), koneistusmalli sekä suunnitel-  
lumalli. Lisäksi tuotemalleja voi olla jokaisen yrityksen muun sidosryhmän näkökulmasta, tuotantoon, myyntiin, toimitukseen sekä jälkimarkkinointiin liittyen. (Martio 2015, s. 111, 112)

Tuoterakenne on hyvin tärkeä tuotemalli tuotetiedon hallinnan kannalta ja se luo pohjan nimikkeiden välisille yhteyksille ja nimikehierarkialle (Martio 2015, s. 111,112). Tuoterakenne koostuu eri tasoista, jotka sisältävät useita nimikkeitä ja niiden välisiä hierarkioita. Nämä yhteydet liittävät järjestelmän sisältämät komponentit ja dokumentit yhteen, muodostaen kokonaisuuksia, eli tuoterakenteita. (Sääksvuori & Immonen 2008, s.45)

Nimikkeiden väliset yhteydet ovat aina kaksisuuntaisia, mutta niiden suhde on suunnasta riippuva (Martio 2015, s. 114). Kuvassa 2 havainnollistetaan tuoterakenteen nimikehierarkiaa. Kuten kuvasta nähdään, komponentti 1 sisältää dokumentin 1, mutta toisinpäin dokumentti 1 sisältyy komponenttiin 1.



**Kuva 2:** Esimerkki tuoterakenteen nimikehierarkiasta. (mukaillen Sääksvuori & Immonen 2008, s. 48)

Luvussa 4 käsitellään tarkemmin tuotemalleja ja -rakenteita suunnittelupäätösten ja niiden perustelujen näkökulmasta.

### 2.1.5 Muutosten hallinta

Nimikkeiden ja tuoterakenteiden muutosten hallinta on tärkeä osa PLM-järjestelmän toiminnallisuutta. Tuotekehityksen seurauksena tuotetiedot ja niihin liittyvät dokumentit ja tuotemallit muuttuvat. Koska PLM-järjestelmän tavoitteena on saada kaikki yrityksen sidosryhmät työskentelemään mahdollisimman tehokkaasti, on tärkeää, että tuotetietoihin tehdyt muutokset ovat näkyvillä kaikille niitä käyttäville. PLM-järjestelmä toimii samalla

arkistona, jossa on nimikkeiden koko muutoshistoria tallennettuna. Tämä on hyvin tärkeää myöhemmin käsiteltävän suunnittelutiedon uusiokäytön kannalta (Pratt & Junhwan 2006, s. 230).

Revisio syntyy, kun nimikkeestä luodaan uusi versio, joka korvaa vanhan. Näin tapahtuu, kun tuotetta tai sen komponentteja halutaan jostain syystä kehittää. Usein revisio tehdään sitä edeltävän version pohjalta. (Martio 2015, s. 80) Tarve revisiolle voi syntyä esimerkiksi, kun tuotteessa huomataan suunnitteluvirhe, keksitään toimivampi ratkaisu, tai asiakas vaatii uutta suunnittelua vaativaa toiminnallisuutta. (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 34)

Muutokset vaativat tilanteen mukaan erisuuruisia toimenpiteitä. Jos muutos on tilauskohainen yksittäistapaus, voidaan muutos tehdä yleensä yksinkertaisella muutosprosessilla. Jos muutos taas kohdistuu tuotantomäärältään suureen nimikkeeseen, se vaatii enemmän suunnittelua, koska vaikutukset ovat pitkäaikaisia ja muutos voi vaikuttaa useaan tuoterakenteeseen. (Martio 2015, s. 178) PLM-järjestelmän muutosten hallinta -työkalu informoi järjestelmän käyttäjiä tehtävistä muutoksista ja päivittää nimikkeeseen tehdyt muutokset kaikkiin siihen liittyviin tuoterakenteisiin. (Sääksvuori & Immonen 2008, s. 34) Mahdollinen yhteys ERP-järjestelmään mahdollistaa myös, että muutokset näkyvät myös tuotannossa esimerkiksi kokoonpanokuvissa.

## 3. SUUNNITTELUN PERUSTEET

Suunnitteluprosessin aikana syntyy paljon informaatiota. Aiemmin mainitut tuotetiedot ovat yleensä niin sanottua valmista informaatiota suunniteltavasta tuotteesta, eivätkä ne kerro suunnitteluprosessin etenemisestä tai sen taustalla olevien päätösten perusteista. Suunnittelutiedon uusiokäytön kannalta on tärkeää, että aiemmin käsitelty muutoshistoria on hyvin dokumentoitu sekä arkistoitu, mutta ilman tietoa suunnittelupäätösten perusteista on hyvin vaikeaa ymmärtää, miksi suunnittelija on päätenyt valitsemaansa rakenteeseen tai ominaisuuteen tuotteessa (Pratt & Junhwan 2006, s. 235). Tässä osiossa käsitellään suunnittelun perusteiden ideologiaa sekä tuodaan esille integraation kannalta merkittäviä dokumentointimenetelmiä sekä -järjestelmiä.

### 3.1 Dokumentoinnin tavoitteet ja sisältö

Suunnittelun perusteilla (engl. Design Rationale, DR) tarkoitetaan suunnittelutiedon tarkkaa esitystä, joka kertoo miksi tuotteella tai sen osalla on tietty rakenne ja toiminnallisuus (Conklin & Yakemovic 1991, Yue & al. 2018, s. 246 mukaan). Suunnittelupäätösten ja niiden perusteiden dokumentoinnilla pyritään tukemaan suunnitteluprosessia ja suunnittelutiedon uusiokäytön kautta nopeuttaa sitä. Ne voivat tarjota suunnittelijoille hyödyllistä tietoa aiemman suunnittelutyön kehityksestä sekä sen taustoista.

Suunnittelussa luodaan riippuvuuksia, jotka luovat tuotteeseen tai sen osaan haluttuja ominaisuuksia. Suunnittelun perusteiden dokumentointi tukee riippuvuuksien hallintaa, koska sen avulla voidaan selvittää riippuvuuksien syyt ja yhteydet. Hyvin toteutetulla dokumentoinnilla voidaan edesauttaa ongelmakohtien löytämistä suunnittelussa ja parantaa työn lopputulosta. Dokumentointi helpottaa organisaatioiden tai sidosryhmien yhteistyötä suunnittelussa, koska sen avulla voidaan luoda yhteiset käsitteet, joiden avulla neuvottelu ja ideointi on helpompaa. Lisäksi dokumentointi voi toimia tukena tuotekehityksessä, koska sen avulla voidaan ylläpitää tietoa oleellisista asioista suunnittelussa. (Lee 1997, s. 79)

Shipman (1997, s. 141) jakaa teoksessaan suunnittelun perusteet argumentointi-, dokumentointi- sekä kommunikointiperusteiseen näkökulmaan. Niiden tavoitteet eroavat toisistaan, mutta niiden kaikkien on tarkoitus tukea suunnittelutyön etenemistä.

Argumentointiin perustuva näkökulma keskittyy suunnittelussa oleviin ongelmiin ja niiden ratkaisemiseen. Huomio kiinnittyy erityisesti päätösten perustelemiseen ja paremman tuloksen saavuttamiseen parantamalla suunnittelijoiden kykyä argumentoida ja valikoida

parhaat ratkaisut. Käytännössä argumentoiva esitys koostuu solmuista ja niiden välisistä linkeistä, joiden avulla rakennetaan ongelma-ratkaisu-rakenteita. Myöhemmin käsiteltävä IBIS (Issue-Based Information System) -menetelmä perustuu tällaiseen argumentointipohjaiseen näkökulmaan. (Shipman 1997, s. 141)

Dokumentointiperusteisessa näkökulmassa pyritään ensisijaisesti dokumentoimaan suunnittelupäätökset ja selittämään niiden sisältöä, eikä se keskity argumentointiperusteisen näkökulman tapaan käsittelemään niihin johtaneita syitä. Tällainen näkökulma voi tulla tarpeeseen, kun suunnitteluryhmän ulkopuolisen ihmisen tulee ymmärtää tai seurata suunnittelutyön etenemistä. Käytännössä dokumentoivat menetelmät tallentavat tietoja suunnittelupäätöksistä, niiden tekijöistä sekä ajankohdista, milloin ne on tehty. Yrityksen omat käytännöt tai paikallinen lainsäädäntö voi vaatia kyseisten tietojen dokumentointia. (Shipman 1997, s. 141,144)

Kommunikointiin perustuvalla näkökulmalla tarkoitetaan suunnitteluprosessin aikana syntyneen luonnollisen kommunikoinnin taltioimista, tavoitteena säilyttää suunnittelupäätöksiin johtaneet ajatukset ja keskustelut. Kommunikointiin perustuvat menetelmät eivät ole yleensä rakenteeltaan selkeitä ja järjesteltyjä, kuten argumentointiin ja dokumentointiin perustuvat menetelmät. Käytännössä kommunikointiin perustuvat menetelmät taltioivat suunnitteluprosessiin liittyviä keskusteluita, joko tekstinä muistiinpanojen, kokousmuistioiden sekä sähköpostien muodossa tai ääni- tai videotallenteina puhelin-keskusteluista tai kokoustallenteista. (Shipman 1997, s. 142)

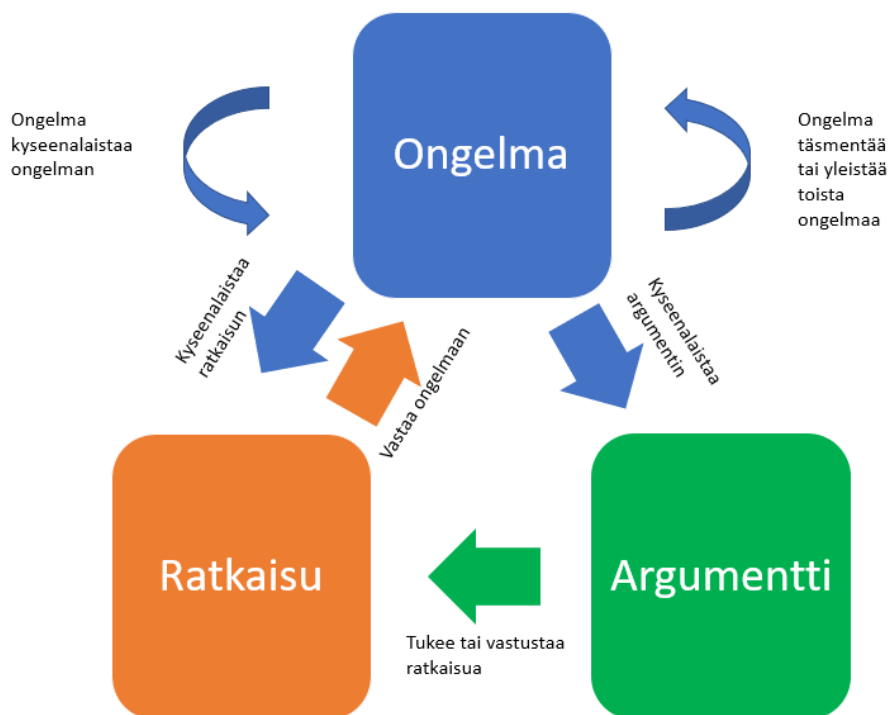
Suunnittelun perusteet voivat olla myös näiden kolmen näkökulman yhdistelmiä. Esimerkiksi suunnittelija voi tarvita tekstimuotoisen kuvauksen lisäksi 3D-mallin ymmärtääkseen mallin toiminnan sekä kuvauksen yhteyden. (Wang, 2012, s. 251) Näkökulma tulee valita suunnittelun perusteiden käyttökohteen mukaan.

## **3.2 Tiedonkeruumenetelmiä**

Yleisesti on vahva yhteisymmärrys siitä, että tieto suunnittelun perusteista on hyvin arvokasta, mutta sen dokumentointi on hyvin vaikeaa tehdä kustannustehokkaasti (Pavković, & Bojčetić, 2010). Riippumatta aiemmin käsitellyistä näkökulmista, dokumentoinnilla täytyy olla jonkinlainen rakenne, jotta sitä voidaan käyttää hyödyksi (Lee 1997, s. 79). Tästä syystä on kehitetty erilaisia menetelmiä sekä järjestelmiä perusteiden rakenteen yhdenmukaistamiseksi. Suunnittelun perusteita on tutkittu jo yli 30 vuoden ajan, mutta käytössä olevia, siihen keskittyviä järjestelmiä on vain muutamia. (Pavković, & Bojčetić, 2010). Kokonaisuudessaan kehitettyjä menetelmiä on hyvin paljon, mutta tässä työssä käsitellään ainoastaan ajankohtaisia, integraation kannalta oleellisia menetelmiä.

### 3.2.1 Issue-Based Information System

Useat tänä päivänä käytössä olevista menetelmistä tai järjestelmistä perustuvat aiemmin mainittuun argumentointiin perustuvaan IBIS-konseptiin, joka on kehitetty jo vuonna 1970 poliittiseen ongelmanratkaisuun, mutta on myöhemmin otettu käyttöön tuotesuunnittelun parissa (Kunz & Rittel, 1970, s. 1). Konsepti perustuu esitykseen, joka muodostuu niin sanotuista solmuista, jotka ovat suunnittelussa esiintyviä ongelmia, niihin ehdotettuja ratkaisuja tai ratkaisuja tukevia tai vastustavia argumentteja. Solmut ovat liitetty toisiinsa retorisesti määritellyillä linkeillä. Kuvasta 3 nähdään, miten solmut voivat olla yhteydessä toisiinsa.

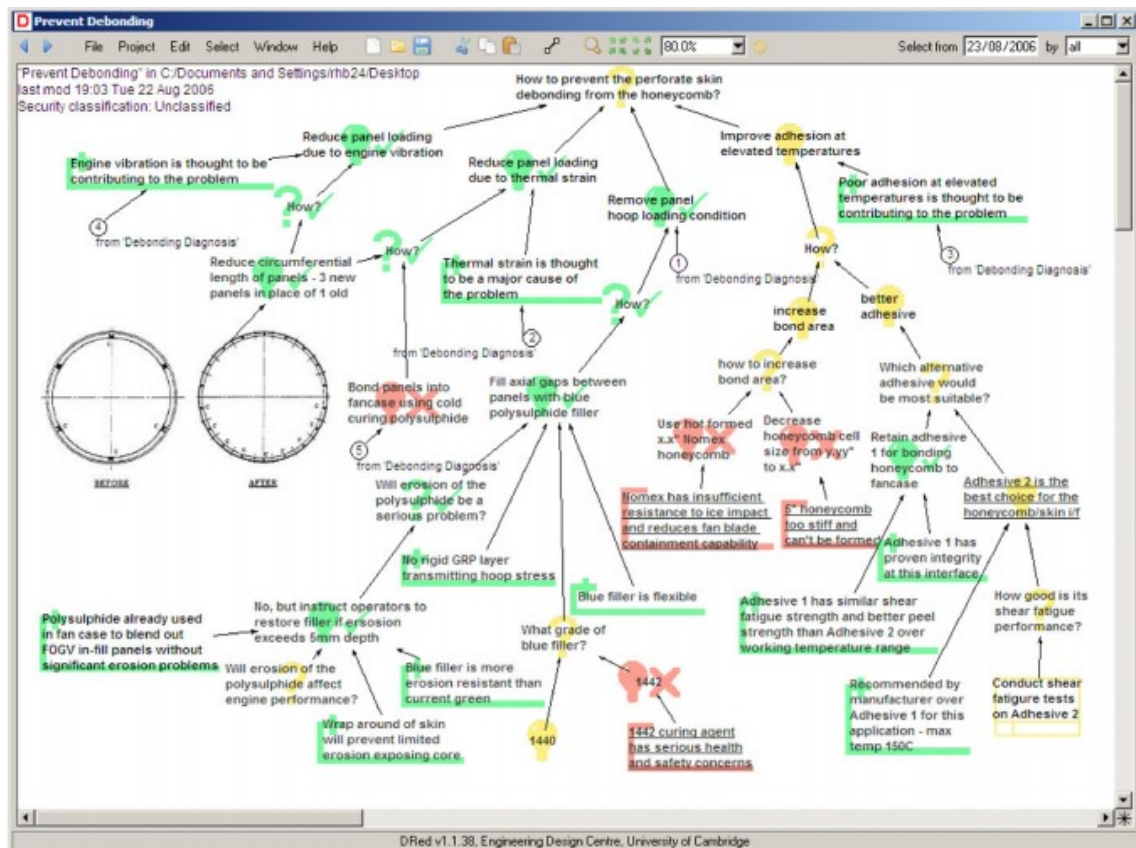


**Kuva 3:** IBIS-Konsepti on solmuista ja linkeistä koostuva ongelmanratkaisumenetelmä. (Mukaillen Conklin & Begeman 1988)

Kuvan 3 mukaiset rakenteet voivat olla hyvinkin laajoja, kun ratkaistavia ongelmia on paljon ja ne ovat monitasoisia sekä niihin liitetään ratkaisuehdotuksia, joita kaikkia arvioidaan argumenteilla. IBIS-menetelmä ei itsessään sisällä tapaa rekisteröidä, että ongelma on ratkaistu tai, että johonkin ratkaisuun on päädytty, vaan tavoitteena on, että suunnittelutyön sidosryhmät voivat ehdottaa ratkaisuja ja arvioida muiden ehdotuksia sen avulla. (Conklin & Begeman 1988)

Design Rationale editor (DRed) on Cambridgen yliopistossa kehitetty, alun perin tutkimukseen käytetty ohjelmisto, josta on muodostunut hyödyllinen työkalu suunnittelun perusteiden dokumentointiin. Sen tavoite on olla huomaamaton ja kustannustehokas menetelmä, jonka avulla suunnittelun perusteet voidaan dokumentoida reaaliaikaisesti suunnitteluprosessin aikana häiritsemättä suunnittelijoiden työskentelyä. (Bracewell 2007b, s. 173)

DRed-ohjelmistolla luodaan DRed-kaavioita, jotka muistuttavat paljon IBIS-konseptia graafisessa muodossa, mutta tavalliseen IBIS-konseptiin verrattuna rakenteissa on enemmän ominaisuuksia. Solmut ja linkit ovat molemmissa samat, mutta DRed-kaavioissa solmuilla on erilaisia tiloja. Tiloilla voidaan värikoodein ja symbolein ilmaista esimerkiksi, että ongelma on ratkaistu tai, että jokin ratkaisu on hylätty tai hyväksytty. Lisäksi argumentit voidaan merkata tukemaan tai olemaan ratkaisua vastaan. (Wang et al. 2009, s. 338) Kuvassa 4 nähdään DRed-ohjelmiston käyttöliittymä sekä värikoodattu DRed-kaavio.



**Kuva 4:** DRed-ohjelmiston käyttöliittymässä on värikoodattuja DRed-kaavioita, joiden avulla voidaan seurata suunnittelutyön etenemistä. (Bracewell et al. 2007b, s. 178)

Suunnittelun perusteiden muodostaminen DRed-ohjelmistossa voidaan jakaa neljään osaan:

- ongelman ymmärtäminen
- ratkaisun suunnittelu
- standarditarkistuslistan läpikäynti
- lopullisen suunnittelun ja sen perusteiden raportointi. (Bracewell et al. 2007b, s. 174)

Ongelman ymmärtäminen alkaa pohtimalla sen potentiaalisia syitä ja etsimällä todisteita niiden vahvistamiseksi tai kumoamiseksi. DRed-ohjelmistossa ongelman diagnosointiin voidaan luoda oma kaavionsa, jolloin syitä voidaan arvioida aiemmin esiteltujen tilojen avulla. (Bracewell et al. 2007b, s. 174) DRed-kaavioita voidaan liittää toisiinsa sekä niihin voidaan linkittää järjestelmän ulkopuolisia tiedostoja, kuten taulukoita, Word-dokumentteja tai 3D-malleja, joita suunnittelija voi tarvita suunnitteluprosessissa (Wang et al. 2009, s. 339).

Kun ongelman syyt on havaittu, voidaan siirtyä ratkaisun suunnitteluun. Havaittujen syiden pohjalta voidaan rakentaa ratkaisuehdotuksia, joita jälleen arvioidaan. Ongelmat voivat olla hyvin monitasoisia ja kaaviot suuria, ja joskus voi olla järkevää jakaa ongelmat eri kaavioihin ja linkittää ne yhteen. (Bracewell et al. 2007b, s. 174)

Suunnittelupäätökset tulee käydä läpi ja tarkistaa, että ne ovat standardien ja yrityksen asettamien tavoitteiden mukaisia. Lisäksi ohjelmisto tarjoaa tarkistustyökalan, joka ilmoittaa mahdollisista ristiriidoista kaavioissa. Kun suunnittelutyö on valmis, täytyy sen kuvaus muokata raportin muotoon, jonka apuna voidaan käyttää valmiita DRed-kaavioita. (Bracewell et al. 2007b, s. 177) Tällaista raporttia kutsutaan nimellä DDR (Design Definition Report).

### 3.2.2 Questions, Options, and Criteria

QOC (Questions, Options, and Criteria) -menetelmä on rakenteeltaan hyvin samantyyppinen kuin IBIS-menetelmä. Se koostuu IBIS-menetelmän tapaan linkeistä ja solmuista, mutta niiden tyypit ovat erilaiset. QOC-menetelmä perustuu myös kolmeen solmutyyppiin: kysymykset, vaihtoehdot ja kriteerit. Kysymykset ovat suunnitteluun liittyviä ongelmia, joihin liittyy ratkaisuvaihtoehtoja. Kriteerit asettavat ratkaisuvaihtoehtojen vaatimuksia, joiden avulla niitä voidaan luoda ja arvioida. (MacLean et al. 1991, s. 206–208)

Ballin (et al. 2001) mukaan QOC-menetelmä soveltuu hyvin suunnittelutiedon uusiokäyttöön, koska se esittelee kriteerit, joiden perusteella valittuun ratkaisuun on päädytty. Tällöin kriteerien muuttuessa voidaan arvioida muita ratkaisuvaihtoehtoja uusien kriteerien



valossa. Ratkaisuvaihtoehtoja voidaan arvioida positiivisesti tai negatiivisesti ja usein yksi arvio voi olla samanaikaisesti toiselle vaihtoehdolle positiivinen ja toiselle negatiivinen.

Osittain kommunikointiperusteiseen näkökulmaan sekä QOC-menetelmään pohjautuvan Memory Meetings -ohjelmiston tavoite on muokata suunnitteluprosessin aikana käyttyjen kokousten ja keskusteluiden sisältö selkeään muotoon, jossa on eritelty suunnitteluprosessissa esiintyneet kysymykset, ratkaisuehdotukset, argumentit sekä kriteerit. Ohjelmisto on käytettävissä älylaitteilla sekä tietokoneella. Memory Meetings -ohjelmiston toimintaperiaate on kaksivaiheinen. (Nada & Ducellier 2013)

Ensimmäisessä vaiheessa vastuuhenkilö jäsentelee kokouksen kysymyksiin ja määrittelee kuka tai ketkä äänitteellä puhuvat. Tämän jälkeen vastuuhenkilö tekee muistiinpanoja äänityksen aikana, jolloin äänite, puhujat ja muistiinpanot ovat automaattisesti linkitetty käsiteltyyn kysymykseen Memory Meetings -ohjelmistossa. Kokouksen jälkeen nämä tiedot voidaan tallentaa yhteen XML-tiedostoon. (Nada & Ducellier 2013) Kuvassa 5 nähdään ohjelmiston käyttöliittymä nauhoitustilanteessa.



**Kuva 5:** Memory Meetings -ohjelmiston ensimmäisessä vaiheessa kokous äänitetään ja siitä tehdään muistiinpanoja. Kuvassa on ohjelmiston käyttöliittymä nauhoitustilanteessa. (Nada & Ducellier 2013).

Toisessa vaiheessa kokouksessa taltioidut tiedot muokataan ja täydennetään raportin muotoon, missä on eritelty kysymykset, ratkaisuvaihtoehdot, argumentit, kriteerit sekä

niiden yhteydet. Tiedot voidaan tallentaa XML-tiedostona sekä Word-dokumenttina. Kuvassa 6 on esitetty ohjelmiston käyttöliittymä toisessa vaiheessa.



**Kuva 6:** Memory Meetings -ohjelmiston toisessa vaiheessa kokouksen äänitys jäsenellä muistiinpanojen avulla, niin että kysymykset, ratkaisuvaihtoehdot, argumentit, sekä kriteerit ovat eritelty. Kuvassa on ohjelmiston käyttöliittymä kyseisessä vaiheessa. (Nada & Ducellier 2013)

### 3.3 Dokumentoinnin ongelmat

Kuten aiemmin todettiin, onnistuneella suunnittelun perusteiden dokumentoinnilla voidaan parantaa yrityksen toimintaa monellakin osa-alueella, mutta sen aikaan saaminen ei ole helppoa. Keskeisimpänä ongelmana on sen toteuttaminen kustannustehokkaasti. Vaikka käytetty järjestelmä tai menetelmä olisi hyvä, mutta sen kustannukset ovat korkeammat kuin dokumentoinnista kertyvä hyöty, ei dokumentointi ole kannattavaa (Lee 1997, s. 83).

Toinen keskeinen ongelma on, että usein dokumentointi voi häiritä normaalia suunnitteluprosessin etenemistä. Erityisesti argumentointiin perustuvat menetelmät edellyttävät dokumentoinnin tapahtuvan suunnittelun edetessä reaaliaikaisesti, jolloin se voi häiritä

suunnittelijoiden normaalia työkulkua. Lisäksi dokumentointi voi aiheuttaa suunnittelijoissa huolta ylimääräisestä kritiikistä, kun suunnitteluprosessia tarkastellaan ulkopuolelta ainoastaan dokumentoinnin perusteella. (Yue et al. 2018, s. 250)

Suunnittelun perusteita on hyvin vaikea esittää yksiselitteisesti, koska ne muodostuvat hyvin erilaisista lähteistä. Ne voivat olla yhdistelmä tuotteen määritelmiä sisältäviä dokumentteja, kokouspöytäkirjoja, puhelinkeskusteluita tai kahvipöytäkeskusteluja. Perusteiksi voidaan ajatella mikä tahansa informaatio, jonka avulla voidaan tukea suunnittelu päätöksiä. (Lee 1997, s. 79) Tästä syystä on vaikeaa päättää, mitä dokumentoinnissa tulisi esittää.

Leen (1997, s. 84) mukaan 90-luvun aikaisten järjestelmien keskeinen ongelma teknologian näkökulmasta oli suunnittelun sidosryhmien yhteisen tietokannan uupuminen sekä haasteet eri tiedostomuotojen hallinnassa. Lisäksi eri sovelluksien väliset linkit olivat ongelmallisia yhteisen alustan uupuessa, koska perusteet vaativat usein monia eri tiedostoja asiayhteyden ja kokonaiskuvan luomiseksi.

## 4. TIETOJÄRJESTELMIEN INTEGRAATIO

Tuotetiedon hallintajärjestelmien yleistyessä suunnittelun perusteiden dokumentointimenetelmille ja -järjestelmille asetetaan uusia vaatimuksia sekä luodaan uusia mahdollisuuksia. Kuten aiemmin mainittiin, PLM-järjestelmiin on integroitu monia järjestelmiä liittyen muun muassa suunnitteluun sekä tuotantoon. Suunnittelun perusteiden dokumentointiin keskittyviä menetelmiä ja järjestelmiä on integroitu onnistuneesti PLM-järjestelmiin ja ehdotuksia sen toteuttamiseen monien järjestelmien osalta on tehty.

### 4.1 Toteutuneet integraatiot

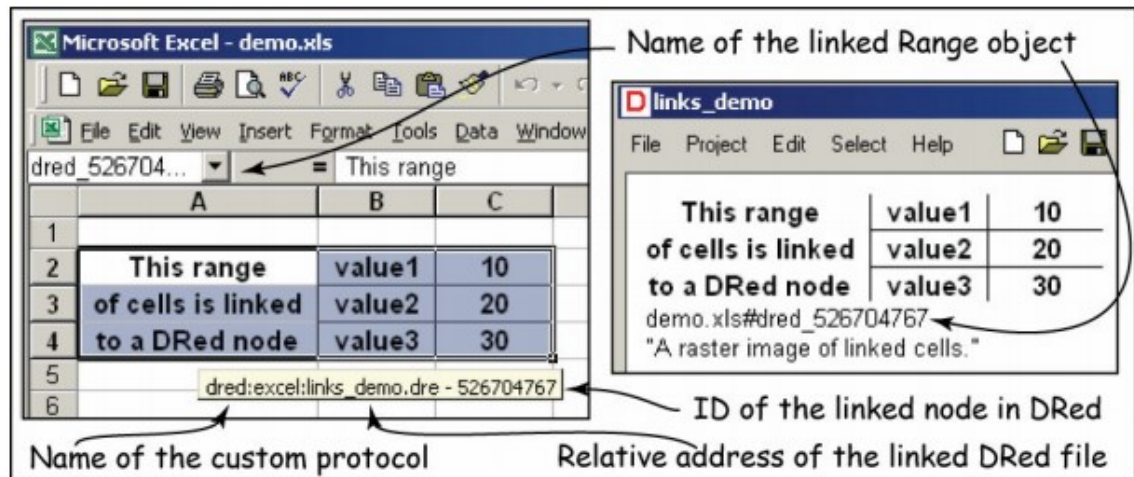
Toteutuneissa integraatioissa DR-järjestelmä tai -menetelmä on otettu käyttöön niin, että sen tuottama informaatio on osa PLM-järjestelmää. Tässä luvussa käsitellään tapaustutkimuksia toteutuneista integraatioista tai niiden ehdotuksista.

#### 4.1.1 Tapaustutkimus 1

DRed-ohjelmiston kehitystyö alkoi 2000-luvun alussa Cambridgen yliopiston toimesta yhteistyössä Rolls Roycen kanssa. Sitä pidetään ensimmäisenä suuressa yrityksessä menestyneenä IBIS-menetelmään perustuvana DR-järjestelmänä. (Bracewell et al. 2009, s. 173) Kehitystyö oli seurausta Rolls Roycen ilmailuosastossa tehdylle tutkimukselle, jonka mukaan suunnittelijoiden tekemät tiedustelut suunnitteluun liittyvissä kysymyksissä kohdistuivat pääasiallisesti kollegoihin. Tällöin kollegoiden toimittamat tiedot perustuivat usein vain muistin varaan virallisten raporttien sijaan. Projektin tavoite oli alusta lähtien tutkimustyön kautta luoda työkalu, joka tukee suunnittelijoita heidän päivittäisessä työssään sekä maksimoi työn tehokkuuden. (Bracewell et al. 2007b, s. 173) Neljän vuoden kehitystyön tuloksena DRed-ohjelmistolle saavutettiin laaja käyttäjäkunta yrityksen sisällä ja positiivisten tulosten lisääntyessä ohjelmisto hyväksyttiin osaksi yrityksen maailmanlaajuisia PLM-työkaluja. (Bracewell et al. 2007b, s. 183)

DRed-ohjelmisto tukee kaksisuuntaista hyperlinkitystä muihin yleisiin suunnittelijoiden käyttämiin sovelluksiin, joiden avulla DRed-kaavioita voidaan tarkastella niiden asiayhteyksissä. Esimerkiksi useissa mallinnusohjelmistoissa on mahdollista viedä suunnittelun kappaleen ominaisuuksia, kuten mittoja, MS Exceliin, jonka kautta ne voidaan esittää suoraan DRed-kaavioissa kuvan 7 tavoin. Lisäksi dokumentteihin voidaan tarvittaessa luoda hyperlinkki, joka johtaa DRed-kaavion tiettyyn kohtaan, missä käsitellään doku-

menttia sen asiayhteydessä. (Bracewell et al. 2007a, s. 4) DRed 2.0 -versiossa kaaviosta voidaan luoda yhteys DRed-kansion ulkopuolisiin tiedostoihin, mikä mahdollistaa PLM-järjestelmän ominaisuuksien hyödyntämisen. (Bracewell et al. 2009, s. 227) Esimerkiksi aiemmin käsitelty muutosten hallinta sekä yhteinen tietokanta suunnittelun sisäryhmien kanssa ovat tärkeitä sekä hyödyllisiä ominaisuuksia.



**Kuva 7:** Dred-ohjelmistossa voidaan luoda hyperlinkkejä muihin sovelluksiin, kuten MS Exceliin. (Bracewell et al. 2007a, s. 4)

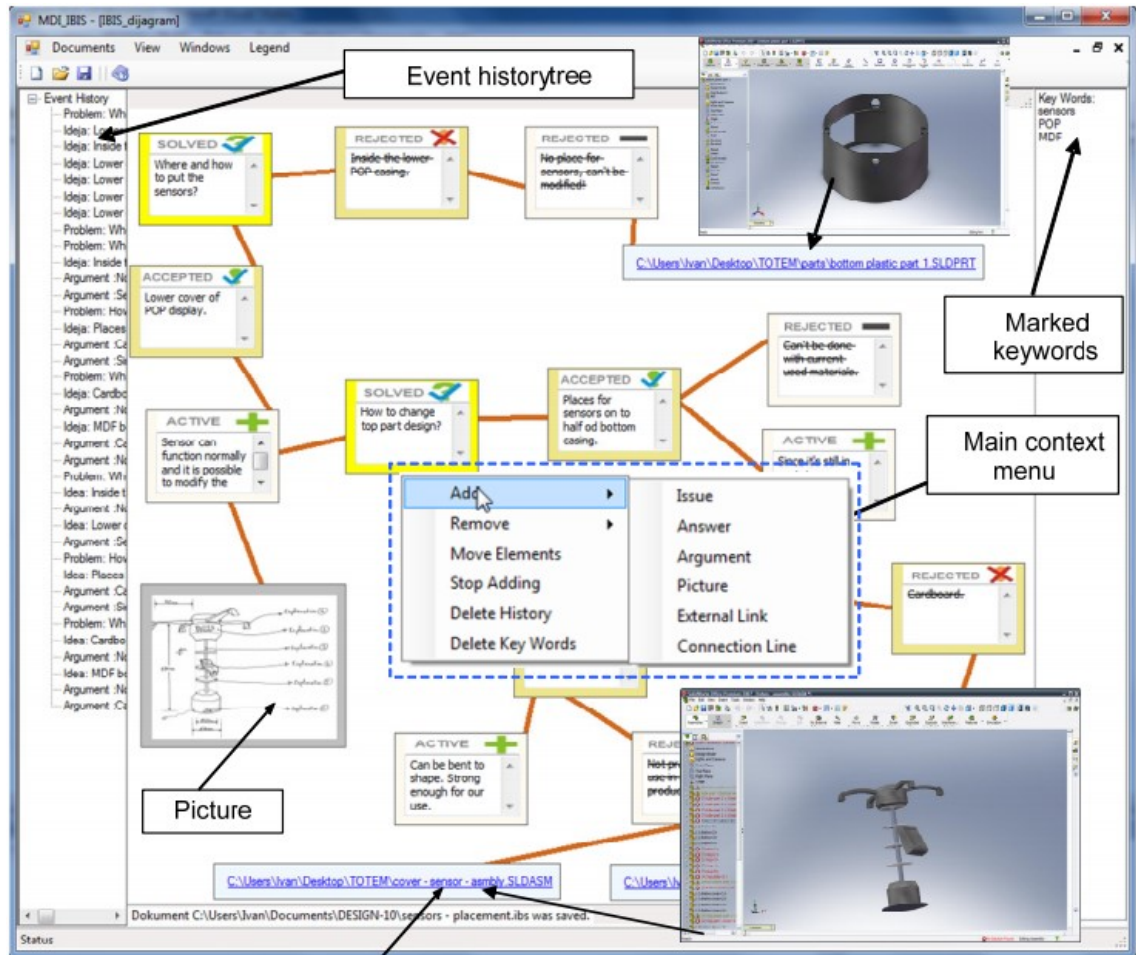
Suunnittelutyön uusiokäyttöä varten DRed-ohjelmisto tukee IBIS-kaavioiden indeksointia, jonka avulla käyttäjä voi etsiä avainsanoilla ongelmaa ja löytää siihen ratkaisuja, joita on käytetty aiemmin vastaavanlaisessa suunnittelussa (Wang, 2012, s. 256). Indeksointi on oleellista myös PLM-järjestelmän nimikkeiden hallinnan kannalta, koska DRed-kaaviot voivat olla monimutkaisissa projekteissa hyvin laajoja. Tästä syystä ne ovat jaettu moneen eri kansioon niin, että sen osia voidaan liittää PLM-järjestelmän nimikehierarkiaan.

Kuten aiemmin mainittiin, PLM-järjestelmän keskeisimpiä tavoitteita on parantaa yrityksen sisäistä sekä organisaatioiden välistä kommunikaatiota. DRed-ohjelmistoa on käytetty tukemaan organisaatioiden välistä kommunikaatiota suunnitteluun liittyvissä kysymyksissä ja se toimii työkaluna suunnittelutyön yhteistuotannossa.

#### 4.1.2 Tapaustutkimus 2

Pavković (et al. 2010) esittää tapaustutkimuksessaan ehdotuksen IBIS-kaavioiden integroimisesta suoraan PLM-järjestelmään, hyödyntäen sen laajoja tiedonhallinta ominaisuuksia. Erityisesti aiemmin käsitelty PLM-järjestelmän nimikkeiden muutoshistoria mahdollistaa myös IBIS-kaavioiden arkistoinnin tulevaisuuden tarkastelua varten.

Pavkovićin (et al. 2010) ehdotuksessa IBIS-kaaviot ja niiden osat ovat sijoitettu suoraan PLM-järjestelmän nimikehierarkiaan. Ehdotuksessa PLM-järjestelmään ohjelmoidaan graafinen työkalu, jonka avulla IBIS-kaavioita voidaan tarkastella tai luoda. IBIS-kaavioita voidaan myös luoda PLM-järjestelmän sisäisellä kaavakkeella ilman graafista työkalua. IBIS-kaavioiden muutoshistoria jää talteen ja on tarkasteltavissa graafisen työkalun avulla kuvan 8 mukaisesti.



**Kuva 8:** IBIS-kaavioiden muutoshistoria jää talteen ja on tarkasteltavissa graafisen työkalun avulla. (Pavković et al. 2010, s.1640)

Pavkovićin (et al. 2010, s.1637) ehdotuksessa IBIS-kaavioiden linkit ovat myös tallennettu nimikkeinä, joista selviää linkin suunta ja laatu. Tämä mahdollistaa PLM-järjestelmän hakuominaisuuksien hyödyntämisen, kun halutaan etsiä tiettyä osaa IBIS-kaavioista esimerkiksi suunnittelutiedon uusiokäyttöä varten.

Pavkovićin (et al. 2010) ehdotus on inspiroitunut aiemmin käsitellystä DRed-ohjelmistosta, mutta toisin kuin DRed-ohjelmisto, se on rakennettu alusta lähtien PLM-järjestelmää varten ja se hyödyntää laajemmin sen ominaisuuksia. Kyseistä ehdotuksen prototyyppiä ei ole testattu käytännön suunnittelutyössä. Suurimpana ongelmana kehittäjien mukaan on, että graafinen työkalu täytyy ohjelmoida jokaiselle eri PLM-järjestelmälle

erikseen. (Pavković et al. 2010, s.1641) Järjestelmä tukee suunnittelutyön yhteistuotantoa, koska DRed-ohjelmiston tapaan sitä voidaan tulkita ja muokata eri sidosryhmien kesken lähes reaaliaikaisesti.

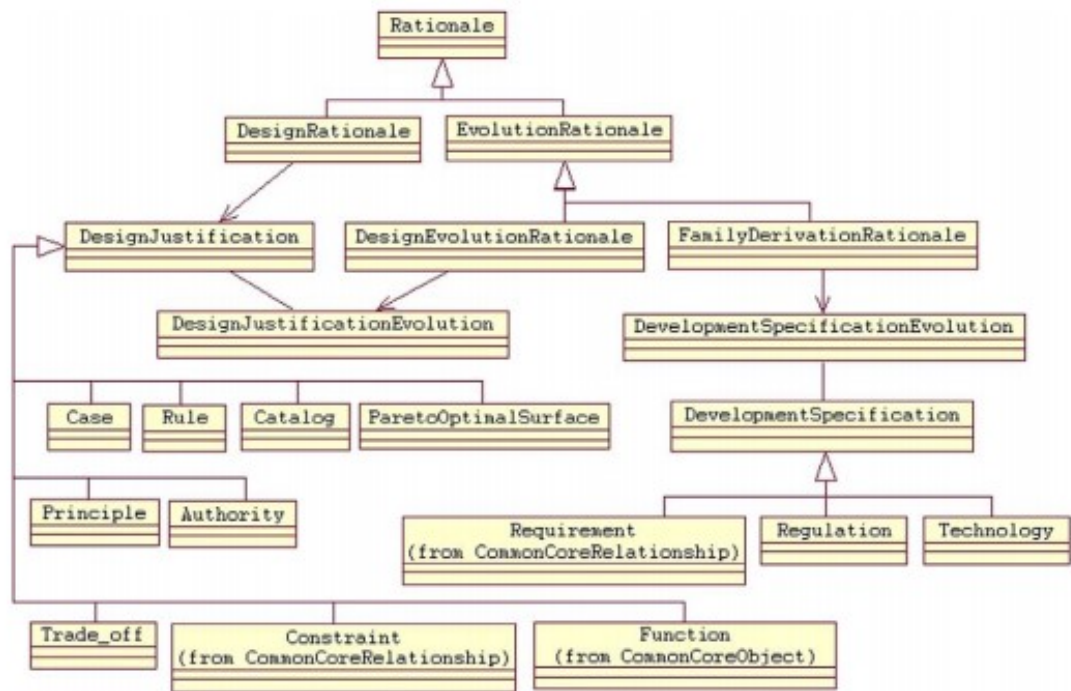
### **4.1.3 Tapaustutkimus 3**

Nada ja Ducellier (2013) esittävät Memory Meetings -ohjelmiston integrointia PLM-järjestelmään raportin muodossa. Raportti voitaisiin liittää PLM-järjestelmän nimikehierarkiaan niin, että se voidaan nähdä käsitellyn osan tai kokonaisuuden yhteydessä.

Toisen tapaustutkimuksen tapaan Memory Meetings tukee PLM-järjestelmän muutosten hallintaa ja arkistointia, koska muutosten perusteet voidaan liittää revision yhteyteen, jolloin alkuperäiset raportit säilyvät aiempien versioiden yhteydessä. Memory Meetings ei kuitenkaan tue sidosryhmien välistä muokkausmahdollisuutta, vaan raportti luodaan tietyn suunnitteluryhmän sisäisestä suunnittelutiedosta. Raportit ovat hyödyllisiä tilanteissa, jossa toisen suunnitteluryhmän tai muun ulkopuolisen tahon tulee ymmärtää suunnitteluprosessin kulkua.

### **4.1.4 Tapaustutkimus 4**

Aiemmin mainittu NIST CPM-tietomallin laajennukset esittävät suunnittelun perusteiden sijoittamista tuotetietojen viitekehykseen. Tavoitteena on säilyttää tuotetietojen yhteyteen tuotekehityksessä tapahtuneet muutokset sekä syyt muutoksille. Suunnittelun perusteet olisivat siis yksi tuotemalli muiden joukossa. (Sudarsan et al. 2005, s. 1409) Kuvassa 9 on esitetty CPM-tietomallin suunnittelun perusteet sisältävän osan UML-kaavio.



**Kuva 9:** NIST CPM-tietomallin suunnittelun perusteet sisältämän osan UML-kaavio (Sudarsan et al. 2005, s. 1409).

Viitekehyyksen tarkoitus on tarjota tuotetiedot tuotteiden koko elinkaaren ajalta, johon kuuluu koko suunnitteluprosessi, eikä vain sen tulokset. Viitekehys on ehdotus, eikä sitä ole vielä onnistuneesti yhdistetty toimivaan PLM-järjestelmään. (Sudarsan et al. 2005, s. 1409) Viitekehys tarjoaa tilan suunnittelun perusteille PLM-järjestelmässä, mutta se ei tarjoa menetelmää tiedon keräämiselle suunnitteluprosessin aikana toisin kuin muissa tapaustutkimuskissa käsitellyt järjestelmät.

## 4.2 Vertailua ja integraatioiden ongelmat

Aiemmin käsiteltyjen suunnittelun perusteiden dokumentointiin liittyvien ongelmien lisäksi tietojärjestelmien integraatioon liittyy lisää haasteita uusien mahdollisuuksien ohella. Integraatio voi osaltaan ratkaista dokumentointiin liittyviä ongelmia, kuten PLM-järjestelmän tarjoaman sidosryhmien välisen yhteisen tietojärjestelmän uupumisen.

PLM-järjestelmä mahdollistaa kaikkien tiedostomuotojen tallentamisen yhteen järjestelmään ja niiden käsittelemisen järjestelmän ulkopuolisten ohjelmistojen avulla. Tämän ansiosta perusteita voidaan tarkastella niiden asiayhteyksissään. DRed-ohjelmisto sekä Pavkovićin (et al. 2010) ehdotus tukevat hyperlinkkien luomista kaavioihinsa, joiden avulla asiayhteyden liittyvät tiedostot voidaan liittää suunnittelupäätösten tueksi. Molem-



mat järjestelmät toimivat visuaalisesti suunnittelutyön tukena ja perusteiden dokumentointi tapahtuu reaaliaikaisesti suunnittelutyön edetessä, jolloin ne ohjaavat suunnittelu-prosessia suunnittelupäätösten tapahtuessa.

Reaaliaikainen dokumentointi saattaa parantaa suunnittelun lopputulosta, vaikka se muuttaa luonnollisen suunnittelutyön rakennetta, koska jatkuvan suunnittelutyön arvioinnin perusteella voidaan valita parhaiten perusteltu ratkaisu kuhunkin ongelmaan. Järjestelmien tulee olla suunnitteluprosessissa keskeisessä roolissa, jotta niistä saadaan haluttu hyöty. Ainoastaan suunnittelupäätösten dokumentointiin edellä mainitut järjestelmät saattavat olla liian työläitä, koska dokumentointi tulisi tehdä ensin reaaliaikaisesti sekä muokata jälkikäteen raportin muotoon.

Memory Meetings -ohjelmisto pyrkii tallentamaan luonnollisen suunnitteluprosessin reaaliajassa, mutta se ei varsinaisesti tue suunnittelutyötä visuaalisesti sen edetessä. Kokous raportti luodaan vasta suunnittelutyön jälkeen, ja tämän ansiosta suunnittelutyö voidaan tehdä hyvin luonnollisesti.

Suunnittelutyön uusiokäytön kannalta IBIS-pohjaiset järjestelmät voivat olla tarkempia kuin pelkkään raporttiin perustuvat, koska syy-seuraussuhteita ja niiden yhteyksiä on helpompi tarkastella kaavioissa laajasti ja monesta näkökulmasta. Tuotekehityksen näkökulmasta on hyödyllistä, että eri ratkaisuvaihtoehdot ja niiden argumentit jäävät talteen myöhempää tarkastelua varten. Tällöin aikaa ei kulu samojen asioiden pohtimiseen.

Integraation keskeisenä ongelmana on PLM-järjestelmien erot, joiden vuoksi DR-järjestelmä tai sen osa täytyy ohjelmoida tapauskohtaisesti järjestelmän vaatimusten mukaan. NIST CPM -tietomalli tarjoaa suunnittelun perusteiden dokumentointia osaksi standardituotetietoja. Standardien hyödyntäminen integraatiossa mahdollistaisi eri PLM-järjestelmien välisen yhteyden myös suunnittelun perusteiden osalta ja edesauttaisi suunnittelun yhteistuotantoa.

## 5. YHTEENVETO

Tämän kirjallisuusselvityksen tavoitteena oli tutustua PLM-järjestelmän tarjoamiin ominaisuuksiin suunnittelun näkökulmasta ja selvittää, onko suunnittelun perusteiden dokumentointiin keskittyvää järjestelmää tai menetelmää integroitu osaksi sitä.

Lähdemateriaalista huomataan, että on yleisesti hyväksyttyä, että tieto suunnittelun perusteista on arvokasta, mutta siitä huolimatta niitä käsittelevät järjestelmät eivät ole yleistyneet. Ennen PLM-järjestelmien yleistymistä keskeinen ongelma DR-järjestelmien käytössä oli sidosryhmien yhteisen tietokannan uupuminen. Perusteiden dokumentointi ei tästä syystä tuonut haluttua tulosta tai se ei ollut kustannustehokasta.

PLM-järjestelmän järjestelmäarkkitehtuuri ja sen mahdollistamat yhteydet suunnittelutyössä käytettävien ohjelmistojen välillä luovat hyvän pohjan suunnittelun perusteiden dokumentoinnille. Tapaustutkimuksissa esiintyneissä integraatioissa nähtiin hyvin erilaisia lähestymistapoja suunnittelutiedon keräämiseen sekä arkistointiin. Keskeinen ero käsiteltyjen tapausten välillä vallitsee dokumentoinnin tavoitteissa.

Ensimmäisessä ja toisessa tapaustutkimuksessa menetelmät ovat keskeisessä osassa itse suunnittelutyössä ja ne avustavat tekemään loogisia suunnittelupäähaköksiä niiden arkistoinnin lisäksi. Tällaiset argumentointiin perustuvat järjestelmät tavoittelevat parempaa suunnittelua ohjaamalla suunnittelijat punnitsemaan eri ratkaisuvaihtoehtoja suunnittelutyön edetessä. Argumentointi jää talteen myös myöhempää tarkastelua varten ja tukee näin myös suunnittelutiedon uusiokäyttöä. Ensimmäisen tapaustutkimuksen DRed-järjestelmä on otettu onnistuneesti osaksi suuren yrityksen PLM-järjestelmää ja on käytössä maailmanlaajuisesti yrityksen suunnitteluosastoissa.

Kolmannessa tapaustutkimuksessa käytetyn menetelmän tavoite on kerätä tieto suunnittelun perusteista huomaamattomammin luonnollisesta suunnittelutyöstä ja pyrkii näin tekemään dokumentoinnin helpommin lähestyttäväksi suunnittelijoille. Dokumentoinnista saadun hyödyn määrittelee tarkkuus, jolla raportti luodaan. Monimutkaisten riippuvuuksien ja syy-seuraussuhteiden esittäminen sanallisesti voi kuitenkin olla hyvin haastavaa ja jokin visuaalinen apukeino, kuten IBIS- tai QOC-kaavio, voisi helpottaa perusteiden ymmärtämistä huomattavasti.

Viimeisessä tapaustutkimuksessa käsiteltiin NIST CPM -tietomallia, joka sisällyttää suunnittelun perusteet osaksi PLM-järjestelmään tallennettavia standardituotetietoja. Samankaltaisuus laajasti käytössä olevan STEP-standardin kanssa on huomattava,

mutta huomio kiinnittyy tuotteen elinkaaren alkupään, eli suunnitteluprosessin huomioimiseen. Keskeisin ongelma integraatiossa on juuri standardin tuoman yleisen dokumentointimenetelmän uupuminen. Organisaatioiden välisessä tiedonsiirrossa sekä suunnittelun yhteistuotannossa on oleellista, että tuotetieto on jäsenneilty standardin mukaan, eivätkä suunnittelun perusteet ole poikkeus. Tiedonkeruumenetelmän tulee olla suunnittelijoille luonteva, eikä se saa häiritä suunnittelutyötä. Tärkeintä on, että haluttu informaatio saadaan talteen ja se on muokattavissa haluttuun muotoon dokumentaatiota varten. Dokumentoinnin tulevaisuuden kannalta olisi tärkeää, että jokin menetelmä yleistyisi uudeksi tai osaksi jo yleistyneitä standardeja.

## LÄHTEET

- Ball, L. (2001) Representing design rationale to support innovative design reuse: a minimalist approach. *Automation in construction*. [Online] 10 (6), 663–674.
- Bracewell R, Gourtovaia M, Wallace K & Clarkson P. (2007a) Extending design rationale to capture an integrated design information space. In: Proceedings of ICED'07.
- Bracewell, R., M. Gourtovaia, M. Moss, D. Knott, K. Wallace, and P. J. Clarkson. (2009). DRED 2.0: A Method and Tool for Capture and Communication of Design Knowledge Deliberated in the Creation of Technical Products. In DS 58-6: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on engineering design, 6:223–234.
- Bracewell, R., Wallace, K. & Moss, M. (2007b) Capturing design rationale. *Computer aided design*. [Online] 41 (3), 173–186.
- Brunsmann, J. & Wilkes, W. (2009) Enabling Product Design Reuse by Long-term Preservation of Engineering Knowledge. *International Journal of Digital Curation*. [Online] 4 (3), 17–28.
- Conklin, J. & Begeman, M. (1988). GIBIS: a hypertext tool for exploratory policy discussion. *ACM transactions on information systems*. [Online] 6 (4), 303–331.
- Fenves, S., Fougou, S., Bock, C & Sriram, R. (2008). CPM2: A Core Model for Product Data. *Journal of computing and information science in engineering*. [Online] 8 (1).
- Fenves, S. (2001) A core product model for representing design information. Gaithersburg, MD 20899, USA: National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6736.
- Kunz, W., Rittel, H. (1970). Issues as elements of information systems
- Lee, J. (1997) Design rationale systems: understanding the issues. *IEEE expert*. [Online] 12 (3), 78–85.
- MacLean, Y. (1991) Questions, Options, and Criteria: Elements of Design Space Analysis. *Human-computer interaction*. [Online] 6 (3-4), 201–250.
- Martio, A. (2015) Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta. 1. painos. Espoo: Amartekno.
- Nada, M. & Ducellier, G.. (2013). Memory Meetings An approach to keep track of project knowledge in design.

- Pavković, N. , Bojčetić, N., Vadla I. & Rohde D. (2010) Embedding Design Rationale Capturing in PLM Systems – A Case Study With IBIS-Based Diagrams. International Design Conference - Design 2010 Viitattu 25.11.2020. Saatavilla: [https://www.researchgate.net/publication/228905559\\_Embedding\\_design\\_rationale\\_capturing\\_in\\_PLM\\_systems\\_-\\_A\\_case\\_study\\_with\\_IBIS-based\\_diagrams](https://www.researchgate.net/publication/228905559_Embedding_design_rationale_capturing_in_PLM_systems_-_A_case_study_with_IBIS-based_diagrams)
- Plmtechnologyguide.com (2020) Viitattu 25.11.2020. Saatavissa: <https://plmtechnologyguide.com/what-is-plm/>
- Pratt, M. (2001) Introduction to ISO 10303 the STEP Standard for Product Data Exchange. *Journal of computing and information science in engineering*. [Online] 1 (1), 102–103.
- Pratt, M & Junhwan K. (2006). 'Experience in the exchange of procedural shape models using ISO 10303 (STEP)', in *Proceedings of the 2006 ACM symposium on solid and physical modeling*. [Online]. 6 June 2006 ACM. pp. 229–238.
- Salonen, T. & Sääsäski, J. (2005) VTT Tuotteet ja Tuotanto. Tuotetietostandardien käyttö tuotannossa. Viitattu 25.11.2020. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2005/W23.pdf>
- Shipman, M. (1997) Integrating different perspectives on design rationale: Supporting the emergence of design rationale from design communication. *Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing*. [Online] 11 (2), 141–154.
- Sudarsan, R., Fenves, S. & Sriram, R. (2005). A product information modeling framework for product lifecycle management. *Computer aided design*. [Online] 37 (13), 1399–1411.
- Sääksvuori, A. & Immonen, A. (2008) Product Lifecycle Management. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wang H., Johnson A, Bracewell R. (2009), Supporting Design Rationale Retrieval for Design Knowledge ReUse, Proceedings of the 17th Int. Conf. on Eng. Design – ICED 09, Stanford University, Stanford, USA, 2009.
- Wang, H., Johnson, A. & Bracewell, R. (2012) The retrieval of structured design rationale for the re-use of design knowledge with an integrated representation. *Advanced engineering informatics*. [Online] 26 (2), 251–266.
- Yue G., Liu J. & Hou Y. (2018) Cooperative Design, Visualization, and Engineering: 15th International Conference, CDVE 2018, Hangzhou, China, October 21-24, 2018, Proceedings. Cham: Springer International Publishing AG