

Juhana Rajala

SOVELTUVUUSSELVITYS SO- LIDWORKS-FLOW-INTEGRAATIOSTA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Juhana Rajala: Soveltuvuus selvitys SolidWorks-Flow-integraatiosta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden TkK-tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2019

Hajautetut suunnitteluympäristöt hyödyntävät PDM/PLM-järjestelmiä organisaatiolle yhteisen materiaalin hallintaan. Eri CAD-ohjelmistojen välinen yhteensopivuus yhteisen PDM/PLM-järjestelmän kanssa aiheuttaa kuitenkin usein haasteita. Vertex Systems Oy haluaa tarjota ratkaisunsa tällaiseen haasteeseen mahdollistamalla oman PDM/PLM-järjestelmänsä, Flow'n, integraation laajasti käytössä olevaan SolidWorks-suunnitteluohjelmistoon. Tässä selvityksessä tutkitaan integraatiossa huomioon otettavia seikkoja sekä toteutetaan SolidWorks yhteensopiva lisäosa, jolla pyritään mahdollistamaan dokumenttien hallinta Flow'n avulla.

Selvityksen alussa perehdytään yleisesti tuotetietoon ja sen hallintaan sekä Vertex Systemsin PDM/PLM-järjestelmä Flow'n toimintoihin. Tämän pohjalta selvitetään SolidWorksin ja Flow'n rajapintojen tarjoamia mahdollisuuksia ja rajoitteita, sekä selvitetään mahdollisesti tarvittavaa yritys yhteistyötä. Myös liitoksen ohjelmallisen toteuttamisen vaatimukset otetaan tutkimuksessa huomioon. Ohjelmalliset vaatimukset huomioiden lisäosan toteutuksessa päädyttiin C#-ohjelmointikielen, joka soveltuu sekä SolidWorksin rajapinnan että Flow'n toistaiseksi kehityksessä olevan REST-arkkitehtuuriin perustuvan rajapinnan käyttöön.

Tutkimuksen lopputuloksena integraation toteuttaminen todettiin mahdolliseksi. Yhteistyökumppanuus SolidWorksin kanssa todettiin sekä integraation kehityksen että valmiin tuotteen markkinoinnin ja myynnin kannalta hyödylliseksi tekijäksi. Selvityksen lopuksi toteutettu SolidWorks-dokumenttien luonnin, viennin ja tuonnin sekä revisioiden mahdollistava SolidWorks-yhteensopiva lisäosa osoitti kuitenkin, ettei yhteistyökumppanuutta välttämättä tarvita vielä integraation kehitysvaiheessa. Rajapintojen tarjoamien palveluiden kehittyessä integraation todetaan olevan vietävissä samalle tasolle, kuin mitä se tällä hetkellä Vertex Systemsin omien CAD-tuotteiden ja Flow'n välillä on.

ABSTRACT

Juhana Rajala: Feasibility Study on SolidWorks-Flow-integration
Bachelor of Science Thesis
Tampere University
Bachelor's Degree Programme in Mechanical Engineering
April 2019

Distributed design environments use PDM/PLM systems to aid the management of shared resources of the organization. Problems may occur if multiple different CAD products are used in the same environment. To offer a solution to this problem Vertex Systems Oy wants to integrate their own PDM/PLM-product, Flow, to SolidWorks CAD software that is widely used in the field of mechanical designing. In this thesis a research is carried out to sort out the factors that need to be taken into consideration when implementing the integration. Also a prototype for SolidWorks compatible add-in that aims to make documents management with Flow possible is made in the end of the research.

In the beginning of this thesis a literature review is carried out to clarify what components product data contains, how it is usually managed and what functionalities does Vertex Systems PDM/PLM system Flow have. Based on that the capabilities of application programming interfaces of both SolidWorks and Flow are brought out and the need of company partnership between Vertex Systems Oy and Dassault Systèmes SolidWorks Corporation is presented. Also the software requirements of the integration are taken into consideration, which lead to a decision to implement the add-in with C# programming language that is suitable for not only SolidWorks interface but also for Flow's REST API that is currently under development.

As a result of this feasibility study the SolidWorks-Flow integration is found to be possible to implement. Company partnership with SolidWorks Corp. is stated to be a boosting factor for both program development and the sales and marketing of this product. A prototype add-in developed in the end of this study made it possible to create, export, import and revise SolidWorks documents with Flow. This also showed that the company partnership is not necessarily needed during the development phase. In the future as the services of the interfaces are improving the integration is stated to be possible to implement in the same level as it is now between Vertex Systems' own CAD products and Flow.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	6
2. TUOTETIEDON HALLINTA	8
2.1 Tuotetiedon merkitys	8
2.2 Nimikkeet ja tuoterakenteet	9
2.3 Keskeiset toiminnot	11
2.4 Hajautettu suunnitteluympäristö	13
3. VERTEX FLOW PDM/PLM-JÄRJESTELMÄ	15
3.1 Vertex Flow	15
3.2 Dokumenttien hallinnan vaatimat toiminnot	16
4. FLOW'N LIITETTÄVYYS SOLIDWORKSIIN	18
4.1 Kumppanuuden tai yhteistyön tarve	18
4.2 SolidWorks-rajapinta liitoksessa	19
4.3 Flow-rajapinta liitoksessa	20
4.4 Lisäosan käyttö liitoksessa	21
5. TUOTETIEDON HALLINTA SOLIDWORKS-FLOW-LIITYNNÄSSÄ	23
5.1 Toteutus ja siltä vaadittu toiminnallisuus	23
5.2 Dokumenttien luonti ja vienti	25
5.3 Dokumenttien tuonti	27
5.4 Dokumenttien revisiointi	29
6. YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32

KUVALUETTELO

Kuva 1 Esimerkki lopputuotteeseen kuuluvan komponentin nimikerakenteesta. Muokattu lähteestä (Vertex Systems Oy 2019g)	10
Kuva 2 Esimerkki tiloista ja niiden siirtymistä.....	12
Kuva 3 Esimerkki hajautetun suunnitteluympäristön rakenteesta. Muokattu lähteestä (Camba et al. 2017, s. 617)	13
Kuva 4 Periaatekuva lisäosan toiminnasta integraatiossa	21
Kuva 5 Lisäosan ohjelmallinen jako komponentteihin.....	24
Kuva 6 Lisäosan käyttöliittymän sijoittelu ja kirjautumisnäkyä.....	25
Kuva 7 Lisäosan perustoimintojen painikkeet käyttöliittymässä	26
Kuva 8 Uuden dokumentin luonnissa käytetty lomake.....	26
Kuva 9 Dokumentin tallennuksessa käytettävä palautuslomake	27
Kuva 10 Lomake dokumentin lataukseen Flow-palvelimelta.....	28

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu, Computer-aided Design
CRM	Asiakkuudenhallinta, Customer Relationship Management
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä, Enterprise Resource Planning
PDM	Tuotetiedon hallinta, Product Data Management
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta, Product Lifecycle Management
API	Ohjelmointirajapinta, Application Programming Interface
Asiakas	Palvelimen toimintoja käyttävä ohjelmisto tai sovellus
COM	Alustariippumaton rajapinta ohjelmistokomponenteille, Component Object Model
CORBA	Hajautettujen ohjelmistojen tietoliikenneprotokolla, Common Object Request Broker Architecture
DLL	Jaettu kirjasto, Dynamic-link library
HTTP	Hypertekstin siirtoprotokolla, Hypertext Transfer Protocol
Palvelin	Asiakkailla palveluita tarjoava ohjelmisto tai sovellus
PostgreSQL	Olio-relaatiotietokantapalvelin
REST	HTTP-protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli, Representational State Transfer
.NET	Microsoftin ohjelmistokomponenttikirjasto
IFC	Oliopohjaiseen tiedonsiirtoon perustuva standardi, Industry Foundation Classes
PDF	Ohjelmistoriippumaton tiedostomuoto, Portable Document Format
STEP	3D objektien esittämiseen käytettävä tiedostomuoto, Standard for the Exchange of Product model data

1. JOHDANTO

Tietokoneavusteinen suunnittelu (engl. Computer-aided Design, CAD) tuli valmistavan teollisuuden avuksi 1960-luvun lopulla. Kaksi vuosikymmentä myöhemmin kolmiulotteisten geometrioiden luonnista tuli CAD-ohjelmistojen yksi olennaisimmista ominaisuuksista. Digitalisoitumisen myötä helpottunut tuotesuunnittelu ja tietokoneiden hyödyntäminen dokumenttien hallinnoimisessa ovat lisänneet huomattavasti valmistavan teollisuuden yrityksissä käsiteltävän tuotetiedon määrää (Song et al. 2008, s. 2180). Jatkuvasti kooltaan ja kompleksisuudeltaan kasvavien tuotteiden ja tuoteperheiden tiedon saatavuuden, eheyden ja luottamuksellisuuden säilyttäminen saattaa aiheuttaa ongelmatilanteita yritysten suunnitteluympäristöissä. Tämä korostuu etenkin pienillä ja keskisuurilla yrityksillä, jotka usein tarvitsevat muiden alan toimijoiden yritysyhteistyötä ja alihankintaa, mutta joiden suunnittelumetodit ja -ohjelmistot saattavat erota paljolti toisistaan (Waldenmeyer & Hartman 2013).

Tällaiset hajautettujen suunnitteluympäristöjen eli monen eri ohjelmiston avulla tuotteita suunnittelevien työryhmien verkostot tarvitsevat avukseen yhtenäisen tiedonhallinnan työkalun eli tuotetiedonhallintajärjestelmän (engl. Product data management/Product Lifecycle Management, PDM/PLM). Useiden muiden tietokoneavusteisten suunnitteluohjelmistojen valmistajien tapaan Vertex Systems haluaa tarjota oman alustariippumattoman ratkaisunsa tähän tarpeeseen. Tässä selvityksessä pyritäänkin tutkimaan Vertex Systemsin oman tuotetiedonhallintaohjelmiston, Vertex Flow'n, yhteensopivuutta ja liitettävyyttä osaksi SolidWorks-ympäristöä. Tarkoituksena on erityisesti selvittää, miten dokumentteja hallitaan ja revisoidaan hajautetussa suunnitteluympäristössä.

Vaikka eri suunnitteluohjelmistot pystyvätkin tuottamaan joitakin toisistaan poikkeavia dokumenttityyppejä, keskitytään tässä selvityksessä käsittelemään kolmea eniten käytettyä päätyyppiä, joita ovat osamallit, kokoonpanomallit ja piirustukset. Näiden dokumenttityyppien välillä ei Flow'n toiminnallisuus juurikaan eroa niiden hallinnan ja revisioidinnin osalta, joten tässä selvityksessä viitataan osa- ja kokoonpanomalleihin sekä piirustuksiin yleisesti dokumentteina.

Luvussa 2 tarkastellaan tuotetiedon ja PDM/PLM-järjestelmän merkitystä ja keskeisiä toimintoja. Luvussa 3 luodaan katsaus integraation toiseen osapuoleen, Vertex

Flow'hun, ja tutustutaan niihin toimintoihin, joita dokumenttien hallinnassa tarvitaan. Luvussa 4 käsitellään SolidWorks-ohjelmiston liitettävyyttä Flow PDM/PLM-järjestelmään ja selvitetään integraatioon liittyviä seikkoja, kuten sen toteutukseen mahdollisesti tarvittavaa yritysyhteistyötä, osapuolten tarjoamien rajapintojen palveluita sekä itse integraation toteuttavan lisäosan toteutusta. Luvussa 5 käsitellään integraatiolta vaadittua toiminnallisuutta ja dokumenttien vientiä, tuontia ja revisiointia selvityksen aikana tehdyn liitosprototyypin avulla. Luku 6 kokoaa yhteen selvityksen tulokset.

2. TUOTETIEDON HALLINTA

2.1 Tuotetiedon merkitys

Valmistavan teollisuuden tuotteen elinkaari alkaa usein yhden ihmisen tai työryhmän ajatuksesta tai ideasta, jota kehitetään lukuisten suunnitteluprosessien avulla kohti lopputuotteen konseptia. Jo esisuunnitteluvaiheesta lähtien suunniteltavaan tuotteeseen sitoutuu tietoa, jonka taltioiminen ja hallinta on tärkeää. Suunnitteluprosessin aikana hyvin tehty tuotedokumentaatio edesauttaa tuotteen elinkaaren muidenkin vaiheiden onnistumista: valmistusta, markkinointia, myyntiä, kunnossapitoa ja lopulta käytöstä poistoa.

Nykykaikaiseen tuotteen suunnitteluun kuuluu lähes poikkeuksetta erilaisten kolmiulotteisten geometrioiden luontia tietokoneavusteisesti (Waldenmeyer & Hartman 2013, s. 2). CAD-mallinnus eli tietokoneavusteinen mallinnus tarjoaa yleensä kolmiulotteisen grafiikan luonnin lisäksi mahdollisuuden lisätä mallinnettavalle geometrialle ei-graafista attribuuttitietoa. Tuotteeseen viittaavaa attribuuttitietoa voidaan lisätä dokumenttiin manuaalisestikin, mutta sitä myös syntyy automaattisesti CAD-ohjelmiston tuottamana dokumenttia muokattaessa. Myös muut dokumentteja käsittelevät ohjelmistot, kuten asiakkuudenhallinta (engl. Customer Relationship Management, CRM) -, toiminnanohjaus (engl. Enterprise Resource Planning, ERP) - ja PDM/PLM-ohjelmistot, voivat jättää tuotteeseen uutta tai muokata jo olemassa olevaa tietoa (Mieczko 2015, s. 28; Vertex Systems Oy 2019c). Siten attribuuttitietojen generointi ja hallinta ei keskity ainoastaan tuotteen suunnitteluvaiheeseen, vaan tietoa voidaan tarkastella ja muokata kaikissa tuotteen elinkaaren vaiheissa lukuisten eri ohjelmistojen avulla.

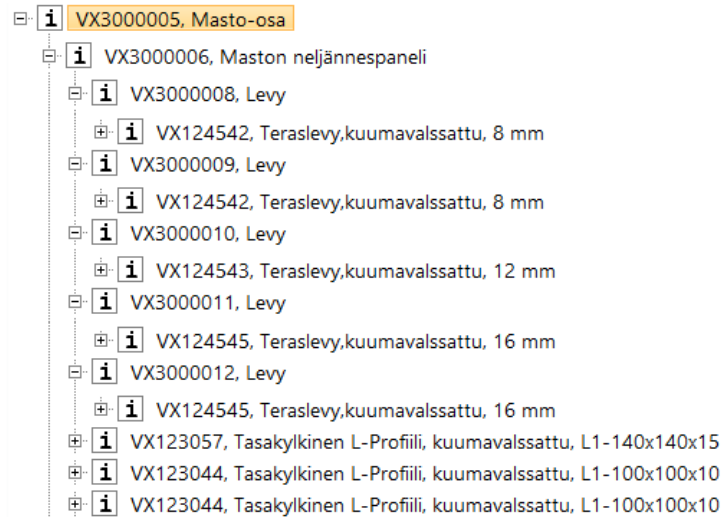
Attribuuttitiedot muodostavat yhdessä osan tuotetietoa, jonka on kuljettava tuotteen ja sen dokumenttien mukana koko tuotteen elinkaaren ajan. Kadonnut tai korruptoitunut tuotetieto aiheuttaa lähes poikkeuksetta ongelmia jossakin tuotteen elinkaaren vaiheessa. (Badin et al. 2011, s. 172) Pahimmillaan tuotetiedon menetys johtaa koko tuotteen käyttökelvottomuuteen ja käytöstä poistoon aiheuttaen tuotetta valmistavalle yritykselle suuria taloudellisia tappioita. Siksi tuotetiedon eheyden takaaminen sitä järjestelmien välillä siirrettäessä on ratkaisevaa.

Vaikka dokumentin käsittelyn avuksi tarkoitetut ohjelmistot usein vähentävätkin manuaalista työtä tuotteen eri elinkaaren vaiheiden aikana, liittyy niiden käyttöön myös haittoja. Mitä useampi järjestelmä tuotetietoa käsittelee, sitä suuremmaksi kasvaa riski ohjelman virheellisestä toiminnasta johtuvasta tiedon menetyksestä tai korruptoitumisesta. Myös suunnittelijan näkökulmasta usean rinnakkaisen järjestelmän käyttäminen saattaa olla hankalaa, vähentää tuottavuutta ja aiheuttaa inhimillisiä, tuotetiedon menetykseen johtavia virheitä. (Leong et al. 2003; Mleczo 2015, s. 28)

Tietokoneavusteisesti suunniteltujen dokumenttien ja tuotetiedon tallennus sekä hallinta pyritäänkin usein keskittämään yhden järjestelmän varaan, jolloin riski tuotetiedon hajaantumisesta ja pirstaloitumisesta vähenee (Waldenmeyer & Hartman 2013, s. 2). Tällaisen keskitetyn tuotetiedon hallintajärjestelmän eli PDM/PLM-järjestelmän etu on usein myös suora liitettävyyys suunnitteluohjelmistoon. Suora, välikädetön yhteys CAD- ja PDM/PLM-järjestelmän välillä vähentää tiedon kadottamisen ja korruptoitumisen riskiä. Keskitetty tuotetietokanta mahdollistaa myös tietojen paremman ajantasaisuuden ja saatavuuden saavuttamisen. Nämä ovat hajautetulle suunnitteluympäristölle kriittisiä ominaisuuksia (Kropsu-Vehkaperä et al. 2009, s. 769).

2.2 Nimikkeet ja tuoterakenteet

PDM/PLM-järjestelmillä hallitaan yleensä yrityksen tuotteista, materiaaleista ja palveluista muodostuvia nimikkeitä, joiden keskinäiset suhteet muodostavat nimike- eli tuoterakenteita (Kropsu-Vehkaperä et al. 2009, s. 762). Nimikepohjainen lähestyminen yrityksen tuotteisiin kuuluviin komponentteihin standardoi ja yksinkertaistaa muuten monimutkaisten tuoterakenteiden käsittelyä. Nimikkeet tuovat valmistavan yrityksen tuotantoon myös modulaarisuutta, sillä usein jo aiemmin muodostettuja nimikkeitä hyödynnetään uusien tuotteiden rakenteissa, mikä vähentää myös turhaa saman työn suorittamista useaan kertaan.



Kuva 1 Esimerkki lopputuotteeseen kuuluvan komponentin nimikerakenteesta. Muokattu lähteestä (Vertex Systems Oy 2019g)

Yrityksen käytössä olevaa nimikkeistöä käytetään myös helpottamaan tuotteiden ylläpitoa niiden elinkaarien eri vaiheissa. Vaihdon tarpeessa oleva komponentti voidaan nimikkeistä koostuvan tuoterakenteen avulla helposti identifioida ja korvata uudella, tarvittaessa hieman muokatullakin, komponentilla. Tuoterakenteiden ylläpito on välttämätöntä myös tilanteessa, joissa yrityksen tuotteet konfiguroidaan asiakaskohtaisesti toisistaan poikkeaviksi kokonaisuuksiksi. Oikean varaosan löytäminen juuri oikeaan konfiguraatioon sopivaksi olisi hankalaa ilman etukäteistietoa konfiguraatiossa käytetyistä nimikkeistä. (Vertex Systems Oy 2019g)

Standardoitu nimikkeistö helpottaa myös tuotesuunnittelun jälkeisen tuotannosuunnittelun vaiheissa. Tuotantoon hyväksytty tuote voidaan siirtää yrityksen ERP-järjestelmään yhdellä kertaa suoraan CAD-järjestelmästä, jolloin välttyään tuotantoon siirretyn tuotteen tietojen manuaaliselta kirjaamiselta. Tällöin myös kaikki tuoterakenteeseen kuuluvat nimikkeet tulevat huomioiduiksi tuotannossa, jolloin esimerkiksi tuotteisiin tarvittavien materiaalien kokonaiskulutusta kyetään seuraamaan. Kuvassa 1 nähdään esimerkki lopputuotteeseen kuuluvan komponentin nimikerakenteesta, josta selviää esimerkiksi siinä käytetyt materiaalit. Modulaariset tuoterakenteet tuovat tuotantoon myös joustavuutta, sillä tuotteita ei tarvitse valmistaa yksilöinä alusta loppuun. (Vertex Systems Oy 2019c)

Vaikka useimmat PDM/PLM-järjestelmät, Vertex Flow mukaan lukien, hallitsevatkin pääasiassa nimikkeitä ja tuoterakenteita, ovat niihin liittyvät toiminnot ja aihealueet hyvin

laajoja. Laajuuden vuoksi tässä selvityksessä keskitytäänkin tutkimaan ainoastaan dokumenttipohjaista CAD-PDM/PLM-liitosta, joka on kuitenkin toiminnoiltaan laajennettavissa myöhemmin myös nimikkeiden ja tuoterakenteiden hallintaan.

2.3 Keskeiset toiminnot

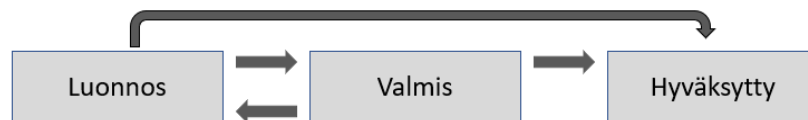
PDM/PLM-järjestelmät tarjoavat monenlaisia palveluita tuotteen suunnittelun ja elinkaaren hallinnan avuksi. PDM/PLM-järjestelmältä yleisesti vaadittuja palveluita ovat tietokannan ylläpitämisen lisäksi mahdollisuus tuoterakenteiden ja relaatioiden hallintaan, tiedostojen vientiin ja tuontiin, työkiertojen hallintaan, historiatietojen ylläpitoon, viestintään ja raportointiin, käyttäjän autentikointiin ja yleiseen tietoturvaan sekä järjestelmänvalvojan rooliin. (Roberts et al. 1995, s. 39–40) Tuotteen suunnittelun aikaisesti keskeisiä näistä ovat järjestelmän käyttäjän autentikoiminen, dokumenttien luonti, vienti ja tuonti suunnitteluohjelmiston ja PDM/PLM-järjestelmän välillä sekä työkiertoon ja historiatietoihin liittyvät dokumenttien tilojen, revisioiden ja varausten hallinta ja ylläpitäminen.

Käyttäjän autentikoiminen on välttämätön toiminto käyttöoikeuksien ja -rajoitusten hallinnassa. Tämän avulla huolehditaan siitä, ketkä järjestelmää pääsevät käyttämään. Eritasoisin käyttöoikeusluokin määritellyt toiminnot mahdollistavat lisäksi ohjelman käytön organisaation eri tasoilla eri käyttötarkoituksiin. (Roberts et al. 1995, s. 39–40) Esimerkiksi organisaation myyntiosastolla voi olla oikeus tarkastella tuotteen myyntiin liittyviä tietoja, mutta ei oikeutta muokata itse tuotetta, kun taas suunnittelijalla on oikeus muokata tilataan muokattavissa olevia dokumentteja, mutta ei oikeuksia merkitä niitä valmiiksi tuotantoon.

Dokumenttien luonti PDM/PLM-järjestelmän sisäiseen tietokantaan toimii perustana uudelle luotavalle tuotteelle tai tuotteeseen liittyvälle dokumentille (Roberts et al. 1995, s. 39–40). Normaalissa PDM/PLM-järjestelmän käytössä dokumentti luodaan ensin CAD-ohjelmistossa, josta se synkronoidaan PDM/PLM-järjestelmään uutena dokumenttina muiden suunnittelijoiden saataville. On kuitenkin mahdollista, että myös jo olemassa olevia dokumentteja tuodaan PDM/PLM-järjestelmään. Jos tuotavia dokumentteja on säilytetty ainoastaan CAD-ohjelmistossa, niillä ei välttämättä ole minkäänlaista historiatietoa. Siksi onkin tärkeää, että luotavat dokumentit ovat PDM/PLM-järjestelmän hallinnassa alusta lähtien. Tällä varmistutaan dokumenttien tietojen oikeellisuudesta ja vältetään myös samasta dokumentista tehdyn usean työkopion keskinäiseltä sekaantumiselta.

(Roberts et al. 1995) Kun dokumentti on luovutettu PDM/PLM-järjestelmän hallintaan, siirtyy järjestelmälle myöskin vastuu sen oikeellisuudesta.

Dokumentteja täytyy myös pystyä välittämään CAD- ja PDM/PLM-ohjelmistojen välillä. Dokumentin luovutus CAD-ohjelmiston käyttöön tehdään kuitenkin PDM/PLM-ohjelmiston ehdoilla. (Roberts et al. 1995, s. 39–40) Ehdot dokumentin luovuttamiselle määräytyvät sen tilan ja varaustilanteen perusteella siten, että jo muokattavaksi varattua dokumenttia ei uudelleenluovuteta kuin katseltavaksi eikä tilaltaan tuotantoon hyväksytyä dokumenttia luovuteta muokattavaksi. Nämä ehdot pitävät huolen dokumentin yksikäsitteisyydestä ja estävät sekaannuksien syntymistä.



Kuva 2 Esimerkki tiloista ja niiden siirtymistä

Tilat kertovat dokumenttien elinkaaren vaiheesta. Dokumentin tila etenee PDM/PLM-järjestelmästä riippumatta yleensä suunnitteluvaiheen luonnoksesta valmiiksi dokumentiksi ja lopulta tuotantoon hyväksytyksi tuotteeksi, kuten myös kuvan 2 esimerkistä nähdään. Myös muut siirtymät tilojen välillä ovat mahdollisia. Tilat vaikuttavat esimerkiksi dokumenttien muokkausoikeuksiin siten, että jo tuotantoon hyväksytyä dokumenttia ei voida enää muokata ilman sen revisiointia. Tilan vaihdos saattaa laukaista myös automaattisia tuotantoprosesseja (Vertex Systems Oy 2019h).

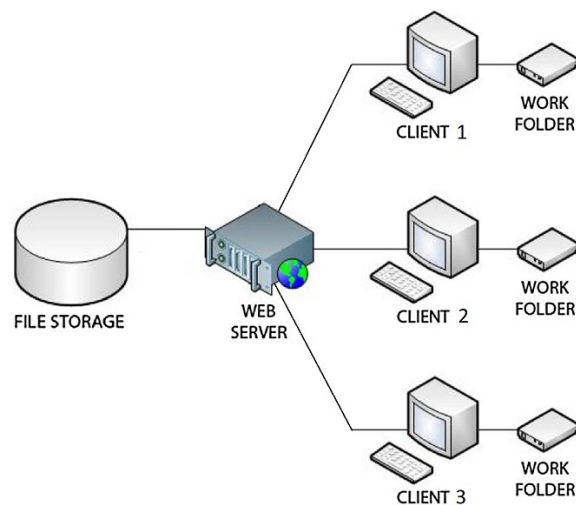
Dokumenttien elinkaaren hallinnassa tilamallin apuna on mahdollisuus dokumenttien revisiointiin. Dokumentin revisiot ovat tuotteeseen modulaarisuutta muodostavia versioita dokumentista, jotka ovat keskenään vaihtoehtoisia tai vaihtokelpoisia. Mikäli tilaltaan tuotantoon hyväksytyksi merkittyä dokumenttia halutaan muokata, täytyy siitä tehdä uusi revisio. (Vertex Systems Oy 2019h) Näin estetään jo tuotannossa olevien tuotteiden dokumenttien ylikirjoittaminen, mutta mahdollistetaan vain hieman niistä poikkeavien tuotevaihtoehtojen muodostaminen. Revisiointi ei kuitenkaan vaadi dokumentin tilan hyväksytyksi merkitsemistä, vaan revisioita voidaan muodostaa myös muulloin (Vertex Systems Oy 2019e).

Myös dokumenttien välille syntyneistä relaatioista pidetään PDM/PLM-järjestelmän avulla huolta. Tämä helpottaa sellaisten dokumenttien muokkausta, joihin viitataan useista muista dokumenteista. Esimerkiksi tieto modulaarisen osamallin muokkauksesta päivittyy kaikkien niiden kokoonpanomallien tietoihin, joilla on jokin relaatio kyseiseen osamalliin. (Roberts et al. 1995, s. 39–40) Tämä helpottaa suunnittelijan työtä sekä mahdollistaa modulaaristen mallien uudelleenikäytön useissa eri kohteissa.

2.4 Hajautettu suunnitteluympäristö

Harvat organisaatiot ovat nykyään sidottuina yhteen maantieteelliseen sijaintiin. Valmistavan teollisuuden yrityksissä voidaan tehdä sekä suunnittelutyötä että valmistusta alihankkijoille ja yhteistyökumppaneille hajautettuna.

Vaikka organisaatioilla saattaa olla useita toimipisteitä ja kumppaneita ympäri maailmaa, tulee toimipisteiden sekä mahdollisten yhteistyökumppaneiden ja alihankkijoiden pystyä toimimaan organisaation yhteisen materiaalin parissa. Maantieteellisesti hajautuneessa organisaatiossa dokumenttien saatavuus ja niiden ajantasaisuus saattavatkin aiheuttaa ongelmia. (Roberts et al. 1995, s. 38)



Kuva 3 Esimerkki hajautetun suunnitteluympäristön rakenteesta. Muokattu lähteestä (Camba et al. 2017, s. 617)

Yhteisen materiaalin hallintaan tällaisissa kuvassa 3 esitetyn esimerkin mukaisissa hajautetuissa suunnitteluympäristöissä käytetäänkin usein PDM/PLM-järjestelmää, joka huolehtii materiaalien ajantasaisesta saatavuudesta. Yhteiseen PDM/PLM-järjestel-

mään liitettynä useat työpisteet pystyvät työskentelemään samojen dokumenttien parissa ilman pelkoa konflikteista tai tiedostoduplikaateista, joita saattaa syntyä, kun dokumentteja muokataan yhtäaikaisesti usealla työpisteellä. (Roberts et al. 1995)

Toimipisteissä käytettyjä ohjelmistoja voi olla paljon ja niiden toiminnallisuudet saattavat poiketa toisistaan, jolloin niiden liitettävyys yhteiseen PDM/PLM-järjestelmään voi olla haastavaa (Camba et al. 2017, s. 613). Tällaisen haasteen aiheuttaa myös Vertex Systemsin oman PDM/PLM-järjestelmän käyttö osana organisaatioita, jotka hyödyntävät Vertexin omien suunnitteluohjelmistojen lisäksi muiden valmistajien ohjelmistoja, joista yksi yleisimmin käytetyistä on SolidWorks.

3. VERTEX FLOW PDM/PLM-JÄRJESTELMÄ

3.1 Vertex Flow

Vertex Systems Oy:n ohjelmistoihin vuonna 2001 julkaistu Flow on ensisijaisesti pienten ja keskisuurten yritysten tarpeisiin tarkoitettu tuotetiedon ja tuotteen elinkaaren hallinta-ohjelmisto. Flow suunniteltiin alun perin Vertex Systemsin oman mekaniikkasuunnitteluun keskittyneen CAD-ohjelmiston Vertex G4:n tuottamien dokumenttien hallintaan. Myös G4:stä varioidut laitossuunnittelun G4 Plant ja prosessi- ja instrumenttikaavioiden suunnittelun G4 PI -ohjelmistot sekä sähkösuunnittelun Vertex ED tukevat Flow-integraatiota.

Flow'ta tukevissa Vertex-ohjelmistoissa on sisäänrakennettu käyttöliittymä Flow'n toiminnolle, mikä mahdollistaa dokumenttien hallinnan Flow'n avulla niiden elinkaaren alusta saakka suoraan CAD-ohjelmistosta. Integroidun käyttöliittymän lisäksi Flow'ta voidaan käyttää myös selainpohjaisesti. Selaimella käytettynä Flow tarjoaa kustomoitavia toimintoja tuotteiden koko elinkaaren kestävän tarkkailun ja hallinnan lisäksi myös muun muassa tuotekehitykseen, kustannuslaskentaan, sekä asiakkaiden ja projektien hallintaan. (Vertex Systems Oy 2019i)

Flow voidaan asentaa sekä Windows-, että Linux-pohjaiselle palvelimena toimivalle tietokoneelle. Flow-palvelin tarvitsee toimiakseen ohjelmiston ulkopuolista PostgreSQL olio-relaatiotietokantapalvelinta, jota se käyttää dokumenttien ja muun tiedon säilömiseen. Flow ja tietokantapalvelin voidaan asentaa samalle tietokoneelle, mutta se ei ole pakollista. Asennuksen jälkeen maantieteellisesti kaukanakin sijaitsevat hajautetun suunnitteluympäristön suunnittelijat voivat ottaa CAD-ohjelmistoillaan yhteyden yhteiseen Flow-palvelimeen. (Vertex Systems Oy 2019a)

Vaikka G4-Flow-integraatiossa hallittavat dokumentit ovat luonnollisesti G4:n tai sen varianttien tuottamien natiivien dokumenttityyppien mukaisia, ei Flow itsessään rajoita sillä hallittavien tiedostojen formaattia. Tämän vuoksi selaimella käytettynä Flow'hun voidaan tuoda manuaalisesti myös muiden CAD-ohjelmistojen tuottamia dokumentteja tai muita tiedostoja. (Vertex Systems Oy 2019b) Ei-natiivien tiedostojen manuaalisen tuonnin avuksi Flow'lla on käytössään myös tiedostomuunnoksia tekeviä kääntäjiä, jotka auto-

maattisesti muodostavat Flow'hun palautetuista dokumenteista asetusten mukaisia tyyppimuunnoksia. Esimerkiksi tiedostokääntäjien avulla G4:n tuottamista VXM-muotoisista osa- ja kokoonpanomalleista saadaan automaattisesti PDF, STEP ja IFC -formaatteja tukevat versiot (Vertex Systems Oy 2019f).

3.2 Dokumenttien hallinnan vaatimat toiminnot

Flow pitää kirjata dokumenttien tunnuksista, jotka ovat kertakäyttöisiä ja uniikkeja (Vertex Systems Oy 2019d). Mikäli SolidWorksissa luotu dokumentti halutaan lisätä Flow'n tietokantaan, täytyy sillä olla yksilöivä tunnus, jota Flow ei ole jo luovuttanut toisen dokumentin käyttöön. Yksilöivien tunnusten keksiminen dokumenteille Flow'hun viennin yhteydessä on kuitenkin haastavaa, etenkin kun dokumenttien kokonaismäärä Flow-palvelimella kasvaa suureksi.

Tämä on ratkaistu Flow'n automaattisella juoksevaan numerointiin perustuvalla tunnusten generoinnilla. Automaattista tunnusten generointia voidaan hyödyntää jo dokumentin luontivaiheessa, jolloin lisäosasta Flow-palvelimelle lähetetty uniikin tunnuksen pyyntö palauttaa seuraavan vielä toistaiseksi käyttämättömän tunnuksen. Tämä tunnuksen luovutus kirjautuu ylös Flow'hun, eikä samaa tunnusta tulla enää tarjoamaan muille dokumenteille (Vertex Systems Oy 2019d).

Varatun tunnuksen ja luotavan dokumentin välille ei kuitenkaan muodostu vielä minkäänlaista sidettä. Dokumentin tallennuksen Flow'hun voi siten siis vielä peruuttaa ilman vaikutuksia. Tunnuksia voi siis pyytää Flow'sta samalle dokumentille useitakin, mutta näistä ainoastaan viimeisin myönnetty jää voimaan. Flow vaatii dokumentille muitakin pakollisia tietoja, jotka täytyy syöttää dokumentin tietoihin sitä luotaessa (Vertex Systems Oy 2019d).

Kun dokumentin pakollisten tietojen kentät on täytetty ja dokumentti valitaan tallennettavaksi, lähtee Flow-palvelimelle pyyntö dokumentin muodostamisesta. Pyyntöä seuraa dokumentin alustusoperaatio, jossa dokumentille annettujen tietojen perusteella muodostetaan Flow'hun dokumenttikortti. Dokumentti sisältää tässä vaiheessa vähintään tiedon sen tyypistä, tunnuksesta, nimestä, revisiosta, tilasta ja kuvauksesta.

Kun dokumentti on alustettu, merkitään se Flow'ssa varatuksi. Dokumentin varaus kohdistuu varauksen tehneeseen käyttäjätiliin ja on voimassa, kunnes se manuaalisesti palautetaan. Työpisteelle varatusta dokumentista tehdään myös paikallinen työkopio, jota

istunnon aikana muokataan. Samasta dokumentista on istunnon aikana siis kaksi versiota: Flow'n dokumentti ja työpisteelle tallennettu kopio.

Työkopiota voidaan nyt vapaasti muokata, ja kun dokumentti halutaan tallentaa, lähetetään Flow-palvelimelle pyyntö dokumentin tietojen synkronoinnista. Tallennuksessa muokkauksen alla ollut työkopio viedään aina Flow'hun, jolloin dokumentin tiedot synkronoituvat Flow'ssa olevan dokumentin tietojen kanssa. Tallennus ei kuitenkaan automaattisesti palauta dokumenttia, vaan sen varaus voidaan tallennuksen jälkeenkin pitää sen varanneella käyttäjällä. Tämä mahdollistaa dokumentin väliaikaisen synkronoinnin Flow-palvelimen kanssa kuitenkin vapauttamatta sitä muiden käyttäjien muokattavaksi. Yleensä dokumentti kuitenkin palautetaan tallennuksen yhteydessä, jolloin myös sen varaus poistuu.

4. FLOW'N LIITETTÄVYYS SOLIDWORKSIIN

4.1 Kumppanuuden tai yhteistyön tarve

Dassault Systemesin lisäksi SolidWorks ohjelmiston toiminnallisuutta laajentaa yli 500 yhteistyökumppania (SolidWorks 2019e). Ohjelmistoa ammattimaisesti käyttävä, sen palveluita hyödyntävä tai siihen lisäominaisuuksia valmistava yritys voi hakea yhteistyökumppanuutta SolidWorksin kanssa osallistumalla kumppanuusohjelmaan. Kumppanuusohjelma jakautuu kahteen pääkategoriaan: Service Partner Program ja Partner Product Program -ohjelmaan (SolidWorks 2019a).

Service Partner Program -ohjelma on tarkoitettu SolidWorksin omaa tuotetiedon hallintajärjestelmää SolidWorks PDM:ää käyttävien ja kehittävien yritysten avuksi. Ohjelma on jaettu kahteen peräkkäin suoritettavaan tasoon, joista ensimmäinen Associate Service Partner -taso oikeuttaa määräaikaisesti muun muassa uusimpiin SolidWorks Premium ja SolidWorks PDM lisensseihin ja niiden päivityksiin sekä pääsyyn SolidWorks API ohjelmointirajapinnan tukiryhmään. Ohjelman toisen ja viimeisen Certified Service Partner -tason suorittaminen oikeuttaa aiemman tason etujen lisäksi SolidWorksin rekisteröityyn yhteistyökumppanuuteen. (SolidWorks 2019a)

Kumppanuusohjelman toinen kategoria, Partner Product Program -ohjelma, on tarkoitettu yrityksille, jotka tuottavat omia SolidWorksia hyödyntäviä tai laajentavia ohjelmistoja. Ohjelma jakautuu kolmeen peräkkäin suoritettavaan tasoon, joista ensimmäinen Research Associate -taso oikeuttaa muun muassa määräaikaisesti uusimpaan SolidWorks lisenssiin ja pääsyyn SolidWorks API -tukiryhmään. Ohjelman toinen Certified Solution Partner -taso oikeuttaa lisäksi SolidWorksin rekisteröityyn yhteistyökumppanuuteen sekä useisiin markkinointia edistäviin etuihin. Viimeisen Certified Gold Product -tason saavuttamisen jälkeen SolidWorks lupaa markkinoida yrityksen kehittämää ohjelmistoa SolidWorks jälleenmyyjille. (SolidWorks 2019a)

Näistä Partner Product Program -ohjelma soveltuisi SolidWorks-Flow -integraation kehityksen avuksi. Koska SolidWorksin lisäosilleen tarjoamien rajapintapalveluiden toiminnallisuudet saattavat muuttua joka vuosi julkaistavan ohjelmistoversion myötä, on SolidWorks-Flow -integraatioon osallistuvien komponenttien yhteensopivuudesta pidettävä jatkuvasti huolta. Yhteensopivuuden ylläpitämiseksi Partner Product Program -ohjelman

tarjoama viimeisin SolidWorks-ohjelmistolisenssi ja pääsy rajapintadokumentaation tukeen auttaisivat ajantasaisten teknologioiden ylläpitämisessä.

Pääsyyn ensimmäiselle Research Associate -tasolle vaaditaan ohjelmistoa kehittävältä yritykseltä valmis tuote tai suunnitelma sen kehittämiseksi. Ohjelmaan haetaan hakemuksella ja valintalomakkeella, joiden hyväksymisen jälkeen alkaa kahden vuoden määräaikainen kehitysjakso, jonka aikana edellä mainitut edut ovat voimassa. Kehitysjakson päätyttyä yritys voi hakea kumppanuusohjelman seuraavalle tasolle, mikäli kehitetty tuote saatiin valmiiksi ja sillä on kaupallisia asiakkaita. Mikäli kriteereitä ei täytetty, kumppanuusohjelma päättyy, mutta siihen voi hakea uudelleen. (SolidWorks 2019a)

4.2 SolidWorks-rajapinta liitoksessa

Dassault Systemes julkaisee SolidWorks-ohjelmiston rajapintadokumentaation joka vuosi uuden ohjelmistoversion mukana. Rajapintadokumentaatio koskee SolidWorks asennuksen mukana tulevien DLL-muotoisten ohjelmistojen yhteensovittamiseen tarkoitettujen Interop-kirjastojen sisältämiä palveluita ja niiden käyttöä. Ohjelmiston tarjoama rajapinta on joukko palveluita, joita ohjelmiston ulkopuolinen komponentti voi kutsua ja joita itse ohjelmisto olettaa ulkopuolisen komponentin implementoineen onnistuneen kommunikoinnin aikaansaamiseksi. (SolidWorks 2019c)

Dokumentoituja Interop-kirjastoja löytyy vuoden 2019 dokumentista kymmenen. Niitä ovat sldworks, swmotionstudy, swdimxpert, swpublished, sw3dprinter, dsgnchk, swhtml-control, swscanto3d, swconst ja swcommands. Kukin näistä kirjastoista määrittelee SolidWorks-ohjelmistosta oman osa-alueensa toiminnallisuuden, ja sen miten ohjelmistoa on mahdollista käyttää. Osa kirjastoista, kuten swdimxpert ja swmotionstudy, mahdollistavat pääsyn ohjelmiston tiettyyn osaan tai ominaisuuteen, kun taas esimerkiksi sldworks, swcommands ja swconst koskevat koko ohjelmiston yleisiä ominaisuuksia. (SolidWorks 2019b)

Interop-kirjastossa määriteltyjen toimintojen käyttämiseksi kirjastoon tulee tehdä viittaus sitä hyödyntävästä ohjelmasta. Tässä työssä käsiteltävän PDM/PLM-liitoksen mahdollistamiseksi keskeisin käytettävä kirjasto on sldworks, jossa määritellään miten SolidWorks käsittelee dokumentteja ja niiden tietoja, mutta viittauksia muihinkin kirjastoihin tullaan todennäköisesti tarvitsemaan.

SolidWorksin rajapinta ei rajoita lisäosan toteutuksessa käytettävää ohjelmointikieltä, mutta kielen täytyy olla COM-yhteensopiva (engl. Component Object Model), mikä mahdollistaa eri ohjelmointikielillä toteutettujen komponenttien keskinäisen kommunikoinnin ja tiedon välittämisen standardoidusti (SolidWorks 2019d). Microsoftin määrittelemän COM-standardin mukainen yhteensopivuus mahdollistaa SolidWorks-lisäosien tapauksessa ulkoisten DLL-muotoisten kirjastojen luokkien käyttämisen SolidWorks-ohjelmistossa ilman ohjelmointikielten asettamia yhteensopivuusrajoituksia ja ilman etukäteistietoja tai ehtoja luokkien tyypeistä.

4.3 Flow-rajapinta liitoksessa

Integraation toteutuksen toinen osapuoli, Flow, tarjoaa myös oman rajapintansa järjestelmien välisen kommunikoinnin mahdollistamiseksi. Tämä rajapinta on toteutettu Vertex Systemsin omien suunnitteluohjelmistojen välillä käyttäen kaksisuuntaista kommunikointia tukevaa CORBA-tekniikkaa (engl. Common Object Request Broker Architecture) (Vertex Systems Oy 2019j). Kaksisuuntainen kommunikointi PDM/PLM-järjestelmässä on kuitenkin marginaalista, sillä työpisteellä toimiva suunnitteluohjelmisto huolehtii tarvittaessa yhteyden muodostamisesta ja tiedon synkronoinnista tietovarastona toimivan palvelimen kanssa, eikä palvelimella siten ole tarvetta ottaa yhteyttä työpisteellä sijaitsevaan suunnitteluohjelmistoon.

Vertex Systems onkin ryhtynyt kehittämään avointa yksisuuntaisen kommunikoinnin mahdollistavaa uudempaan ja yksinkertaisempaan Representational State Transfer eli REST-arkkitehtuuriin perustuvaa rajapintaa (Vertex Systems Oy 2019j). HTTP-protokollaan pohjautuvan REST-arkkitehtuurin avulla asiakaslaite pystyy kommunikoimaan palvelimen kanssa asiakaslähtöisesti. Asiakaslaite pystyy lähettämään palvelimelle HTTP-standardin mukaisia pyyntöjä, joihin palvelin vastaa sen hetkisen tilansa perusteella palauttaen tarvittaessa dataa pyynnön lähettäneelle laitteelle.

Kommunikointi SolidWorksin ja Flow'n välillä onkin järkevää toteuttaa käyttäen kyseistä uuteen teknologiaan pohjautuvaa avointa rajapintaa. Vielä kehityksen alla olevaan rajapintaan on myös mahdollista tehdä integraation vaatimia muokkauksia tai kokonaan uusia palveluita.

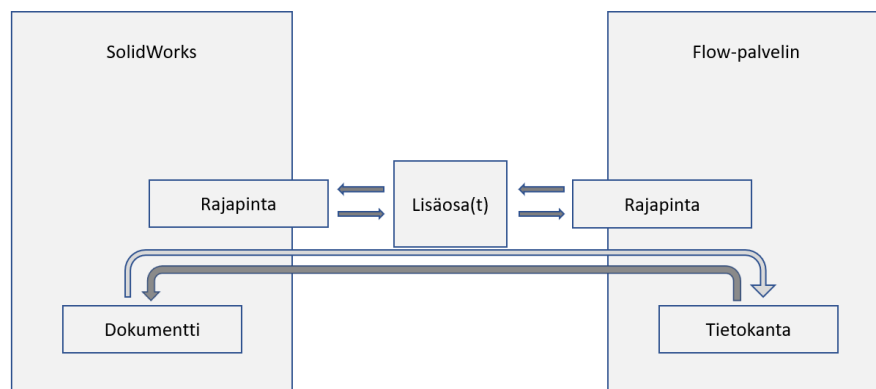
Rajapinnan hyödyntäminen vaatii integraation toteuttavalta SolidWorks-lisäosalta kyvyn kommunikoida käyttäen HTTP-protokollaa. Tällaisen ominaisuuden lisääminen So-

lidWorks-lisäosaan onnistuu käyttämällä valmista REST-rajapintojen kanssa kommunikointiin kehitettyä kirjastoa. Tällaisia kirjastoja on paljon, mutta ne ovat riippuvaisia ohjelmointikielestä, joten myös tämä vaikuttaa lisäosan toteuttamisessa käytettävän kielen valintaan.

4.4 Lisäosan käyttö liitoksessa

Dassault Systemes tarjoaa ohjelmistokehittäjille mahdollisuuden muokata ja kehittää SolidWorks-ohjelmiston toiminnallisuutta ennalta määritetyillä teknologioilla lähes vapaasti. Vapaa muokkaus ja kehitys ei koske kuitenkaan itse SolidWorks-ohjelmiston ydintä, vaan se tapahtuu ohjelmiston jatkeeksi liitettävien lisäosien avulla. (SolidWorks 2019f)

Lisäosat ovat SolidWorksin tapa laajentaa ohjelmiston toiminnallisuutta. Ne ovat SolidWorks yhteensopivia itsenäisiä kokonaisuuksia, jotka toteuttavat yhden tai useamman ominaisuuden tai toiminnon, joita SolidWorks voi rajapintansa avulla käyttää. Koska SolidWorksin toiminnallisuuden laajentaminen on vahvasti rajattu lisäosilla tehtäviin laajennuksiin, on luonnollista keskittyä tutkimaan myös Flow-integraation toteuttamista yhden tai useamman lisäosan avulla, jotka toimivat kuvassa 4 esitettyyn tapaan Flow'n ja SolidWorksin välisenä sovituskappaleena.



Kuva 4 Periaatekuva lisäosan toiminnasta integraatiossa

Sekä SolidWorksin että Flow'n rajapintojen lisäosan toteutuksessa käytettävälle ohjelmointikielelle asettamat kriteerit täyttäviä ja yleisesti lisäosien toteuttamisessa käytettyjä ohjelmointikieliä ovat Visual Basic, C++/CLI ja C#. Näistä C#:lle löytyy myös aktiivisesti päivitetty kirjasto, RestSharp, REST-kommunikointia varten, joten C#:ia pidetään alustavasti integraation toteutuksessa käytettävänä ohjelmointikielenä.

Lisäosan toteutuksessa käytettävän ohjelmointikielen ominaisuuksille asetettujen vaatimusten lisäksi SolidWorks vaatii erikseen vielä tiettyjen minimikriteereiden täyttymistä, jotta se kykenee käyttämään ohjelmiston ulkopuolista komponenttia lisäosana. Ensimmäinen kriteereistä on se, että lisäosassa on toteutettuna ISwAddin-rajapintaluokan kaksi metodia, `ConnectToSW` ja `DisconnectFromSW`. ISwAddin-rajapinta on määritelty `Interop.swpublished`-kirjastossa, joten se täytyy olla sisällytettynä lisäosan viittauksiin.

Toisena kriteerinä on, että lisäosan toteuttava DLL-muotoinen tiedosto on rekisteröity uniikilla tunnisteella Windows rekisterin polkuun `"HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\SolidWorks\AddIns"`. Uniikin tunnisteiden avulla SolidWorks löytää rekisteröidystä DLL-tiedostosta tunnistetta vastaavan, lisäosan alustamisesta huolehtivan, luokan ja pystyy tekemään siitä instanssin.

Koska lisäosassa käytetään COM-rajapinnan yli välitettyjä, alun perin SolidWorks ohjelmistossa luotuja, olioita, siirtyy vastuu myös niiden elinkaaren hallinnasta lisäosalle. Toisin sanoen COM-rajapinnan yli välitetyt objektit eivät tuhoudu, eikä niiden varaamaa muistia vapauteta ilman lisäosassa tehtäviä erillisiä toimenpiteitä. Tämä täytyy ottaa lisäosan toteutuksessa huomioon.

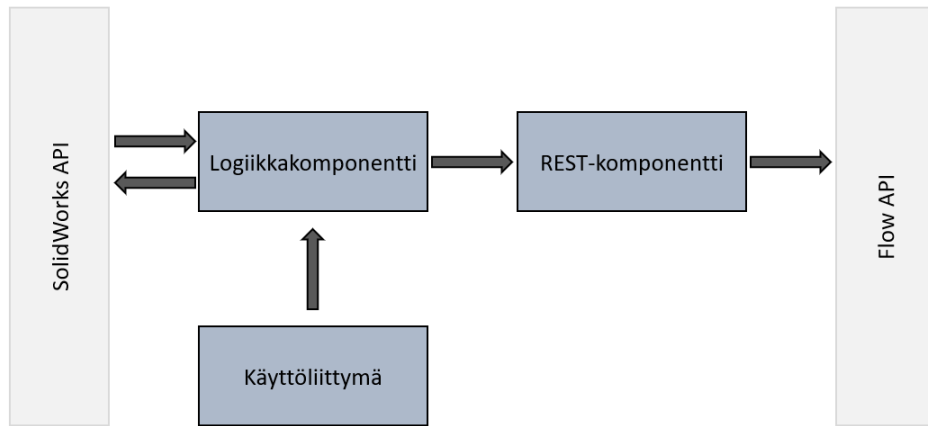
5. TUOTETIEDON HALLINTA SOLIDWORKS-FLOW-LIITYNNÄSSÄ

5.1 Toteutus ja siltä vaadittu toiminnallisuus

Toimivan integraation ylläpitäminen vaatii jatkuvaa keskinäistä yhteensopivuutta lisäosan, Flow'n ja SolidWorks-ohjelmiston kesken. Tämä pakottaa tilanteeseen, jossa lisäosaa on tarve kehittää jatkuvasti uusien SolidWorks-ohjelmistoversioiden julkaisujen tahdissa, mutta sen lisäksi huomioida yhteensopivuus Flow'n versioiden kanssa. Näistä ainoastaan lisäosan ja Flow'n väliseen yhteensopivuuteen pystytään vaikuttamaan kehittämällä niitä synkronoidusti. SolidWorks-ohjelmistoversioiden julkaisuihin ei pystytä itse Vertex Systemsillä vaikuttamaan, mutta niistä johtuvia mahdollisia lisäosan tarvitsemia muutoksia pystytään ennakoimaan SolidWorksin beetaversioiden avulla, joita toimitetaan SolidWorksin Partner Product Program-kumppanuusohjelmaan liittyneille jäsenille (SolidWorks 2019a).

Monesta ohjelmistosta riippuva lisäosa onkin järkevää rakentaa erilliset vastualueet toteuttavista komponenteista, jolloin lisäosan päivitys voidaan tehdä pienemmissä osissa. Sen lisäksi, että yksittäisten komponenttien ylläpito on helpompaa kuin koko lisäosan rakenteen muuttaminen, on lisäosa pienillä muutoksilla tarvittaessa uudelleenkäytettävissä muissakin CAD-Flow-integraatioissa.

Lisäosa koostuu kolmesta kuvassa 5 esitetystä pääkomponentista, joita ovat lisäosan käyttöliittymä-, logiikka- ja REST-komponentti. Käyttöliittymä on tuotteen loppukäyttäjälle näkyvä, SolidWorksin suunnitteluikkunan oikeaan reunaan sijoitettu paneeli, josta liitoksen toimintoja käytetään. Varsinaisen integraation toteuttava logiikkakomponentti ottaa vastaan sekä käyttöliittymän että SolidWorksin lähettämät komennot, joiden perusteella se kutsuu tarvittaessa Flow'n ja lisäosan välisestä kommunikaatiosta vastaavan REST-komponentin palveluita. REST-komponentti on siten liitoksesta erillinen itsenäinen kirjasto, jonka avulla Flow'n avoimen rajapinnan palveluita voidaan käyttää.



Kuva 5 Lisäosan ohjelmallinen jako komponentteihin

Vaikka lisäosa tarjoaa SolidWorks-Flow-integraation hallintaan tarvittavat työkalut, vuorovaikuttaa käyttäjä pääasiassa SolidWorksin oman käyttöliittymän kanssa. Etenkin suunnittelun aikaisesti, suurin osa toiminnoista suoritetaan käyttäen SolidWorksin oman käyttöliittymän komentoja. Osa näistä komennoista, kuten dokumentin sulkeminen tallentamatta, vaikuttavat väistämättä myöskin ohjelmistoon liitetyn PDM/PLM-järjestelmän toimintaan. Hallitsematon dokumentin sulkeminen johtaa tilanteeseen, jossa lisäosa ei kykene välittämään tietoa dokumentin palauttamisesta tai vapauttamisesta Flow’lle, jolloin käyttäjän tekemiä muutoksia ei kyetä tallentamaan järjestelmään.

Lisäosan logiikkakomponentin täytyy siis kyetä seuraamaan tiettyjä SolidWorksin käyttöliittymästä suoritettuja kriittisiä toimintoja, jotta tietojen hallinta tapahtuisi turvallisesti. Monien toimintojen ohjelmallinen seuraaminen onkin mahdollistettu SolidWorksin rajapinnan avulla laukaisemalla ohjelmiston suorittamista komennoista niin sanottuja eventtejä eli tapahtumia, joita lisäosan ohjelmisto pystyy kuuntelemaan. Tapahtumat välittävät siis tietoa niin käyttäjän kuin itse ohjelmiston automaattisesti suorittamista toimista SolidWorks-ohjelmiston ulkopuolelle, jolloin esimerkiksi PDM/PLM-järjestelmän vaatima dokumenttien hallittu avaaminen ja sulkeminen on mahdollista toteuttaa.

Liitoksen toimintojen mahdollistaminen vaatii lisäksi joidenkin PDM/PLM-järjestelmän käyttämien attribuuttitietojen tallentamista Flow’lla käsiteltäviin SolidWorks-dokumentteihin. SolidWorks tarjoaa dokumenteilleen kustomoitavia tietokenttiä, joita sekä ohjelmistoa käyttävät suunnittelijat että lisäosat voivat käyttää tarvitsemiensa tietojen tallentamiseen. SolidWorks-Flow-liitoksen logiikkakomponentti vastaa myös näiden kenttien hallinnomisesta. Kenttiin tallennetaan tärkeimmät tiedot dokumentin tilasta Flow-palvelimella, minkä ansiosta dokumentin tilaan liittyvien verkon yli tehtävien kyselyiden määrää voidaan vähentää.

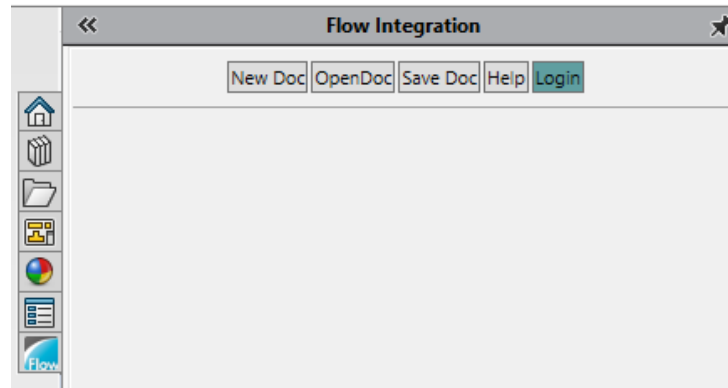
5.2 Dokumenttien luonti ja vienti

Yhteyden muodostaminen Flow-palvelimelle vaatii käyttäjän autentikoimista järjestelmään hyväksytyillä tunnuksilla. Kirjautuminen tehdään kuvassa 6 näkyvästä SolidWorksin suunnitteluikkunan oikeassa reunassa sijaitsevaan tehtäväpalkkiin upotetusta käyttöliittymästä, josta liitoksen muutkin toiminnot tullaan suorittamaan. Kirjautuakseen käyttäjä syöttää vaadittuihin tekstikenttiin Flow-palvelimen osoitteen ja käyttäjätunnuksensa. Onnistuneen kirjautumisen jälkeen käyttäjälle myönnetään voimassa oleva tunnus, jolla Flow-rajapinnan palveluita on mahdollista käyttää. Tämän lisäksi lisäosan käyttöliittymä vaihtuu liitoksen vaatimien toimintojen käyttämiseen sopivaksi.



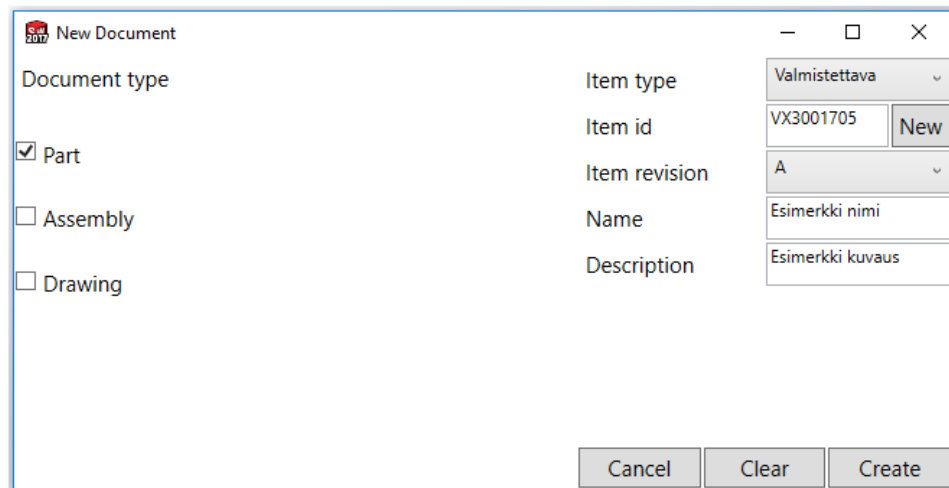
Kuva 6 Lisäosan käyttöliittymän sijoittelu ja kirjautumisnäkymä

Uuden dokumentin luonti Flow'hun aloitetaan kuvassa 7 näkyvän lisäosan käyttöliittymän painikkeella "New Doc", josta avautuvaan kuvassa 8 esitettyyn dialogi-ikkunaan käyttäjä täyttää Flow'n dokumentilta vaatimat pakolliset tiedot ja luotavan dokumentin tyyppin sekä hakee Flow'sta seuraavan vapaan dokumentin yksilöivän tunnuksen. Kun dokumentti valitaan luotavaksi, luo SolidWorks syötettyjen tietojen perusteella dokumenttipohjan samalla kun lisäosa lähettää pyynnön dokumenttikortin luonnista Flow-palvelimelle ja varaa sen pyynnön lähettäneelle käyttäjälle. Saman Flow-palvelimen käyttäjät näkevät nyt juuri luodun dokumenttikortin tietoineen, mutta eivät vielä siihen liittyvää varsinaista tiedostoa, sillä se on muokattavana suunnittelijan työpisteellä.



Kuva 7 Lisäosan perustoimintojen painikkeet käyttöliittymässä

Dokumentin luonut käyttäjä on nyt vapaa muokkaamaan työpisteellään sen tietoja ja geometriaa. Piirustuksen ja osamallin luonti ja muokkaus tapahtuvat SolidWorksin käyttöliittymällä samoin kuin ilman liitostakin. Kokoonpanojen kohdella tämä eroaa ohjelman normaalikäytöstä hieman, sillä lähtökohtana on, että SolidWorksiä käytettäisiin Flow'hun liitettynä ainoastaan Flow'n hallinnoimien dokumenttien muokkaukseen, jolloin "Bottom-Up"-tyylistä kokoonpanoa luotaessa uusi lisättävä komponentti on aina jo Flow'n hallinnoima, eli toisin sanoen se löytyy Flow-palvelimelta. Siten kokoonpanoon komponenttia lisättäessä lisäosa avaa selaimen, jonka avulla käyttäjä voi etsiä ja valita koontaan lisättävän komponentin Flow'n tietokannasta. Valittu komponentti ladataan Flow'sta käyttäjän työpisteelle paikalliseksi kopioksi, joka sitten lisätään koontaan.



Kuva 8 Uuden dokumentin luonnissa käytetty lomake

"Top-Down"-kokoonpanon tapauksessa koontaan lisättävät täysin uudet dokumentit luodaan ensin Flow-palvelimen tietokantaan samoin menettelyin kuin muutkin uudet

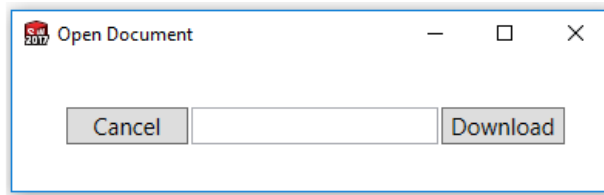
Flow'hun luotavat dokumentit. Työpisteellä sijaitsevien paikallisten dokumenttien lisäksi Flow'lla hallinnoituihin kokoonpanoihin ei sinänsä ole estettä, mikäli lisätyt paikalliset dokumentit vietäisiin osaksi Flow'n tietokantaa. Tällaisten dokumenttien hallinta tapahtuisi jatkossa siis myös Flow'n avulla, mutta liitoksen kehityksen ollessa alkuvaiheessa jätetään tämä mahdollisuus toistaiseksi käsittelemättä.

Kuva 9 Dokumentin tallennuksessa käytettävä palautuslomake

Kun dokumentin muokkaus on valmis, valitsee käyttäjä mallin tallentamiseksi kuvassa 7 näkyvän lisäosan käyttöliittymästä painikkeen "Save Doc". Tämä avaa kuvan 9 mukaisen dialogi-ikkunan, jossa muokatun dokumentin tallennettavat tiedot esitetään käyttäjälle. Kun ikkunassa olevaa painiketta "Save" painetaan, lähettää lisäosan REST-komponentti Flow-palvelimelle pyynnön työpisteellä olevan dokumentin viennistä osaksi aiemmin luotua dokumenttikorttia. Mikäli vienti onnistuu, dokumentti poistetaan työpisteeltä ja Flow'hun viety tiedosto vapautetaan muiden muokattavaksi.

5.3 Dokumenttien tuonti

Dokumentteja voidaan myös luonnollisesti hakea Flow-palvelimen tietokannasta työpisteelle muokattavaksi tai katseltavaksi. Tämä tapahtuu kuvassa 7 näkyvän lisäosan painikkeesta "Open Doc", josta avautuvan kuvassa 10 esitetyn lomakkeen kenttään syötetään ladattavan dokumentin tunniste. Koska tunnisteita ei tietenkään ole tarkoitus muistaa ulkoa, tullaan dokumenttien avaamisen helpottamiseksi toteuttamaan selain, johon lisäosa hakee Flow-palvelimelta saatavilla olevat dokumentit listaksi, josta käyttäjä voi suodattaa haluamiaan dokumentteja. Selaimen perustuva hakua ei kuitenkaan ehditty toteuttamaan tämän selvityksen aikana.



Kuva 10 Lomake dokumentin lataukseen Flow-palvelimelta

Tunnisteen perusteella avattavaksi valittu osamalli etsitään Flow'sta ja ladataan työpisteelle, jonka jälkeen käyttäjälle esitetään dialogi-ikkuna siitä, halutaanko dokumentti varata muokattavaksi vai avata ainoastaan katseltavaksi. Muokattavaksi varauksen tapauksessa dokumentin varaustilanne tarkistetaan Flow-palvelimelta. Mikäli dokumentti on jo toisen käyttäjän varaamana, muokattavaksi varausta ei voida suorittaa ja dokumentti avataan katseltavaksi. Tämän lisäksi käyttäjälle ilmoitetaan, ettei dokumenttiin katselun aikana mahdollisesti tehtyjä muutoksia voida palauttaa Flow'hun. Onnistuneen muokattavaksi varauksen jälkeen tarkistetaan vielä dokumentin tilamallin mukainen tila Flow-palvelimelta. Mikäli tila ei oikeuta dokumentin muokkaukseen, käyttäjää informoidaan, että uuden revision tekeminen on dokumentin palauttamiseksi välttämätöntä.

Kokoonpanojen ja piirustuksien kohdalla tilanne ei ole yhtä suoraviivainen, sillä ainoastaan avattavaksi valitun dokumentin lataus työpisteelle ei riitä. Tämä johtuu siitä, että SolidWorks-kokoonpanot ja –piirustukset sisältävät niissä käytettyjen komponenttien geometrioiden sijasta ainoastaan viitteitä niihin tiedostosijainteihin, joista komponenttien geometriat ovat haettavissa, kun kokoonpano tai piirustus ratkaistaan. Ratkaisu tapahtuu myös silloin kun dokumentti avataan. Tämä tarkoittaa SolidWorks-Flow-integraatiossa sitä, että pelkän kokoonpanon tai piirustuksen lataus palvelimelta ei riitä, sillä tuloksena olisi tyhjä geometriaton dokumentti. Koska kokoonpanot ja piirustukset kuitenkin sisältävät tiedon siitä mitä komponentteja ne tarvitsevat, voidaan ladatun kokoonpanon tai piirustuksen komponenttilista käydä ohjelmallisesti läpi ja ladata ne palvelimelta.

Vaikka näin meneteltynä kokoonpanot ja piirustukset saadaankin ladattua ja uudelleenrakennettua kaikkine komponentteineen suunnittelijan työpisteellä, saattaa isojen kokoonpanojen tai monimutkaisten piirustusten tapauksissa kaikkien komponenttien lataus erillisinä dokumentteina verkkoyhteyden nopeudesta riippuen kestää pitkiäkin aikoja. Pitkien latausaikojen lyhentämiseksi dokumentin vaatimien komponenttien latauspyyntöön voidaan sisällyttää kuitenkin useampi tai jopa kaikki sen komponentit kerrallaan. Tällöin dokumentit pakattaisiin jo Flow-palvelimen puolella yhdeksi isommaksi tiedostoksi, joka

ladattaisiin yhdellä pyynnöllä työpisteelle. Näin ylimääräiseltä verkkoliikennettä lisäävältä pyyntö-vastaus-ketjulta välttyttäisiin ja tarvittavat tiedostot saataisiin yhdellä latauksella, vaikkakin tämä kestäisikin pidempään kuin yksittäisen komponentin lataus.

Kokoonpanon tai piirustuksen latauksen jälkeiset menettelyt vastaavat osamallin latauksen menettelyitä. Huomattavaa on kuitenkin, että komponentteja sisältävän dokumentin muokattavaksi varauksen jälkeen ainoastaan itse avattu dokumentti on varattuna käyttäjälle siitä huolimatta, että lataus suoritettiin kaikille sen komponenteille.

Kokoonpanon muokkaus perustuu kuitenkin usein siihen liitettyjen komponenttien muokkaukseen. Tällöin SolidWorksin käyttöliittymästä suoritettu komponentin muokkauskomento laukaisee tapahtuman, jonka johdosta logiikkakomponentti yrittää varata muokattavaksi valittua komponenttia Flow-palvelimelta. Varauksen onnistuessa käyttäjä voi muokata komponenttia samoin keinoin kuin ilman lisäosaakin. On kuitenkin mahdollista, että toinen käyttäjä on varannut kokoonpanon komponenttina toimivan dokumentin itselleen muokattavaksi. Koska tiedostoduplikaattien estämiseksi dokumentti voi olla varattuna ainoastaan yhdellä käyttäjällä kerrallaan, estää logiikkakomponentti muokkauskomennon ja ilmoittaa käyttäjälle, että dokumentti on jo varattuna. Vastaavasti, kun komponentin muokkaus lopetetaan, palautetaan muokattu dokumentti Flow'hun aiemmin kuvatun dokumentin viennin tavoin, mutta kuitenkin niin, ettei kokoonpanon komponenttina toimivaa dokumenttia poisteta työpisteeltä viitteiden ehjänä pysymiseksi.

5.4 Dokumenttien revisiointi

Flow PDM/PLM-järjestelmässä on mahdollisuus käsitellä dokumentteja käytössä olevan tilamallin mukaisten tilojen avulla. Tilaltaan luonnoksena, tai muussa muokkauksen sallivassa tilassa oleva dokumentti voidaan varata ja hakea Flow'n tietokannasta suunnittelijan työpisteelle muokattavaksi sekä palauttaa uudelleen Flow'hun kun muokkaus on valmis. Jos dokumentti taas on määritelty valmiiksi tai muuksi muokkauksen estävään tilaan olevaksi, ei siihen luonnollisesti ole mahdollista tehdä muutoksia. Tällainen valmiiksi määritelty dokumentti voidaan kuitenkin ottaa Flow'sta muokkaukseen, mikäli se ennen palautusta revisioidaan. Tällöin kyseisestä dokumentista muodostetaan kopio uudella revisiotunnuksella, jolloin sen muokkaus on mahdollista alkuperäisen valmiin dokumentin pysyessä muuttumattomana.

Koska Flow-palvelin vastaa pääosin dokumenttien ja niiden eri revisioiden hallinnasta, on lisäosalta vaadittu toiminnallisuus revisioiden hallintaan melko yksinkertaista. Revisioiden hallinta vaatii lisäosan logiikkakomponentilta kuitenkin muutamia toimenpiteitä

siinä vaiheessa, kun dokumenttia ollaan latauksen jälkeen varaamassa muokattavaksi ja kun sitä ollaan palauttamassa takaisin Flow'hun. Vaikka revisiointiin oleellisesti liittyvä dokumentin tilamallin vaihdos pystytään tekemään SolidWorks-Flow-integraatiossa tois-
taiseksi vain Flow'ta selaimella käytettäessä, tullaan myös tilamallin vaihtoon tarvittavat toiminnot toteuttamaan lisäosan logiikkakomponenttiin tämän selvityksen jatkeena.

Mikäli käyttäjä dokumentin ladatessaan haluaa varata sen myös muokattavaksi, täytyy Flow-palvelimelle lähettää kysely dokumentin sen hetkisestä tilasta. Mikäli dokumentin tila vaatii uuden revision luomista ennen sen takaisin palvelimelle palauttamista, siitä esitetään käyttäjälle ilmoitus. Ilmoitus esitetään luonnollisesti myös tilanteessa, jossa tilaltaan valmis kokoonpanon komponentti varataan muokattavaksi. Dokumentin tila ei kuitenkaan estä käyttäjää muokkaamasta sitä, mutta sen palautuksessa lisäosa vaatii käyttäjää syöttämään dokumentille uuden revisiotunnuksen kuvassa 9 näkyvään "Item revision"-kenttään palautuksen loppuun suorittamiseksi.

Dokumentteja voidaan revisioida ilman tilamallin vaatimustakin, mikäli dokumentin palautuslomakkeessa sille asetetaan uusi revisiotunnus. Näin voidaan menetellä esimerkiksi tapauksessa, jossa dokumentista halutaan olevan kaksi hieman toisistaan poikkeavaa, mutta vaihtoehtoista versiota.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin tietokoneavusteisen suunnitteluohjelmisto SolidWorksin liitettävyyttä osaksi Vertex Systemsin Flow PDM/PLM-järjestelmää. Selvityksessä perehdyttiin hajautetussa suunnitteluympäristössä keskuspalvelimena toimivan PDM/PLM-järjestelmän toimintoihin ja etenkin siihen, miten Flow'n SolidWorksiin liittävä lisäosa tulisi toteuttaa ja millaisia toimintoja siltä vaaditaan.

Selvityksessä esille tulleiden ohjelmisto- ja toiminnallisuusvaatimusten sekä prototypoinnin perusteella integraation todetaan olevan mahdollista toteuttaa. Toistaiseksi sekä SolidWorksin rajapintaa käyttävän lisäosan että Flow'n avoimen rajapinnan ollessa kehityksen alla, ei kaikkia Flow'n tarjoamia palveluita kyetä vielä lisäosan avulla käyttämään. Tässä vaiheessa toiminnot dokumenttien luontiin ja vientiin Flow-palvelimelle, sekä niiden tuontiin ja revisiointiin ovat toteutettuina ja todettu toimiviksi. Kuitenkin sekä SolidWorksin että liitoksen toisen osapuolen Flow'n rajapintojen tarjoamat palvelut tulevat jatkossa mahdollistamaan integraation toteutuksen viemisen samalle tasolle, kuin mitä se Vertex Systemsin omien CAD-tuotteiden ja Flow'n välillä on.

Integraatioon liittyvien kolmen ohjelmiston yhteensopivuuden ylläpitäminen todettiin selvityksessä huomiota vaativaksi seikaksi. Kuitenkin erityisesti SolidWorksin Partner Product Program -kumppanuusohjelmaan hakeutuminen todettiin integraation ylläpidettävyyden kannalta hyväksi vaihtoehdoksi. Kumppanuusohjelman tuomat välineet kehityksen ja ylläpidettävyyden avuksi edistäisivät integraation suunnittelun etenemistä ja sen jatkokehitystä ja ylläpitoa. Yrityskumppanuus SolidWorksin kanssa edistäisi myös PDM/PLM-integraation markkinointia ja myyntiä. Tähän mennessä integraation kehitys on kuitenkin tehty itsenäisesti ilman kumppanuusohjelman tarjoamia etuja, joten hakeutuminen ohjelmaan ei tuotteen kehityksen kannalta kuitenkaan ole välttämätöntä, joskin suositeltavaa.

Mahdolliseksi osoitettuun SolidWorks-Flow-integraatioon tullaan Vertex Systemsillä keskittymään jatkossakin. Integraation lisäksi yleinen kehitys eri CAD-ohjelmistoja käyttävien hajautettujen suunnitteluympäristöjen liitettävyyteen osaksi Flow PDM/PLM-järjestelmää Vertex Systemsillä jatkuu.

LÄHTEET

Badin, J., Monticolo, D., Chamoret, D. & Gomes, S. (2011). Using the knowledge configuration model to manage knowledge in configuration for upstream phases of the design process. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 5(3), pp. 171–185.

Camba, J.D., Contero, M., Company, P. & Pérez, D. (2017). On the integration of model-based feature information in Product Lifecycle Management systems. *International Journal of Information Management*. 37(6), pp. 611–621.

Kim, H., Kim, H., Lee, J., Jung, J., Lee, J.Y. & Do, N. (2006). A framework for sharing product information across enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 27(5), pp. 610–618.

Kropsu-Vehkaperä, H., Haapasalo, H., Härkönen, J. & Silvola, R. (2009). Product data management practices in high-tech companies. *Industrial Management & Data Systems*. 109(6), pp. 758–774.

Leong, K.K., Yu, K.M. & Lee, W.B. (2003). A security model for distributed product data management system. *Computers in Industry*. 50(2), pp. 179–193.

Ling, W., Yan, J. & Wang, J. (2005). Analysis of oriented-PLM PDM technologies and tools. *Jisuanji Gongcheng/Computer Engineering*. 31(24), pp. 1–77.

Mleczko, J. (2015). Integration of CAD/PDM and ERP Systems in Practice. *Applied Mechanics and Materials*. 791, pp. 26–33.

Roberts, S., Leaney, P. & Obank, A. (1995). Data management within a manufacturing organization. *Integrated Mfg Systems*. 6(3), pp. 37–43.

Shih, H.M. (2014). Migrating product structure bill of materials Excel files to STEP PDM implementation. *International Journal of Information Management*. 34(4), pp. 489–516.

SolidWorks. (2019a). Partner Programs. Saatavissa (viitattu 25.2.2019): https://www.solidworks.com/sw/partner_programs.htm

SolidWorks. (2019b). SolidWorks API Help. Saatavissa (viitattu 26.1.2019): http://help.solidworks.com/2013/english/api/SWHelp_List.html?id=9711693714d5401aa129d6e308bebb7c#Pg0

SolidWorks. (2019c). SolidWorks API Help Welcome. Saatavissa (viitattu 27.1.2019): <http://help.solidworks.com/2019/English/api/sldworksapiproguide/Welcome.htm>

SolidWorks. (2019d) SolidWorks API Standalone and Add-in Applications Overview. Saatavissa (viitattu 1.2.2019): http://help.solidworks.com/2013/english/api/sldworksapiproguide/GettingStarted/SolidWorks_API_Standalone_and_Add-in_Applications_Overview.htm

SolidWorks. (2019e). SolidWorks Partners. Saatavissa (viitattu 26.1.2019): <https://www.solidworks.com/engineering-software-partners-products>

SolidWorks. (2019f) Types of SolidWorks API Applications Overview. Saatavissa (viitattu 2.3.2019): http://help.solidworks.com/2013/english/api/sldworksapiproguide/GettingStarted/Types_of_SolidWorks_API_Applications_Oveview.htm?id=3ace23e0e15f45ab92329706671c7899#Pg0

Song, I., Yang, J. & Park, B. (2008). Development of an authoring framework for the simplified customization of PDM systems. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 22(11), pp. 2180–2189.

Vertex Systems Oy. (2019a). Asennukset ja päivitykset. Saatavissa (viitattu 1.3.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/asennukset-ja-paeivitykset>

Vertex Systems Oy. (2019b). Dokumenttien lisäys ja muokkaus. Saatavissa (viitattu 23.2.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/flow-kaeyttoehjeet/dokumenttien-lisaeys-ja-muokkaus>

Vertex Systems Oy. (2019c). Liitynnät muihin järjestelmiin. Saatavissa (viitattu 12.1.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/kaeyttoeoenotto-omassa-yrityksessae/liitynnaet-muihin-jaerjestelmiin>

Vertex Systems Oy. (2019d). Objektin ominaisuustieto. Saatavissa (viitattu 26.1.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2017fi/flow-kaeyttoehjeet/objektien-kaeyttoa/objektin-ominaisuustieto>

Vertex Systems Oy. (2019e). Revisiointi. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2017fi/flow-kaeyttoehjeet/revisiointi>

Vertex Systems Oy. (2019f). Tiedostomuunnokset. Saatavissa (viitattu 14.1.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/kaeyttoeoenotto-omassa-yrityksessa/Tiedostomuunnokset>

Vertex Systems Oy. (2019g). Tuoterakenteet. Saatavissa (viitattu 21.3.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/flow-kaeyttoehjeet/tuoterakenteet>

Vertex Systems Oy. (2019h). Työkierrot. Saatavissa (viitattu 19.1.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/kaeyttoeoenotto-omassa-yrityksessa/tiedon-hallinta/tyoekierrot#Ty%C3%B6kierrot-Siirtym%C3%A4tilastatoiseen>

Vertex Systems Oy. (2019i). Vertex Flow yleiskatsaus. Saatavissa (viitattu 6.3.2019): <https://kb.vertex.fi/flow2019fi/vertex-flow-yleiskatsaus>

Vertex Systems Oy. (2019j). Yrityksen Vertex Systems Oy julkaisematon dokumentti.

Waldenmeyer, K. & Hartman, N. (2013). Small & Medium Enterprises-Their Views of Product Data Management Tools. *Journal of Technology Studies*. 39(1), pp. 2–12.