

# **Ilma-aluksien sähkö- ja verkostosuunnittelun kehitys**

Toni Sirén

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2020  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

Tekijä Sirén, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 53	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Ilma-aluksien sähkö- ja verkostosuunnittelun kehitys</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn ohjaajat Veli-Matti Häkkinen & Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja Patria Aviation Oy Airborne Systems yksikkö		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena oli Patria Aviation Oy Airborne Systemsin sähkö- ja verkostosuunnittelun kehitys. Ilma-aluksien sähkö- ja verkostosuunnittelu vaati paljon käsin tehtävää työtä sekä tarkastelua laatuvaatimusten takia. Tämä työ ei ole ollut tarpeeksi tehokasta eikä työn laatuun oltu tyytyväisiä. Työskentelytapoja täytyi kehittää sekä käytetyn ajan että laadun suhteen.</p> <p>Koko sähkö- ja verkostosuunnitteluprosessi analysointiin sekä kaikkien työvaiheiden ja ohjelmistojen välinen integrointi mietittiin uusiksi. Laatuvaatimusten sekä sovellettävien standardien poiketessa perinteisestä sähkösuunnittelusta, jouduttiin eri toimintoja painottamaan, jolloin analysoinnin tuloksena keskityttiin seuraaviin osa-alueisiin. Järjestelmä- ja piirikaaviosuunnittelun prosessien yhdistäminen, valmiiden mallien käyttö piirikaavion luonnin aikana, piirikaavion piirtämisen automatisointi ja harmonisointi, asianmukaisen ohjeistuksen tarpeellisuus prosessin tukena, kokonaisprosessin hallinta saman tuoteperheen ohjelmistolla, dokumenttien ja raporttien käytettävyys sekä järjestelmien ja ohjelmistojen integrointi.</p> <p>Työvaiheiden analysointiin käytettiin arvovirtakuvausta lean menetelmien mukaan, jolloin työvaiheiden hukka saatiin hyvin esille ja tätä kautta jokaista työvaihetta voitiin arvioida kokonaisuutena. Tämän jälkeen kokonaisuuteen mietittiin toimintatavat sekä siihen sopivat ohjelmistot. Ohjelmistovertailujen tuloksena valittiin parhaiten tähän tehtävään soveltuvat valmistajat, joita olivat Zuken E3, Eplan sekä Solidworks Electrical. Patrian tietopyyntö lähetettiin kaikille kolmelle ohjelmistovalmistajalle. Vertailussa painotettiin Patrian vaatimusten mukaisia ominaisuuksia sekä mahdollisia kehityskohteita. Vertailun tulokset analysoitiin ja niiden pohjalta luotiin vertailutaulukko hankintaprosessia varten.</p>		
Avainsanat (asiasanat) suunnittelu, suunnitteluprosessit, lean, hukka, arvovirtakuvaus, ilma-alus, johdinsarja		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author Sirén, Toni	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 53	Permission for web publication: x
	Title of publication <b>Aircraft electrical- and harness design development</b>	
Degree programme Electrical- and automation Engineering		
Supervisors Häkkinen Veli- Matti, Hytönen Vesa		
Assigned by Patria Aviation Oy Airborne Systems Unit		
Abstract  <p>Topic of this thesis was Patria Aviation Oy Airborne Systems electrical- and harness design process development. Most of the aircraft electrical and harness design tasks are hand-made work and checking due to strict requirements. The used design methods neither the quality of the documentation were not in satisfied level. Quality and the amount of work used for these tasks needed to review and analyzed properly.</p> <p>Whole harness design process were analyzed completely. Integration of all processes and software's were analyzed and rethought again. Due to strict quality requirement and standards, there is a difference from traditional electrical engineering. This was the main reason, why software evaluation focused to integration and standardization of design tasks. The focus were in the following areas. Integration of system- and schematic design processes, usage of standardized design and macros within schematic design process, appropriate documentation and instructions during design process, control the whole design process with the same tool, proper documents and reports for engineering purposes and integration of systems and software's.</p> <p>Lean tool value stream mapping was used for analyzing the design process phase by phase. With this method process waste was examined and analyzed properly. Next phase was evaluation of methods and software's for these purposes. All above mentioned tasks were covered with evaluated software's, which were Zuken E3, Eplan and Solidworks Electrical. All these software's had required features. Patria request for information letter were sent to all the above-mentioned manufacturers. During evaluation all requirements were evaluated for Patria purposes. After analyzing process were created comparison table, which was tool for supporting business process.</p>		
Keywords/tags (subjects) planning, design process, lean, waste, value stream mapping, aircraft, electrical harness		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön taustat, tarve sekä tavoitteet.....	5
1.2	Aiemmat tutkimukset ja opinnäytetyöt.....	6
1.3	Ilma-alusten johtosarjat ja sähköverkostot.....	7
1.4	Katsaus nykytilanteeseen.....	7
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>8</b>
2.1	Tutkimuksen tavoitekuvaus.....	8
2.2	Tutkimuskysymykset .....	9
2.3	Tutkimusote.....	10
2.4	Aineistonkeruumenetelmät .....	11
2.5	Analyysimenetelmät.....	13
<b>3</b>	<b>Tietoperusta työssä .....</b>	<b>14</b>
3.1	Tehokkuuspotentiaali suunnittelussa .....	15
3.2	Suunnitteluajattelu.....	15
<b>4</b>	<b>Työn toteutus .....</b>	<b>16</b>
4.1	Suunnitteluun tutustuminen .....	16
4.2	Kohdennetut teemahaastattelut.....	16
4.3	Suunnittelutyön arviointi.....	17
4.4	Ohjelmistojen evaluointi .....	19
4.5	Määrittelyprosessi.....	26
4.6	Tietopyyntö .....	27
4.7	Ohjelmistotoimintojen vertailu .....	29
<b>5</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>30</b>
5.1	Suunnitteluprosessin hukka .....	30
5.2	Patrian käyttöön sopivat ohjelmistot ja menetelmät .....	34
5.3	Järjestelmien integrointi.....	34
5.4	Kehittämistoimenpiteet .....	34

<b>6</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>36</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>39</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>41</b>
	Liite 1. Patrian tietopyyntö ohjelmistovalmistajille .....	41
	Liite 2. Ohjelmistojen ominaisuuksien vertailutaulukot .....	46

**Kuviot**

Kuvio 1. Opinnäytetyön tietoperustan kokoamiseen käytetty Mind map kaavio .....	12
Kuvio 2. Engineering workflow model. ....	17
Kuvio 3. Eplan -ohjelmistokonsepti.....	22
Kuvio 4. Zuken E3 E-CAE ohjelmistokonsepti.....	23
Kuvio 5. Solidworks sähkösuunnittelu prosessi .....	25

## Lyhenteet

API	Application program interface - ohjelmointirajapinta
BOM	Bill of Materials - osaluettelo
CAD	Computer-aided design - tietokoneavusteinen suunnittelu
CAE	Computer aided engineering - tietokoneavusteinen insinööri työ
CAM	Computer-aided manufacturing - tietokoneavusteinen valmistus
CSV	Comma separated values – tiedostomuoto (pilkuilla erotetut arvot)
DB	Database - tietokanta
ECAD	Electrical computer-aided design(software) - sähkösuunnittelu ohjelmisto
ECAE	Electrical computer-aided engineering - tietokoneavusteinen sähkösuunnittelu
ECAM	Electrical computer-aided manufacturing - tietokoneavusteinen valmistus
ERP	Enterprise resource planner - toiminnanohjausjärjestelmä
ISO	International Organization for Standardization Standards – ISO Standardi
IEC	International Electrotechnical Commission Standards - IEC-Standardi
MCAD	Mechanical computer-aided design(software) – mekaaninen suunnittelu ohjelmisto
MIL- STD	Military standard - Sotilasilmailu Standardi
PCB	Printed circuit board - piirilevy
PDM	Product data management - tuotetiedon hallinta
PLM	Product lifecycle management - tuotteen elinkaaren hallinta
ROI	Return on investment - investoinnin tuotto prosentti
XML	Extensive markup language - XML-merkintäkieli

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön taustat, tarve sekä tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Patria Aviation Oy Airborne Systems yksikön suunnittelu- ja ohjelmistotoimintojen käytettävyyttä arvioimalla suunnittelu-prosessia sekä ohjelmistotoimintoja. Kehittämistoimenpiteet rajattiin ohjelmistovalintoihin.

Patria Aviation Oy on osa Patria-konsernia. Aviation on oma liiketoimintayksikkönsä, johon Systems liiketoiminta kuuluu. Airborne Systems kuuluu Systems liiketoimintayksikköön. Airborne Systems on integrointi- ja ohjelmisto-osaamiseen erikoistunut yksikkö, jonka ydinosamista ovat lentokoneiden ja helikopterien elinkaaren tukipalvelut. Näiden palveluiden piiriin kuuluvat kaikki ilmavoimien kalusto sekä niiden huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät testilaitteet. Asiakkaana on myös paljon eri siviili-ilmailun toimijoita ympäri Eurooppaa. (Patria.fi 2019)

Opinnäytetyön kohdennetut tavoitteet:

1. Suunnitteluprosessin hukkien määrittely ja poistaminen Lean työkalujen avulla.
2. Ilma-aluksen sekä ilma-alusten testilaitteiden suunnitteluun sopivat työmenetelmät sekä työvälineet.
3. Suunnitteluohjelmistojen sekä taustajärjestelmien integroinnin määrittely.
4. Kehittämistoimenpiteiden määrittely sisältäen kehittämismahdollisuudet sekä ohjeistus ja koulutus.



## 1.2 Aiemmat tutkimukset ja opinnäytetyöt

Sähkösuunnitteluohjelmistojen vertailuista löytyi muutamia opinnäytetöitä, joissa vertailtiin yrityksen käytössä olevia ohjelmistoja sekä niiden integrointimahdollisuuksia. Omassa työssäni vertailukohtana käytettiin Vertex ED sähkösuunnitteluohjelmistoa, joka on ollut käytössä useita vuosia Airborne Systemsillä.

Eetu Halosen opinnäytetyössä Suunnitteluprosessin kehittäminen tietokantapohjaisista suunnittelu ohjelmistoa hyödyntäen (2017) sisälsi samanlaista pohdintaa tietokantapohjaisen suunnittelun mahdollisuuksista sekä keskittyi suunnitteluprosessien kehittämiseen. Yhdistävinä tekijöinä omaan työhöni olivat tietokantapohjainen suunnittelu sekä suunnittelussa käytettyjen makrojen hyödyntäminen.

Tuomo Holopaisen opinnäytetyössä Sähkösuunnitteluohjelmiston integrointi PLM-järjestelmään (2011) kartoitettiin PLM järjestelmän ja suunnitteluohjelmistojen integroinnin hyötyjä, mutta ilman ohjelmistomäärittelyksiä. Omassa työssäni ohjelmistomäärittelykset ja niiden väliset integrointimahdollisuudet määriteltiin vasta myöhemmin, kun tiedettiin ohjelmiston sopivuus Patrian käyttöön.

Ilmailualalle soveltuvia suomenkielisiä opinnäytetöitä ei ilma-alusten suunnittelutyöstä löytynyt. Zhu Zaoxun tekemä englanninkielinen opinnäytetyö Automatic 3D routing for the Physical design käsitteli havainnollisesti nykyaikaisen ilma-aluksen suunnittelua sekä suunnittelumetodeja. Monen muun opinnäytetyön tavoin siinä painotettiin verkostosuunnittelun osalta 3D-mallinnuksen käyttöä. 3D-mallinnuksen hyödyt tuotiin hyvin esille varsinkin verkostosuunnittelun osalta. Suunnittelutyön periaatteet ja eteneminen olivat yhteneviä sähkösuunnittelun kanssa.

Olen itse perehtynyt ilma-alusten verkostojen rakenteisiin, asennusolosuhteisiin ja asennuksiin siviili-ilmailun sekä sotilasilmailun huoltotehtävissä yhteensä yli 15 vuoden ajan. Osa päätelmistä ja havainnoista pohjautui työkokemukseeni sekä lentokone-elektroniikka-asentajana hankittuun perus- ja tyyppikoulutukseen.

### 1.3 Ilma-alusten johtosarjat ja sähköverkot

Ilma-alusten johtosarjoihin kohdistuu paljon vaatimuksia materiaalien, olosuhteiden sekä ympäristön vaatimusten takia. Johtosarjat ovat jatkuvasti alttiina tärinälle sekä lämpötilojen vaihteluille. Nykyaikaisten ilma-alusten tekniikka on pitkälle digitalisoitunutta, mikä aiheuttaa häiriönsuojaukselle sekä -suodatukselle erityisvaatimuksia. Myös ohjaus- ja sähkösyöttöverkostojen minimietäisyydet pitää ottaa huomioon suunnittelussa sekä asennuksen aikana. (Zhu 2016, 1 - 2.)

Ilma-aluksen suunnittelussa kaikki käytettävissä oleva tila on käytetty hyödyksi. Järjestelmien määrä sekä niiden väliset minimietäisyysvaatimukset asettavat erityisiä haasteita verkostojen suunnittelulle. Polttoaine-, hydraulikka-, happi- ja pneumatiikkajärjestelmät risteilevät ilma-aluksen rakenteissa johtosarjojen lisäksi. Näiden järjestelmien ja johtosarjojen hankautumia pyritään välttämään kaikin keinoin. Ilma-aluksen tyyppistä, valmistajasta tai käyttötarkoituksesta riippuen käytössä on useita eri standardeja, jotka määrittelevät esimerkiksi käytettävän johdintyyppin tai -materiaalin sekä liitintyyppin ja -materiaalin. Ilma-alusten testilaitteille ei ole vastaavia vaatimuksia, kuin ilma-aluksen laitteille, mutta työmenetelmät ovat yhteneviä. Näin prosessit ja ohjeet ovat paremmin hallittavissa. Ilma-alusten sähkö- ja verkostomuutostyöt, joiden vaatimukseen viitataan Sotilasilmailun viranomaisyksikön SVY:n vaatimuksissa (SIM-HTV), ovat osa tukipalveluita. (Puttonen, 2011, 24-25)

### 1.4 Katsaus nykytilanteeseen

Opinnäytetyön lähtötiedot perustuivat Airborne Systemsin käytössä olevaan suunnitteluohjelmistoon sekä sähkö- ja verkostosuunnittelun prosessiin. Yleinen mielipide oli, että suunnitteluohjelmiston ominaisuuksissa sekä sillä tuotetussa dokumentaatioissa olisi kehitettävää. Prosessiin tutustuminen suoritettiin perehtymällä yleisellä tasolla prosessikaavioihin, joihin oli kuvattu suunnittelun eteneminen. Organisaatiosta ja eri henkilöiden toimenkuvista kerättiin taustatietoa sekä tutustuttiin käytössä oleviin suunnitteluohjelmistoihin ja niiden ohjeistukseen.

Tämän tutustumisen perusteella muodostettiin alustava Mind map -kaavio (ks. kuvio 1), jonka avulla pystyttiin myöhemmin hahmottamaan suhteellisen laajaa kokonaisuutta sekä pilkkomaan se pienempiin kokonaisuuksiin. Alkutietojen perusteella tähän sijoitettiin tärkeimpiä osa-alueita sekä niiden liitoksia. Tämän avulla tietoperustan kokoamiselle oli helpompi määrittellä hakusanoja sekä määritteitä.

## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Tutkimuksen tavoitekuvaus

Tämän tutkimuksen aikana tutkittiin, vertailtiin ja analysoitiin suunnittelun prosesseja sekä ohjelmistojen keskinäisiä toiminnallisuuksia. Uusien menetelmien ja toimintojen ennakkoluuloton tutkiminen auttoivat organisaation ja toimintojen kehittämisessä. Analyttinen ja looginen toimintatapa mainitaan Marttisen (2010) mukaan yhdeksi insinöörien vahvuudeksi työelämässä. Myös ajatuksen tasolla Marttinen toteaa, että passiivinen ajatteluvirhe suunnitteluorganisaatiossa on se, että tunnistettuihin riskitekijöihin ei reagoita lainkaan ja ne aiheuttavat sen vuoksi suunnitteluvirheitä. Tämän takia tässä työssä toimintojen ja työtapojen kyseenalaistaminen sekä avoin suhtautuminen päätteilyjen tekemisessä olivatkin keskeisessä osassa toimintojen kehittämisessä.

Ohjelmistotoimintojen huolellinen automatisointi, konfigurointi sekä standardisointi esimerkiksi valmiiden mallien käytön osalta voivat tehostaa suunnittelutyötä huomattavasti, todetaan Gartzén, Schloesser, Mendl & Heinisch (2019) tutkielmassa. Ohjelmistotoimintojen automatisointia varten useasta ohjelmistosta löytyvät valmiit toimintatavat. Nykyaikainen suunnitteluohjelmisto mahdollistaa käyttäjän määrittelemien toimintojen lisäyksen mm. scriptien avulla. Automatisointiasteen mitoitus täytyy miettiä tarkkaan käyttökohteen ja tarpeen mukaan.

Suunnittelun sekä ohjelmistotoimintojen evaluointi liittyy olennaisena osana tähän työhön. Työvälineiden käytettävyys ja yhteensopivuus eri taustajärjestelmien (PDM/ERP) kanssa olisi hyvä varmistaa, jotta suunnittelutieto saadaan tehokkaasti käyttöön sekä arkistoitua asianmukaisesti. Työvälineiden kehittyessä pitää varmistaa, että suunnittelutyöhön sopivat menetelmät sekä työvälineet täyttävät paikalliset laatu-standardit. (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, 54-55.)

Sähkö- ja verkostosuunnittelun prosesseja, työmenetelmiä sekä työvälineitä standardisoimalla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä pitkällä tähtäimellä, sekä parantaa suunnittelun laatua. Eri osa-alueiden standardisointi on tehokas tapa parantaa suunnittelun tuottavuutta, tehokkuutta ja käytettävyyttä läpi koko suunnitteluprosessin. (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, 47.)

## 2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen aikana tärkeimmiksi kysymyksiksi muodostuivat seuraavat:

1. Ovatko nykyiset ohjelmistovalinnat optimaalisia sekä ajan tasalla?
  - 1.1 Toimivatko ohjelmistot tehokkaasti keskenään?
  - 1.2 Täyttävätkö sähkö- sekä verkostosuunnittelu tämän päivän laatu- ja tehokkuusvaatimukset?
2. Miten työmenetelmiä tehostetaan ja tuottavuutta parannetaan koko prosessin osalta?
  - 2.1 Miten ja kuinka paljon työmenetelmiä voidaan standardisoida ja automatisoida?

Tehokkuus ja tuottavuus paranevat, kun tehdään oikeita asioita oikean aikaan mahdollisimman tehokkailla työkaluilla. Työmenetelmien sekä ohjeistuksen pitää olla laadultaan niin hyviä, että ne tukevat suunnittelijaa koko suunnitteluprosessin ajan. Kuten Marttinen (2010) toteaa, suunnittelijan ammattitaitoon vaikuttaa paljon se, kuinka heidät koulutetaan tai perehdytetään. Tämä vaikuttaa oleellisesti työskenteilyn virheettömyyteen.

Tiukat laatuvaatimukset aiheuttavat sen, että suunnittelutyötä tarkastellaan ja katselmoidaan koko prosessin aikana. Tätä työtä tehdään paljon käsin, joten tämä vie paljon aikaa ja varaa resursseja. Tehokkuusvaatimusten kasvaessa suunnittelutyöhön käytettyä aikaa täytyy arvioida kriittisesti. Tehokkuusvaatimuksia on asetettu Patrialla mm. Boost- sekä digitalisaatio strategiakerroksen aikana.

Eri valmistajien suunnitteluohjelmistot eivät usein toimi keskenään kovinkaan hyvin. Jos projektin aikana joudutaan käyttämään useita eri ohjelmia, se aiheuttaa päällekkäistä työtä sekä vaatii työvaiheiden tarkastamista. Nykyaikaiset CAD/ECAE -ohjelmistot sisältävät paljon eri lisäosia, joiden avulla monet suunnittelutehtävät voidaan integroida. Suunnittelutietojen jakaminen ja päivittäminen käyvät helpommin ja tehokkaammin.

Tietokantapohjaisten ohjelmistojen etuna ovat niiden monipuolinen käyttömahdollisuus. Esimerkiksi komponenteista voidaan monistaa eri variaatioita, kuten kokonaisia piirikaaviovariantteja, sekä parametrisoitavia kokonaisuuksia. API-sriptien avulla voidaan toimintoja helposti muokata ja rakentaa omia ominaisuuksia, jotka helpottavat esimerkiksi dokumentaation muodostamista.

## 2.3 Tutkimusote

Työ määriteltiin tyyppiltään kehittämistutkimukseksi. Tutkimustehtävä muodostui käytännön läheisen tiedon analysoinnista sekä keskittyi kyseenalaistamaan nykyisiä käytäntöjä tutkimuksien, kirjallisuuden sekä artikkelien perusteella. Tutkimustietoa ja kirjallisuutta käytettiin perusteluissa, joissa tapoja sekä käytänteitä kyseenalaistettiin. Muulla kirjallisuudella pyrittiin osoittamaan hyväksi havaittuja käytänteitä sekä suunnittelussa että ohjelmistovalinnoissa.

Tutkimusongelmaan tutustuttiin teema- sekä tutkimushaastattelujen avulla. Näiden aikana pohdittiin yhdessä ongelmien piirteitä ja niihin mahdollisia ratkaisuja. Työssä käytettäväksi tutkimusotteeksi valikoitui kokeellinen tutkimus. Kokeellinen tutkimus määritellään yhdeksi laadullisen tutkimuksen alalajiksi (Hirsjärvi & Hurme, 2008). Aihe oli mielenkiintoinen, koska työn lopputuloksella voin vaikuttaa omaan työtehtävääni, koulutukseeni ja kehittymiseeni. Aihealueena suunnitteluprosessit ja niiden kehittäminen olivat haastavia niiden moniulotteisuuden takia. Kuten Lahti & Tuominen (2010, 26-27) toteavat, prosessien hallinta ja henkilöstön sitoutuminen organisaation tavoitteisiin antavat hyvät eväät toiminnan kehittämiseen. Tämänkin työnäikana Airborne Systemsin henkilöstön sitoutuminen ja avuliaisuus olivat avainasemassa työn onnistumisen kannalta.

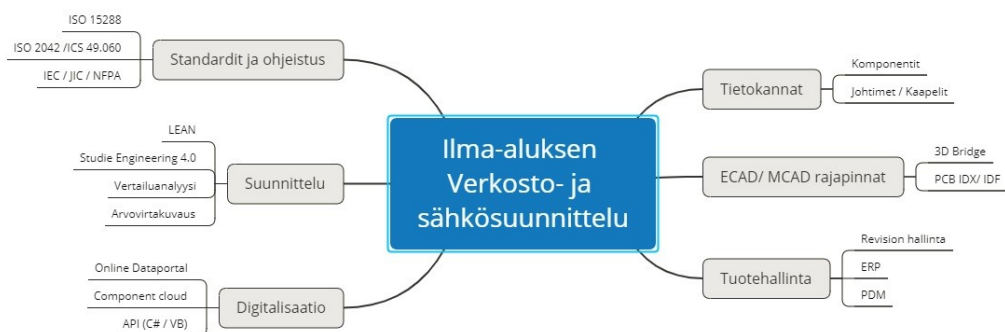
## 2.4 Aineistonkeruumenetelmät

Aineistoa tutkimusta varten lähdettiin keräämään haastattelujen avulla. Haastattelujen aihealueet luotiin tutkimalla suunnittelun prosessikaavioita sekä tutustumalla varsinaiseen suunnittelutyöhön. Haastattelujen tavoitteena oli selvittää organisaation haasteet, tavoitteet sekä vaatimukset eri työtehtävien kannalta. Haastatteluihin osallistui suunnittelijoita sekä laadunvarmistuksen henkilöitä. Haastattelukysymykset perustuivat muodostetun teeman ympärille väljästi, koska tutkittavaa kohdetta ei vielä tunnettu riittävän hyvin, kuten Hirsjärvi ja Hurme (2008) opastavat.

Ongelmien selvittäminen ja niiden analysointi aloitettiin tutkimalla ensimmäisten haastattelujen materiaalia. Samalla tutkittiin materiaalia, jota tutustumisjakson aikana oli kerätty. Haastattelukierroksia järjestettiin useita ja näiden aikana haastattelukysymyksien tasoa nostettiin sekä keskityttiin aiheisiin, joiden tiedettiin aiheuttavan ongelmia. Seuraavat haastattelut pidettiin avoimena kysymyksien osalta, mutta haastattelujen teema oli edelleen sama. Hirsjärvi & Hurme (2008) mukaan tämä on hyvä tapa, koska kysymyksiä on paljon helpompi kohdentaa haastattelujen aikana.

Sisäisenä pilottina aloitettiin vertailuanalyysi toisen liiketoimintayksikön sähkö- ja verkostosuunnittelusta. Kohteena käytettiin Patria Land liiketoimintaa, jonka toimialana ovat panssaroitujen ajoneuvojen valmistus- ja muutostyöt. Vaatimukset ja prosessit ajoneuvovalmistuksessa sekä lentävässä kalustossa ovat luonteeltaan samantyyppisiä. Pilottiprojekti rajattiin ohjelmistotoimintoihin, koska varsinaiseen suunnitteluprosessin vertailuun ei annetulla aikataululla ollut mahdollisuutta. Vierailun tuloksena saatiin hyviä ideoita ja kokemusta sekä arvokkaita kontakteja.

Ohjelmistojen ominaisuuksien tutkimiseen käytettiin ensisijaisesti valmistajien dokumentaatiota sekä esittelymateriaaleja. Valmistajilta saatujen tietojen ja kommenttien avulla tutustuttiin Patrialle sopiviin ohjelmistomoduuleihin sekä lisäosiin. Tämän perusteella käynnistettiin sisäinen hankintaprosessi, jonka tuloksena laadittiin tietopyyntö ohjelmiston toiminnoista (ks. liite 1.). Tietopyynnön avulla esitettiin mitä toimintoja pidetään tärkeinä. Lisäksi tietopyyntöön kuvattiin mitä ohjelmistoilla haluttiin saavuttaa. Kaikille valituille valmistajille lähetettiin sama tietopyyntö, joiden vastausten perusteella vertailtiin kustannuksia ja kokonaisuutta.



Kuvio 1. Opinnäytetyön tietoperustan kokoamiseen käytetty Mind map kaavio

## 2.5 Analyysimenetelmät

Analyysimenetelmien valinnassa keskityttiin verkostosuunnittelun kokonaisvaltaiseen kehittämiseen. Eri menetelmissä on omat ominaispiirteensä. Näistä piirteistä painotettiin nykyaikaiseen suunnittelutyöhön sopivia osa-alueita.

### **Lean- ajattelu**

Lean-filosofian voisi kääntää muotoon: tarkoituksena ei ole tehdä vain enemmän töitä, vaan enemmän töitä vähemmällä vaivalla (Salminen & Uitti 1997, 165). Tätä periaatetta pyrittiin käyttämään sekä suunnittelutyön että ohjelmistolla tehtävän työn määrän kartoittamisessa.

Yrityksen oppimis- ja innovointistrategiaan otettiin mallia startup-yrityksistä. Ne eroavat perinteisistä yrityksistä monin tavoin. Niiden prosessit ja koko toiminta perustuvat innovointiin, oppimiseen ja kokeilukulttuuriin. Vastavia prosesseja perinteisessä yrityksessä ei pystytä samalla intensiteetillä toteuttamaan. Tämä ei kuitenkaan estä innovoinnin ja oppimisen kehittämistä yrityksen sisällä. Parhaita tuloksia voidaan saavuttaa, kun henkilöstöllä on mahdollisuus vaikuttaa omiin työtehtäviinsä. (Ries, Rautanen & Markula, 2016)

Ohjelmistotuotannossa lean menetelmiä voidaan hyödyntää samoilla periaatteilla kuin tuotantoprosesseissa, sillä ohjelmiston aiheuttama hukka on samaan tapaan tuottamatonta työtä, joka ei hyödytä prosessia. Ohjelmistoprosesseista voidaan poistaa ylimääräiset vaiheet ja automatisoida tarpeen mukaan. Tämä tehostaa prosessin läpimenoa. (Nanduri, 2014, 5.)

### **Arvovirtakuvaus**

Arvovirtakuvaus on yksi lean-työkalu, jonka avulla tutkimus- ja kehitystyön kohteet voidaan tunnistaa ja jakaa tutkittaviin aihealueisiin. Jokaiselta aihealueelta pyritään tunnistamaan lisäarvoa tuottamaton työ sekä poistamaan hukka näiltä aihealueilta. (Peek 2012, 55-56.)



Arvovirtakuvauksen avulla analysoitiin suunnittelu- sekä ohjelmistotoimintoja. Analyysin avulla voitiin jopa pieniä yksityiskohtia analysoida sekä kehittää tarkasti. Analyysien tuloksien perusteella muodostettiin määrittelyprosessiin vaatimuksia sekä tavoitteita.

Seuraavassa on esimerkki arvovirtakuvauksen analyysistä. Työvaiheessa X tunnustetaan hukka: Suunnittelija laatii projektin eri laitteiden väliset toiminnot ja signaalit, sekä muodostaa Microsoft Visiolla periaatekaavion, josta selviää liittimien kontaktit, liitinnumerot, johtokoot sekä signaalitiedot. Piirtäjä saa tehtäväkseen luoda piirikaaviot, joihin piirtäjä piirtää alusta asti kaikki laitteet, laitenumerot, liittimet, liitinnumerot, johtimet, johdinnumerot sekä johtimien suojaukset ja maadoitukset.

Seuraavaksi poistetaan hukka: Suunnittelijan tekemä määrittelytyö on saatava talteen, jotta sitä ei tarvitse tehdä kahteen kertaan. Tämä virhealtis sekä turha vaihe pitää saada pois. Eli hyödynnetään esisuunnittelun aikaista tietoa. Käytettäessä saman tuoteperheen ohjelmistoja, saadaan kaikki aikaisemmin tehdyt määrittelyt käytettyä tehokkaasti. Piirikaavion piirtämisen lähteeksi voidaan valita järjestelmäsuunnittelun aikainen tiedosto, josta voidaan kaikki määrittelyt ottaa käyttöön ja kaavio syntyy käytännössä napin painalluksella. Muutokset suunnittelu prosessin aikana päivittyvät automaattisesti molempiin suuntiin riippumatta siitä, missä ja kuka muutoksen teki. Käytettävänä ohjelmistoina Eplan Preplannig tai Zuken E3 Cable ja Functional Design.

### **3 Tietoperusta työssä**

Työn teoriaosuus keskittyy tehokkuuspotentiaali käsitteeseen sekä suunnitteluajattelukonseptiin. Tehokkuuspotentiaali käsitteellä pyritään esittämään kehitystoimien tarpeellisuuden sekä suunnitteluajattelukonseptilla yritetään ymmärtää ongelmia ja niiden ratkaisumenetelmiä.

### 3.1 Tehokkuuspotentiaali suunnittelussa

Suunnittelun resurssien sekä suunnitteluprosessin tehokkuuden kehityksen tutkimiseen käytetään European 4.0 transformation centerin tekemään tutkielmaan Engineering 4.0. Tutkielma käsittelee CAE ohjelmistojen tehokkuus potentiaalin selvittämistä koneiden ja tehtaiden sähkösuunnittelussa. Tutkimus suoritettiin saksalaisista referenssi yrityksistä kahdeksan kuukauden aikana yhdessä Saksalaisen EPLAN ohjelmistovalmistajan kanssa. Aachenin yliopiston tutkijat kehittivät suunnittelumallin, jolla tutkimus suoritettiin. Viisi-portaisella tehokkuusmatriisilla mallinnettiin suunnittelun työjärjestystä. Tämän matriisin avulla arvioitiin referenssiyrityksien ohjaustekniikan suunnittelua, laitteistoiden rakentamista sekä suunnittelua. (Gartzen, T., Schloesser S., Mendl-Heinisch, M 2019, 5.)

### 3.2 Suunnitteluajattelu

Suunnitteluajattelu sisältää käsitteenä päättelyä, arviointia sekä luovuutta ja nämä voidaan yhdistää ajatteluprosessiksi, kuten Marttinen (2010) onnistuneesti referoi pro gradu tutkielmassaan. Suunnittelijan päättelyssä ja ongelmanratkaisussa tärkeimmäksi prosessiksi esiin nousee analoginen päättely. Analoginen päättely käsitteenä tarkoittaa sitä, että tunnistaessaan aikaisemmin kohdatun ongelman, suunnittelija pyrkii käyttämään ennakkoon tuttua ratkaisumenetelmää. Tämä saattaa joskus johtaa jumiutumiseen tiettyjen toimintamallien osalta. Varsinkin kokeneempien suunnittelijoiden kohdalla tämä voi johtaa urautumiseen, jolloin luovuutta ja mielikuvitusta ei pystytä käyttämään täysipainoisesti. (Marttinen 2010, 10.)

## 4 Työn toteutus

### 4.1 Suunnitteluun tutustuminen

Työskentely aloitettiin tutustumalla itsenäisesti ohjeistuksiin ja suunnittelutyökaluihin. Työhön opastuksesta vastasivat muut kollegat, joiden opastuksen aikana saatiin arvokasta tietoa käytännön työstä ja työskentelystä

Nykyiseen sähkösuunnitteluohjelmistoon tutustuminen alkoi pääosin itsenäisesti opettelemalla, sekä kollegoilta kyselemällä. Varsinaista ohjeistusta eikä koulutusta ohjelmalla työskentelyyn ei ollut.

### 4.2 Kohdennetut teemahaastattelut

Haastatteluja varten käytiin keskusteluja suunnittelijoiden ja laadunvarmistuksen toimenkuvista ja mieltymyksistä. Tutustumisien aikana käytiin läpi henkilöiden työhistoriaa sekä Patrialla että ennen sitä. Tutustumisien aikana kerrottiin jokaiselle henkilölle työn tavoitteista sekä kehoitettiin heitä miettimään asioita, jotka vaikuttivat työskentelyyn negatiivisesti ja positiivisesti.

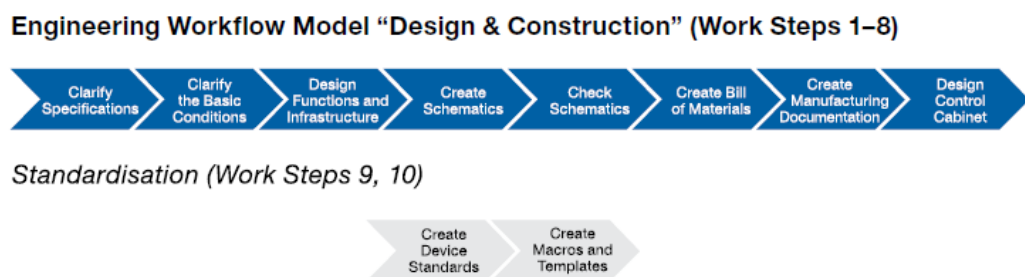
Koulutuksen puute tuli esille haastattelujen aikana. Nykyiset käyttäjät olivat joutuneet opettelemaan käytön itsenäisesti sekä kollegoiden avustuksella. Tämä on väistämättä johtanut siihen, että työskentely ei ole ollut linjassa kaikkien tekijöiden kesken. Tämä olisi vältettävissä asianmukaisella koulutuksella heti suunnittelijan uran alkuvaiheessa. Väärin opittuja asioita on ollut myöhemmin vaikea korjata.

Seuraavassa vaiheessa keskusteltiin suunnittelijoiden kanssa työn aikana sekä käytiin läpi esimerkkitilanteita, jotka saattoivat johtaa ongelmatilanteisiin. Myös kehitysehdotuksia käytiin läpi ja kirjattiin ylös. Tein samanlaisia havaintoja omassa työssäni ja yritin löytää ohjelmiston omista ohjeista apua näihin tilanteisiin. Ohjeet esittelevät

toiminnon, mutta esimerkiksi edeltävät sekä jatkotoimintapiteet usein puuttuvat. Lopputuloksena päädyin siihen, että ilman asianmukaista koulutusta ei ohjelmiston ohjeistakaan ole apua yksittäisiin ongelmatapauksiin.

### 4.3 Suunnittelutyön arviointi

Suunnittelutyön tehokkuuden arviointiin käytettiin Studie-Engineering 4.0 tutkimusta. Airborne Systemsin suunnitteluprosessia verrattiin kuvioon 2. Nykyinen toimintamalli kuvattiin pääpiirteittäin kuviossa esiintyvien askelien mukaan (Step 1-8). Tästä kuvauksesta on poistettu kaikki salassa pidetyt tai Patrian kannalta luottamukselliset tiedot.



Kuvio 2. Engineering workflow model. (Gartzen, Schloesser & Mendl-Heinisch 2019)

**Step 1-3.** Suunnitteluprosessi lähtee liikkeelle vaatimusmäärittelystä. Seuraavaksi tehdään toiminnallinen määrittely ja arkkitehtuurisuunnittelu. Nämä työvaiheet kuuluvat järjestelmäsuunnittelun työvaiheisiin. Ennen piirikaavioiden piirtämistä suunnittelija piirtää järjestelmäkaavion, joka on piirikaavion piirtäjän lähtökohta.

**Step 4.** Piirikaavion piirtäminen aloitetaan järjestämällä piirikaaviot ATA 100 tai vastaavan standardin mukaan. Piirikaavioiden luontiin on kaksi eri vaihtoehtoa. Piirikaavio voidaan aloittaa alusta piirtämällä kaikki laitteet ja komponentit sekä niiden väliset johdot. Toinen vaihtoehto on kopioida valmiita piirikaavion osia ja tuoda niitä projektiin. Toisesta projektista tuotuja kaavion osia ei voida käyttää suoraan. Niitä joudutaan muokkaamaan laite-, johdin- ja liitintunnusten osalta. Jokaisessa projektissa on omat tunnuksensa, koska kaaviossa esitettävien laitteiden ja komponenttien määrä ja tyyppi vaihtelevat kohteen mukaan. Projektin komponentti-/laitetietokanta perustetaan näiden tunnusten mukaan. Johtimien poikkipinta-ala ja johdintyyppi vaihtelevat kohteen mukaan. Nämä tarkastetaan järjestelmä kaaviosta ja muutetaan käsin piirikaavioon.

**Step 5.** Piirikaavion tarkastus on kaksiosainen. Ohjelmiston tarkastustoiminto tarkastaa ennalta määriteltyjen sääntöjen mukaan valitut piirikaaviot. Tarkastustoiminto tarkastaa kaikki johdin-, laite ja liitintunnukset, jotta niitä ei ole määritelty kahteen kertaan. Kaikki kytkennät tarkastetaan siten, että mikään johdin ei ole jäänyt kytkemättä eikä samaa kontaktia ole käytetty kahteen kertaan.

Kaavion tekijä tarkastaa työnsä käyttäen kaavion tarkastustoimintoa ennen kuin työ luovutetaan eteenpäin tarkastettavaksi. Tarkastuksen suorittaa erikseen projektin nimeämä henkilö. Ensimmäinen tarkastuskierros tehdään, jotta inhimilliset virheet saadaan minimoitua. Samalla verrataan järjestelmäsuunnittelun laatimia tietoja piirikaavioon. Toinen kierros on varsinainen hyväksyntäkierros. Tämän aikana arvioidaan lentokelpoisuus vaatimukset ja vaikutukset kohdetuotteeseen. Tämän vaiheen jälkeen kaavio siirtyy hyväksyntävaiheeseen, jossa sitä verrataan vaatimusmäärittelyyn sekä lentokelpoisuusvaatimukseen, jotka tuotteelle on asetettu. Dokumenttien hyväksynnän jälkeen hyväksytään ja lukitaan tuotteen konfiguraatio.

**Step 6.** Tuotteen rakenne luodaan nimikkeineen ATON järjestelmään, josta automaattisiirrolla rakenne siirtyy V10 tuotannonohjausjärjestelmään. Tämän avulla tuotteen valmistamiseen tarvittavien materiaalien tilaus voidaan tehdä. Kuvioista 2 poiketen tämä vaihe tehdään kohdassa 4. (Step 4.) Lisäksi materiaalien keräyslistat luodaan tuotantoa varten, jotta materiaali saada kerättyä työlle hallitusti.

**Step 7.** Valmistusdokumentaatio luodaan kuviosta 2. poiketen kohdassa 4. (Step 4.) Piirikaaviosta generoidaan kytkentälista, soittotaulukko sekä eristevastustaulukko tarkastustoiminnon jälkeen. Nämä dokumentit hyväksytään kaavion kanssa samanaikaisesti ja ne ovat samalla revisiotasolla kuin kaaviokin. Piirikaavion tuottamien valmistusdokumentaation hyväksymisen jälkeen valmistusdokumentaatio voidaan siirtää ATON PDM järjestelmään.

**Step 8.** Kuviosta 2. poiketen tuote voi olla piirikaavio, johtosarja, testilaite tai keskus. Valmistuksen aikana saattaa tulla muutoksia. Muutokset pitää hyväksyä ennen niiden toteuttamista. Jokaisen muutoksen vaikutus arvioidaan erikseen ja revisioidaan kuvaan. Step 5. mukainen tarkastuskierrös tehdään muutoksen osalta ja tuotteen uuden konfiguraation hyväksynnän jälkeen valmistusta voidaan jatkaa.

**Step 9 ja 10.** Kohdat 9 ja 10 ovat kehityskohteita, joiden avulla edellä mainittua prosessia voidaan kehittää. Piirikaavioiden komponenttien ja osien standardisointia hyväksi käyttäen, voidaan tehostaa piirikaavion luonti prosessia. Makrojen sekä valmiiden pohjien(template) avulla variaatioiden hallinta on helppoa sekä samalla vähenee piirtämisen tarve. Oikein ja tehokkaasti käytettynä tämä säästää aikaa ja kustannuksia. Lentokonepiirikaavio osien käyttömahdollisuutta ei ole vielä tutkittu tarpeeksi, mutta tämä vaihe tulee entistä ajankohtaisemmaksi uusien ohjelmistojen toimintoja määriteltäessä.

#### 4.4 Ohjelmistojen evaluointi

Ohjelmistojen evaluointi aloitettiin käytössä olevasta VertexED:stä. Vertex Systemsin kanssa järjestetyssä ryhmäpalaverissa keskusteltiin työn aikana selvinneistä haasteista sekä tuotekehityksen aikataulusta. Palaverin lopputuloksena tehtiin alustava toimintasuunnitelma, jonka mukaan tutkitaan mahdollisuus siirtää käyttämään VertexED 2020 versiota. Ryhmäpalaverin tarkoituksena oli saada nykyisen version kehi-

tys käyntiin sekä käyttää tätä prosessia mallina muiden ohjelmistovalmistajien vertailussa. Toimintasuunnitelman mukaan VertexED2020 versio saatiin SAM prosessiin keväällä. SAM prosessia käytetään kaikkien Patrialla käytössä olevien ohjelmistojen tutkimiseen ja paketointiin. Tämä on käytössä kaikissa Patria konsernin käytössä olevissa ohjelmistoissa.

Markkinoilla olevista suunnitteluohjelmistoista käytiin potentiaalisimmat vaihtoehdot läpi. Ohjelmistojen arviointiin käytettiin tietoja Suunnittelutyökalut opintojaksolta sekä valmistajien materiaaleja tutkimalla. Suunnittelutyökalut opintojaksolla tehtiin jokaisen opiskelijan toimesta esitys markkinoilla käytössä olevista suunnittelutyökaluista. Näistä esityksistä saatiin hyvin lähtötietoa ohjelmistoista ja niiden ominaisuuksista.

Ominaisuuksina painotettiin tietokanta ominaisuuksia, integrointi mahdollisuuksia eri ERP/PDM ohjelmistoihin, esisuunnittelun datan käyttö mahdollisuuksia sekä 3D mallinnuksen tukea. Patrialla pääasiallinen käyttö kohdistuu verkostovalmistukseen. Jonkin verran tehdään myös keskus- ja kotelo valmistusta. Piirikaavio on aina kaiken lähtökohtana. Piirikaaviotyökalun täytyy olla ominaisuuksiltaan luotettava, käyttäjäystävällinen sekä integroitu muihin lisäosiin. Nykyaikaisen ohjelmiston käyttö perustuu hyvän tietokannan ympärille. Tarkastustoiminnot sekä ennalta määriteltyjen sääntöjen vahtiminen ovat avainasemassa laatuvaatimusten täyttämässä. Kaikki nämä toiminnot estävät inhimillisten virheiden kertautumista suunnittelun aikana.

Ohjelmistoihin tutustuttiin valmistajien nettisivuilta löytyvän dokumentaation ja ohjeistuksen avulla. Valmistajien materiaaleihin tutustumisen jälkeen tehtiin tietopyyntö valituille valmistajille. Ensimmäisen tietopyynnön tarkoituksena oli tutustua valmistajan edustajiin, luoda kontakteja ja keskustella ohjelmistojen yleisistä ominaisuuksista. Näiden tietopyyntöjen pohjalta sovittiin esittely.

Ohjelmistojen esittely koostui piirikaavio-, verkosto- ja keskustyökaluista. PDM integrointi ja 3D mallinnuksen hyödyntämien olivat myös yhtenä aihealueena. Patrialla on käytössään ATON PDM ohjelmisto ja V10 ERP ohjelmisto. ATON integroinnin tarkoituksena oli saada projekteissa käytettävien nimikkeiden tiedot toimimaan molempiin suuntiin. Tämä vähentää raporttien luontia, muokkausta sekä tarkastusta.

3D mallinnuksen hyödyntäminen ei ole vielä Patrian toiminnan kannalta kriittinen vaatimus. Tätä kuitenkin painotettiin syystä, koska Patrialla tulee olemaan iso rooli suomen seuraavan hävittäjämallin huoltotoiminnassa. Patrian rooli on aina ollut toimia elinkaaren tuki toiminnoissa eikä seuraavan hävittäjämallin kohdalla taida suurta muutosta tähän tulla. Seuraavan sukupolven hävittäjän kehitystyö on pitkälti suunniteltu digitaalisesti konetyypistä riippumatta. Viimeistään tämän konetyypin kanssa työvälineiden sekä työmenetelmien pitää sopia 3D maailmaan, jotta suunnittelutoiminnot olisivat yhteneviä valmistajaorganisaation kanssa.

Uusista ohjelmistoista vertailuun otettiin Eplan, Zuken E3 ja Solidworks Electrical. Zuken E3 oli jo käytössä Patria Land yksikössä ja Solidworks Electrical oli käytössä Patria Systemsillä Tampereella. Eplan oli ainoa ohjelmisto näistä kolmesta, joista minulla oli edes jonkinlainen kokemus. Tämäkin kokemus rajoittui yhteen opintojaksoon.

### **Eplan-ohjelmisto**

Eplan ohjelmistosta keskityttiin Electric P8 ja Harness ProD ohjelmistoihin. Eplan poikkeaa perinteisestä piirto ohjelmasta paljon. Eplan perusajatus on tehdä asioita mahdollisimman tehokkaasti ja älykkäästi. Standardisointi ja valmiiden mallien käyttö ovat Eplan ohjelmistoissa viety pisimmälle.

Eplan pohjautuu yhden tietokannan ympärille, joka on kaikkien Eplan ohjelmistojen käytettävissä, jolloin muutos yhdessä paikassa siirtyy automaattisesti joka paikkaan, riippumatta siitä missä muutos tehdään. Eplan Data Portal palvelussa on kattava valikoima erivalmistajien komponentteja, joita muokkaamalla voidaan luoda myös omia komponentteja. Kaikki Data Portaalin tiedot ovat käyttäjien ladattavissa ja muokattavissa. (Eplan -ohjelmistoratkaisut n.d.)





Kuvio 3. Eplan -ohjelmistokonsepti (Eplan -ohjelmistoratkaisut n.d.)

### **EPLAN Electric P8**

Electric P8 on sähkösuunnitteluohjelmisto, joka mahdollistaa älykkäät toiminnot. Eplan piirikaaviomakrojen luominen ja tehokas käyttö mahdollistavat varianttien luomisen sekä käytön projekteissa. Perusajatuksena on tehdä piirikaavioin osista varianteja, joka antaa mahdollisuuden lähestyä suunnittelua eri tavoin. Valmiiden makrojen käytöllä voidaan tehostaa suunnittelua huomattavasti, koska piirtäminen korvataan määrittelyillä, joiden perusteella luodaan automaattisesti piirikaavio. (Eplan -ohjelmistoratkaisut n.d.)

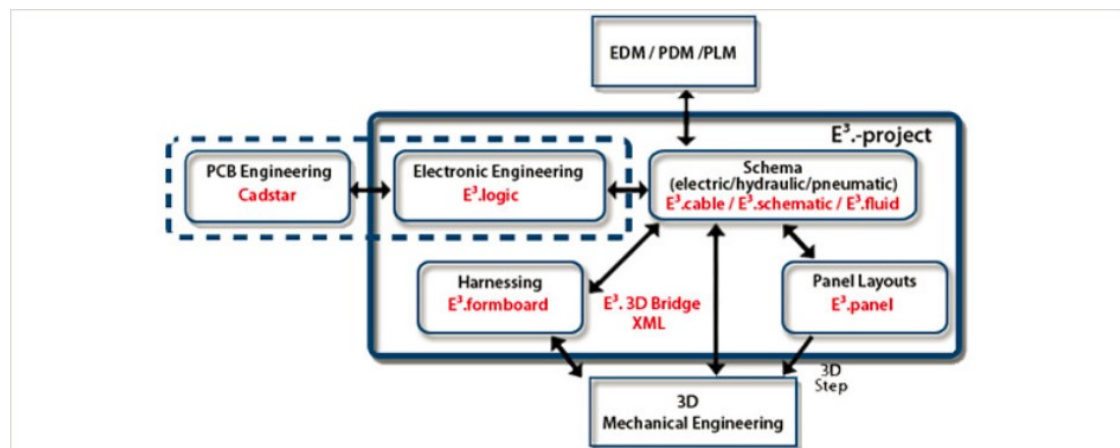
### **EPLAN Harness ProD**

Harness ProD on johtosarjatyökalu, jonka avulla johtosarjojen teko on vaivatonta. Harness ProD käyttää Electric P8 piirikaavioita muodostaakseen johtosarjat. Johtosarjoista saadaan työkuvat ja listaukset, joita valmistuksen aikana tarvitaan. Muutoksia voidaan tehdä sekä piirikaavioon että johtosarjakuvaan, jolloin muutokset päivittyvät molempiin. Harness ProD mahdollistaa myös 3D mallinnuksen hyödyntämisen. Harness ProD sisältää kaikki johtosarja valmistuksen 3D työkalut, jolloin 3D malli voidaan tuoda ohjelmaan.

Tämä mahdollistaa johtosarjojen reitityksen mallintamisen valmiin mallin mukaisessa ympäristössä. Tästä saadaan automaattisesti johtojen pituudet, taivutussäteet ja kiinnikkeiden paikat tarvittaessa. Varsinkin ilma-aluksen verkostojen suunnittelussa, tätä ominaisuutta ei voi liikaa painottaa., koska perinteisesti johtosarjojen reitit on pitänyt käsin mitata ennen suunnittelun alkua. (Eplan -ohjelmistoratkaisut n.d.)

### Zuken E3

Zuken E3 tutustuminen aloitettiin E3 Cable ja E3 Formboard ohjelmistoista. Molemmat ovat keskittyneet johtosarjavalmistukseen. E3 perustuu Eplan tavoin yhden tietokannan ympärille, joka sisältää komponentit, johtimet ja kaapelit. Kaikkiin komponentteihin löytyy 2D ja 3D mallit, joko tietokannasta tai ulkoisesta komponenttietokannasta. Tämä tietokanta sisältää usean eri valmistajan komponentit ja niiden yleisimmät mallit. E3 tietokannan etuna on MIL- komponenttien käytettävyys ja laaja tuki kaikille komponenttien lisäosille. MIL- komponentteja käytetään ilmailussa paljon, koska niiden materiaaliominaisuudet ja rakenne on standardisoitu ilmailukäyttöön. (CCS-Group n.d.)



Kuvio 4. Zuken E3 E-CAE ohjelmistokonsepti (CCS-Group n.d.)

### **E3 Cable**

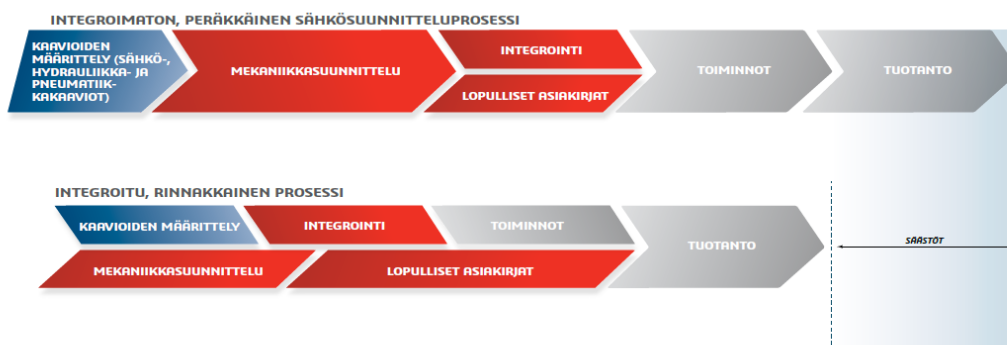
E3 Cable ohjelmisto sisältää samat ominaisuudet kuin E3 Schematic, joka on tarkoitettu piirikaaviotyökaluksi. E3 Cable ohjelmassa on lisäominaisuuksia johtosarjojen valmistusta varten. E3 Cable poikkeaa perinteisestä piirto ohjelmasta älykkäiden ominaisuuksiensa avulla, koska kytkentöjen tekeminen piirikaaviossa toimii automaattisesti, kun ohjelmalle on kerrottu liitosten väliset yhteydet. Tämä voidaan tehdä erillisellä tiedostolla tai määritellä manuaalisesti. E3 Cable ohjelmistoon on sisään rakennettuja ominaisuuksia myös esisuunnittelun hyödyntämiseen. Näiden ominaisuuksien avulla suunnittelutietoa ei menetetä missään suunnittelun vaiheessa. (CCS-Group n.d.)

### **Formboard**

E3 Formboard ohjelmisto on lisäosa, jonka avulla E3 Cable johtosarjatyökalulla saadaan tuotettua ns. 1:1 naulapöytäkuvat. Naulapöytäkuvia tarvitaan perinteisessä johtosarjojen valmistuksessa. Verkostokuva voidaan tulostaa 1:1 mittakaavalla lakanaksi, jonka päällä johtosarja valmistetaan. Lakanassa on kaikkien johtosarjan haarojen pituudet. (CCS-Group n.d.)

### **Solidworks Electrical**

Solidworks Electrical on kolmen ohjelmiston kokonaisuus, jotka ovat kaikki hankittavissa erikseen. Solidworks Schematics Standard keskittyy 2D suunnitteluun ja Solidworks Electrical Professional ohjelmistossa käytetään hyväksi 3D ominaisuuksia. Solidworks Electrical 3D hyödyntää 3D mallinnusta ja siinä on yhteydet joko Solidworks mekaniikka suunnitteluun tai muihin mekaniikka suunnitteluohjelmistoihin. (PLM Group n.d.)



Kuvio 5. Solidworks sähkösuunnittelu prosessi (Dassault systemes, Solidworks)

### Solidworks Electrical Schematics

Solidworks Electrical Schematics jakautuu Standard ja Professional paketteihin. Standard on enemmän yhden käyttäjän suunnitteluohjelmisto, jossa kaikki perusominaisuudet ovat käytössä. Professional ohjelmistossa ominaisuuksia on viety pidemmälle. Professional mahdollistaa 3D mallien ja komponenttien laajemman käytön. (PLM Group n.d.)

### Solidworks Electrical 3D

Solidworks Electrical 3D ohjelmistossa sähkö- sekä mekaniikkasuunnittelun prosesseja on yhdistetty yhteen kokonaisuuteen, jossa 3D cad mallien käyttö on tehokasta ja tietojen vaihto kaksisuuntaista. Multi-user ominaisuus luo mahdollisuuden usean suunnittelijan yhtäaikaiseen työskentelyyn samassa projektissa samaan aikaan. Johtosarjasuunnitteluun on käytettävissä useita eri ominaisuuksia, kuten automaattinen reititys ja mallin sisällä muokattava reititys. Reitityksien tiedot siirtyvät johtosarjavalmistuksen tietoihin, jolloin johtosarjojen kaikki mitat siirtyvät automaattisesti sähkösuunnittelussa käytettäväksi. Samat ominaisuudet ovat käytettävissä myös keskus- ja kotelosuunnittelussa. Electrical Content Portalista löytyvät usean eri komponenttivalmistajan komponentit sekä 2D ja 3D mallit. (PLM Group n.d.)

## **Solidworks Electrical Professional**

Solidworks Electrical Professional yhdistää Schematics ja 3D ohjelmistot yhdeksi ohjelmistoksi. (PLM Group n.d.)

### 4.5 Määrittelyprosessi

Prosessin määrittelyjä varten käytettiin arvovirtakuvausta, jonka avulla selvitettiin usean eri työvaiheen kehitysmahdollisuuksia. Arvovirtakuvauksen analyysillä pystyttiin kyseenalaistamaan toimintatapoja sekä toimintoja suunnittelussa, että ohjelmistotoiminnoissa.

Airborne Systemsillä laadittiin sisäinen selvitys tuoteryhmien sisällä, joka tarkensi suunnittelussa tarvittavia työkaluja ja lisenssimääriä. Tuoteryhmät tekevät yhteistyötä suunnittelu- ja piirtoressurssien käytön osalta, koska tuoteryhmien tekemät projektit kohdistuvat usein eri ilma-aluksiin. Yleinen toimintatapa on käyttää suunnittelija- sekä piirtäjäresursseja erikseen, vaikka tämä ei ole prosessikaavion mukainen toimintatapa. Järjestelmäsuunnittelun perusteella piirretään piirikaaviokuvat sekä tarvittaessa johtosarjan valmistusdokumentit. Kyseiseen tilanteeseen on ajauduttu osaltaan resurssien puutteen takia.

Määrittelyprosessin aikana laadittiin yksityiskohtainen listaus eri ominaisuuksista ja kriteereistä. Kriteerit jaettiin kolmeen luokkaan, joista luokka 1. käsitteli ominaisuuksia ja toimintoja, jotka olivat välttämättömiä laadukseen ja vaatimustenmukaisen tuotteen suunnittelemiseksi. Luokkaan 2. jäi kaikki toiminnot ja ominaisuudet, joiden katsottiin olevan välttämättömiä suunnittelun sujuvuuden kannalta. Luokkaan 3. kuuluivat kaikki tulevaisuuden kehityksen kannalta oleelliset asiat, joiden ominaisuuksia ei ollut tarkoitus ottaa tässä vaiheessa vielä käyttöön, mutta niiden piti sisältyä valmistajan ohjelmistokokonaisuuteen. Hankittavan ohjelmiston ominaisuuksien piti olla laajennettavissa, kun prosessia ja toimintoja saadaan kehitettyä.

Määrittelyprosessin jälkeen tehtiin tietopyyntö valmistajille, jossa eriteltiin toimenpiteet ja tulokset, joita Airborne Systemsin suunnittelun tulee täyttää. Valmistajille annettiin alustavat lisenssimäärät ja tyypit, joiden avulla työskentely aloitettaisiin. Seuraavassa vaiheessa tietopyynnön kohtia käytiin yhdessä valmistajan edustajan kanssa läpi ja määriteltiin tarkemmin osa-alue kerrallaan. Muutoksia ensimmäisen vaiheen tietopyyntöön ja ratkaisuihin tehtiin jonkin verran. Tämä oli otettu jo huomioon alkuperäisen tietopyynnin luonnoksessa.

## 4.6 Tietopyyntö

Tietopyynnössä oli kaikkiaan noin parikymmentä kohtaa, joita ohjelmistosta arvioitiin. Arvioinnissa olivat mukana mm. lisenssityypit, hankintamalli, koulutuspaketti, tekninen tuki sekä käyttäjä kohtaiset asetukset ja rajoitukset. Tietopyynnössä painotettiin seuraavia lentokoneen verkostosuunnittelussa tarvittavia ominaisuuksia.

### **Piirikaaviotyökalu**

Piirikaavio toiminnoissa painotettiin piirikaaviotyökalun sopivuutta lentokonepiirikaavio vaatimukseen. Lentokonepiirikaavion layoutin pitää täyttää ISO 2042:1973 / ICS 49.060 standardin vaatimukset. Lentokonepiirikaavion layout eroaa perinteisestä sähkösuunnittelun piirikaavio layoutista. Laitteet ja komponentit esitetään blokki tyyppisinä. Näiden välille piirretään kaikki tarvittavat kytkennät. Lentokonepiirikaaviossa etenemissuunta on pääasiassa vasemmalta oikealle sekä ylhäältä alas. (ISO 2042, 1973, 1; IEEE Guide, 1976, 54.)

### **Komponenttietokanta**

Komponenttietokanta on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista. Tämän painotus tietopyynnössä ja vertailussa on korkealla. Nykyaikainen suunnitteluohjelma perustuu tehokkaan tietokannan käyttöön. Ohjelmistojen lisäosat käyttävät samaa tietokantaa, jolloin usein muutos yhteen paikkaan riittää. Komponentit pitävät sisällään paljon erilaista tietoa.

Komponenteille voidaan määritellä lisäosia, 2D/3D malleja, datalehtiä, työvälineitä ja muuta tarpeellista lisätietoa. Lentokonepiirikaavioissa käytetyt MIL-standardin liittimet sisältävät paljon erilaisia lisäosia, kuten vedonpoiston, tiivistetulppia sekä useita erilaisia kosketin vaihtoehtoja. Liittimen koskettimien puristamiselle, asennukselle ja irrotukselle on olemassa omat työvälineensä. Nämä työvälineet sisältyvät myös komponenttitietokantaan.

### **Raportit**

Piirikaaviosta ja johtosarjatyökaluista generoidaan käyttäjän muokattavissa olevia listauksia sekä raportteja. Listauksien ulkoasu ja sisällön käyttäjä voi määritellä ohjelmasta tehdyillä asetuksilla. Yleisimmät listaukset ovat kytkentälista, soittolista ja BOM lista. Listaukset ovat lentokonejohtosarjojen valmistuksessa käytettyjä dokumentteja. Näissä listauksissa pitää olla määritelty kaikki valmistuksessa tarvittavat työvälineet, johdintunnukset sekä valmistuksen lisäohjeet. Listaukset ovat samaan tapaan revisiohallinnan valvonnassa kuin piirikaaviot.

### **Revision hallinta**

Projektin kaavioiden ja dokumentaation muutoksen hallinnan varmistamiseksi kaikki muutokset tulee dokumentoida ja tarkastaa. Revision hallinta koskee piirikaavioita ja valmistusdokumentteja, kuten kytkentälistaa ja BOM listaa. Muutos dokumentoidaan juoksevilla kirjaimella, alkaen tasosta 0. Ensimmäinen muutostaso on A. Revision hallintaa tehdään, joko suoraan piirikaaviotyökalussa tai PDM järjestelmässä. Tavoiteltu toimintatapa sisältää revisiotoiminnan yksinkertaistamisen. Suunnittelutyökalulla revisioidaan kaaviot ja ne siirtyvät automaattisesti PDM järjestelmään.

### **PDM-järjestelmä**

Patria Airborne Systemsillä on käytössä ATON PDM järjestelmä. ATON on suomalaisen ROIMA:n tuote. Tuotetiedon hallintaa tehdään PDM järjestelmän avulla. Nykyinen toimintatapa on hallita dokumentit ja niiden muutokset PDM järjestelmässä. PDM järjestelmällä voidaan hallita myös komponentteja sekä revision hallintaa. BOM listaus on mahdollista tuoda automaattisesti PDM järjestelmään, jolloin ajantasainen tieto siirtyy hallitusti ilman virhealtista käsityötä (Holopainen, 2011, 6-7).

Muita tietopyynnössä olevia määrittelyjä ja toimintoja käsiteltiin enemmän kehityskohteina. Kehityskohteita ei ole tarkoitus ottaa ensimmäiseksi käyttöön. Aluksi valitaan ohjelmistojen perusosat. Myöhemmin lisäosia voidaan lisätä suunnittelun tarpeiden mukaan. Myös lisenssien määrä tulee tarkentumaan vasta käytön aikana.

#### 4.7 Ohjelmistotoimintojen vertailu

Ohjelmistotoimintojen ja ominaisuuksien vertailua tehtiin taulukkomuodossa, johon valittiin tietopyynnössä painotettuja ominaisuuksia. Lisäksi mukaan otettiin toimintoja, joiden käyttöä tulevaisuudessa mahdollisesti harkitaan. Eri toimintojen painotus ja vaikutus pistemäärään määriteltiin täysin sen perusteella mitä valmistajan määrittelyissä oli annettu. Määrittely ei ole yleispätevä, vaan sen tarkoituksena oli asettaa ohjelmistot Patrian vaatimusten mukaan paremmuus järjestykseen.

Ohjelmistovertailuun otettiin Eplan, Zuken E3 sekä Solidworks electrical. Kaikki vertailtavat ohjelmistot olivat tämän prosessin aikana tarkastelussa sekä niistä laadittiin tietopyyntö. Mukaan otettiin myös Patrian käytössä oleva VertexED 2016 ohjelmistoversio, joka on räätälöity Patrian käyttöön Vertex ED versiosta. Vertex ED ohjelmiston vertailu oli alun perin tarkoitus tehdä 2020 versiolla. Yrityksistä huolimatta uusinta versiota ei saatu Patrian käyttöön ennen tämän vertailun tekemistä. Tämä oli ainoa ohjelmisto, jonka ominaisuudet tunnettiin omakohtaisesti. Muiden ohjelmistojen toimintoja jouduttiin arvioimaan valmistajien sekä muiden käyttäjien antamien tietojen perusteella. Tämän takia vertailutaulukon pisteytys oli vain suuntaa antava. Ohjelmistojen vertailutaulukon perimmäinen tarkoitus oli antaa päätöksen tekijöille työkalut, joiden avulla hintatietoja sekä ROI laskentaa voitiin tarkentaa.



## 5 Johtopäätökset

### 5.1 Suunnitteluprosessin hukka

Suunnitteluprosessissa syntyvää hukkaa analysoitiin arvovirtakuvauksen avulla. Arvovirtakuvauksen analyysyjä tehtiin kahdeksan kappaletta. Näiden avulla analysoitiin

1. järjestelmäsuunnittelun ja piirikaavion luonnin ongelmakohtia
2. piirikaavioiden ja niiden osien uudelleen käytettävyyttä
3. suunnittelu periaatteiden päivittämistä, piirtämisestä suunnitteluun
4. ohjeistuksen tarvetta suunnittelun apuna
5. keskus- ja kotelovalmistuksen kehittämistä
6. kokonaisprojektin hallintaa
7. dokumentaation ja raporttien ulkoasua ja käytettävyyttä
8. 3D mallinnuksen mahdollisuuksia

Kaikista kohdista löytyi kehitettävää sekä toiminnan että ohjelmiston osalta.

1. Järjestelmäsuunnittelun määrittelyä tehtäessä suunnittelija käy läpi huomattavan määrän dokumentaatiota. Määrittelyjä tehdään laitteille, johtimille, liittimille ja liittimien kontakteille. Järjestelmäsuunnittelun tuloksena tehdään järjestelmäkaavio, jonka tarkoituksena on toimia piirikaaviosuunnittelun ohjeena. Laajojen järjestelmäasennusten yhteydessä muutoksia joudutaan tekemään suunnittelun aikana sekä ensiasennusten jälkeen.

Kaikki edellä mainitut määrittelyt saadaan talteen ja käytettyä piirikaavion luonnin aikana tehokkaasti, jos ohjelmat keskustelevat keskenään. Tähän ratkaisuna olisi käyttää saman tuoteperheen ohjelmaa, jolloin työtä ei tarvitse tehdä kahteen kertaan. Lisäksi muutosten tekeminen yhteen paikkaan riittää, koska ohjelmat käyttävät samaa tietokantaa. Kaikki kohdat, jossa kyseistä komponenttia on käytetty, muuttuvat samalla.

2. Piirikaavioiden uudelleen käytettävyys vaatii yhteisiä pelisääntöjä sekä standardimallien luontia. Mallien käytettävyys riippuu paljon siitä, kuinka laajasti niitä käytetään. Mahdollisia käyttötapoja ovat varianttien luonti, jolloin eri vaihtoehtoja on käytettävissä useita sekä tämä voidaan tehdä projektin mukaan. Toinen vaihtoehto on tehdä ns. symbolinen kaavio, jolloin kaavion pohja sisältää vain symbolitiedot. Projektin mukaan voidaan symboleista tehdä komponentteja, määrittelemällä niille ominaisuudet. Useat ohjelmistotukevat tätä lähestymistapaa.
  
3. Perinteinen suunnittelu on aina perustunut viivojen piirtoon. Nykyaikaisten suunnitteluohjelmistojen pääperiaate on muuttunut piirtämisestä suunnitteluun. Piirikaaviotyökalut sisältävät useita erilaisia älykkäitä piirto-ominaisuuksia, jolloin komponenttien välille voidaan määritellä periaatteelliset yhteydet. Näiden perusteella johtimien piirto käy automaattisesti. Vaihtoehtoinen tapa on piirtää useita johtimia kerrallaan, jolloin määrittelyt voidaan tehdä etukäteen projektitiedostoon tai ne voidaan tuoda esim. CSV tiedoston avulla. Älykkäät kytkennät sisältävät myös valvonta ominaisuuksia. Ohjelma valvoo kytkentäpisteiden määrittelyjen perusteella esimerkiksi minkä kokoisen johtimen liittimeen voi kytkeä. Liittimen ja kontaktin perusteella ohjelma ehdottaa ja valvoo käytettäviä lisäosia, kuten vedonpoistoa, tiivistetulpia sekä vastaliittintä. Kaikki nämä määrittelyt on tehty komponenttitietokantaan komponentin luonnin aikana.
  
4. Ohjeilla sekä asianmukaisella ohjeistuksella varmistetaan suunnittelun sujuva eteneminen sekä vältetään virhetilanteilta. Ohjeistus varmistaa sen, että kaikki suunnittelijat tietävät periaatteet ja voivat aina tarkastaa toimintatavan tarpeen tullen. Ongelmatilanteilta ei voida välttyä, mutta laadukkailla ja käytettävissä olevilla ohjeilla, voidaan ongelmatilanteet ratkaista nopeasti. Usealla ohjelmistovalmistajalla on kattavat ohjeistukset, tutoriaalit sekä tekninen tuki, joista saadaan apua nopeasti. Ohjeistus ei korvaa peruskoulutusta, vaan auttaa uutta sekä kokeneempää käyttäjää selviytymään paremmin uuden työkalun kanssa.

5. Keskus- ja kotelovalmistuksen suunnittelutyön kehitys on ottanut harppauksia eteenpäin 3D mallinnuksen ansiosta. Käytetyistä komponenteista löytyvät tarkat 3D mallit usealta eri valmistajalta. Fyysiset mitat ja niiden rajoitteet on hyvä tiedostaa, jotta kalliit virheet voidaan välttää. Ohjelmat valvovat komponentin asennusta monin eri tavoin, jolloin komponentin tilantarve määritellään automaattisesti ohjelman toimesta. Valvottavia ominaisuuksia voi olla useampia. Jos komponentti yritetään asentaa esimerkiksi liian pieneen tilaan tai komponentti vaatii yläpuolelle tilaa ilman kiertoa varten, ohjelma antaa varoituksen, jotta käyttäjä voi määritellä asennuspaikan uudelleen. Johtoja varten keskuksissa tarvitaan johtokouruja, joiden täyttöastetta valvotaan ohjelman toimesta. Täyttöaste lasketaan käytettyjen johtojen mittojen mukaan. Täyttöasteen mukaan valvotaan johtokourun kokoja, jolloin liian pienestä johtokourusta saadaan varoitus käyttäjälle. Kytkenäjä eri laitteiden välille ei tarvitse määritellä, jos keskuksista on jo olemassa piirikaavio. Piirikaavion perusteella kytkennät muodostetaan automaattisesti. Ohjelma laskee käytettyjen johtimien pituuden ja päivittää BOM listaan kaikki komponentit ja johdinpituudet.

6. Nykyaikainen E-CAE ohjelmisto perustuu projektin hallintaan. Yksittäinen suunnitteluprojekti sisältää kaikki projektin aikana luodut dokumentit kuten piirikaaviot, raportit, komponenttien datalehdet, mekaaniset mallit ja paljon muuta. Perinteisesti näitä kaikkia on hallittu eri järjestelmillä ja eri henkilöiden toimesta. Muutosten hallinta ja käytettävyys helpottuvat, kun kaikki projektiin liittyvät dokumentit ja komponentit ovat samassa paikassa.

Patrialla tehdään useita muutostöitä samaan ilma-alustyypin vuosien varrella. Jokaista muutostyötä varten ei tarvitse perustaa ja luoda kaikkia alusta asti vaan projektin hallintaa voidaan käyttää hyväksi eri muutostöissä tekemällä aliprojekteja, jolloin aikaisemmin tehdyt määrittelyt ovat kaikki käytävissä.

Usein ilma-aluksien muutostyöt aiheuttavat muutoksia käytettyihin ohjeisiin ja piirustuksiin. Tämä voidaan hallita projektin kokonaishallinnan avulla, jolloin ohjekirjapäivitykset sekä kaaviomuutokset ovat paremmin hallittavissa.

7. Dokumentaation tarve vaihtelee suunnitteluprojektin mukaan. Ilma-alusten muutostöissä tarvitaan monia eri dokumentteja. Piirikaavio ja kytkentälista ovat pääasialliset raportit, joiden perusteella muutostyötä lähdetään tekemään. Joskus tarvitaan myös johdinsarjavalmistukseen johtimien merkintäkonetta varten omat listauksensa. Johdinsarjojen valmistuksen jälkeen johdinsarjat testataan automaattitesterillä, jolloin myös testerille on olemassa oma listauksensa, jonka mukaan johtosarja testataan. BOM eli osalista tarvitaan materiaalin hallintaa varten. Tämän tiedot syötetään PDM järjestelmään, josta ne päivittyvät ERP järjestelmään.
8. Nykyaikaiset suunnitteluohjelmistot hyödyntävät 3D mallinnusta monissa tehtävissä. 3D mallinnuksen avulla fyysisen mallin käyttötarve vähenee, koska tuote on jo valmiina työpöydällä digitaalisessa muodossa. Suunnittelijan on helppo todentaa osien ja järjestelmien yhteensopivuus ennen kuin yhtäkään osaa tai kokoonpanoa on valmistettu. Valmiiseen malliin voidaan tuoda johtosarjan tiedot ja varmistaa, että johtosarja on juuri sellainen kuin sen oli tarkoituskin olla.

Kun tämä on varmistettu, suunnittelussa voidaan palata takaisin johtosarjan valmistukseen. Valmistusta varten mallista saatiin johtosarjaan pituudet ja muut fyysiset mitat. Nämä tiedot siirtyvät automaattisesti saman tuoteperheen ohjelmistojen sisällä. Tämän ansiosta muutokset päivittyvät joka paikkaan sekä ovat käytettävissä koko ohjelmistossa.

## 5.2 Patrian käyttöön sopivat ohjelmistot ja menetelmät

Eplan, Zuken E3 ja Solidworks Electrical ohjelmistot ovat tasavertaisia Patrian käyttöä ajatellen, varsinkin jos tarkastellaan perusversioiden ominaisuuksia. Vertex ED 2020 versio tullaan ottamaan käyttöön vuoden 2020 aikana. Tämä saattaa poistaa joitakin esteitä tekemisen kannalta. Menetelmiä ja ohjeistusta täytyy vähän kerrallaan parantaa, jotta suunnittelu olisi sujuvampaa riippumatta siitä mikä ohjelmisto loppujen lopuksi tulee käyttöön. Liiketoimintojen välinen yhteistyö ja mahdollinen ohjelmisto synergioiden hakeminen tulevat vaikuttamaan valittavaan ohjelmistoon. Tämä työ ei varsinaisesti ota kantaa tähän, muuten kuin vertailussa toteamalla.

## 5.3 Järjestelmien integrointi

Järjestelmien välisiä toiminnallisuuksia joudutaan tarkastelemaan kolmannen osapuolen yritysten kanssa vielä tarkemmin. ATON ja V10 integroinnit tulevat olemaan isompi haaste kuin suunnitteluohjelmiston käyttöönotto. Näiden integrointien tarpeellisuus tullaan selvittämään vielä perusteellisemmin kuin mitä tässä työssä tehtiin. Tämä tulee olemaan oma projektinsa, josta voisi saada hyvän opinnäytetyön aiheen.

## 5.4 Kehittämistoimenpiteet

Vertailuun otettujen ohjelmistojen erilaiset ominaisuudet tulivat esille tämän prosessin aikana. Kaikki ohjelmistot olivat hieman toimintatavaltaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia. Ohjelmistojen pisteyttäminen oli niiden erojen selvittämisen kannalta tärkeää, mutta osoittautui melko haastavaksi. Painotin pisteytyksessä monipuolisuutta sekä ohjelmiston valmiuksia laajennuksiin sillä kaikista ohjelmistoista oli saatavilla lisäosia (Add-In), joilla toimintoja voitiin viedä pidemmälle tai tehdä tehokkaammin. Varjopuolena tässä oli hinta. Jos perusohjelmiston ominaisuudet loppuvat kesken niin joudutaan mahdollisesti hankkimaan lisäosia, jolloin ohjelmiston kustannukset nousevat. Jos saavutettu hyöty on sen arvoinen niin silloin tämä ei ole ongelma.

Vertailussa painotettiin Patrian tietopyynnössä painotettuja asioita. Tämän takia vertailutaulukko ei ole yleispätevä kaikille toimijoille, mutta siitä saa hyvän pohjan erilaisiin tarpeisiin. Ohjelmistotoimintojen vertailu ilman asianmukaista koulutusta ja opastusta on haastavaa. Täten pitää keskittyä valmistajien materiaalien sekä valmistajien ilmoittamien tietojen tutkimiseen. Tämä saattaa tulla kysymykseen monessa yrityksessä, jolloin ohjelmisto hankintoja joudutaan tekemään ilman käyttökoke-musta ohjelmistosta. Patrian kannalta oli hyvä asia, että kaksi vertailussa käytettyä ohjelmistoa olivat jo käytössä eri toimipisteissä. Zuken E3 oli käytössä Patria Land liiketoiminnassa ja Solidworks electrical oli käytössä Airborne Systems yksikössä Tampereella. Molemmista yksiköistä saatiin hyvin tietoa sekä samalla arvokkaita kontakteja. Kaikki nämä kommentit auttoivat ymmärtämään paremmin tiettyjä toimintoja sekä arvioimaan niitä paremmin.

Patrialla ohjelmistojen hankinta on keskitetty, joten varsinaiseen hankintaan minulla ei ole roolia. Tätä varten vertailutaulukon käyttö tähän tarkoitukseen on perusteltua. Tarkoituksena on antaa päätöksen tekijöille taustatietoa eri ohjelmistoista sekä niiden ominaisuuksista. Yhtenä pisteytyskohteena vertailussa oli ohjelmiston käyttö konsernin sisällä. Mikäli toimintoja ja kustannuksia halutaan keskittää, niin siihen on mahdollisuudet käyttämällä yksikköjen kesken yhteisiä ohjelmistovalintoja. Tämä antaa mahdollisuuden resurssien laajempaan käyttöön ja osaamisen keskittämiseen, joka onkin tällä hetkellä yksi Patria konsernin kehitystavoitteista, joihin etsitään ratkaisuja kaikissa liiketoiminnoissa.

## 6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteina olivat seuraavat:

1. Suunnitteluprosessin hukkien määrittely ja poistaminen Lean työkalujen avulla.
2. Ilma-aluksen sekä ilma-alusten testilaitteiden suunnitteluun sopivat työmenetelmät sekä työvälineet.
3. Suunnitteluohjelmistojen sekä taustajärjestelmien integroinnin määrittely.
4. Kehittämistoimenpiteiden määrittely sisältäen kehittämismahdollisuudet sekä ohjeistus ja koulutus.

Suunnitteluprosessien hukkien määrittely onnistui hyvin, vaikka suunnitteluprosessi ei ollut alkujaan tuttu. Työn aikana suunnitteluprosessi tuli tutuksi, jolloin hukkien määrittelyä pystyttiin tekemään tarkemmin. Työskentelyni suunnittelutehtävissä antoi tähän hyvät lähtökohdat sekä työn kautta opin oman työn kannalta tärkeitä osa-alueita kuten suunnitteluprosesseja sekä niiden hallintaa. Ohjelmistojen ja työvaiheiden määrän sisäistäminen koko suunnitteluprosessissa oli vaikeaa, koska kaikki prosessin vaiheet olivat uusia. Koko suunnitteluprosessin sisäistäminen ei ilman asianmukaista koulutusta onnistu, joka tuli esille virhetulkintoina sekä turhana työnä. Koulutusta ja opastusta olisi saanut olla enemmän heti alkuvaiheessa, jotta väärin ymmärrykset ja virheet olisi paremmin vältetty. Myös osa ohjeistuksesta puuttui kokonaan, koska prosessit olivat vielä kehitysvaiheessa. Tähän asiaan tuli korjaus tämän työn loppuvaiheessa, kun uusien suunnittelijoiden perehdyttämisohjelma otettiin käyttöön.

Hahmotettuani suunnitteluprosessin kulun pystyin paremmin tarkastelemaan työmenetelmiä sekä siihen sopivia työvälineitä. Ohjelmistovalmistajien esittelyiden ja evaluoinnin aikana pystyin erittelemään, mitä ominaisuuksia ja vaatimuksia eri työvaiheet vaativat, jotta työvaihe voidaan tehdä tehokkaasti. Tästä keskusteltiin esittelyihin osallistuneiden suunnittelijoiden kanssa esitysten jälkeen sekä tehtiin yhteenveto. Yhteenvedon koostaminen ja ajatusten vaihtaminen olivat hyviä tapoja tarkistaa, että kaikki olivat ymmärtäneet toiminnot ja niiden tärkeyden eri prosessin osille.

Näistä ominaisuuksista käytiin perusteellista ajatusten vaihtoa sekä näkökantojen pohdintaa. Työn kirjoitus hetkellä ei ollut vielä tietoa siitä, miten ja milloin kaupallinen prosessi lähtee liikkeelle. Lähtökohdat kaupalliselle prosessille ovat tämän työn tuloksena varsin hyvät, koska tietoa saatiin kerättyä paljon sekä ymmärrys ohjelmistovalintojen tekemiselle kasvoi koko prosessin ajan. Lisäksi samalla selvitettiin muiden yksiköiden käytössä olevat ohjelmistot sekä niiden mahdolliset synergiat. Todennäköisesti ohjelmistovalinnat keskittyvät konsernin käytössä oleviin ohjelmistoihin, koska näistä on jo tietoa ja kokemusta.

Taustajärjestelmien kuten PDM ja ERP järjestelmien integrointia käsiteltiin esittelyjen sekä keskustelujen aikana, mutta näitä koskevat päätökset jäävät kaupallisen prosessin jälkeiseen aikaan. Tämä oli odotettavissa työaikana, mutta siitä huolimatta kaikki vaihtoehdot otettiin esille ja selvitettiin niiden tekniset valmiudet. Toteutustapa tulee riippumaan käytettävästä ohjelmistosta sekä suunnitteluprosessin muutoksista. Yksi näistä muutoksista on sähköisen hyväksynnän käyttöönotto, jota kokeillaan ja selvitetään sen sopivuus Patrian prosesseihin. Muita mahdollisia käyttötapoja ovat BOM listojen automaattiajo PDM järjestelmään sekä revisiomerkitöjen teko piirustuksiin. Tämä osa-alue voisi hyvinkin olla opinnäytetyön aihe, sillä tähän liittyy paljon selvitettäviä asioita kuten Aviation ja Systems liiketoimintojen välinen yhteistyö sekä taustajärjestelmien yhteensopivuus.

Tämän opinnäytetyöprosessin aikana sain paljon hyödyllistä tietoa sähkö- ja verkostosuunnittelu ohjelmistojen toiminnoista sekä ominaisuuksista. VertexED ja Autodesk Inventor ohjelmistot tulivat tutuiksi. Molemmista ohjelmistoista sain itseopiskelumateriaalia sekä hyviä neuvoja ja opastusta suunnittelijoilta. Tällä tavoin pääsin hyvin alkuun, vaikka laajempi ja perusteellisempi peruskoulutus olisi saattanut säästää monelta väärinkäsitykseltä sekä virheeltä. Koulutukseen, opastukseen ja ohjeistukseen kiinnitin paljon huomiota koko prosessin aikana. Suunnittelijoilla ei ollut koulutusta VertexED ohjelmiston käyttöön vaan kaikki toiminnot jouduttiin opettelemaan itsenäisesti tai kollegojen avustuksella. Joitain käyttäjien laatimia muistiinpanoja oli laadittu ohjeeksi, mutta varsinaisia toimintaohjeita ei juurikaan ollut. Ohjelmistovertailuissa koulutus ja tekninen tuki olivat yhtenä vertailukohteena. Jokainen vertailuista ohjelmistoista vaativat kunnollisen peruskoulutuksen, jotta käyttö olisi tehokasta.



Koulutukset tietysti maksavat ja vievät työaikaa, mutta siitä saatavat hyödyt saadaan moninkertaisina säästöinä takaisin. Usein väärin opittuja asioita on jälkikäteen vaikeampi korjata kuten tämän työn aikana tuli esille useaan kertaan.

”Think Outside The Box” mottoa tuli käytettyä tämän työn aikana useaan kertaan. Tavoitteena oli kyseenalaistaa kaikki toiminta jollain tasolla ja yrittää löytää työskentelytavoista ja ohjelmistoista ratkaisuja. Mielestäni tämä työ kannatti tehdä ja siitä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa. Itse opin ainakin paljon suunnitteluohjelmistoista ja menetelmistä. Ei ole yhtä ja ainoa toimintatapaa, jota voisi soveltaa kaikkiin prosesseihin tai ohjelmistoihin. Tämän työn tuloksena tehty ohjelmistojen vertailutaulukko antaa hyvän pohjan ja lähtökohdan eri ohjelmistojen perusteelliseen vertailuun. Ominaisuuksien painotukset ja sisältö vaativat tarkempaa selvitystä ja sovittamista käytettyyn prosessiin.

Patrialla oli käynnistynyt vuonna 2018 konsernitason digitalisaation mahdollisuuksien hyödyntämiseen tähtäävä kehitys- ja selvitystyö. Koko henkilöstöä kannustettiin kehittämään ja tekemään uusia innovaatioita osana työtehtäviään. Tämä antoi hyvät lähtökohdat myös tälle opinnäytetyölle. Lisäksi keväällä 2020 käynnistyi Boost-ohjelma, jonka tehtävänä oli kehittää toimintaa ja etsiä koko henkilöstön voimin kehityskohteita ja selkeyttää toimintaa. Oli hyvä huomata, että Patrialla oli ymmärretty kehittämisen ja kehittymisen tärkeys. Uskon, että tämän työn havainnoilla ja lopputuloksella voidaan aidosti vaikuttaa ja kehittää toimintaa pidemmällä tähtäimellä. Haluan vielä lopuksi kiittää Airborne Systemsin henkilöstöä yhteistyöstä sekä avusta koko tämän opinnäytetyöprosessin ajan.

## Lähteet

Dassault systemes. N.d. Esite Sähkösuunnittelu tehosta tuottavuutta ja paranna laatua integroimalla sähkö- ja mekaniikkasuunnittelu 3D-suunnitteluympäristöön.

E-CAE -ohjelmistokonsepti. N.d. Esite CCS Group-sivustolla. Viitattu 21.4.2020. <https://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/ohjelmistokonsepti/e-cae-ohjelmistokonsepti>.

E3. cable. N.d. Esite CCS Group-sivustolla. Viitattu 22.4.2020. <https://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/moduulit/e3.cable>.

E3. formboard. Esite CCS Group-sivustolla. Viitattu 22.4.2020. <https://www.ccsgroup.com/fi/e3.series/moduulit/e3.formboard>.

Efficient engineering. Artikkel EPLAN Software & Service AB -sivustolla. Viitattu 18.4.2020. <https://www.eplan.fi/fi/etusivu/>.

Efficient engineering. Artikkel EPLAN Software & Service AB -sivustolla. Viitattu 18.4.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/saehkoesuunnittelu/eplan-electric-p8/>.

Efficient engineering. Artikkel EPLAN Software & Service AB -sivustolla. Viitattu 18.4.2020. <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/saehkoesuunnittelu/eplan-harness-prod/>.

Gartzen, T., Schloesser S.& Mendl-Heinisch, M. 2019. A study of the efficiency potential and the use of CAE software in electrical design for the engineering of machines and plants. European 4.0 Transformation Center GmbH.

Halonen, E. 2017. Suunnitteluprosessin kehittäminen tietokantapohjaista suunnitteluohjelmistoa hyödyntäen. Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkövoimatekniikka.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2008. Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press 2008.

Holopainen, T. 2011. Sähkösuunnitteluohjelmiston integrointi PLM -järjestelmään. Opinnäytetyö. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, Automaatiotekniikan koulutusohjelma, Teknologia yksikkö.

IEEE guide for aircraft electric systems. 1976. The Institute of Electrical and Electronics Engineers INC.

International standard ISO/IEC/IEEE 15288. 2015, Systems and software engineering – System life cycle processes, First edition 2015-05-15

International standard ISO 2042. 1973, Aircraft electrical circuit diagrams, First edition 1973-11-01.

Marttinen, S. 2010. Suunnitteluajattelu- Riskitekijöiden tunnistaminen ja niiden eliminointi suunnittelutoiminnan kehittämiseksi. Kognitiotieteen Pro Gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Tietojen käsittelylaitos.

Nanduri, R. 2014. Thesis. Lean + agile vs seven wastes in Software Development. Systematic Literature Review and a Industrial Survey. Blekinge tekniska högskola.

Patria vuosikertomus 2019. Viitattu 11.3.2020. <https://www.patriagroup.com/fi>

Peek, B. 2012. Thesis. Master of science in engineering management. Exploring Effective ways to Implement Strategic Lean Innovation Management. University of Minnesota.

Puttonen, M. 2011. Laatujärjestelmävaatimusten harmonisointi sotilaslentokonehuollossa. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiaosaamisen johtaminen, Tekniikan ja liikenteen ala.

Ries, E., Rautanen, A., Markula, J. 2011. The Lean startup. Kokeilukulttuurin käsikirja. Latvia: LavasDesign Oy 2016.

RWTH Aachen Campus GmbH. Viitattu 11.4.2020. <https://www.rwth-campus.com/en/about-us/>

Salminen, A., Uitti, S. 1996. Ismien ihmemaa. Teollisuusyritysten johtamisopit vertailussa. Helsinki TT-kustannustieto.

Zhu, Z. 2016. Automatic 3D routing for the Physical Design of Electrical Wiring Interconnection System for Aircraft. Doctoral thesis. Delft University of Technology. Heveka Alankomaat.

# Liitteet

## Liite 1. Patrian tietopyyntö ohjelmistovalmistajille



### Tietopyyntö

Tietopyyntö valmistajalle/ edustajalle.

Tietopyynnön aiheena on sähkö- ja verkostosuunnittelu ohjelmiston evaluointi ja mahdollinen hankinta.

#### Sisälllys

1. Tietopyynnön kohde	2
1.1 Tietopyynnön tarkoitus	2
1.2 Mahdollista hankintaa koskevat tiedot	2
2. Tietopyynnön vastaus	2
2.1 Sisältö	2
2.2 Kysymykset valmistajalle	2
3. Tavoitetila	3
3.1 Tavoiteltava toiminta	3
3.1.1 Yleiset kriteerit ohjelmistolle	3
3.1.2 Piirikaavio	3
3.1.3 Komponenttitietokanta	3
3.1.4 Raportit	3
3.1.5 Johtosarja- ja verkostovalmistus	3
3.1.6 Integraatioprojektit	4
3.1.7 Toimittajien ja valmistajien dokumentaation hyödyntäminen	4
3.1.8 ATON PDM järjestelmän integrointi	4
3.1.9 3D mallintamisen hyödyntäminen	4
3.1.10 Keskus ja kotelovalmistus	4
3.1.11 Kuvien katselu ja punakynäys	4
3.1.12 Käyttäjien koulutus	4
3.1.13 Tekninen tuki ja ohjelmateriaalit	4
3.1.14 Käyttäjakohtaiset asetukset ja rajoitukset	4
3.1.15 Piirikaaviomakrot	5
3.1.16 Piirikaavioiden generointi	5
3.1.17 Lisenssityypit	5
3.1.18 Import/ Export siirtoformaatit	5
3.1.19 Revision hallinta	5
3.2 Patrian ehdottama ratkaisu	5

## 1. TIETOPYYNNÖN KOHDE

Patria Aviation Oy/ Airborne Systems Halli

### 1.1 Tietopyynnön tarkoitus

Airborne Systems evaluoi sähkö- ja verkostosuunnittelutyökaluja osana suunnittelun kehittämis-toiminpiteitä. Sisäisen selvitystyön tuloksena on selvitetty ohjelmistoja ja niiden ominaisuuksia, joilla kehittämistoimenpiteiden toteuttamisen katsotaan olevan mahdollista. Tietopyynnön ensimmäisessä vaiheessa ohjelmistovalmistajalle kerrotaan mitä ohjelmistolla halutaan saavuttaa.

### 1.2 Mahdollista hankintaa koskevat tiedot

Tietopyyntöön vastaamiseen vaaditaan alustava hinta arvio lisensseistä, koulutuksista ja muista palveluista. Hinnat eivät ole sitovia. Hintatietoja käsitellään luottamuksellisesti ja vain Airborne Systems Hallin yksikön sisällä. Vasta ohjelmiston ja ohjelmiston lisäosien valinnan jälkeen kustannuksia käsitellään Patrian konserni tasolla, koska Patrian käytössä olevat ohjelmistolisenssit ovat Patria konsernin omaisuutta.

## 2. TIETOPYYNNÖN VASTAUS

### 2.1 Sisältö

Vastauksen perusteella tietopyyntöä tarkennetaan yhteistyössä valmistajan edustajan kanssa, jotta saadaan kaikki tarvittavat ominaisuudet käyttöön. Tarkastelun aikana alkuperäinen sisältö ja kustannukset saattavat muuttua.

### 2.2 Kysymykset valmistajalle

Tähän on kirjattu toimintoja, joita sisäisen selvitystyön aikana on tullut esille. Tavoiteltavaan toimintaan on kuvattu mitä ja miten halutaan toimia. Lisätietoja Patria Airborne Systemsiltä antaa Toni Siren.

### 3.TAVOITETILA

#### 3.1 Tavoitettava toiminta

Seuraaviin kohtiin on määritelty toimintoja, joiden on katsottu olevan mahdollisia valmistajan dokumentaation tai markkinoilta saadun tiedon mukaan. Näitä kohtia tarkennetaan yhdessä valmistajan kanssa.

Sisäisen selvitystyön tuloksena muodostettiin kriteerit ja niille luokat. Näiden perusteella määriteltiin alustava tarve eri toiminnoille ja ominaisuuksille.

Luokat;

1. Toiminto on välttämätön laatuvaatimusten takia.
2. Toiminto on hyödyllinen työn sujumisen sekä käytettävyyden kannalta.
3. Toiminto saattaa olla hyödyllinen tulevaisuudessa ja se on hyvä ottaa huomioon hankintavaiheessa.

#### 3.1.1 Yleiset kriteerit ohjelmistolle

Nykyaikainen ja intuitiivinen käyttöliittymä, joka tukee suunnittelijaa jokapäiväisessä työskentelyssä. Kattava tukiverkosto ja ohjeistus jokapäiväiseen toimintaan. Ohjelmiston on mahdollistettava etäkäyttö, sekä useamman suunnittelijan yhtäaikainen käyttö samaan aikaan. Nykyaikainen komponenttietokanta, joka on käyttäjän muokattavissa. Reaaliaikainen muutosten valvonta/hallinta.

#### 3.1.2 Piirikaavio

Lentokonepiirikaavion layoutin pitää täyttää ISO 2042:1973 / ICS 49.080 standardin vaatimukset. Piirikaavion layout on oltava käyttäjän muokattavissa. Piirikaaviossa käytetään MIL- standardin mukaisia piirrosmerkkejä sekä komponentteja. Piirrosmerkkeinä ja komponentteina käytetään sekä tietokannassa olevia että yleisiä symboleja. Luokka 1.

#### 3.1.3 Komponenttietokanta

Komponenttietokannan muodostaminen joko käyttäjän tai valmistajan toimesta. Tämä sovitaan myöhemmin erikseen. Tietokanta pitää olla käyttäjän muokattavissa siihen sopivien tietokantatyökalujen avulla. Tietokantaan pitää pystyä luomaan jokaiselle komponentille erilaista metatietoa kuten komponentin lisäosat, koskettimet sekä koskettimiin sopivat johtimet, työkalut, 2D/3D mallit sekä datalehdet tai niiden linkit. Tietokannan pitää tukea MIL standardin mukaisia komponentteja. Johtimet ja kaapelit joko samassa tietokannassa tai omassaan. Yleisimpien standardien mukaiset yleiskomponentit käytettävissä. Luokka 1.

#### 3.1.4 Raportit

Piirikaaviosta ja johtosarjatyökaluista pitää pystyä generoimaan käyttäjän muokattavissa olevia raportteja kuten kytkentälistä, soittolista, BOM eli laitelista ja eristysvastusluettelo. Luokka 1.

### 3.1.5 Johtosarja- ja verkostovalmistus

Piirikaavion pohjalta luodaan verkoston valmistuskuvat ja naulapöytäkuvat. Piirikaaviosta saatavia listauksia käytetään valmistuksen dokumentteina (kytkentätaulukko, laite- ja soittolista). Luokka1.

### 3.1.6 Integraatioprojektit

Järjestelmä- ja esisuunnittelun aikana tehdyt kaaviokuvat ja niissä määritellyt laite-, johdin- ja signaalitiedot ovat käytettävissä piirikaavion luonnin aikana. Luokka2.

### 3.1.7 Toimittajien ja valmistajien dokumentaation hyödyntäminen

Esisuunnittelun käynnistämiseksi tarvitaan usein eri laitevalmistajilta erilaista dokumentaatiota. Tämä dokumentaatio on usein PDF tai DXF muodossa. Myös muita formaatteja saattaa olla käytössä. Tämän dokumentaation hyödyntäminen tehostaa suunnittelutyön etenemistä. Tästä dokumentaatiosta pyritään saamaan kaikki irti riippuen niiden formaatista. Luokka2.

### 3.1.8 ATON PDM järjestelmän integrointi

Komponenttien ja niiden varianttien hallinta ATON:ssa. Komponenttien datalehtien hallinta ATON:ssa. Näiden tietojen reaaliaikainen hallinta ATON:n ja sähkösuunnitteluohjelmiston välillä. BOM listauksen siirto ATON:n Luokka3.

### 3.1.9 3D mallintamisen hyödyntäminen

3D mallien hyödyntäminen johtosarjatyökalun osana. 3D malliin sijoitetun johtosarjan tarkka mitoitus tarvittaessa. Tämän mittatiedon hyödyntäminen naulapöytäkuvan luonnissa. Luokka3.

### 3.1.10 Keskus ja kotelovalmistus

Piirikaaviosta generoitavissa oleva keskus layout kuva. Komponenttien sijoittelu ja tilantarpeen määrittely. Johtokourujen sijoitus ja mukautuminen johtomäärän mukaan. Keskusvalmistustyökalu, jossa kattava komponenttietokanta. Kattava dokumentaatio keskuksen valmistusta varten. Tehdyt muutokset päivittyvät piirikaaviosta keskuskuvaan ja päinvastoin. Luokka3.

### 3.1.11 Kuvien katselu ja punakynäys

Piirikaavioiden ja keskuskuvien katselu sekä kommenttien ja korjausehdotusten merkintä. Luokka2.

### 3.1.12 Käyttäjien koulutus

Kattava koulutuspaketti perus- ja jatkokoulutusta varten. Luokka2.

### 3.1.13 Tekninen tuki ja ohjemateriaalit

Tekninen tuki tai muu vertaisverkosto saavutettavissa työaikana. Ohjelmiston oma help- osio ja muut ohjemateriaalit kaikkien käytettävissä. Luokka2.

### 3.1.14 Käyttäjakohtaiset asetukset ja rajoitukset

Pääkäyttäjä- ja käyttäjäoikeudet erikseen. Luokka2.

### 3.1.15 Piirikaaviomakrot

Piirikaaviomakrojen tai vastaavien käyttö mahdollisuus. Yleisimmin käytetyistä laitteista, kytkennöistä ja piirikaavion osista luodaan valmiit mallit, joita käytetään projektista riippuen. Luokka3.

### 3.1.16 Piirikaavioiden generointi

Piirikaavioiden ja niiden osien automaattinen generointi scriptien tai tiedostojen avulla. Luokka3.

### 3.1.17 Lisenssityypit

Kelluvat lisenssit, joissa etäkäyttö mahdollisuus VPN yhteyden kautta. Luokka1.

### 3.1.18 Import/ Export siirtoformaatit

Mahdollisuus tuoda muilla ohjelmistoilla piirrettyjä kuvia. Luokka2.

Import/ Export Excel, CSV. Luokka2.

Import STEP, IGS/IGES. PADS piirilevysuunnittelu 2D/3D mallin hyödyntäminen. Luokka3.

### 3.1.19 Revision hallinta

Revision hallinta on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista. Projektin kaavioiden ja dokumentaation muutoksen hallinta pitää varmistaa, jotta tehdyt muutokset tulee tarkastettua ja dokumentoitua. Suunnitteluprojektin revisiotasojen lukitseminen oltava mahdollista.

## 3.2 Patrian ehdottama ratkaisu

Patrian ehdottama ratkaisu perustuu ohjelmiston dokumentaation tutkimiseen. Näitä ehdotuksia arvioidaan sovitun palaverin aikana tarkemmin ja täydennetään yhdessä valmistajan kanssa.



## Liite 2. Ohjelmistojen ominaisuuksien vertailutaulukot

Ohjelmisto ominaisuuksien vertailu PATRIA Airborne Systems				
Ominaisuus	Solidworks Electrical	Vertex ED 2016	EPLAN	Zuken E3
Lisensityypit	Multiuser/VPN	VPN	Multiuser/VPN/CTRIX	Multiuser/VPN/CTRIX
Hankintamalli	Kelluva lisenssi, Osto/vuokra	Subscription/Perpetual + Ylläpito/vuosi	Subscription/Perpetual + Ylläpito/vuosi	Subscription/Perpetual + Ylläpito/vuosi
Tekninen tuki/palvelut	Tekninen tuki, oma ohjeosio, tutorials	Ohjelmistopäivitys	Tekninen tuki/solution center/tutorials	Tekninen tuki/tutorials
Koulutuspaketti	Solidworks 2D/3D, Solidworks koulutussopimus	VertexED2020	Electric P8/ Pääkäyttäjä koulutus /Käyttäjän mukaan räätälöity	E3 cable/ käyttäjän mukaan räätälöity
Piirikaaviotyökalu	Electrical Schematic / Professional	VertexED	Electric P8	Cable/Schematic
Verkosto 2D	Electrical Schematic	EI	Harness ProD	Formboard
Verkosto 3D	Electrical Professional	EI	Harness ProD	Rajoitetut toiminnot
Keskus/kotelo valmistus	Electrical Schematic / Professional	EI	ProPanel	E3 Panel
Tietokanta	ECAD/MCAD yhteinen	Piirikaavio	Kaikkille soveltuksille yhteinen	Kaikkille soveltuksille yhteinen
Komponenttivalikoima	STD, käyttäjän luoma, Content Portal	STD/käyttäjän luoma	DataPortal/Electric P8 / ECAD PORT	ECAD PORT
ECAD/MCAD Integrointi	Sisäänrakennettu/ 3D Add-in	EI	3D mallien hallinta Harness ProD ohjelmistossa	Rajoitetut toiminnot
PDM (ATON) integrointi	Solidworks enterprise PDM integration-> ROIMA	EI	Integration suite	Lityntärajapinta
Oppilaitos yhteistyö/käyttö	Kyllä	Kyllä	Kyllä	
Lisenssinippu käytössä Patrialla	Kyllä(Systems Tampere)	Kyllä	EI	Kyllä (LAND)
Järjestelmäsuunnittelun hyödynnettävyys	Black box component / Line diagram	Excel/ CSV import	Preplanning	E3 Cable / E3 functional design
Revision hallinta	Piirikaavio revisionityökalu / ATON	Piirikaavio revisionityökalu	P8/Preplanning Revision-hallinta	E3 Revision management/PDM
Topologia suunnittelu	Black box component / Line diagram	EI	P8/ Preplanning	E3 Topology
Punakynäys/ Katselu	Piirikaaviotyökalu / PDF	EI	eView	E3 Viewer / Redliner
Käyttäjikohtaiset asetukset / rajoitukset	Piirikaaviotyökalu / User rights manager	Osittain rajoitettu	P8 / HarnessProD	Enterprise moduleissa
KOKONAISPISTEET	82	28	89	91

EPLAN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Piirikaavio toiminnot							Autom. työkennäily/ tunnukset, muokattavat tarkastustoiminnot, Projektien, versioiden ja käyttöolosuhteiden hallinta, Makrot, autom. generointi		
Johtoverkasto työkäsit 2D						ihdimenajokuvat, naukapylykuvat, osakuviakset, johdintaaja koodien ohjelmistodokumentit			
Johtoverkasto työkäsit 3D								3D MCAD työkäsit. Pituudet, kalvutasetukset, kylmäkaset, johtoverkasto, komponentit, dokumentaatio	
Reportit ja listatukset								Uni Code valmius, Multi language, PDF, Excel, CSV, BOM -> PDM Export	
3D toiminnot								Siirtäminen 3D työkäsit, STEP import, 3D->2D, MCAD-ECAD integraatio	
Keskus- ja kotelon valmistus toiminnot								Smart wiring, Data portal, 3D mallit, asennusohjeet, tallennus, pituus optimointi, tallennusohjeet	
Tietokanta sekä tietokantatyökäsit							EPLAN Platform yhteinen laiteille ohjelmisto, Data portal, 3D mallit, komponentit		
PCB/ ECAD integraatio			Excel, CSV import						
MCAD integraatio						Erillinen 3D johtoverkasto 3Dun 3D dataa, STEP JAG/AGES import			
CAM integraatio							3Dun/ NC työkäsit		
PDM integrointi							ERP/PDM integraatio sovellus		
Revisio hallinta							3D/Preplanning/ PrePanel Revisio- hallinta		
Punakynä							Punakynä eView kautta selailu / siirtäminen pöytäpalveluun		

Solidworks Electrical Schematic/ 3D / Professional									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Piirikaavio toiminnot							Blackbox/ME-komponentit / Älykäsit /tykannit /Design rule check-tarkastukset/ Makrot		
Johtoverkoston työkuvat 2D						Johtolinjarajaukset/ nauhapöytäkuvat			
Johtoverkoston työkuvat 3D							Rektyy,taivutus sille 3D mallista/ Levitykset / 3D johtolinjat		
Raportit ja listaukset							Piirikaavioista/ johtolinjatyökuvista generoidaan käytäisiin muokattavissa olevia PDF/Excel		
3D toiminnot							Sisään rakennetut työkuvat (Electrical 3D)		
Keskus- ja kotelo valmistus toiminnot							2D/3D komponentit sijaintit, johtolinjat, pintaudet/kourujen täyttökuvat		
Tietokanta sekä tietokantatyökuvat							Symbol/cable/Part manager, Content Portal		
FCI/ECAD Integrointi				ID/EMN tiedoston tuonti					
MCAD Integrointi							Solidworks->Catia/Inventor nativilitiedostot		
CAM Integrointi					Johtolinjat merkintä/ katkaisu koneille				
PDM Integrointi						PCIMA PDM Integrointi			
Revisioiden hallinta						Projekti revisioiden kuvanlappuna /PDM			
Pääkynälyys						Layer työkuvat, PDF kommentit			



ZUKEN E3									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Piirikaavio toiminnot									Block diagrams, Mi- standard, autom. lytkännöt/vastallitti- mät/liittimien liikkeit, shields/waltesd pair- cables
Johdotverkoston työkalut 2D									Johdinpöytä- pöytä, pöytä/pöytä- alustat, mittakaava, lytkäntäsuunnittelu, dyn- aaminen yhteys Cable, Harness analyysi
Johdotverkoston työkalut 3D						Suunnittelun Integrointi; Solidworks, Inventor, Catia, Harness analyysi			
Raportit ja liitteet								Liitteet / raportit joustavasti eri muodoissa ja formateissa	
3D toiminnot						Integraatio 3D realitysovelluksiin			
Keskus- ja kotelo- valmistus toiminnot							3D keskus/kotelo-lay- out suunnittelu, keskuksen, kotelon, moduulin, mallin lay out tieto STEP tiedoston avulla		
Tietokanta sekä tietokantatyökalut								Käyttäjän mukaan rakenne, Mi- standardit, Liite/ liittimet/johdot/ kaapeli tietokanta yhteisö	
PCB/ECAD integraatio								Interface data PCB/block import	
MCAD integraatio								3D routing bridge	
CAM integraatio								Tiedonsiirto johdot- teknologia- ja merkintätoiminnalle/ohut- teknologia CNC koneille (poraukset ja leikkaukset)	
PDM integraatio								Rakennehallinta, API rajapinta	
Revision hallinta								Revision management liikkeit	
Paralyytiikka								3D redline/ View	