

Esa-Pekka Äyväri

# Häiriöttömän sähkönsyöttöjärjestelmän kaapelointisuunnittelun kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

11.5.2015

Tekijä Otsikko	Esa-Pekka Äyväri Häiriöttömän sähkösyöttöjärjestelmän kaapelointisuunnitelun kehittäminen
Sivumäärä Aika	31 sivua 11.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Manufacturing Engineering Manager Virpi Kokkila Mechanical Engineering Manager Juha Manninen Lehtori Pekka Salonen
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Eaton Power Quality Oy:lle. Työn tarkoituksena oli kehittää häiriöttömien sähkösyöttölaitteiden kaapelointisuunnittelua hyödyntämällä PTC:n Creo Parametric CAD-ohjelmistoa ja erityisesti sen Cabling- sekä Harness Manufacturing -työkaluja. Työn ensisijainen tavoite oli selvittää, mitä hyötyjä on saatavissa, kun ohjelmiston kaapelointisuunnitteluun tarkoitettut Cabling- sekä Harness Manufacturing -osat otetaan käyttöön.</p> <p>Työ toteutettiin mallintamalla mainitulla ohjelmalla kaapelit kehitteillä olevan UPS-laitteen 3D-kokoonpanomalliin. Tekemällä kaapeleiden valmistamiseen vaadittavat dokumentit laitteen kokoonpanoon mallinnettujen kaapeleiden mukaisesti, vähenee tarve valmistaa itse erillistyönä prototyyppilaitteeseen tarvittavat kaapelit. Myös kaapeleiden asennusohjeet voidaan luoda ohjelmiston 3D-mallin avulla.</p> <p>Tietokoneavusteisesta suunnittelusta saatiin hyötyä johtojen mitoittamiseen. Creo Parametricin avulla mitoitettut johdot onnistuivat hyvin. Mallinnettaessa johtoja kokoonpanoon, on syytä miettiä mihin tarkoitukseen malli tulee. Asennusohjetta varten johtojen reititys on syytä mallintaa tarkasti. CAD-kuvien pohjalta on luotavissa asennusohjeita eri käyttötarkoituksiin kuten esimerkiksi tuotteiden käyttöohjeisiin, tuotteeseen liimattaviin ohjeistaviin tarroihin sekä tuotantolinjalle kokoonpano-ohjeisiin.</p>	
Avainsanat	kaapelointi, UPS, PTC Creo

Author(s) Title Number of Pages Date	Esa-Pekka Äyväri Development of Cabling Design of an Uninterruptible Power Supply 31 pages 11 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Product Design
Instructor(s)	Virpi Kokkila, Manufacturing Engineering Manager Juha Manninen, Mechanical Engineering Manager Pekka Salonen, Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Eaton Power Quality Oy. The purpose of the thesis was to study how to develop the cabling design of the uninterruptible power supply systems utilizing PTC's Creo Parametric CAD software and its joint Cabling and Harness Manufacturing tools. The primary objective was to find out what benefits are available when Cabling and Harness Manufacturing parts of the software will be introduced.</p> <p>The work was carried out by creating the cabling model and then combining it with the model of the mechanical design. As a result, a compatible software-based assembly model of the cabling and electromechanical parts was created. It was discovered that by creating the cabling documents concurrently with the software-based mechanical design, the product development process can be shortened and streamlined. This can be achieved by eliminating the need to manufacture the cables and cabling for the prototype devices as a separate and sequential product development task.</p> <p>Computer-aided design proved to be useful for designing the cabling solution, particularly for the accurate dimensioning of the wires. However, there is the need to carefully consider the purpose for which the modeling tool will be used. Installation instructions for wire routing have to be modeled carefully and accurately due to its three dimensional nature. On the basis of CAD images installation instructions can be created for different purposes such as operating instructions for users, label based guidelines as well as assembly instructions for the production line.</p>	
Keywords	Cable harness design, UPS, PTC Creo

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	UPS-laitteet	2
3	UPS-laitteen kaapeloinnissa huomioitavat seikat	5
3.1	Lähtökohtana toiminnallisuus ja turvallisuus	5
3.2	Jännitteeseen ja virtaan liittyvät tekijät	5
3.3	Korkea lämpötila	6
3.4	Sähkömagneettinen yhteensopivuus	6
3.5	Asennettavuus ja huollettavuus	7
4	Tietokoneavusteinen suunnittelu	9
4.1	3D-mallintaminen	9
4.2	Creo Parametric	9
4.2.1	Osamallinnus	9
4.2.2	Kokoonpanomallinnus	10
4.2.3	Kaapeloinnin suunnittelu	12
5	Suunnitteluprosessin kehittäminen	14
5.1	Nykyinen tilanne	14
5.1.1	PDM-järjestelmä	16
5.1.2	Kaapelidokumentti	16
5.2	Kaapeloinnin suunnittelun kehittämistarpeet ja keinot	18
5.2.1	Creo Parametric Cabling -työkalun käyttöönotto	18
5.2.2	Prosessin parantaminen	18
5.2.3	Asennusohjeet tuotantolinjoille	19
5.2.4	Dokumentoinnin kehittäminen	20
5.2.5	Osaluettelot PDM:ään	20
6	UPS-laitteen kaapelointisuunnittelun toteuttaminen	21
7	Yhteenveto	29
	Lähteet	31

## Lyhenteet

2D	<i>Two Dimensional.</i> Kaksiulotteinen.
3D	<i>Three Dimensional.</i> Kolmiulotteinen.
BOM	<i>Bill of Material.</i> Osaluettelo.
CAD	<i>Computer-aided Design.</i> Tietokoneavusteinen suunnittelu.
ECO	<i>Engineering Change Order.</i> Muutostöiden hallintamenettely.
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility.</i> Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
HMX	<i>Harness Manufacturing Extension.</i>
kVA	Kilovolttiampeeri.
PDM	<i>Product Data Management.</i> Tuotetiedon hallinta.
PVC	<i>Polyvinyl chloride.</i> Polyvinyylikloridi
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply.</i> Häiriötön sähkönsyöttöjärjestelmä.

## 1 Johdanto

Tämä insinööritoiminta on tehty Eaton Power Quality Oy:lle, joka kuuluu kansainväliseen monialakonserniin Eatoniin. Suomessa Espoon tehtaalla Eaton valmistaa ja suunnittelee 8-1200 kVA:n tehoisia UPS-laitteita (Uninterruptible Power Supply), eli häiriöttömiä sähkönsyöttöjärjestelmiä.

Työn tarkoituksena on kehittää UPS-laitteiden kaapelointisuunnittelua hyödyntämällä PTC:n Creo Parametric CAD-ohjelmistoa. Ohjelmisto on aiemmin otettu käyttöön UPS-laitteiden mekaniikkasuunnittelussa, mutta ei kaapeloinnin suunnittelussa. Työn tavoitteena on selvittää, mitä hyötyjä on saatavissa, kun ohjelmiston kaapelointisuunnitteluun tarkoitettut Cabling- sekä Harness Manufacturing -osat otetaan käyttöön. Perinteisesti kaapelointiratkaisu on tehty käsityönä, prosessin viimeisenä vaiheena ja erillistoimenpiteenä mekaniikkaosat sisältävään prototyyppilaitteeseen.

Mikäli johtimien valmistamiseen vaadittavat dokumentit kyetään tekemään samanaikaisesti kokoonpanomallinnuksen kanssa, voidaan laitteen mekaniikkaosat ja kaapeloinnin johdinsarjat tilata samanaikaisesti alihankkijoilta. Samalla poistuu tarve valmistaa prototyyppilaitteen johtimet itse. Myös johtimien asennusohjeet voidaan luoda 3D-mallin avulla. Kaapeloinnin suunnittelun ja mekaniikkasuunnittelun samanaikaisuudesta seuraavia hyötyjä ovat tuotekehityksen lyhentymisen ja kustannussäästöjen joidenkin työvaiheiden jäädessä pois.

Työn toteutustapana on tuottaa Creon Cabling- sekä Harness Manufacturing -ohjelmistolla kaapelointiratkaisu Eatonin Espoon tehtaalla kehitteillä olevan UPS-laitteen 3D-kokoonpanomalliin siten, että kaapeloinnin suunnittelu tehdään samanaikaisesti mekaniikkasuunnittelun kanssa. Mallinnusta tehtäessä arvioidaan toimintamallin tarkoituksenmukaisuutta, ohjelmiston käyttökelpoisuutta ja saatavia hyötyjä todellisessa suunnittelutilanteessa.

## 2 UPS-laitteet

UPS on laite tai järjestelmä, jonka tarkoitus on varmistaa tasainen sähkönsyöttö halutulle kuormalle. Yleensä kuormana käytetään IT-laitteita sekä muita kriittisiä sähkölaitteita, jotka halutaan suojata sähkönsyöttöön liittyviltä ongelmilta. Tyypillinen häiriö sähkönsyötössä on sähkökatkos. UPSin avulla pystytään esimerkiksi sähkökatkoksen sattuessa hallitusti sammuttamaan IT-laitteet. Sähkökatkoksen aiheuttaman äkkinäisen alaspäin seurauksena laitteiden tiedot voivat turmeltua tai jopa hävitä kokonaan [1, s. 8]. Monesti UPS suojaa kuorman täysin vain lyhytkestoisen sähkökatkoksen aikana, eli UPS ei ole varavirtajärjestelmä pitkäaikaisen sähkökatkoksen varalle. UPS-laite sisältää energiavaraston, josta syötetään energiaa kun sähkönsyöttö katkeaa tai se ei ole riittävän laadukasta. Energiavarastona käytetään useimmiten akkuja. UPS-laitteita voidaan käyttää myös yhdessä generaattoreiden kanssa. Tällöin UPS syöttää virtaa kuormalle vain sen aikaa kunnes varavirtageneraattorit ehtivät käynnistyä. Erillisellä generaattorilla syötetään kuormalle virtaa pidempien sähkökatkojen aikana.

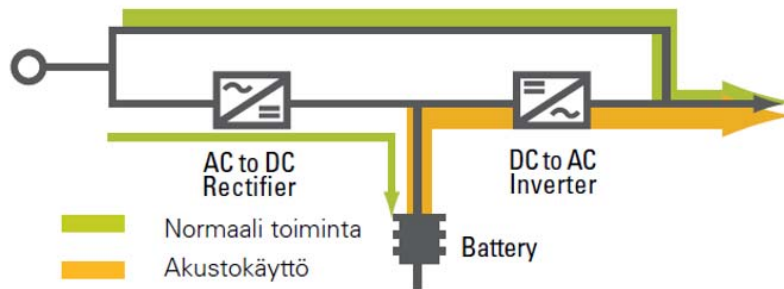
Sähköverkon häiriöitä ovat sähkökatko, ali- ja ylijännite, suurtaajuiset häiriöt, taajuusvaihtelu, kytkentätransientit sekä harmoninen särö [1, s. 9]. Häiriöitä aiheuttavat tyypillisesti luonnonilmiöt sekä samassa sähköverkossa olevat muut laitteet.

Markkinoilla on laaja valikoima eri toimintaperiaatteilla toimivia ja eri tehoisia UPS-laitteita. Vähemmän kriittisissä kohteissa, kuten kotikäytössä tietokoneen suojaamiseen riittävät tavallisesti halvimmat ja pienitehoisemmat UPS-laitteet.

Suurempitehoisia järjestelmiä käytetään esimerkiksi isojen konesalien sähkönsyötön varmistamiseen. On myös yleistä käyttää kahdennettua UPS-järjestelmää luotettavuuden lisäämiseksi.

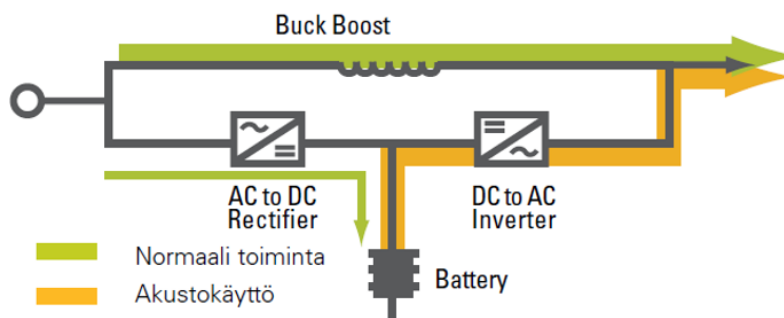
UPS-laitteet voidaan jakaa niiden toimintatavan eli topologian mukaan kolmeen päätyyppiin. Kolme päätyyppiä ovat Off-line UPS, Line-Interactive UPS sekä On-line UPS. Eri topologiat soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Toimintatavan valintaan vaikuttavat esimerkiksi kuinka hyvä luotettavuus vaaditaan sekä laitteiston tyyppi ja ympäristö. Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti kolmen yleisimmän UPS-topologian toimintaperiaatteet.

Off-line UPS (kuva 1) soveltuu hyvin koti- ja toimistokäyttöön suojaamaan tietokoneita lyhytkestoisilta sähkökatkoksilta sekä yli- ja alijännitteeltä. Normaalitilanteessa UPS syöttää virtaa suojattavalle laitteelle suoraan sähköverkosta. Sähkökatkon tai jännitevaihtelun aikana virtaa syötetään UPSin akustolta vaihtosuuntaajan kautta suojattavalle laitteelle. [1, s. 10.]



Kuva 1. Off-line UPS

Line-interactive UPS (kuva 2) soveltuu suojaamaan yritysten IT-järjestelmiä sähkökatkojen lisäksi pitkäkestoiselta yli- ja alijännitteeltä. UPSissa oleva mikroprosessori seuraa jännitteen laatua ja tarvittaessa reagoi jännitevaihteluihin. Jännitteentasauspiirin avulla pidetään jännite tasaisena nostamalla tai laskemalla jännitettä verkon jännitevaihteluiden mukaisesti. Tämän toimintaperiaatteen etuna on, ettei akustoa välttämättä tarvita suojaamaan yli- ja alijännitteeltä. [1, s. 10.]

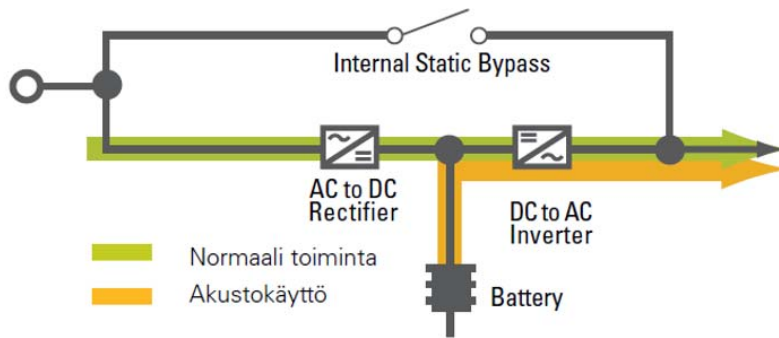


Kuva 2. Line-interactive UPS

On-line UPSin (kuva 3) toiminta perustuu kaksoismuunnostopologiaan. Kyseisessä toimintaperiaatteessa kuormalle syötettävä jännite on tehty kokonaan uudestaan. UPSiin syötettävä vaihtojännite muunnetaan tasasuuntaajassa tasajännitteeksi. Sen rinnalle on kytketty akusto, josta sähkökatkoksen sattuessa syötetään tasajännitettä. Tasajännite muunnetaan vaihtosuuntaajalla vaihtojännitteeksi. Tämä toimintatapa tarjoaa parhaan



suojan yleisempiä sähköhäiriöitä vastaan sekä varmistaa suojattavalle kuormalle tulevan virransyötön tasaisen laadun. Kuormalle syötettävä jännite ei ole riippuvainen UPSin sisäntulojännitteestä. Tämän tyyppinen UPS soveltuu kaikkien kriittisten kohteiden sähkösyötön varmistamiseen. [1, s. 10.]



Kuva 3. On-line UPS

Kuvassa 4 on Eaton 93PM UPS. Kuvan laite on Suomessa valmistettu On-line topologiaan perustuva malli. Kyseinen laite on teholtaan 30 - 200 kW ja fyysisiltä mitoiltaan 760 x 1100 x 2060 mm. [2.]



Kuva 4. Eaton 93PM [2]

### 3 UPS-laitteen kaapeloinnissa huomioitavat seikat

UPS-laite on tuotteena monimuotoinen kokonaisuus, koostuen useista yksittäisistä komponenteista kuten esimerkiksi vaihto- ja tasasuuntaajasta, akustosta sekä erilaisista kytkimistä. Tyypillisesti eri komponentit sijaitsevat eri piirilevyillä ja eri kokoonpanoissa. Nämä voidaan yhdistää kaapeleilla tai johdoilla toimivaksi kokonaisuudeksi. UPS-laite sisältääkin useampaa erilaista johdintyyppiä kuten virtajohtimia ja -kiskoja sekä signaalijohtimia. Tyypillisesti UPS-laitteissa käytetyt johdot ja kaapelit ovat materiaaliltaan monisäikeistä kuparia, kun taas suuremmat virtakiskot ovat pääsääntöisesti alumiinia. Kaapelointisuunnittelu on tyypillisesti ollut tuotekehitysprosessin viimeinen vaihe. Tässä kappaleessa kerrotaan lyhyesti keskeisistä UPS-laitteiden kaapelointisuunnittelussa huomioitavista asioista.

#### 3.1 Lähtökohtana toiminnallisuus ja turvallisuus

UPS-laitteen kaapelointisuunnittelussa lähtökohtana on tuotteen toiminnallisuuden lisäksi tuotteen turvallisuus. Laite ei koskaan saa olla käyttäjälle vaarallinen oikein käytettynä olosuhteissa, joille laitteen oletetaan altistuvan käyttöikänsä aikana. Pääasiassa tämä tarkoittaa johtimien mitoittamista, niiden turvallista reititystä sekä materiaalien valintaa komponenteille. Huomioitavia seikkoja ovat myös johtimien lämpeneminen sekä mekaaninen kestävyys. [3.]

#### 3.2 Jännitteeseen ja virtaan liittyvät tekijät

Johtimen poikkipinta-alan mitoitus tulee tehdä aina suurimman mahdollisen virran mukaisesti, mikä kyseisessä johtimessa voi kulkea. Jos virta on kovin suuri, voidaan käyttää useita johtimia, tai mahdollisesti korvata johtimet virtakiskoilla. Johdineristeen jännitteenkesto sekä eristelujuus määräytyvät yleensä piirissä käytetyn jännitteen mukaan. Tyypillisesti johtimen jännitteen kesto on 600 V. Käyttäjän kosketeltavissa olevat johdot ovat matalajännitteisiä, eli kuuluvat SELV (Safety Extra Low Voltage) -piiriin. Kyseiset piirit ovat aina kaksoiseristettyjä vaarallisista jännitteistä. [3.]

### 3.3 Korkea lämpötila

UPS-laitteessa useat komponentit kuumenevat käytössä huomattavan paljon. Tyypillisesti kuumenevia komponentteja ovat tehopuolijohteet sekä magneettiset komponentit. Näihin komponentteihin kytketyt, tai niiden läheltä reititetyt johtimet lämpenevät huomattavasti. Tämä asettaa vaatimuksia johtimille sekä liittimille, jotka kytketään kyseisiin osiin. Lisäksi johtimen aiheuttama tehohäviö lämmittää johdinta sisältäpäin. Johtimen lämpeneminen on ongelma pääasiassa johdoissa, joissa kulkee suuri virta. [3.]

Johtimen eristeen lämpötila ei saa ylittää valmistajan ilmoittamaa maksimikäyttölämpötilaa. Pääsääntöisesti Eatonilla käytettävien johtimien ja kaapeleiden suurin sallittu käyttölämpötila on vähintään 90 °C. Johtimen eristeen materiaalilla on suuri merkitys maksimilämpötilankestoon. Tyypillisesti kaapeleissa ja johtimissa käytettävän eristeen materiaali on PVC-muovi.

Etenkin tehonsiirtokaapeleissa käytettävissä komponenteissa, kuten liittimien suojakotelot, pyritään käyttämään komponentteja, joilla on kolmannen osapuolen hyväksyntä, sekä huomioidaan paloluokitukset. Tyypillisesti liittimissä käytetään vähintään UL94 V-2 -luokituksen täyttäviä komponentteja. Kaikille tuotteille tehdään kuormitustesti, jolla varmistetaan, etteivät osat lämpene yli sallittujen rajojen. [3.]

### 3.4 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Sähkölaitteen kaapelointisuunnittelussa on otettava huomioon sähkömagneettinen yhteensopivuus. Sähkölaitte ei saa lähettää ympärilleen kohtuuttomasti häiriöitä, ja vastaavasti sen tulee sietää muualta tulevia häiriöitä riittävästi. Tämä koskee luonnollisesti myös laitteen sisällä olevien osien välistä vuorovaikutusta. [4.]

UPS-laitteissa käytetään hakkuriteholähteitä, jotka aiheuttavat häiriöitä sekä teho- että signaalikaapeleihin. Lisäksi tehonsiirtokaapelissa kulkeva suuri virta aiheuttaa herkästi sähkömagneettisia häiriöitä, ja vastaavasti pienjännitteiset signaalikaapelit ottavat häiriöitä vastaan herkästi. Kaapelointisuunnittelussa pyritään eliminoimaan eri osien toisiinsa aiheuttama vaikutus. Tämä huomioidaan johtimien reitityksen suunnittelussa sijoitta-

malla teho- ja signaalikaapelit mahdollisimman kauas toisistaan. Lisäksi johtimien reitityksessä tulee välttää johtimiin muodostuvia silmukoita, tai ainakin pitää ne mahdollisimman pieninä, jolloin sähkömagneettiset häiriöt ovat mahdollisimman pienet. [3.]

Monesti signaalikaapelit onkin kierretty toistensa ympärille. Kierretty kaapeli sisältää vähintään kaksi johdinta, jotka on kierretty toistensa ympärille (kuva 5). Kierretyn kaapelin käyttäminen vähentää sähkömagneettisten häiriöiden kytkeytymistä kaapeliin. Magneettikentän indusoimat virrat ovat toisiinsa nähden vastakkaisissa silmukoissa vastakkaisessa vaiheessa, joten ne kumoavat toisensa. Lisäksi joissain kohteissa käytetään sähkömagneettisilta häiriöiltä suojattuja kaapeleita. [5.]



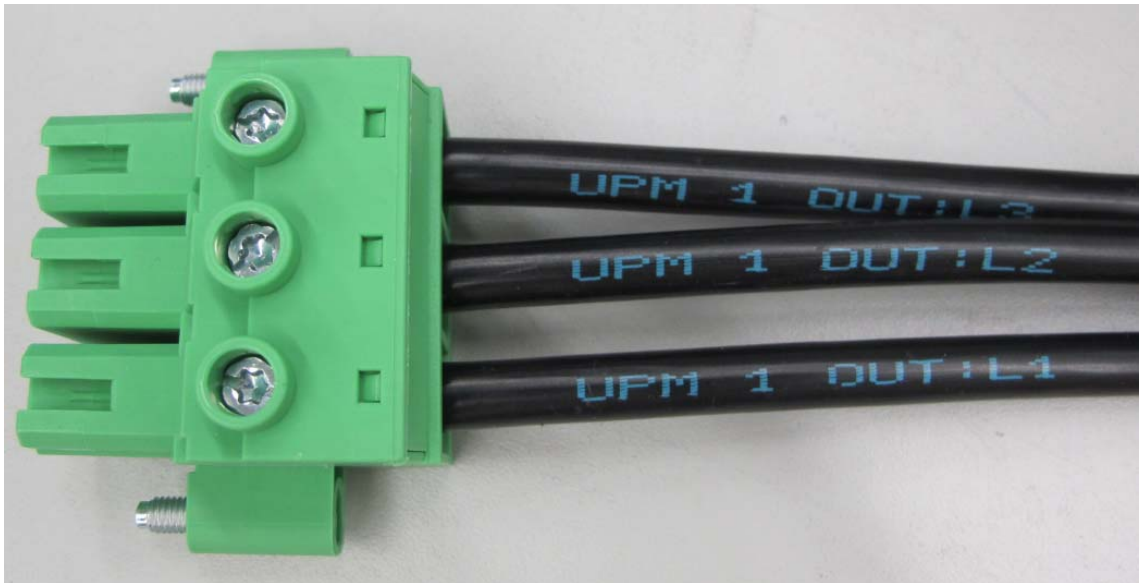
Kuva 5. Kierretystä kaapelista valmistettu johdinsarja

### 3.5 Asennettavuus ja huollettavuus

Kaapelointisuunnittelussa huomioidaan myös johtimien asennettavuuteen sekä huollettavuuteen liittyviä seikkoja. Mitä suurempi virta johdossa kulkee, sitä suurempi poikkipinta-ala johdolla tulee olla. Kovin paksun johdon asentaminen laitteeseen voi olla hankalaa, sillä sen taivutussäde on myös suurempi. Tämä voidaan optimoida kytkemällä useampi johto haluttujen pisteiden välille.

Johtimiin voidaan lisätä värikoodauksia sekä merkintöjä, jotka opastavat johtimen asentamista oikeaan pisteeseen. Mahdollisia virheellisiä kytkentöjä estetään valitsemalla johtimiin ja johdinsarjoihin liittimet, joita ei ole mahdollista kytkeä väärin. Tällaiset liittimet ovat tyypillisesti käytössä signaalikaapeleissa sekä akustojen kaapeleissa. Liittimeen tarvittaessa lisätty teksti ohjeistaa, mihin liitin kytketään. Liittimen vastakappaleessa on

myös vastaava teksti. Kuvassa 6 virtajohton päässä on liitin, jota ei voi kytkeä väärin, lisäksi johdoissa on ohjeistavat merkinnät.



Kuva 6. Virtajohto

Mitoitettaessa pituutta kaapeleille ja johdoille, niille tulee varata riittävästi mitta, jotta liittimiin ei tule vetoa. Johdinten pituuden mitoittamisessa oleellinen asia on myös johdinten sidontapisteiden sijainti. Tyypillisesti johdot sidotaan kiinni laitteen rakenteeseen tai muuhun kiinteään kappaleeseen johdinsideankkureilla sekä johdinsiteillä. Johdojen sitominen on tarpeellista, sillä johtojen liike saattaa aiheuttaa eristeen vaurioitumista johdoissa. Lisäksi johdinsideankkurit voivat toimivat myös vedonpoistona, ja ne myös helpottavat johtimien asennusta. Tyypillisesti johdinsideankkuri asennetaan painamalla se kierteettömään reikään, jolloin se lukittuu paikoilleen. Liimakiinnitteisten johdinsideankkurien käyttöä pyritään välttämään, koska ne voivat irrota ikääntyessään.

Johtojen sitomisella varmistetaan myös, etteivät johdot ole kontaktissa teräviin reunoihin. Ohutlevymetalliosien teräviin reunoihin kiinnitetään tarvittaessa reunalistaa. Lämpöeristettä tai reunalistoja käytetään aina, kun johdot reititetään metallilevyn läpi.

## 4 Tietokoneavusteinen suunnittelu

### 4.1 3D-mallintaminen

3D-mallintaminen osana tuotesuunnittelua on viime vuosina kasvattanut merkittävästi osuuttaan tuotekehitysprosessissa. Siirtyminen täysipainoiseen 3D-mallintamiseen säästää huomattavia kustannuksia suunniteltaessa uusia tuotteita sekä valmistettaessa prototyyppilaitteita. 3D-mallinnusta hyödynnetään monipuolisesti tuotekuvien tekemiseen. Erityisen suurta hyötyä saadaan, kun sitä käytetään osien yhteensovittamiseen ja rakenteen toiminnan varmistamiseen. [6, s. 13.]

3D-mallintaminen tarkoittaa tuotteiden suunnittelua tietokoneohjelmalla kolmeulotteisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki kappaleet ja kokoonpanot näyttävät samalta kuin todellisuudessa. Jokaiselle kappaleelle on myös mahdollista määrittää kaikki fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet, jotka valmistettavalla tuotteella todellisuudessa on. [6, s. 17.]

Monesti 3D-mallit tehdään, jotta saadaan valmistettua 2D-piirustukset. Pääsääntöisesti tietoa välitetään eteenpäin juuri piirustusten avulla. Osien valmistus tapahtuu nykyään usein 3D-mallin pohjalta. Kun kappale on mallinnettu, generoidaan 3D-mallin pohjalta 2D-piirustus. Piirustukset toimivat ohjeina, joiden tulee sisältää tarvittava tieto osien ja kokoonpanojen valmistamiseksi. [6, s. 31.]

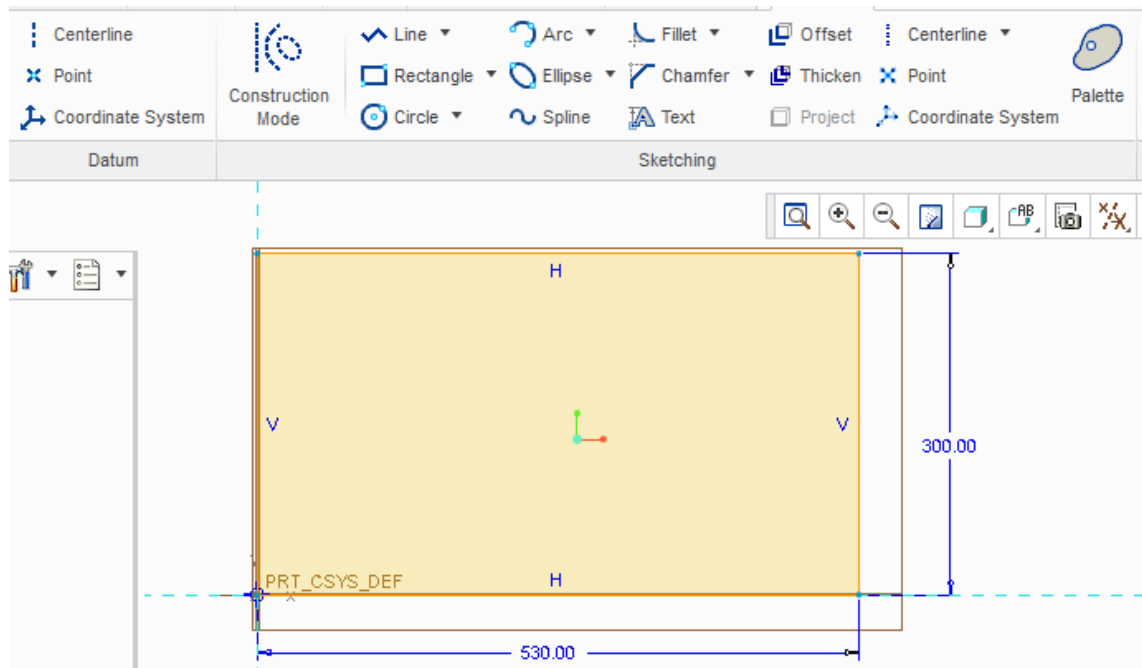
### 4.2 Creo Parametric

Creo Parametric, aiemmin Pro/ENGINEER, on amerikkalaisen PTC:n (Parametric Technology Corporation) kehittämä CAD-ohjelma. Creo keskittyy pääasiassa insinöörin näkökulmaan koneenrakennuksen tuotesuunnittelussa sekä tuotteiden valmistamisessa käyttäen erilaisia suunnittelun työkaluja. Tässä luvussa esitellään Creo Parametric -ohjelman työkalut, joita käytettiin tässä työssä. Eatonilla on käytössä Creon 2.0 -versio.

#### 4.2.1 Osamallinnus

Parametrinen mallinnus alkaa hahmottelemalla mallinnusohjelmaan kappaleesta karkea luonnos. Luonnostelu tapahtuu 2D-tasossa sketcher-tilassa, ja se perustuu valmiiden

muotojen käyttöön (kuva 7). Pohjana luonnokselle toimii usein jokin valmis umpinainen muoto, kuten esimerkiksi kartio, ympyrä tai nelikulmio, jota muokataan myöhemmin halutulla tavalla. Yksinkertaisimmillaan luonnos voi olla pelkkä viiva tasossa, tai se voi olla hyvin tarkka profiili kappaleesta. Sketcherissä tehdyn luonnoksen mitoittamisen tarkkuus ei ole aluksi oleellista, sillä kaikkia mittoja on mahdollista muokata jälkeenpäin. [6, s. 61 - 69.]



Kuva 7. Creo Sketcher -tilassa

Luonnoksesta voidaan tehdä 3D-malli esimerkiksi pursottamalla tai pyöryttämällä se halutun akselin ympäri. 3D-mallin yleisiä muokkaustapoja ovat pursotus ja leikkaus, joilla kappaletta muokataan lisäämällä tai poistamalla siitä materiaalia.

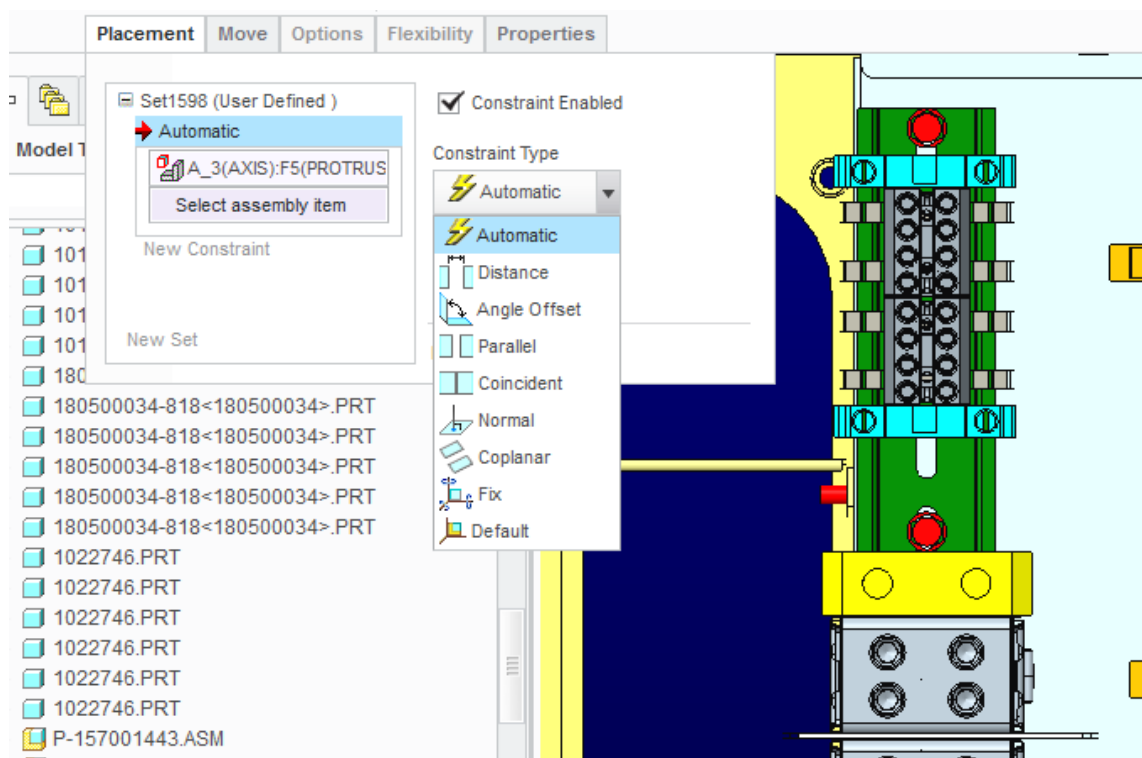
Yhdestä osasta tehdyllä mallilla on yleensä kaksi pääkäyttötarkoitusta: tilanvaraus kokoonpanossa sekä käyttö tuotantomateriaalin luomiseen [6, s. 81].

#### 4.2.2 Kokoonpanomallinnus

Kaikki tuotteet, joihin sisältyy enemmän kuin yksi osa, ovat kokoonpanoja. Kokoonpanomallin sisältämät osat on tavallisesti luotu erikseen, mutta osia voidaan myös luoda kokoonpanon yhteydessä. Kokoonpanomalli muodostuu tuomalla siihen yksittäisiä osia,

joiden välille asetetaan erilaisia rajoitustyyppiejä (Constraint Type). Rajoituksilla tarkoitetaan kokoonpanomallissa määrittelyitä, joilla yksittäisten osien asema määritetään kokoonpanossa tarkasti. [6, s. 98.]

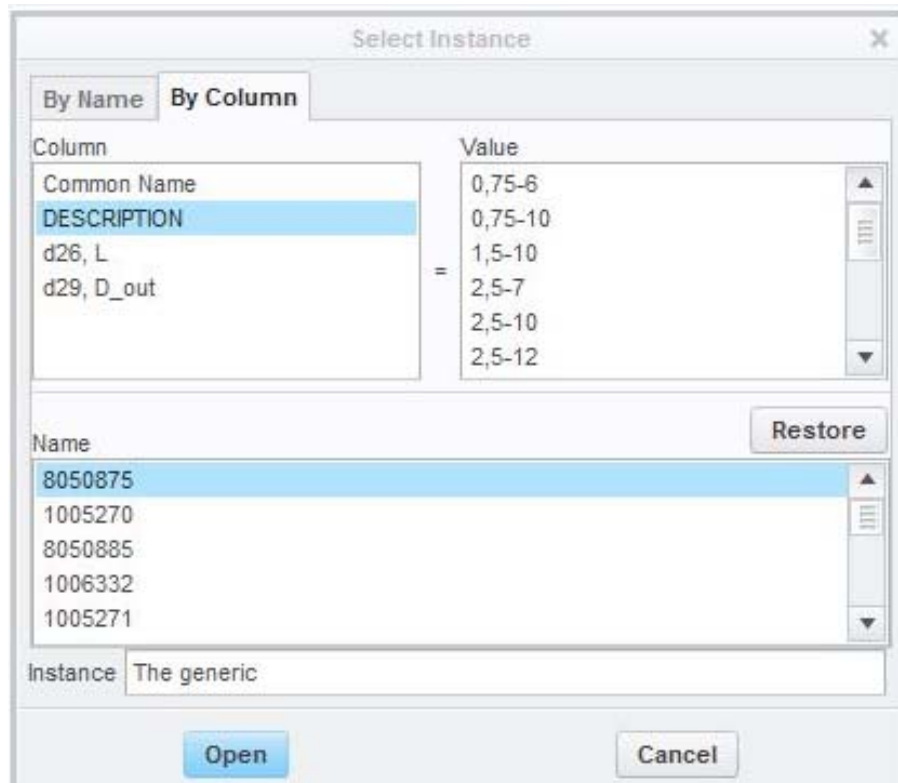
Rajoituksilla sidotaan osien vapausasteita, eli rajoitukset ovat jäykkiä. Esimerkiksi Distance -rajoituksella voidaan määrittää tietty etäisyys kahden pinnan välille. Tällöin kyseinen osa voi liikkua miten tahansa muiden vapausasteiden suhteen, mutta aiemmin valittujen pintojen etäisyys säilyy muuttumattomana. Yleensä osille määritetään niin monta rajoitusta, ettei osa pääse liikkumaan kokoonpanomallissa. Luonnollisesti malleissa, joissa pitääkin olla liikkuvia osia, asetetaan rajoitukset siten, että osat liikkuvat vain halutulla tavalla. (Kuva 8.)



Kuva 8. Assembly design

Creo Parametric -ohjelmaan voidaan luoda osista kirjastoja, joiden avulla oikean komponentin valitseminen kokoonpanoon on yksinkertaisempaa. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää myös kaapeleita suunniteltaessa. Kuvassa 9 kuvataan johdon pääteholkin valintaa.



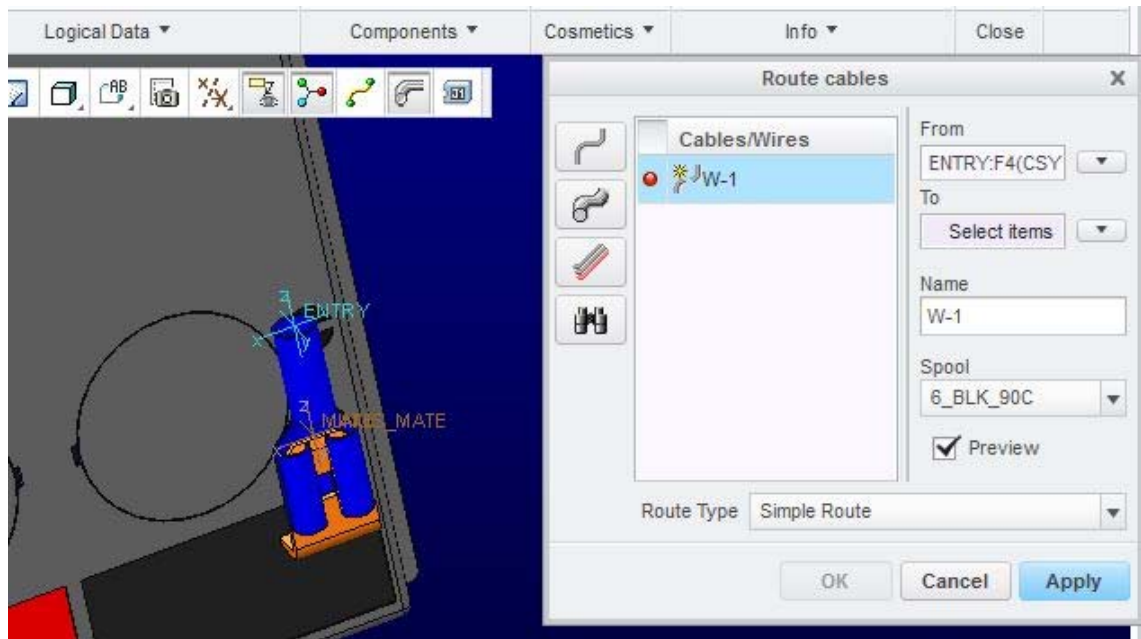


Kuva 9. Kirjasto

#### 4.2.3 Kaapeloinnin suunnittelu

Creo Parametricin Cabling työkalulla voidaan luoda kaapeleita ja johdinsarjoja kokoonpanomalliin. Kokoonpanomalliin tulee sisältää liitinosia (Connector Part), joiden välille johdot mallinnetaan. Luotaessa johtoja, jokaiselle johdolle määritetään kaksi pistettä, joiden välille johto tulee, lisäksi määritetään johtimen tyyppi. Cabling -työkalussa on käytössä erilaisia "kaapelikeloja" (Spools) erilaisia johtimia varten. Kaapelikeloihin johtimille voidaan määrittää erilaisia parametreja, kuten esimerkiksi johtimen halkaisija sekä pienin sallittu taivutussäde. Kaapelikeloista voidaan luoda valmiiksi kirjasto erilaisia johtoja varten.

Kuvassa 10 havainnollistetaan johdon päätepisteiden määrittämistä. From- ja To- sarakkeisiin valitaan johdon alku- ja päätepisteet, Spool- valikosta löytyvät aiemmin määritellyt johtimet.



Kuva 10. Cabling- työkalu

Kun johdon päätepisteet on määritetty, Creo tekee niiden välille johdon, jonka reititys ei läheskään aina vastaa johdon haluttua reititystä. Johdon reitin muokkaamiseen on tarjolla useita eri vaihtoehtoja. Add location -työkalun avulla johdoille voidaan määrittää pisteitä, joiden kautta johdot kulkevat. Reitityspisteitä voidaan asettaa esimerkiksi osien pintoihin, aputasoihin (Datum Plane) tai niitä varten malliin voidaan luoda viivasketsi.

3D-mallissa olevat johdot eivät ole jäykkiä kappaleita, vaan niiden mitat ja muodot muuttuvat samalla, kun niiden kiinnityspisteiden sijaintia muutetaan. Tämä on hyvin suuri etu, silloin kun tuotteeseen tehdään muutoksia, joissa liittimien paikat vaihtuvat. Esimerkiksi muutettaessa riviliittimen sijaintia, siihen liitettyjen johtojen mitat muuttuvat samalla. Johdon mitan muuttaminen aiheuttaa aina kaapelidokumentin sekä osaluettelon päivittämisen.

**Creo Parametricin HMX on työkalu**, jolla tehdään kaapelin valmistamista varten kaapelidokumentti. HMX muuttaa 3D-mallissa olevan kaapelin 2D-muotoon, tehden siitä samalla tasopiirustuksen. 2D-muodossa olevaa kaapelipiirustusta voidaan muokata, ilman että muutokset tulevat 3D-malliin. HMX:llä tehty kaapelidokumentti sisältää kaikki kaapeliin liitetyt osat kuten johdot ja kaapelit, liittimet sekä liittimien kotelot tai suojuksset. [8.]

## 5 Suunnitteluprosessin kehittäminen

Suunnitteluprosessin kehittämismenetelmänä toimi kehitysvaiheessa olevaan UPS-laitteeseen tehtävä kaapelointisuunnittelu. Kehittämistoimi oli varsin ajankohtainen, koska markkinoille oli tulossa kaksi uutta teholuokiltaan 20 kVA:n ja 40 kVA:n olevaa UPS-laitetta. Lisäksi kummallekin UPSille oli tekeillä akkukaapit.

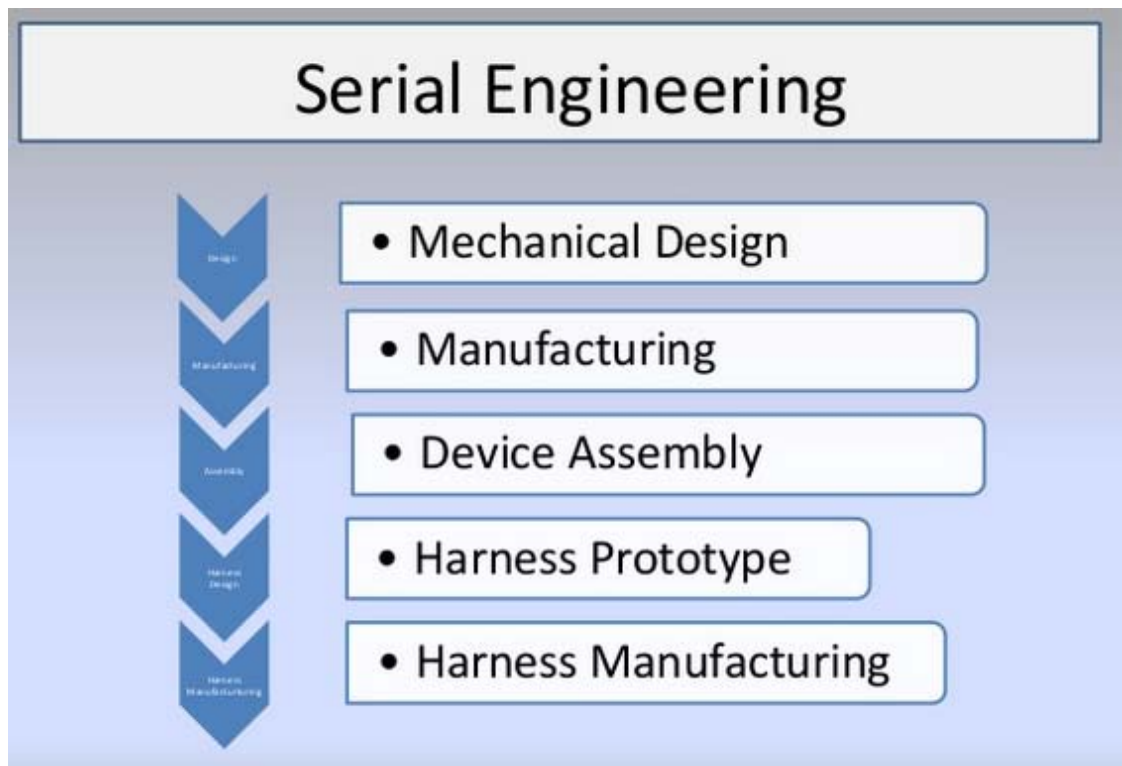
Tietokoneavusteinen kaapelointisuunnittelu toteutettiin UPS-laitteiden akustojen sisäiseen kaapelointiin sekä akuston ja UPS-laitteen elektroniikkamodulin välisille kaapeleille. Tämä on varsin hyvä kohde kokeilla tietokoneavusteista kaapeloinnin suunnittelua. Nämä tuotteet sisältävät erilaisia johtoja, sekä virta- että signaalijohtoja. Kovin monimutkaisia johdinsarjoja tässä työssä ei ollut.

Kaapelointisuunnittelun alkaessa tuotteen mekaniikka oli jo pääpiirteittäin valmis, eli siitä oli tehty 3D-malli, johon sisältyi myös sähkömekaaniset komponentit. Kuitenkin mekaniikkasuunnittelua ja kaapelointisuunnittelua tehtiin samanaikaisesti. Johtojen pituuksien mitoittaminen tapahtui sekä Creon Cabling -työkalulla että itse valmistettujen prototyyppi-johtojen avulla.

### 5.1 Nykyinen tilanne

Nykyinen tuotesuunnitteluprosessi sisältää useita vaiheita ennen kaapelointisuunnittelua. Ensin määritetään laitteen sähkömekaaniset komponentit sekä niiden sijainti. Tämän pohjalta suunnitellaan laitteen mekaniikka. Mekaniikkasuunnittelussa huomioidaan myös laitteen kaapelointi varaamalla johtimille riittävästi tilaa sekä tarvittaessa paikat johdinsideankkureille ja läpivienneille johtimien reitittämiseksi.

Mekaniikkaosista tilataan alihankkijalta prototyyppiversiot, joista kokoonpannaan ensimmäinen prototyyppilaitte. Johtimet valmistetaan prototyyppilaitteeseen itse käsityönä ja samalla suunnitellaan johtimien lopullinen reititys. Lopulta prototyyppilaitteeseen valmistettujen kaapeleiden pohjalta tehdään kaapelidokumentit, joiden mukaisesti alihankkija valmistaa kaapelit. Tätä tuotesuunnitteluprosessia voidaan kuvata nimellä sarjasuunnittelu (Serial Engineering), jota havainnollistetaan kuvassa 11.



Kuva 11. Serial Engineering [9]

Tyypillisesti tuotteen ollessa prototyyppivaiheessa sen sähköisiin komponentteihin sekä mekaniikkaan saattaa tulla pieniä muutoksia, joilla on vaikutusta kaapelointiin. Tarvittaessa päivitetystä mekaniikasta tilataan uudet versiot seuraavaa prototyyppiä varten. Toinen prototyyppilaitte koostuu päivitetystä mekaniikkaosista sekä alihankkijan valmistamista johtimista. Tässä vaiheessa tuotteen pitäisi olla jo melko valmis ajatellen sen siirtämistä sarjatuotantoon.

Monesti prototyyppivaiheessa johtimien pituudet ovat hieman ylimitoitettuja, jotta ne varmasti yltyvät haluttuihin pisteisiin. Johtimien ollessa ylimitoitettuja, joudutaan niiden mittoja vielä optimoimaan. Johtimien mittojen optimoinnilla pyritään parantamaan laitteen valmistettavuutta. Johtimen asentamista helpottaa, jos johdin on juuri oikean pituinen.

Kun prototyyppilaitteen osiin ollaan tyytyväisiä, niistä tehdään ECO-prosessia käyttäen viralliset valmistusdokumentit, kuten tämän työn kannalta oleelliset kaapelidokumentit. Osat siis julkaistaan ja kaikki niihin sisältyvä dokumentointi ladataan PDM-järjestelmään.

### 5.1.1 PDM-järjestelmä

Tuotetiedon hallinta (Product Data Management) tarkoittaa ohjelmistoympäristöä, jolla hallitaan tuotteisiin liittyviä tiedostoja sekä tietoa. PDM-järjestelmään tallennettava tuotteeseen liittyvä tieto voi olla esimerkiksi CAD-malleja, teknisiä piirustuksia, käyttö- ja asennusohjeita sekä erilaisia tuotteisiin liittyviä spesifikaatioita. Kaikki tuotteeseen liittyvä tieto on helposti käytettävissä PDM-järjestelmän kautta. [7, s. 239.]

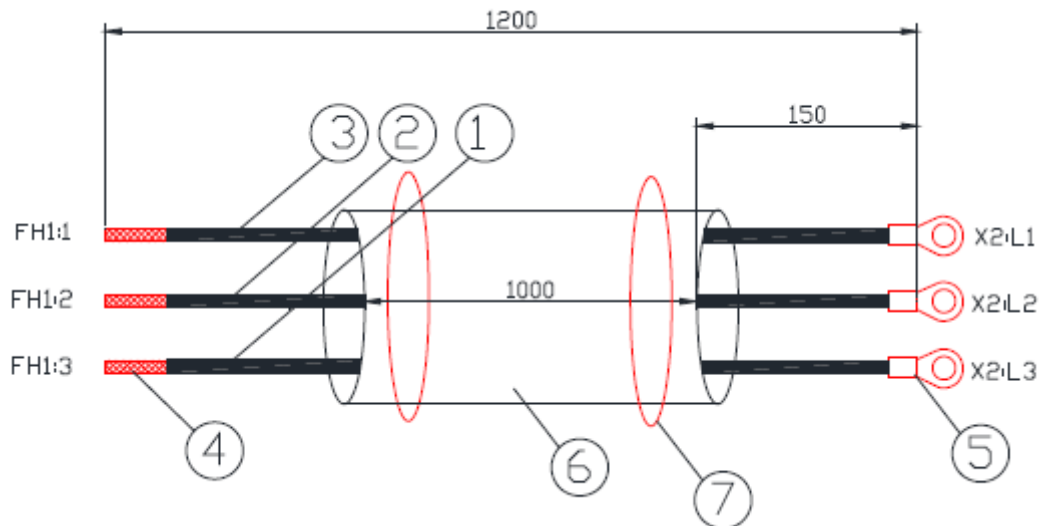
PDM-järjestelmään sisältyy dokumenttien hallinnan lisäksi paljon muutakin, siellä muun muassa avataan uusille osille osanumerot, hallitaan tuoterakenteita ja osaluetteloita sekä muutosprosesseja (Engineering Change Order, ECO). Myös version hallinta on oleellinen osa PDM-järjestelmää. [7, s. 241.]

Tuotteen elinkaaren aikana kaikki tuotteeseen tehdyt muutokset dokumentoidaan ECO-prosessin avulla. Tehtäessä muutos johonkin osaan, muuttuu myös sen revisionumero. Kaikki aiempien revisionumeroiden dokumentit säilyvät tallessa.

Eatonilla jokaisella yksittäisellä osalla on oma osanumeronsa. Osanumero toimii osan tunnistenumeronä, jota käytetään kaikkialla kyseisen osan yhteydessä. Osanumeron lisäksi jokaiselle osalle kirjoitetaan kyseisestä osasta kuvaus, jossa kerrotaan, mikä osa on kyseessä. PDM-järjestelmässä myös laaditaan tuotteille täydellinen osaluettelo.

### 5.1.2 Kaapelidokumentti

Kaapelidokumentti sisältää kaiken tarvittavan tiedon liittyen kaapelin valmistamiseen. Kaapelidokumentti sisältää aina osaluettelon, johdinkaavion sekä mahdollisesti kaapelista tehdyn teknisen piirustuksen 2D-muodossa (kuva 12). Osaluettelo sisältää seuraavat tiedot jokaisesta kokoonpanossa käytetystä osasta: osanumero, osan kuvaus sekä kappale- tai metrimäärä. Johdinkaaviosta selviävät kaapeliin tulevat painatukset, yksittäisen johtimen pituus sekä johtimen päihin tulevat liittimet. Kuvassa 13 on erään johdinsarjan osaluettelo sekä johdinkaavio.



Kuva 12. 2D-piirustus

Parts list for Harness					
Item	Description	Qty/length (mm)	Vendor	Reference Designator	Vendor Part Number (Eaton Part Number)
1	WIRE 16AWG WHT STRND UL1015	1200		1	175130566-309
2	WIRE 16AWG RED STRND UL1015	1200		2	175130566-302
3	WIRE 16AWG BLK STRND UL1015	1200		3	175130566-310
4	END SLEEVE 1.5-10 DIN 46228 R1	3		4	8050885
5	LUG CABLE 8-2.5 DIN 46234 R1	3		5	8050575
6	TUBE SHRINKING 1/4" 6.4mm BLK	1000		6	6040410
7	TIE CABLE L=102mm W=2.5mm	2		7	8005150

Wire chart								
Wire Size	Qty	From	End Item	To	End Item	Length (mm)	Wire Color	Comments
AWG 16 #3	1	FH1:1	4	X2:L1	5	1200	Black	
AWG 16 #2	1	FH1:2	4	X2:L2	5	1200	Red	
AWG 16 #1	1	FH1:3	4	X2:L3	5	1200	White	

Kuva 13. Kaapelidokumentissa oleva osaluettelo sekä johdinkaavio

Yksinkertaisimmillaan kaapelidokumentissa ilmoitetaan vain johtimen pituus, käytettävät liittimet sekä mahdollisesti johtimen päihin tulevat painatukset.

Mikäli uudet kaapelit tai johdinsarjat eivät ole kovin monimutkaisia, niistä voidaan tehdä uudet kaapelidokumentit melko nopeasti kopioimalla vanhoista dokumenteista. Tämä on varsin nopea tapa luoda uusi kaapelidokumentti, sillä monesti riittää, kun vain muuttaa kaapelin pituuden sekä osanumeron.

## 5.2 Kaapeloinnin suunnittelun kehittämistarpeet ja keinot

Aikaansaatavana toiminnallisena muutostavoitteena on se, että käyttöönottamalla Creo Parametric Cabling -suunnitteluohjelmisto kyetään tuottamaan

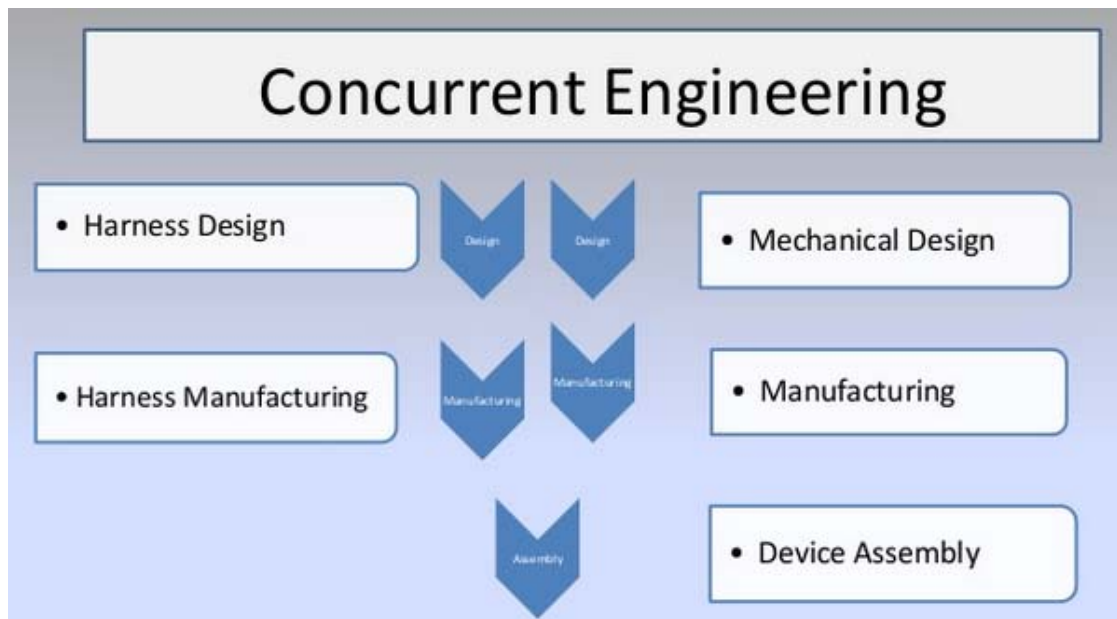
- sekä prototyyppi- että tuotannollisen vaiheen kaapelidokumentit alihankkijalle, jolloin vältetään itse tehtävien prototyyppikaapeleiden valmistamiselta
- kaapeleiden asennusohjeet tuotantolinjoille sekä muihin ohjeisiin
- osaluettelot PDM-järjestelmään.

### 5.2.1 Creo Parametric Cabling -työkalun käyttöönotto

Tämän työn tavoitteena on kehittää kaapelointisuunnittelua hyödyntämällä Creo Parametric -mallinnusohjelmistoa. Työssä pyritään selvittämään saadaanko kaapelointisuunnitteluun hyötyä ottamalla käyttöön Creon Cabling- sekä Harness Manufacturing -lisäosat.

### 5.2.2 Prosessin parantaminen

Tämän työn tavoitteena on soveltaa rinnakkaissuunnittelua (Concurrent Engineering) uuden tuotteen prototyypin suunnittelussa. Rinnakkaissuunnittelu on työmenetelmä, jossa tehdään samanaikaisesti useampaa tuotesuunnittelun vaihetta. Tällä pyritään lyhentämään tuotekehitysprosessin kokonaisaikaa. Tässä työssä tehdään samanaikaisesti sekä mekaniikkasuunnittelua että kaapeloinnin suunnittelua. Kuvassa 14 on esitetty rinnakkaissuunnittelun periaate.



Kuva 14. Rinnakkaissuunnittelu [9]

Aiemmin kaapeloinnin suunnittelu on toteutettu valmistamalla kaapelit itse käsityönä prototyyppilaitteeseen. Hyödyntämällä rinnakkaissuunnittelua, kaapelointisuunnittelu toteutetaan tietokoneavusteisesti mallintamalla johdot tuotteen 3D-kokoonpanomalliin.

Tavoitellussa tilanteessa voidaan tilata prototyyppiversiot kaapeleista sekä mekaniikasta samanaikaisesti. Tuotteen ensimmäinen prototyyppiversio voidaan valmistaa kokonaan alihankkijoiden toimittamia komponentteja käyttäen. Käytännössä tällöin prototyypin valmistamisesta jäisi yksi työvaihe kokonaan pois, eli itsevalmistettujen kaapeleiden tekeminen. Tavoitteena on myös vähentää kaapeleiden mittojen modifiointia, eli saada johtimien mitat heti sopiviksi.

### 5.2.3 Asennusohjeet tuotantolinjoille

Mallinnettaessa kaapelit UPS-laitteen 3D-malliin saadaan huomattavaa etua myös asennusohjeita varten. Nykyisten asennusohjeiden kuvat on otettu kameralla, jolloin kuvasta on toisinaan vaikeaa nähdä kaapelin reitti sekä kytkentäpisteet tuotteessa. 3D-mallissa kaapelit saadaan näyttämään lähes samalta miltä ne todellisuudessa näyttävät. Lisäksi johtimien näkyvyyttä voidaan helposti korostaa kolmeulotteisessa mallissa. Asennusohjeen kuviin voidaan myös laittaa laitteen metalliosia läpinäkyviksi, jolloin kaapelin suunniteltu reititys näkyy selkeämmin.



#### 5.2.4 Dokumentoinnin kehittäminen

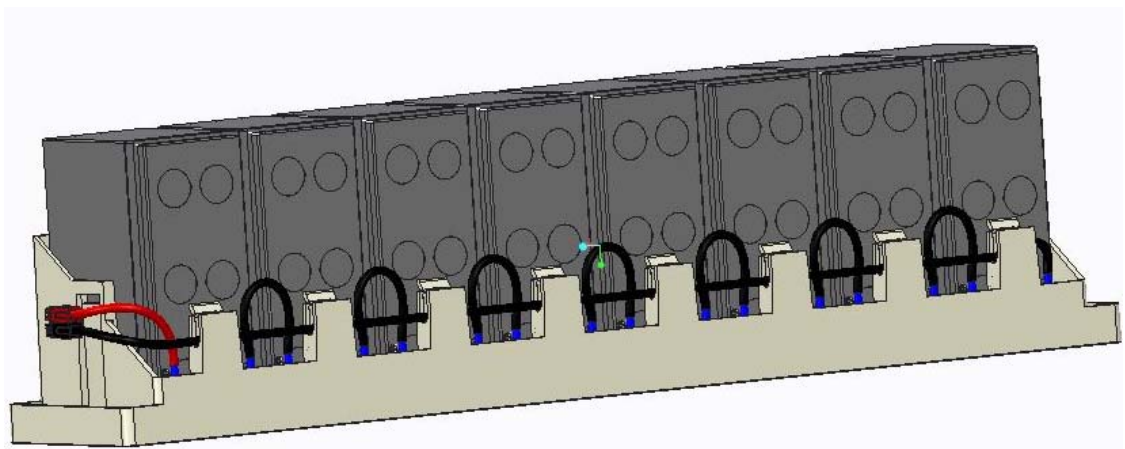
Dokumentointia kehittämällä pyritään nopeuttamaan ja yksinkertaistamaan kaapeleiden dokumentointia. Mallinnettaessa kaapelit laitteen kolmeulotteiseen kokoonpanokuvaan, määritetään kaikki kaapeliin liittyvät osat, kuten liittimet ja liittimien suojuukset, holkit tai kaapelikengät sekä mahdollisesti johdinsarjoihin sisältyvät johdinsiteet. Koska kaikki kaapeliin liittyvät osat ovat mukana 3D-mallissa, voidaan CAD-ohjelmasta suoraan tulostaa kaapelille valmis osaluettelo. Harness Manufacturing -lisäosalla pystytään luomaan kolmeulotteisesta kaapelista tasokuva. Hyvän tasokuvan tekeminen on erittäin tärkeää kaapelidokumentin kannalta. Tässä työssä on tarkoitus selvittää, onnistuvatko nämä asiat tarpeeksi helposti.

#### 5.2.5 Osaluettelot PDM:ään

Creo Parametric on yhteensopiva Eatonin käyttämän PDM-järjestelmän, Enovian kanssa. Yhteensopivuutta Enovian kanssa on tarkoitus hyödyntää siirtämällä osaluettelot suoraan Creosta Enoviaan.

## 6 UPS-laitteen kaapelointisuunnittelun toteuttaminen

Tässä luvussa on esitetty vaiheittain 20 kVA:n UPS-laitteelle tarkoitetun erillisen akuston johtojen mallinnus. Kaapeleiden mallintamisen edellytyksenä on, että kokoonpanoon on mallinnettu ainakin pääpiirteittäin laitteen mekaniikka sekä sähköiset komponentit. Sähköisiin komponentteihin piti vielä lisätä liittimet johtoja varten. Ensimmäisenä johdot mallinnettiin osakokoonpanoihin. Kuvassa 15 on UPS-laitteen akkukaappiin sisältyvä yksittäinen alikokoonpano, johon johdot on mallinnettu. Alikokoonpanoon mallinnetuilla johdoilla on yhdistetty kahdeksan akkua sarjaan, sekä mallinnettu johdinsarja, jolla kyseinen akkukaukalo kytketään.

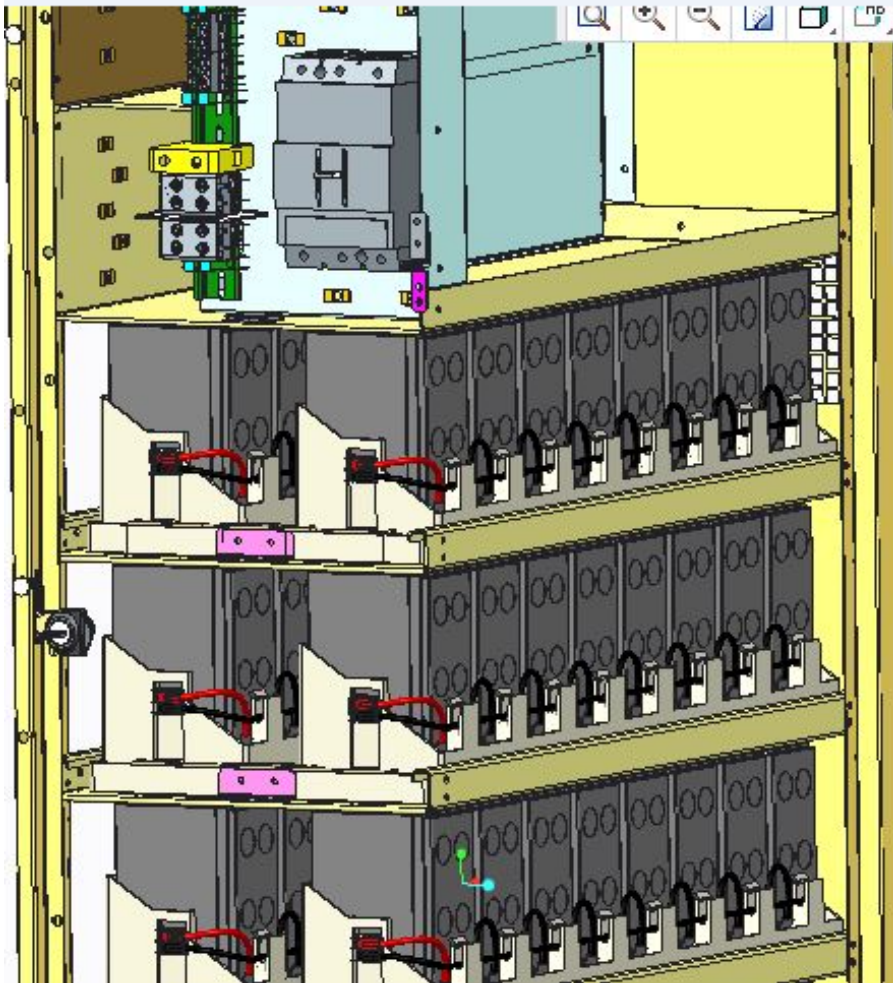


Kuva 15. Battery Tray

Alikokoonpanoon mallinnetut johdot ovat samanmittaisia kuin mitä ne oikeasti ovat. Mallista saadaan varsin realistinen kuva siitä, miltä johdot lopullisessa tuotteessa näyttävät, ja kuinka pitkälle liittimet ylettyvät. Samalla tämä kuva voi toimia asennusohjeena tuotantolinjalla.

Alikokoonpanoon mallinnetut johdot päivittyvät automaattisesti pääkokoonpanon 3D-malliin. Seuraavista kokoonpanokuvista on poistettu muutamia mekaniikkaosia, jotta akuston kaapelointi näkyisi.

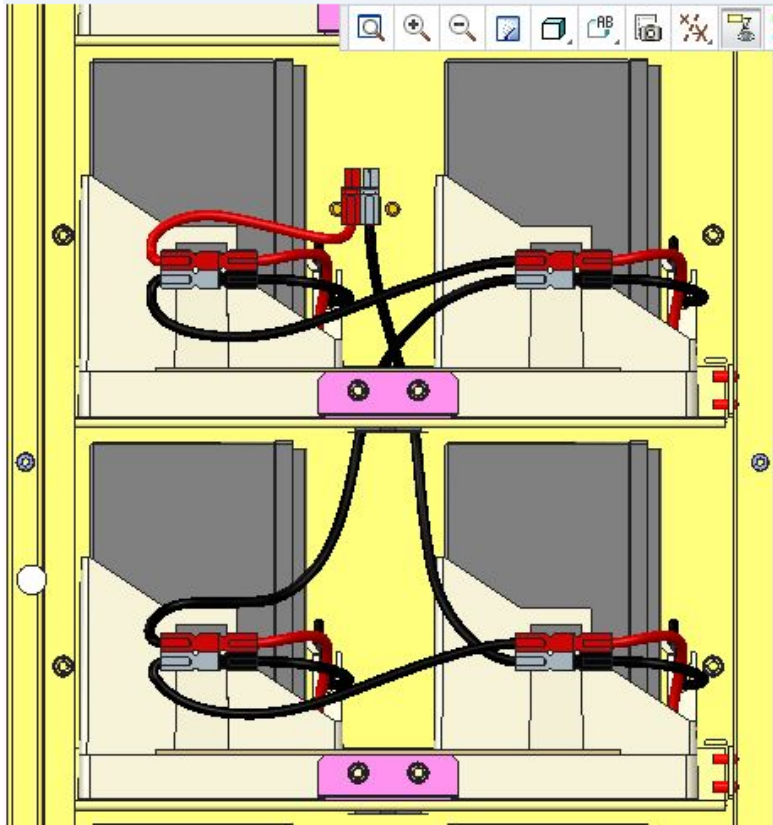
Päivitetystä kokoonpanossa on nyt jokainen yksittäinen akkukaukalo johtoineen. Seuraava vaihe oli mallintaa kokoonpanoon akkukaukalot yhdistävä johdinsarja. Johdinsarjan mallintaminen alkoi lisäämällä tarvittavat liittimet kokoonpanoon. Nämä liittimet eivät ole fyysisesti kiinni laitteen rakenteessa, vaan niille on arvioitu sijainti, jossa ne todellisuudessa voisivat olla. Johdinsarjaa ei ole myöskään sidottu kiinni mihinkään, jolloin johdintien reitittäminen oli tavanomaista vaikeampaa. (Kuva 16.)



Kuva 16. Kokoonpanokuva

Tämän akuston johdinsarjat ovat uudenlaiset, ne on suunniteltu siten, ettei niitä voi kytkeä vahingossakaan väärin. Akuston johdinsarjoihin on valittu liittimet, jotka voidaan yhdistää vain yhdellä tavalla kiinni toisiinsa, estäen virheellisen kytkennän.

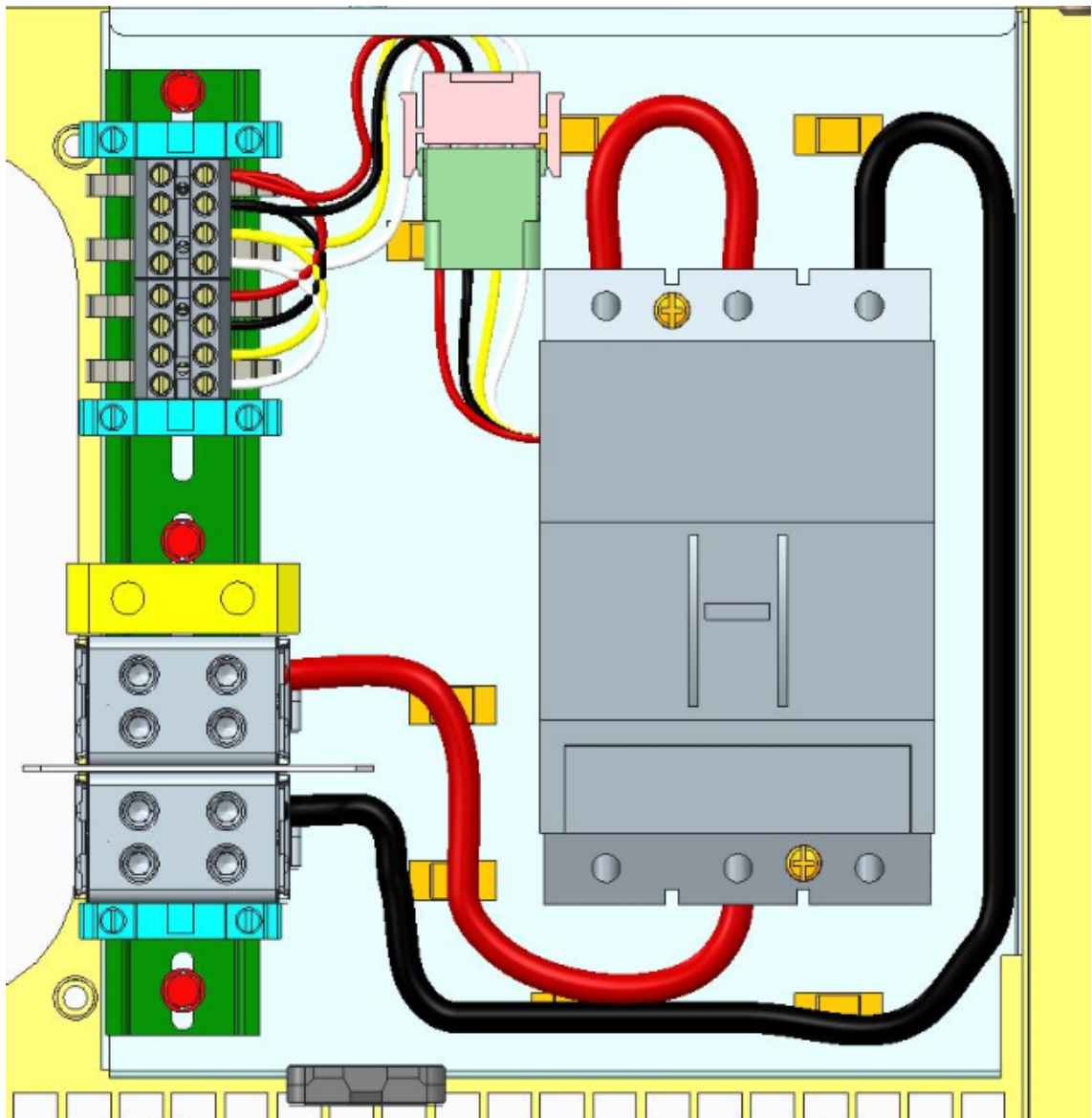
Kuvan 17 johdinsarjalla kytketään neljä akkukaukaloa sarjaan. Tässä tapauksessa se yhdistää 32 akkua. On siis erittäin tärkeää, ettei virheellisen kytkennän mahdollisuutta ole. Johdinsarja on mitoitettu siten, ettei siinä ole turhaan ylimääräistä pituutta. Tämä helpottaa myös johdinsarjan asentamista laitteeseen.



Kuva 17. Johdinsarja

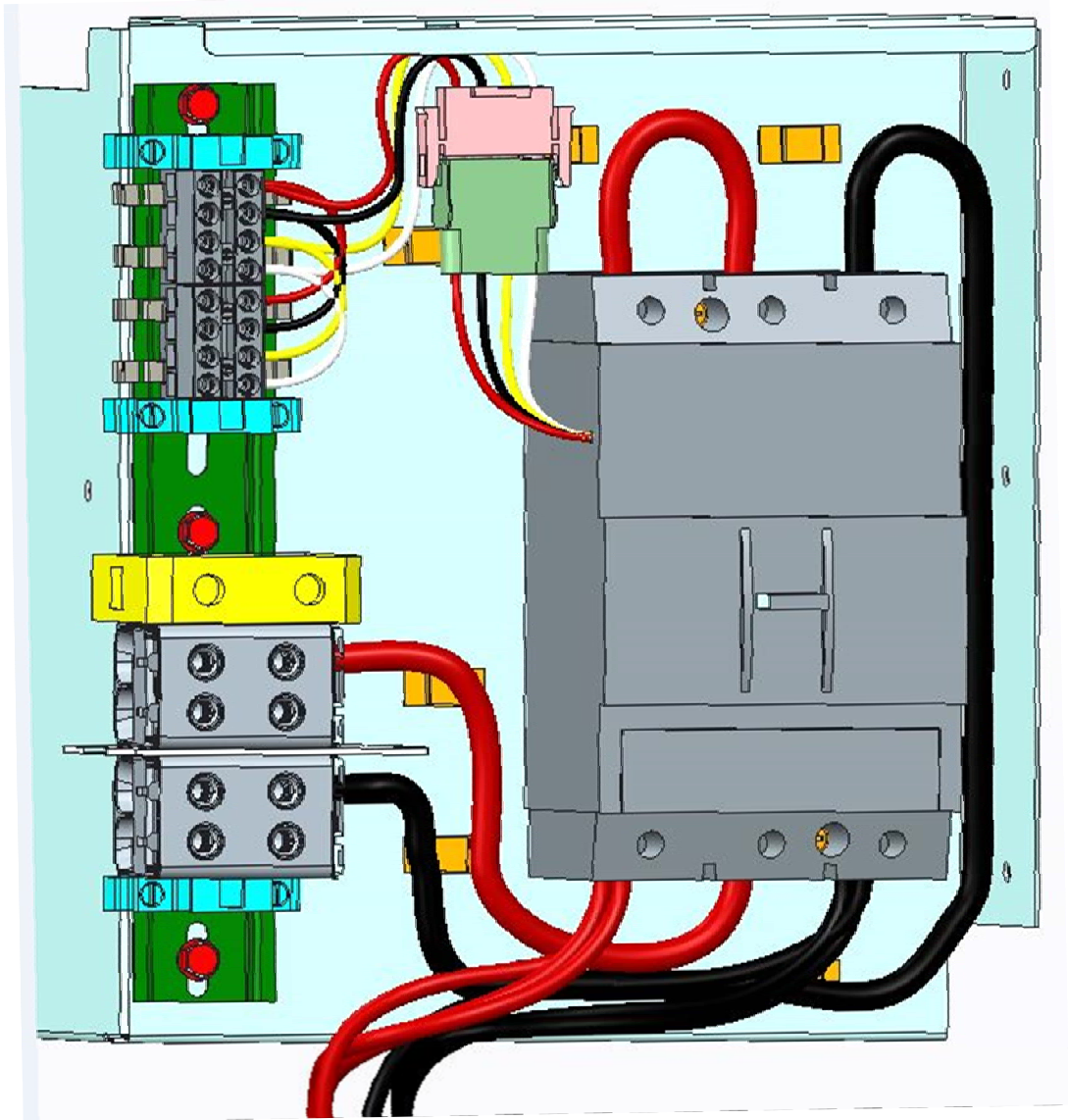
Seuraavaksi on mallinnettu akkukatkaisijan ja riviliittimien väliset johdot. Tämä sisältää kahdesta johdinsarjasta koostuvat signaalijohdot, sekä tehojohdot akuston kytkentää varten. Tässä tehojohdot ja signaalijohdot on reititetty erilleen toisistaan. Myös johtojen sitomiseen tarkoitettut johdinsideankkurit ovat mallissa mukana.

Akkukatkaisijan tarkoitus on tarvittaessa katkaista virransyöttö akustolta UPS-laitteelle. Virransyöttö voidaan katkaista joko kääntämällä mekaanista kytkintä tai ohjatusti antaa katkaisijalle tieto signaalijohtojen avulla. (Kuva 18.)



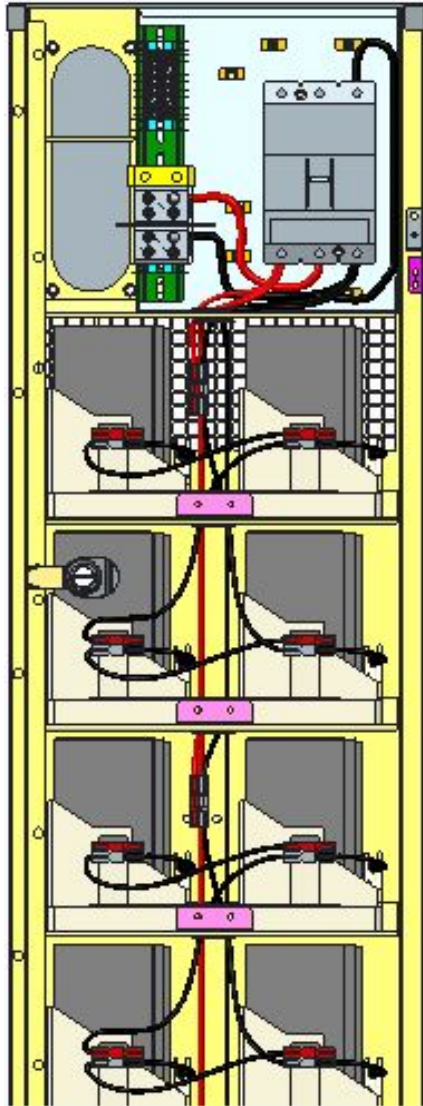
Kuva 18. Akuston katkaisijan johdot

Viimeiseksi akkukaappiin mallinnettiin akuston ja akkukatkaisijan välinen johdinsarja (kuva 19). Kyseisellä johdinsarjalla kytketään rinnan akustot, jotka koostuvat 32 akun sarjaan kytketyistä akuista. Tämä johdinsarja yhdistää tässä tapauksessa akkukatkaisijalle 96 akkua. Myös tämä johdinsarja sisältää liittimet, joita ei voi kytkeä väärin. (Kuva 20.)



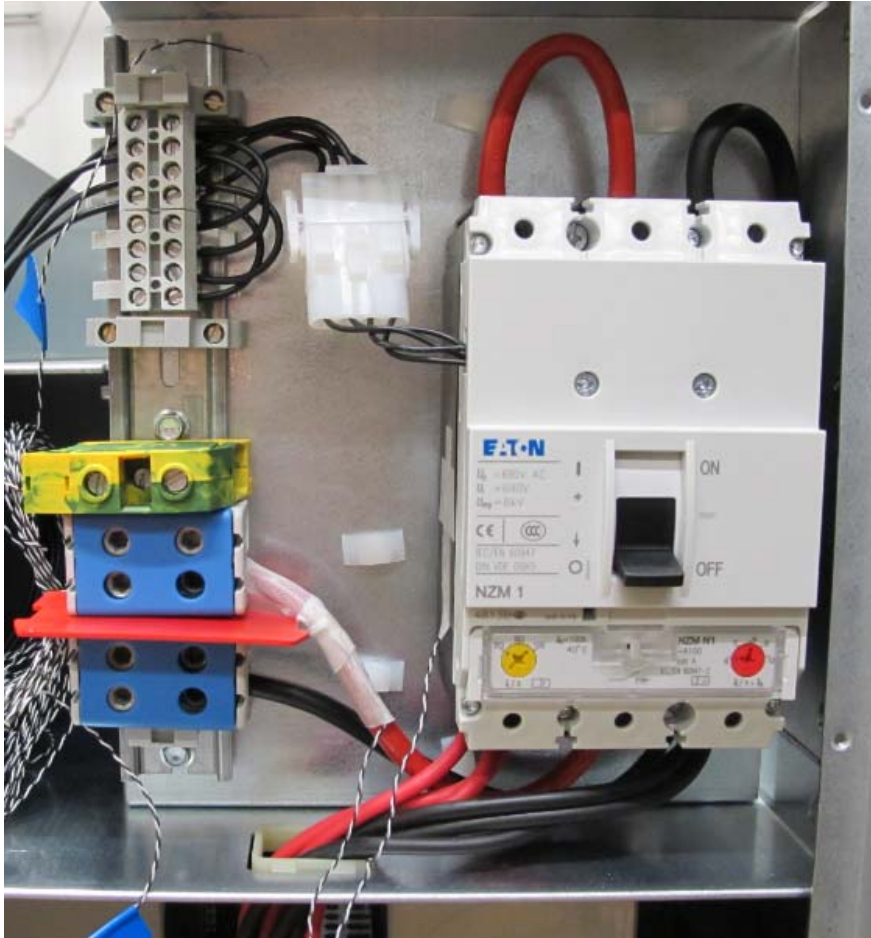
Kuva 19. Akuston ja akkukatkaisijan yhdistävä johdinsarja





Kuva 20. Akkukaapin kokoonpanokuva johtojen kanssa

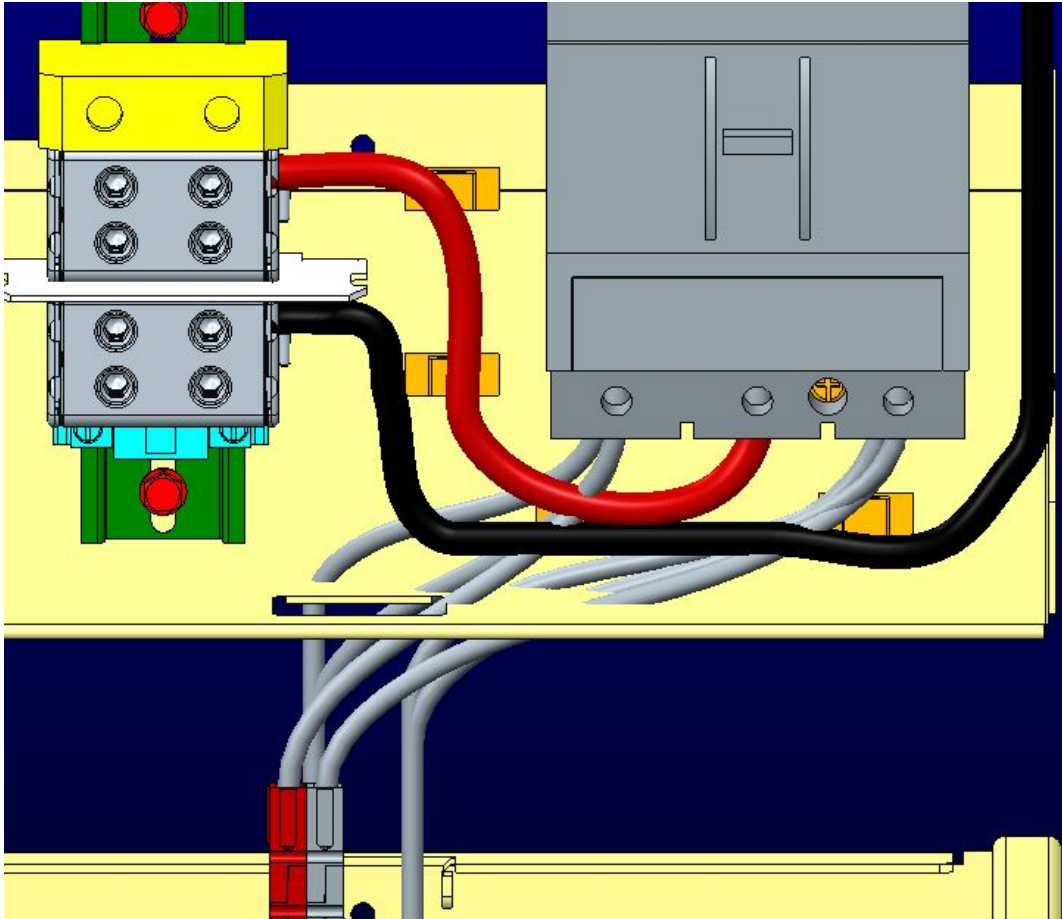
Kuvassa 21 on vertailun vuoksi kyseisen tuotteen prototyypiversion kaapelointia.



Kuva 21. Akkukatkaisijan kaapelointi todellisuudessa



Kuvassa 22 osoitetaan, että johtojen reitityksen ollessa kolmessa dimensiossa, on halutunlaisen reitityksen mallintaminen työläämpää. Creo Parametric pyrkii reitittämään johdot lyhintä mahdollista reittiä pitkin. Johtojen reititys tuleekin muokata lisäämällä kokoonpanoon riittävästi pisteitä, joiden kautta johdot reititetään. Lopputuloksena laitteen johdotus näyttääkin varsin realistiselta.



Kuva 22. Vaikeuksia kaapelointityökalun käytössä

Kyseiseen kokoonpanoon on mallinnettu kaikki tuotteen valmistamiseen tarvittavat johdot sekä johdinsarjat. Kokoonpanoon mallinnetuista johdoista saatiin hyötyä sekä kaapelidokumentteja että asennusohjeita varten. Suurin hyöty saatiin, kun johtojen mitoittaminen onnistui nopeasti ja tarkasti. Ensimmäiseen prototyypilaitteeseen osa johdinsarjoista valmistettiin tämän mallinnuksen pohjalta. Kyseiset johdot onnistuivat hyvin.

## 7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin saadaanko tuotekehitysprosessiin hyötyä ottamalla käyttöön tietokoneavusteinen kaapeloinnin suunnittelu. Pääasiassa työ toteutettiin mallintamalla kaapelit uusien UPS-laitteiden akustoihin.

Raportin kirjoittamisen aikana ei ehditty tekemään kaikkia asioita, jotka työhön sisältyivät. Esimerkiksi kaapelidokumenttien luomista Creo Parametricillä ei ehditty aloittaa. Kuitenkin 3D-malleista saatujen mittojen mukaisesti luotiin kaapelidokumentteja vanhalla tavalla.

Tämän työn tärkein etu oli päästä kokeilemaan rinnakkaissuunnittelua, eli toteuttaa sekä mekaniikkasuunnittelua että kaapeloinnin suunnittelua samanaikaisesti. Näin pystytään suunnittelemaan kaapelointia jo ennen kuin laitteen mekaniikkaosat saadaan tehtaalle. Optimaalisessa tilanteessa laitteen kaapelointi on suunniteltu ja dokumentoitu jo ennen kuin ensimmäistä prototyyppiä aletaan valmistamaan.

Kaapeloinnin suunnittelua ei ollut aikaisemmin testattu Creolla, mutta siitä saadut kokemukset ovat varsin positiiviset. Vielä ei ole ehditty tekemään vertailua tämän uuden ja vanhan suunnittelumenetelmän välillä. Työtä tehdessä suuri osa ajasta kului erilaisten kaapelinmallinnusmenetelmien testaamiseen.

Tietokoneavusteisesta suunnittelusta saatiin hyötyä johtojen mitoittamiseen, jolloin tarve itse tehtyihin prototyyppikaapeleihin vähenee, tai jopa poistuu kokonaan. Creon avulla mitoitettujen johdot onnistuivat hyvin. Vertaamalla perinteisellä tavalla mitoitettuihin johtoihin tulokset ovat myös varsin positiiviset. Kuitenkin on hyvä muistaa, että laitteeseen itse valmistetut prototyyppijohdotkaan eivät ole läheskään aina optimaalisen mittaisia.

Lisäksi ottamalla kokoonpanomallista kuvia, saadaan jonkinlaiset asennusohjeet jo ennen ensimmäisen prototyyppilaitteen kokoonpanoa.

Kuitenkin kaapelit voivat olla varsin hankalia mallinnettavia, sillä ne eivät ole aina kiinteitä osia, sekä niiden fyysinen sijainti laitteessa voi vaihdella. Johdon reitityksen ollessa yksinkertainen, tai jos johto on selkeästi sidottu kiinni laitteen rakenteeseen, on sen mallintaminen myös varsin yksinkertaista. Myös johtojen reitityksen ollessa samassa tassa, on niiden mallintaminen yksinkertaista. Tilanteessa, jossa johdon reititys tapahtuu

kolmessa dimensiossa, on johdon mallintaminen varsin työlästä sekä haastavaa. Johtojen reititykseen tulee määrittää runsaasti pisteitä, joiden kautta johto reititetään, eikä se silloinkaan aina tule malliin halutulla tavalla.

Mallinnettaessa johtoja kokoonpanoon, on syytä miettiä mihin tarkoitukseen malli tulee. Asennusohjetta varten johtojen reititys on syytä mallintaa tarkasti. CAD-kuvien pohjalta luodaan asennusohjeita eri käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi tuotteiden käyttö- ja huolto-ohjeisiin, tuotteeseen liimattaviin ohjeistaviin tarroihin sekä tuotantolinjalle kokoonpano-ohjeisiin.

Kaapelidokumentteja varten johtojen reitityksen mallintaminen ei ole niin tärkeää kuin asennusohjeissa. Kuitenkin mallinnetun reitityksen tulee vastata riittävän hyvin todellisuutta, jotta johtojen pituus saadaan oikein. Kaapelidokumenttia varten on tärkeää, että johdoissa käytetyt liittimet sekä muut komponentit on valittu oikein.

## Lähteet

- 1 UPS-käsikirja. 2012. Verkkójulkaisu. Eaton Corporation. <[pqlit.eaton.com/ll\\_download\\_bylitcode.asp?doc\\_id=24030](http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=24030)>. Luettu 25.3.2015.
- 2 Eaton 93PM UPS. 2015. Verkkodokumentti. Eaton. <<http://powerquality.eaton.com/Products-services/Backup-Power-UPS/93PM.aspx?wtredirect=www.eaton.com/93PM>>. Luettu 30.4.2015.
- 3 Kohtamäki, Tuomo. 2015. Electrical Engineer, Eaton Power Quality Oy, Espoo. Haastattelu 16.4.2015.
- 4 EMC – sähkömagneettinen yhteensopivuus. 2014. Verkkodokumentti. Tukes. <<http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Koti-ja-kodin-tekniikka/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/>>. Luettu 25.4.2015.
- 5 Twisted Pair Testing. 2014. Verkkodokumentti. Cirris Systems. <[http://www.cirris.com/testing/twisted\\_pair/twist.html](http://www.cirris.com/testing/twisted_pair/twist.html)>. Luettu 25.4.2015.
- 6 Tuhola, Esa & Viitanen, Kristiina. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.
- 7 Laakko, Timo. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.
- 8 About PTC Creo Harness Manufacturing. 2014. Verkkodokumentti. PTC. <[http://help.ptc.com/creo\\_hc/creo30\\_pma\\_hc/usascii/index.html#page/pma/electrical\\_design/About\\_Creo\\_Parametric\\_Harness\\_Mfg\\_Extn.html](http://help.ptc.com/creo_hc/creo30_pma_hc/usascii/index.html#page/pma/electrical_design/About_Creo_Parametric_Harness_Mfg_Extn.html)>. Luettu 25.4.2015.
- 9 Creo Cabling Solution. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.sli-deshare.net/Cadplatsen/creo-cabling-solution>> Luettu 30.4.2015.