



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kalle Hällfors

TESTAUSJÄRJESTELMÄN MEKANII-
KAN KEHITTÄMINEN UUELLE
ALUSTALLE

Tekniikka ja liikenne
2015

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan osastolle vuoden 2015 syksyllä. Työn toimeksiantajana toimi Ampner Oy.

Työn ohjaajina on toiminut Ampner Oy:n puolesta insinööri Mikko Pohjola ja Vaasan ammattikorkeakoulun puolesta yliopettaja Matti Makkonen.

Haluan kiittää työn ohjaajia Mikko Pohjolaa ja Matti Makkosta, sekä muita työssä auttaneita. Erityiskiitokset perheelleni, joka on jaksanut tukea ja kannustaa koko opiskeluaikani.

Vaasassa 17.12.2015

Kalle Hällfors

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|---|
| Tekijä | Kalle Hällfors |
| Opinnäytetyön nimi | Testausjärjestelmän mekaniikan kehittäminen uudelle alustalle |
| Vuosi | 2015 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 60 + 13 liitettä |
| Ohjaaja | Matti Makkonen |

Opinnäytetyö tehtiin Ampner Oy:lle. Työn tavoitteena oli suunnitella, kehittää ja standardisoida nykyistä testausjärjestelmän mekaniikkaa vakiomalliksi niin, että kokoonpanot olisivat jatkossa samaa mallia ja samoilla osilla tehty. Vain sisäiset testausjärjestelmän komponentit muuttuisivat asiakkaan tilauksen mukaan, mutta niidenkin olisi tarkoitus soveltua suunniteltuun muottiin ilman erillisiä toimenpiteitä ja soveltamista. Työ oli yksi osa yrityksen tavoitetta tuotteistaa koko testausjärjestelmä vakiomalliksi ja tällä tavoin poistaa turhat ylimääräiset kustannukset, sekä nopeuttaa kaapin kokoamista. Tällä tavoin saatiin myös kavennettua liiallista tuotevariaatiota.

Työ alkoi selvittämällä ja tutustumalla nykyisiin malleihin ja eri valmistajiin. Tällä tavoin pystyttiin selvittämään mitä eri valmistajilla oli tarjottavana ja mitä piti suunnitella itse. Kustannukset, materiaalit ja toimitus nousi vahvasti esille valmistajaa valittaessa. Ampner Oy:n henkilökunta oli hyvin tukemassa tätä työtä, sillä eri osaajilla oli oma roolinsa testausjärjestelmän tuotteistamisessa, mikä edesauttoi yhteistyössä.

Suunnittelu- ja kehitystyön tuloksena saatiin hyvä ratkaisu, missä jokaiselle komponentille löytyi oma paikka testausjärjestelmässä. Mittalaitteet sijoitettiin kaappiin niin, että jokaisella mittalaitteella oli vakiopaikka ja mahdollisilla lisälaitteilla oli oma optiopaikka. Tällöin testauskaappi toimi modulaarisesti ja kytkentävälimatkat eri laitteista toisiinsa pysyivät mahdollisimman lyhyinä. Tällä tavoin säästettiin niin sähköjohtojen pituuksissa kuin kustannuksissakin. Valmistajia kaapille löytyi aluksi neljä kappaletta, mistä sitten lähdettiin karsimaan pois, eri syihin perustuen, ja lopuksi kaksi valmistajaa nousi potentiaalisiksi yhteistyökumppaneiksi.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Kalle Hällfors |
| Title | The Development of the Test System mechanics for the New Platform |
| Year | 2015 |
| Language | Finnish |
| Pages | 60 + 13 Appendices |
| Name of Supervisor | Matti Makkonen |

This thesis was made for Ampner Oy. The aim was to design, develop and standardize the current testing system mechanics to the standard model, so that the assemblies would be in the future one and the same type and the same components made. Only the internal components of the test system would change according to the customer's order, but they should also be suitable for the intended purpose of the mold without any additional measures, and the application. The thesis was one of the company's objectives to productize the whole testing system for the standard model and in this way to eliminate unnecessary extra costs, as well to speed up the compilation of the cabinet. In this way, the tapered excessive product variations were obtained.

The thesis began by studying the existing models and different manufacturers. In this way it was possible to determine that what the different manufacturers have to offer for us and what will have to be designed. Costs, materials, and delivery came up strongly when choosing the manufacturer. Ampner's staff gave a good support for this this thesis, because different people had their own role in this project to productize the whole test system.

Design and development work were a good solution where each component were found an own place in the testing system. Measuring devices were placed in the cabinet so that each measuring device had their own standard place and any additional devices have an own option place. In this case, the testing system, in its modular and switching distances of different devices to each other remained as short as possible. In this way, the company will be saving with the length and cost of electrical wiring. Four testing system manufacturers were found, some of which then were eliminated for different of reasons and, finally, two manufacturers came up as a potential partners.

Keywords Testing system, mechanics, measuring devices,
modular system, standardization

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 11 |
| 1.1 | Työn taustat..... | 11 |
| 1.2 | Rajaukset..... | 11 |
| 1.3 | Tavoitteet | 11 |
| 2 | AMPNER OY..... | 12 |
| 2.1 | Ampner Oy:n tuotteet ja palvelut..... | 12 |
| 2.1.1 | Ampner Services | 12 |
| 2.1.2 | Ampner Power | 13 |
| 2.1.3 | Ampner Testing..... | 13 |
| 2.1.4 | Ampner Equipment | 13 |
| 2.2 | Ampnerin testausjärjestelmät..... | 13 |
| 2.2.1 | Moduulitestaus | 15 |
| 2.2.2 | Lopputestaus | 15 |
| 2.2.3 | Turvallisuustestaus..... | 15 |
| 2.2.4 | Vanhennustestaus..... | 16 |
| 2.2.5 | Johdotus..... | 17 |
| 3 | MODUULIJÄRJESTELMÄT..... | 18 |
| 3.1 | Moduulijärjestelmän systematiikka | 19 |
| 3.2 | Moduulijärjestelmien etuja ja haittoja | 21 |
| 3.3 | Modulaarinen tuoteperhe | 23 |
| 3.4 | Modular Function Deployment (MFD) -menetelmä..... | 24 |
| 3.4.1 | Asiakastarpeiden selvittäminen..... | 26 |
| 3.4.2 | Teknisten ratkaisujen valinta..... | 27 |
| 3.4.3 | Modulaaristen konseptien muodostuminen..... | 29 |
| 3.4.4 | Modulaaristen konseptien arviointi..... | 34 |
| 3.4.5 | Moduulikohtainen suunnittelu | 37 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4 | TESTAUSJÄRJESTELMÄN KAAPIN LÄHTÖKOHDAT | 38 |
| 4.1 | Spesifikaatio..... | 38 |
| 4.2 | Vaatimuslista..... | 39 |
| 5 | TESTAUSJÄRJESTELMÄN MEKANIIKAN SUUNNITTELU | 42 |
| 5.1 | Työn aloitus | 42 |
| 5.2 | Luonnostelu..... | 44 |
| 5.3 | Kehittely..... | 50 |
| 5.4 | Modulaarinen testausjärjestelmä..... | 53 |
| 5.5 | Viimeistely | 54 |
| 6 | YHTEENVETO | 58 |
| | LÄHTEET | 60 |
| | LIITTEET | |

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

| | | |
|-----------------|---|------|
| Kuva 1. | Ampner Oy:n logo | s.12 |
| Kuva 2. | Testausjärjestelmä | s.14 |
| Kuva 3. | Toimintojen ja moduulien lajit moduuli- ja sekajärjestelmissä | s.20 |
| Kuva 4. | Modulaarinen järjestelmä, tuoteplatformi ja tuoteperhe | s.24 |
| Kuva 5. | Modular Function Deployment (MFD) -menetelmän viisi päävaihetta | s.25 |
| Kuva 6. | Osa toimintopuuta, johon on lisätty mahdolliset tekniset ratkaisut | s.28 |
| Kuva 7. | Pughin valintamatriisi | s.29 |
| Kuva 8. | Moduulin osoitusmatriisi - MIM | s.30 |
| Kuva 9. | Yleiset modulointia ohjaavat tekijät eli moduulidriverit | s.31 |
| Kuva 10. | Kokoonpanon läpimenoaika tuoteperheen kaikkien tuot- teiden keskimääräisen moduulien lukumäärän funktiona. Minimiläpimenoaika kun moduulien lukumäärä on yhtä suuri kuin neliöjuuri asennusoperaatioiden lukumäärästä keskimääräisellä tuotteella tai keskimääräisessä kokoon- panossa | s.33 |
| Kuva 11. | Esimerkkejä moduulien välisistä rajapinnoista | s.34 |
| Kuva 12. | Rajapintamatriisi | s.35 |
| Kuva 13. | Arvoja/sääntöjä modulaarisen tuoterakenteen arviointiin | s.36 |
| Kuva 14. | Räkkiin voidaan kiinnittää standardimittaisia laitteita | s.43 |
| Kuva 15. | 19” räkkiprofiilista luonnollinen kuva | s.44 |
| Kuva 16. | Luonnoksessa puhallin on sijoitettu etupuolelle kaapin alaosaan, suodatin kattoon | s.46 |
| Kuva 17. | Testausjärjestelmän kytkentärajapinta | s.48 |

| | | |
|--------------------|--|------|
| Kuva 18. | Fixture valmiina testaukseen | s.49 |
| Kuva 19. | 3D-malli, puhallin etupaneelissa, suodatin katossa | s.52 |
| Kuva 20. | Modulaarisuuden eri tyyppejä | s.54 |
| Kuva 21. | Testausjärjestelmän versio, jossa on mukana näyttö, hiiri ja näppäimistö | s.56 |
| Kuva 22. | Testausjärjestelmän versio, jossa on teleskoopivarrella liikuteltava kosketusnäyttö | s.57 |
| Taulukko 1. | Yrityksen johdon vaatimuslista työlle | s.39 |
| Taulukko 2. | Testauskaapin eri ilmanvaihtojärjestelmien paremmuusjärjestys | s.51 |

LIITELUETTELO

LIITE 1. Luonnoksessa puhallin on sijoitettu kaapin takaoveen, suodatin kattoon.

LIITE 2. Luonnoksessa puhallin on sijoitettu kaapin alaosaan, suodatin kattoon.

LIITE 3. 3D-malli, kaappi ilman suojakuoria.

LIITE 4. 3D-malli, suodatin etupaneelissa, puhallin katossa.

LIITE 5. Kaappi edestä, suodatin etupaneelissa, puhallin katossa.

LIITE 6. Kaappi edestä, puhallin takaovessa, suodatin katossa.

LIITE 7. Puhallin takaovessa.

LIITE 8. Kaappi edestä, puhallin etupaneelissa, suodatin katossa.

LIITE 9. Kaappi sivusta, suojakuoret päällä.

LIITE 10. Kaappi sivusta, ilman suojakuoria.

LIITE 11. Kaappi sivusta, ilman suojakuoria, puhallin etupaneelissa.

LIITE 12. Kaappi takaa, suojakuoret päällä. Takaovi ilman puhallinta.

LIITE 13. Kaappi takaa, ilman suojakuoria.

KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

| | |
|---------------------|--|
| UPS | Uninterruptible Power Supply eli keskeytymätön virransyöttö on järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa. |
| Räkki | Teline tai kaappi, tulee englannin kielen sanasta rack. Termiä käytetään yleisesti alalla. |
| 19 tuuman räkki | 19 tuuman räkki on standardisoitu laiteteline tai -kaappi, johon voidaan asentaa nimensä mukaisesti 19 tuumaa (482,6 mm) leveällä etulevyllä varustettuja laitteita. |
| U-yksikkö | Räkkiin kiinnitettävien laitteiden korkeutta mitataan käyttämällä U-yksikköä. Yhden räkkiyksikön korkeus on 44,45 mm. |
| Half-rack | Nimitystä käytetään räkkiin kiinnitettävistä laitteista, jotka vievät leveyssuunnassa vain puolen yksikön verran tilaa. |
| Fixture | Testausalusta/kiinnitin, jonka sisälle asetetaan testattava komponentti, yleensä piirilevy tai muu kriittinen komponentti mikä vaatii testausta. |
| Fixture receiver | Testausjärjestelmän telakka. Paikka mihin fixture asetetaan testauksen ajaksi. |
| Connector interface | Testausjärjestelmän kytkentäraja-alue. Paikka mihin fixturen sähköliitännät kytketään testin suorittamiseksi. |
| Power Unit/ | |
| Power Module | Virtalähde |

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Tämä opinnäytetyö tehtiin syksyllä 2015 Ampner Oy:lle. Testausjärjestelmän kaapista on vuosien mittaan tullut monta eri variaatiota ja vaikka on tullut myös samankaltaisia tilauksia asiakkailta, dokumentointi on jäänyt puolitiehen ja hankinnat koko testausjärjestelmään on hankittu eri valmistajilta, mistä on siten tullut liian laaja materiaalivalikoima kaapin valmistukseen. Dokumentoinnin puutteellisuudesta kertoo se, että kaapin kasaaminen on alkanut joka kerta alusta ilman selvyyttä mikä komponentti kuuluu minnekin ja mitä pitää erikseen vielä soveltaa, että komponentti mahtuu kaappiin. Tämä on aiheuttanut liian paljon turhia toimenpiteitä, kustannuksia ja kaapin kasaaminen on ollut hidasta.

1.2 Rajaukset

Opinnäytetyö oli rajattuna testausjärjestelmän kaapin rungon mekaanisiin osiin. Kaikki sähkökomponenttien muutokset ja sähkökomponenttien mekaaniset osat olivat rajattuna pois tästä opinnäytetyöstä, lukuun ottamatta sähkökomponenttien sijoituspaikkoja kaapin sisällä. Proton valmistus oli myös pois suljettu opinnäytetyöstä. Työ oli yksi osa yrityksen tavoitetta tuotteistaa ja standardisoida koko testausjärjestelmä vakiomalliksi. Jatkossa yrityksen olisi tarkoitus käyttää vain ja ainoastaan kyseistä mallia testausjärjestelmissä.

1.3 Tavoitteet

Opinnäytetyöni tarkoitus oli suunnitella, kehittää ja standardisoida nykyistä testausjärjestelmän mekaniikkaa vakiomalliksi niin, että kokoonpanot olisivat jatkossa vain yhtä ja samaa mallia ja samoilla osilla tehty. Vain sisäiset testausjärjestelmän osat muuttuvat osittain, mutta niidenkin olisi tarkoitus soveltua suunniteltuun muottiin kompaktisti ilman erillisiä toimenpiteitä ja soveltamista. Tavoite oli, että testausjärjestelmän kaappi saataisiin valmistajalta jo mahdollisimman valmiiksi kasattuna. Täten yrityksen omia henkilöstöresursseja ei kulutettaisi liikaa kaapin kokoamiseen ja läpimenoaika lyhenee.

2 AMPNER OY

Ampner Oy (**Kuva 1.**) on vuonna 2012 perustettu energiateollisuuden ja valmistusteollisuuden tuotteisiin ja palveluihin erikoistunut yritys. Yritys sijaitsee Vaasassa Runsorin kaupunginosassa keskeisellä teollisuusalueella lentokentän tuntumassa. Yrityksellä on tällä hetkellä 23 työntekijää. Liikevaihtoa vuodelle 2015 Ampner Oy tekee noin 2 miljoonaa euroa. Kasvua on tavoite tehdä jatkuvasti ja tästä johtuen Ampner Oy osti vuonna 2015 Testcom Oy:n osake-enemmistön, sekä teki yhdistymissopimuksen Finero Oy:n kanssa ja sai samalla yritysten tuotevalikoimat käyttöönsä. Tällä tavoin Ampner Oy laajensi omaa liiketoimintaluettansa. Esimerkiksi Fingridin voimalaitosten järjestelmätekniisten vaatimusten todentamispalveluissa yhtiö on selkeä markkinajohtaja.



Kuva 1. Ampner Oy:n logo /1/

2.1 Ampner Oy:n tuotteet ja palvelut

Ampner Oy:llä on tällä hetkellä neljä liiketoiminta-alueita, Services, Power, Testing ja Equipment.

2.1.1 Ampner Services

- VJV2013 todentamispalvelu
- verkkolaskentapalvelut
- energiatuotannon verkkoonliittämisen suunnittelupalvelut
- voimalaitosten käyttöönoton ja testauksen kenttäpalvelut.

2.1.2 Ampner Power

- uusiutuvien energiamuotojen verkkoonliittämisen taajuusmuuttajaratkaisut
- muut vaativat taajuusmuuttajasovellukset.

2.1.3 Ampner Testing


- Testcom tuotanto- ja tuotekehitystestausasemat, testausjärjestelmät, ohjelmistot ja palvelut
- huolto, tuki, konsultointi ja koulutus.

2.1.4 Ampner Equipment

- Finero testi- ja mittalaitteet, FST- ja Quanti-sarja
- olosuhdetestaus
- teholähdetuotteet, mittaus- ja ohjausmoduulit
- huolto, kalibrointi, konsultointi, tuki ja koulutus.

2.2 Ampnerin testausjärjestelmät

Testausjärjestelmä tai testeri (**Kuva 2.**) voi olla itsenäinen yksikkö tai osa laajempaa kokonaisuutta, kuten tuotantolinjaa. Testausjärjestelmä voidaan suunnitella ja valmistaa moniin eri käyttötarkoituksiin. /1/



The image is a promotional graphic for Testcom. At the top left, the Testcom logo is displayed in white on a dark background. Below the logo, the text "Turnkey test system solutions" is written in a large, bold, white font. To the right of this text is a bulleted list of services: "• Module testers", "• Final testers", "• Safety testers", and "• Burn-in testers". The central focus is a tall, white, rack-mounted test system. The rack contains several modules, including a top module with a color display showing a waveform, a middle module with a large screen and control panel, and a bottom module with a yellow top surface. To the right of the rack, a computer monitor on a stand displays a software interface, with a keyboard and mouse in front of it. The entire scene is set against a dark, gradient background.

Testcom

Turnkey test system solutions

- Module testers
- Final testers
- Safety testers
- Burn-in testers

Kuva 2. Testausjärjestelmä

2.2.1 Moduulitestaus

Moduulitestauksella tarkoitetaan osakokonaisuuden testausta, esim. piirilevyn toiminnallisuutta.

Ampner Oy:n testausjärjestelmien perustana toimivat Testcomin vakiotuotteet, eli testausasemat ja testerit. Niistä voidaan räätälöidä asiakaskohtaisia ratkaisuja kaikkiin testatarpeisiin. /1/

2.2.2 Lopputestaus

Lopputestauksella tarkoitetaan kokonaisen laitteen testausta. Lopputestauksen tehtävänä on varmistaa, että koko tuote toimii tavoitteiden mukaisesti, ja että sillä päästään luvattuihin suoritusarvoihin. Siksi lopputestauksessa painotetaan erityisesti eri komponenttien ja liityntöjen saumatonta toimivuutta koko tuotteen tasolla.

Funktionaaliset lopputestausasemat (final testing) toteutetaan usein teollisuus-elektroniikan tarpeisiin. Funktionaaliseen lopputestausasemaan voidaan liittää myös turvallisuus- ja vanhennustestaukset, jolloin koko testaus saadaan hoidettua suoraviivaisemmin ja siten taloudellisemmin. Ylläpito hoidetaan ennakoivasti, jolloin järjestelmä kalibroidaan määräväleihin, vaihdetaan kuluvat osat ja siten minimoidaan mahdolliset tuotantokatkokset. /1/

2.2.3 Turvallisuustestaus

Turvallisuustestauksella testataan neljää asiaa:

- Maadoituksen jatkuvuus

Testi suoritetaan mittaamalla maadoituksen ja tuotteen metallirungon välinen resistanssi. Suurin hyväksyttävä arvo on yleensä 0,5 ohmia vaikka tietyt standardit voivat määritellä 0,1 ohmia. Testi suoritetaan yleensä hieman suuremmalla virralta, että huomataan maadoituksen toimivuus ja näkee, että turvakytkimet toimivat niin kuin pitää.

- Korkeajännitetestaus

Testi suoritetaan käyttämällä huomattavasti suurempaa jännitettä testattavaan laitteeseen kuin mitä käyttöjännite on. Tuotteen eristyksenkestävyys testataan korkeilla jännitteillä siksi, että sillä saadaan selville tuotteen toimivuus, jos sitä rasitetaan kovemmin. Useimmissa tapauksissa laitteen jännite kaksinkertaistetaan siitä mitä normaali käyttöjännite on.

- Eristysvastusmittaus

Testi suoritetaan mittaamalla koko tuotteen eristyksen resistanssi lisäämällä jännitettä 500V - 1000V. Pienin hyväksyttävä resistanssin arvo on 1 megaohmia (1000 kilo-ohmia). Eristysresistanssittesti ei korvaa korkeajännitetestiä.

- Vuotovirtatestaus

Testin tarkoituksena on mitata ei-toivottua vuotovirtaa, joka virtaa eristeen pinnan läpi. Suurin hyväksyttävä raja on yleensä 210 mikroampeeria.

Turvallisuustestaus on määritelty monien tuotteiden osalta laeissa tai standardeissa. Ampnerin turvallisuustesterit räätälöidään asiakkaiden tarpeisiin, huomioiden helppokäyttöisyys ja käyttöturvallisuus. Testausprosessia ohjaa PC-tietokone, jolloin järjestelmä tallentaa kaiken testaukseen liittyvän informaation. Turvallisuustesterin avulla saatavaa tietoa voidaan hyödyntää laadun seurannassa ja testauksen jäljitettävyyden varmistamisessa. Haluttaessa turvallisuustesteri voidaan liittää osaksi suurempaa testausjärjestelmää, eli yhdistää funktionaaliseen lopputesteriin. Ampner tarjoaa myös testerit sähköturvatestaukseen. /1/

2.2.4 Vanhennustestaus

Vanhennustestauksella tarkoitetaan uunissa vanhennettua tuotetta, joka testataan uudelleen. Burn-in -testauksen tehtävänä on varmistaa, että koko tuote toimii vaihtelevissa olosuhteissa vaatimusten mukaisesti ja säilyttää suoritusarvonsa. Vanhennuskaapit soveltuvat erityisesti tuotteille, joiden tulee toimia virheittä korkeissakin lämpötiloissa.

Vanhennustesterit (burn-in) toteutetaan teollisuuselektroniikan tarpeisiin. Burn in -testausprosessia ohjaa PC-tietokone, jolloin järjestelmä tallentaa kaiken testaukseen liittyvän informaation. Testausjärjestelmän avulla saatua tietoa voidaan hyödyntää laadun seurannassa ja testauksen jäljitettävyyden varmistamisessa. /1/

2.2.5 Johdotus

Johdotustestauksessa testataan piirilevyjen tai johtosarjojen toimivuutta.

Testerit ovat itseoppivia, mikä nopeuttaa huomattavasti testausohjelman tekoa. Testausjärjestelmä räätälöidään asiakkaan tarpeisiin ja siinä on mahdollista käyttää eri tuoteadaptoreita. Johdotustestaukseen voidaan yhdistää myös komponentti-testausta. /1/

3 MODUULIJÄRJESTELMÄT

Moduulijärjestelmällä ymmärretään koneiden, rakenneryhmien ja yksittäisosien kokoelmaa, jonka jäsenet (moduulit) toimivat erilaisia ratkaisuja edustavina rakennuspaloina, joita yhdistelemällä voidaan toteuttaa erilaisia kokonaistoimintoja. /2, 436/

Kun tällaisia moduuleja on monia kokoja, moduulijärjestelmät sisältävät usein tuotesarjoja. Moduulit on tällöin valmistettava mahdollisimman yhtenäistä teknologiaa käyttäen. Koska moduulijärjestelmässä kokonaistoiminto syntyy erillisten toimintopalojen yhdistelmästä, on moduulijärjestelmän kehitelmälle laadittava vastaava toimintorakenne. Tämä vaikuttaa luonnostelu- ja kehittämissä vaiheeseen paljon enemmän kuin puhtaassa tuotesarjakehittämisessä, joka voi tulla kysymykseen silloinkin, kun aluksi on kehitelty vain yksittäisratkaisu suppeammalle käyttöalueelle. /2, 436/

Moduulijärjestelmää voidaan yksittäisratkaisuihin verrattuna aina silloin soveltaa taloudellisesti, kun tuoteohjelman yksittäisiä tai kaikkia toimintomuunnelmia toimitetaan vain pieninä kappalemäärinä, ja kun vaadittu tuotevalikoima onnistutaan toteuttamaan myös vähillä perus- ja lisämoduuleilla. /2, 436/

Erilaisten toimintojen toteuttamisen lisäksi voidaan moduulijärjestelmää käyttää myös samanlaisten osien valmistuserien suurentamiseen siten, että järjestelmällä tehdään mahdolliseksi samanlaisten moduulien käyttäminen useammassa tuotteessa. Tähän, erityisesti valmistuksen rationalisointia auttavaan tavoitteeseen päästään elementarisoinnalla tuotteet moduulimaisiin yksittäisosiin. /2, 436–437/

Kun kokonaistoimintojen valikoima on suuri, on tuotteen toimintoihin kohdistuva jäsentely toimintomoduleihin tärkeintä, jos taas kokonaistoimintosuunnitelmiä on vain vähän, on valmistukseen kohdistuva jäsentely valmistusmoduleihin etualalla. /2, 437/

Usein kehitetään moduulijärjestelmä vasta sitten, kun aluksi yhdeltä yksittäis- tai tuotesarjakonstruktioista kehitetyltä tuoteohjelmalta tai vain yhdeltä rakenneryh-

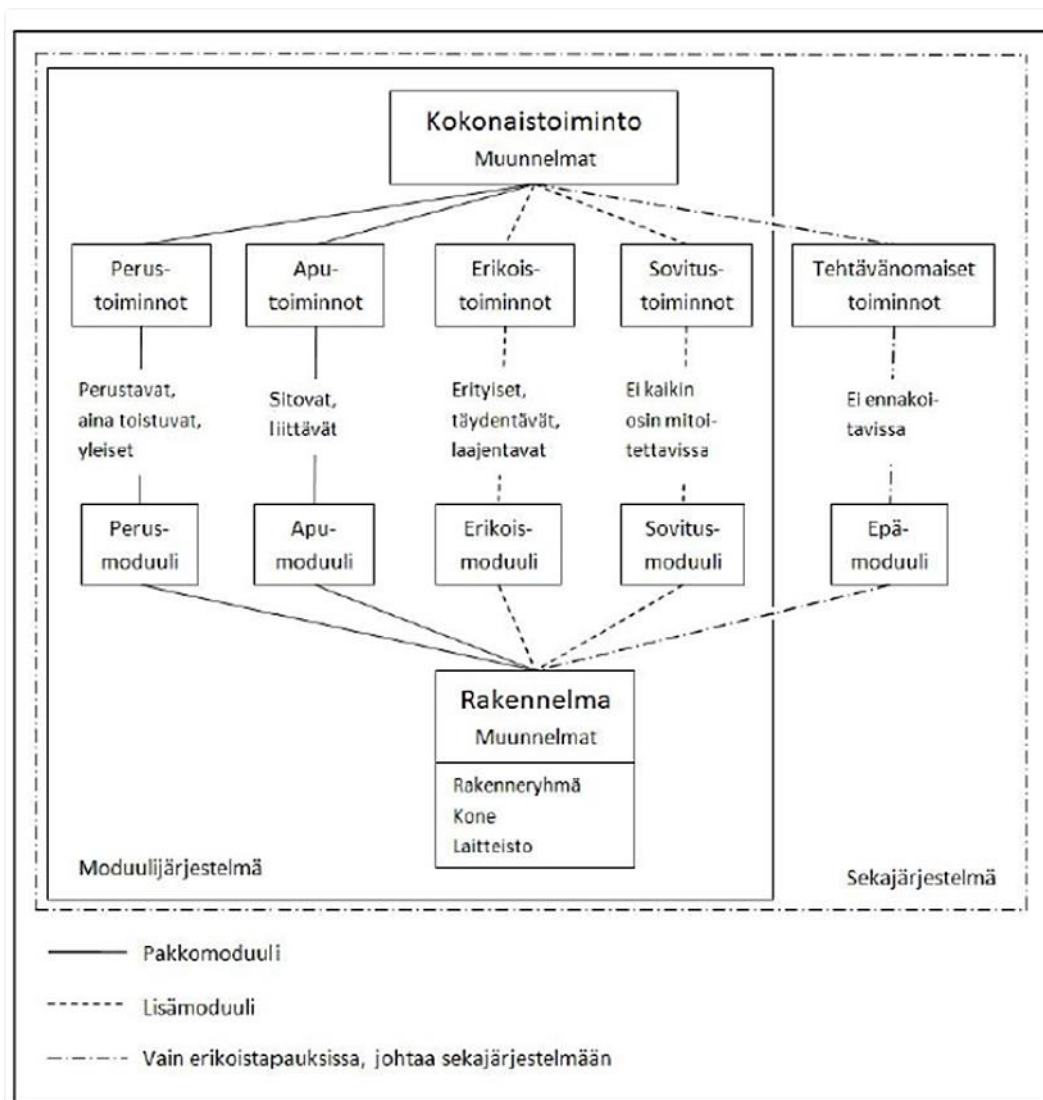
mältä vaaditaan ajan kuluessa niin paljon toimintosuunnitelmia, että moduulijärjestelmä tulee edulliseksi. Sen vuoksi usein jo markkinoilla oleva tuoteohjelma konstruoidaan myöhemmin uudelleen moduulijärjestelmäksi. Tätä seuraa se epäkohta, että on sitouduttu jo olemassa olevaan jossain määrin, mutta toisaalta myös se etu, että tuotetta on jo oleellisilta ominaisuuksiltaan kokeiltu ennen kuin ryhdytään kustannuksia vaativaan moduulijärjestelmän kehittelyyn. /2, 437/

3.1 Moduulijärjestelmän systematiikka

Moduulijärjestelmät koostuvat moduuleista, jotka voidaan koota joko irrotettavasti tai kiinteästi. Moduulit voivat olla toimintomoduleja tai valmistusmoduleja. Toimintomodulit on määritelty teknisten toimintojen toteutumisen näkökulmasta siten, että ne toteuttavat näitä joko yksin tai yhdessä toisten moduulien kanssa. Valmistusmoduulit ovat sellaisia, jotka niiden toiminnosta riippumatta määritellään puhtaasti valmistusteknisestä näkökulmasta. Toimintomodulit jaettiin tähän saakka ahtaassa mielessä varustelu-, tarvike-, liitos- yms. moduuleihin. Tämä jako ei ole yksikäsitteinen eikä riittävä moduulijärjestelmän konstruktiivista kehittelyä varten. /2, 437/

Toimintomodulien jäsentämiseksi ne voidaan järjestää ja määritellä sellaisten moduulijärjestelmissä aina toistuvien toimintolajien mukaan, jotka yhdistettyinä osatoimintoina toteuttavat erilaisia kokonaistoimintoja (kokonaistoimintomuunnelmia) (**Kuva 3.**). /2, 437/

Perustoiminnot ovat järjestelmässä perustavia, aina toistuvia ja välttämättömiä. Periaatteessa ne eivät muutu. Perustoiminto voi kokonaistoimintomuunnelman toteuttamiseksi esiintyä yksin tai liittyneenä toisiin toimintoihin. Se toteutetaan moduulilla, jota on voitu valmistaa yhtenä tai useampana porrastettuna kokonaan sekä tarpeen mukaan eriasteisen pitkälle työstettynä. Sellaiset perusmoduulit ovat moduulijärjestelmässä ”pakkomoduleja”. /2, 437/



Kuva 3. Toimintojen ja moduulien lajit moduuli- ja sekajärjestelmissä /2, 438/

Aputoiminnot ovat sitovia ja liittäviä. Ne toteutetaan apumoduulien avulla, jotka yleensä ovat kiinnitys- ja liitoselementtejä. Apumoduulit on kehitettävä perusmoduulien ja muiden moduulien kokoporrastuksia vastaaviksi. Ne ovat yleensä rakenteen pakkomodulleja. /2, 438/

Erikoistoiminnot ovat erityisiä, täydentäviä, tehtävänomaisia osatoimintoja, joita ei aina välttämättä tarvita kaikissa kokonaistoiminnon muunnelmissa. Ne toteutetaan erikoismoduulien avulla, jotka ovat perusmoduulien erityisiä täydennyksiä tai lisäkkeitä. Ne on sen vuoksi nimetty lisämoduuleiksi. /2, 438/

Sovitustoimintoja tarvitaan toisiin systeemeihin ja reunaehtojen sovittamiseen. Ne toteutetaan aineellisesti sovitusmoduuleilla, jotka ovat mitoiltaan vain osaksi määriteltäviä, ja joita pitää vielä yksityistapauksissa ennalta tiedossa olemattomien reunaehtojen takia mitoiltaan sovittaa. Sovitusmoduulit voivat olla joko pakko- tai lisämoduuleja. /2, 438/

Moduulijärjestelmään kuulumattomat tehtävänomaiset toiminnot tulevat järjestelmän huolellisesta kehittämisestä huolimatta aina silloin tällöin kysymykseen. Sellaiset toiminnot toteutetaan epämoduuleilla, jotka pitää kehittää konkreettista tehtävän asettelua vastaavasti yksittäiskonstruktioina. Niiden käyttö johtaa moduulien ja epämoduulien yhdistelmän sekajärjestelmään. /2, 438/

3.2 Moduulijärjestelmien etuja ja haittoja

Moduulijärjestelmien etuja valmistajalle on lähes kaikilla yritysten toimialueilla:

- Tarjouksia, suunnitelmien tekoja ja konstruktioita varten voidaan käyttää jo valmiita suoritusasiakirjoja. Konstruktio- ja valmistuskustannuksia syntyy vain ensimmäisellä valmistuskerralla, mikä tosin rasittaa tuota kertaa myös ylimääräisesti.
- Tilaukseen sidottuja konstruktio- ja valmistuskustannuksia syntyy vain ennalta aavistamattomille lisälaitteille.
- Syntyy yhdistelymahdollisuus epämoduulien kanssa.
- Yksinkertaisempi työn esivalmistelu ja parempi valmistusaikataulun valvonta on mahdollista.
- Tilauksen käsittelyä konstruktio- ja valmistusosastoilla voidaan huomattavasti lyhentää moduulien rinnakkaisvalmistuksella, sitä paitsi hyvä toimitusvalmius.
- ATK-avusteinen tilauksen käsittely helpottuu.
- Kustannuslaskenta yksinkertaistuu.
- Moduuleja voidaan valmistaa tilauksista riippumatta optimaalisissa erissä, mikä voi johtaa kustannuksiltaan edullisempaan valmistusvälineisiin ja -menetelmiin.

- Asennusolot ovat hyvät tarkoituksenmukaisen rakenneryhmäjaottelun ansiosta.
- Moduulijärjestelmätekniikkaa voidaan soveltaa erilaisilla tuotantoprosessin konkretisoitumisasteilla, konstruktio-osastolla piirustusten ja osaluetteloiden laatimisessa, edelleen työsuunnitelmien teossa, raakaosien ja puolivalmisteiden hankinnassa, osien valmistuksessa ja asennuksessa sekä myynnissä. /2, 448/

Myös käyttäjälle koituu eräitä etuja:

- Toimitusajat ovat lyhyemmät.
- Vaihto- ja kunnostusmahdollisuudet ovat paremmat.
- Varaosapalvelut ovat paremmat.
- Myöhemmät toimintoparannukset ja laajennukset voivat tapahtua muunnelmakirjon puitteissa.
- Virhemahdollisuudet ovat lähes poissuljettuja kypsytetyn muotoilun ansiosta. /2, 448/

Valmistaja on saavuttanut moduulijärjestelmän rajat kun alajaottelu moduuleihin johtaa teknisiin puutteisiin ja taloudellisiin haittoihin:

- Sovittautuminen asiakkaiden erityisiin toivomuksiin ei enää ole laajasti mahdollista kuin yksittäiskonstruktioissa (joustavuuden ja markkinasuuntauutumisen väheneminen).
- Konstruktio-kustannukset lankeavat suuremmissa määrin etukäteen maksettavaksi. Sen vuoksi, usein kokoonpanorakenteen vahvistamisen jälkeen, jätetään työpiirustusten laatiminen siihen, kun tilaus saadaan. Näin moduloituneen järjestelmän piirustukset täydentyvät vähitellen.
- Tuotemuutoksia ei kannata tehdä muutoin kuin pitkin aikavälein, koska kertakaikkiset kehityskustannukset ovat korkeat.
- Tekninen muotoilu riippuu, toisin kuin yksittäisvalmistuksessa, rakennuspalojen muotoilusta ja hajoituksesta.
- Suurentuneet valmistuskustannukset kasvavat, esim. sovitepintojen suuremman valmistustarkkuuden vuoksi, koska jälkityö ei ole mahdollista.

- Asennuskustannukset ja tarvittava huolellisuus suurenevät.
- Koska valmistajan näkökohtien lisäksi tarvittaisiin käyttäjän näkökohtia, on monessa tapauksessa optimaalisen moduulijärjestelmän määrittelemisen vaikeaa.
- Harvinaiset yhdistelmät moduulijärjestelmäohjelman puitteissa korvaamassa kokonaistoiminnon poisjätettyjä muunnelmia voivat tulla kalliimmaksi kuin varta vasten tätä tehtävänasettelua varten tehdyt yksittäisvalmisteet. /2, 448–451/

Käyttäjällekin voi koitua haittoja:

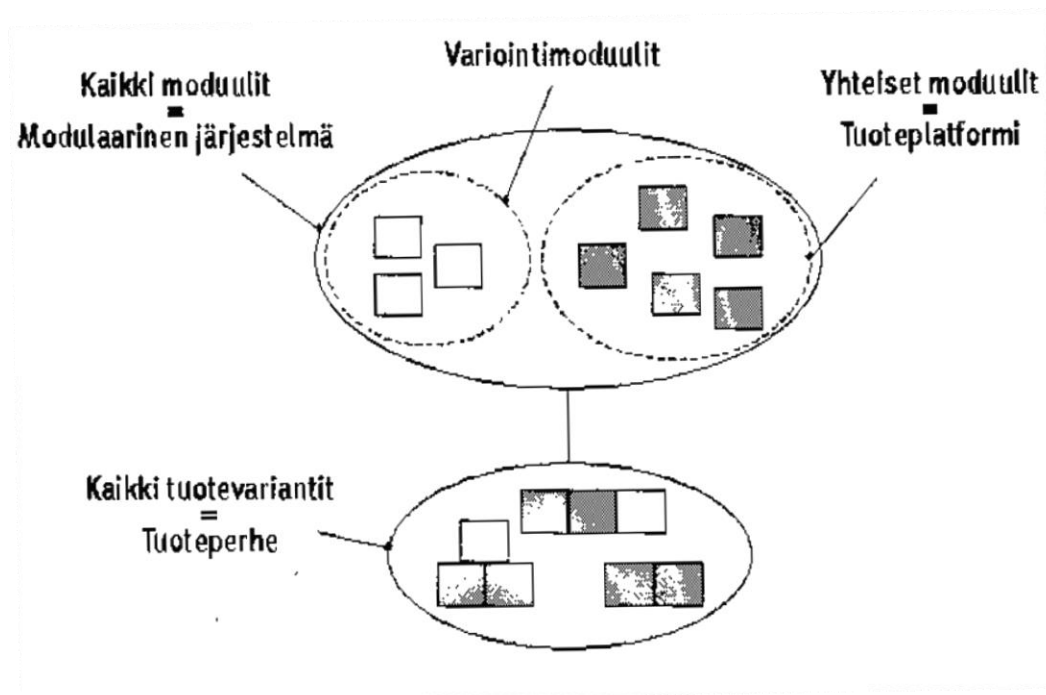
- Käyttäjän erikoistoivomukset voidaan vaikeasti toteuttaa.
- Tiedetyt laatuominaisuudet voivat olla huonommat kuin yksittäisvalmistetuissa.
- Verrattuna erityisesti tiettyä toimintomuunnelmaa varten kehitettyyn tuotteeseen, nousevat mm. tilantarve ja peruskustannukset, koska painot ja rakennetilavuudet ovat osittain suuremmat. /2, 451/

Kokemuksen mukaan moduulijärjestelmällä voidaan ennen muuta pienentää yleiskustannuksia (henkilökustannuksia ja -tarvetta), mutta vähemmän materiaali- ja valmistuspalkkakustannuksia, koska moduulijärjestelmä saattaa johtaa moduulien painon ja tilavuuden ja siten myös valmistemuunnelmien koon kasvuun verrattuna yksittäisvalmistukseen. Mikäli yritetään kehittää moduulijärjestelmää tavoitteena, että jokaisen yksityisen toimintomuunnelman saaminen kustannuksiltaan edullisemmaksi kuin tätä tehtävän asettelua varten erityisesti kehitetty tuote on, nähdään turhaa vaivaa. Moduulijärjestelmä voi vain kokonaissysteeminä olla edullisempi kuin kokonaistoimintomuunnelmien lukua vastaava määrä yksittäisvalmisteita. /2, 451/

3.3 Modulaarinen tuoteperhe

Modulaariset tuoteperheet on usein suunniteltu siten, että monia johdannaistuotteita voidaan tehokkaasti luoda ydinteknologiaan perustuen, jota kutsutaan tuoteplatformiksi, koska tuoteplatformeja kehittämällä yksittäisten tuotevarianttien si-

jasta kyky tarjota kaikille asiakkaille oikeanlaisia taloudellisesti tuotettavissa olevia tuotteita paranee. Tuoteplatformilla tarkoitetaan niitä moduuleja, jotka ovat yhteisiä kaikille tuoteperheen tuotteille ja joista yhdessä variointimoduulien kanssa muodostetaan kaikki tuoteperheen tuotteet. (Kuva 4.) havainnollistaa modulaarisen järjestelmän, tuoteplatformin ja tuoteperheen välistä suhdetta. /3, 12/

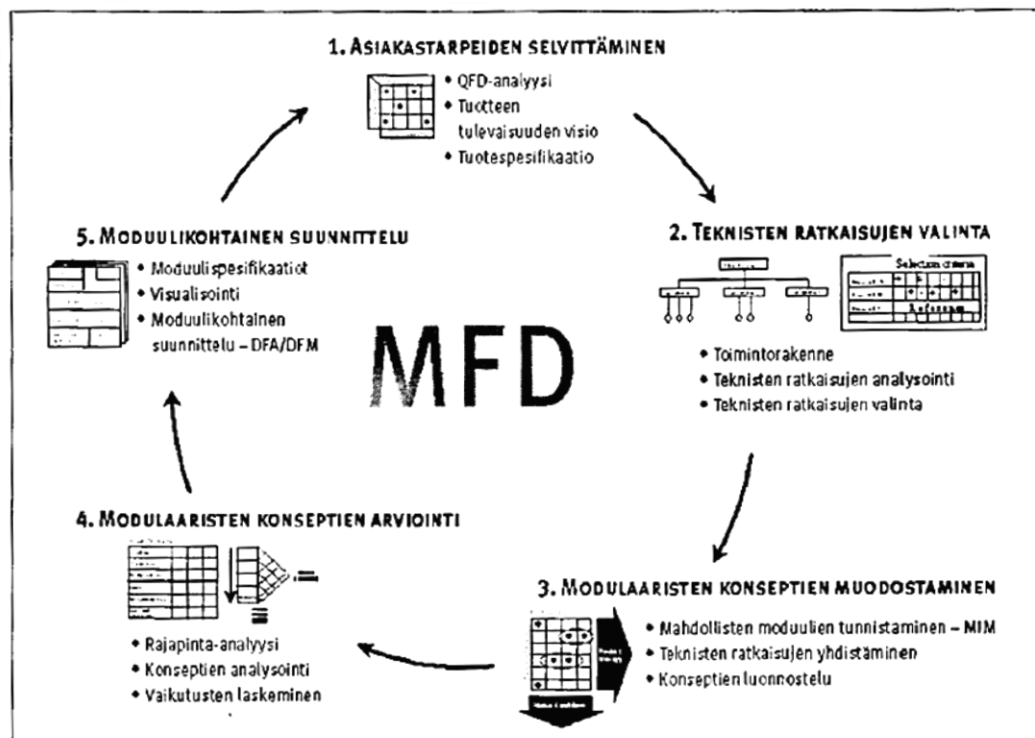


Kuva 4. Modulaarinen järjestelmä, tuoteplatformi ja tuoteperhe /3, 12/

3.4 Modular Function Deployment (MFD) -menetelmä

MFD -menetelmä on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä modulaaristen tuoteperheiden kehittämiseksi. Se koostuu viidestä päävaiheesta, joihin kaikkiin kuuluu useampia työvaiheita, jotka jossain määrin vaihtelevat projektista riippuen. Menetelmä alkaa asiakastarpeiden ja niihin liittyvien tärkeimpien tuoteominaisuuksien selvittämisellä Quality Function Deployment (QFD) -analyysin avulla. Tämän jälkeen analysoidaan tuotteen toimintovaatimukset ja valitaan tekniset ratkaisut. Kolmantena vaiheena menetelmässä on moduulikonseptien systemaattinen muodostaminen ja valinta sekä mahdollisten moduulikandidaattien tunnistaminen moduulin osoitusmatriisin (Module Indication Matrix – MIM) avulla. Tämän jälkeen valittuja konsepteja arvioidaan vaiheessa neljä. Viidennessä vaiheessa moduulin

osoitusmatriisiin (MIM) voidaan käyttää uudelleen DFA (Design for Assembly) ja muiden DFX -menetelmien (Design for X) käyttömahdollisuuksien löytämiseksi moduulikohtaista suunnittelua varten. MFD -menetelmän viisi päävaihetta ja muutamia niihin liittyviä työvaiheita on esitetty kuvassa (Kuva 5.). /3, 18/



Kuva 5. Modular Function Deployment (MFD) -menetelmän viisi päävaihetta /3, 18/

Käytännön projekteissa suunnittelutyö kuitenkin varsin harvoin alkaa menetelmän ensimmäisestä vaiheesta, jatkuu läpi kaikkien vaiheiden oikeassa järjestyksessä ja päättyy viidenteen vaiheeseen. Todellisuudessa projektin aloituskohta ja eri vaiheiden toteuttamisjärjestys voi jonkin verran vaihdella, riippuen yrityksestä ja kehitettävästä tuoteperheestä. Varsinkin kahteen ensimmäiseen päävaiheeseen liittyy myös paljon rinnakkaisuutta ja usein voidaan tarvita myös monia iterointikiertoja ennen kuin päästään hyväksyttävään lopputulokseen. /3, 19/

3.4.1 Asiakastarpeiden selvittäminen

MFD -menetelmän ensimmäisenä päävaiheena on asiakastarpeiden selvittäminen. Ensimmäisen vaiheen tärkeimmät työvaiheet ovat markkinoiden segmentointi, asiakastarpeiden tunnistaminen ja QFD -analyysi. /3, 19/

Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa on varmistuttava, että tarkoituksenmukaiset tuoteominaisuudet johtuvat todellisista asiakas-/markkinatarpeista. Tästä syystä tärkeimmät asiakastarpeet on ensin tunnistettava. Se voi tapahtua esimerkiksi markkinatutkimuksen avulla. /3, 19/

Markkinoiden jakautuminen eri segmentteihin voi johtua esimerkiksi seuraavista syistä:

- maantieteelliset syyt
- ympäristöstä johtuvat syyt
- tuotteen suorituskyky
- tuotteen käyttöalue
- tuotteen toiminnot
- käyttäjän ominaisuudet.

Jos siis tuotteeseen tarvitaan joitain tiettyjä erityisominaisuuksia täyttämään jonkin asiakasryhmän erityistarpeet, jotka olennaisesti poikkeavat muiden asiakasryhmien tarpeista, on kyseessä erillinen asiakas-/markkinointisegmentti. /3, 20/

Markkinoiden segmentoinnin ja asiakastarpeiden selvittämisen jälkeen tärkeimmät asiakastarpeet on pyrittävä muuttamaan suunnitteluvaatimuksiksi tai tuoteominaisuuksiksi, joille on mahdollista löytää mitattavissa olevat tavoitearvot. Tämä voidaan toteuttaa Quality Function Deployment (QFD) -analyysin avulla. Näitä QFD -analyysissä käytettyjä tuoteominaisuuksien tavoitearvoja voidaan myöhemmin käyttää tuotteiden suunnitteluparametreina menetelmän seuraavissa vaiheissa. /3, 20/

MFD -menetelmän ensimmäisessä vaiheessa voidaan tehdä myös niin kutsutut stakeholder -lista ja vaihe vaiheelta -analyysi (Step by step analysis), jotta mitään

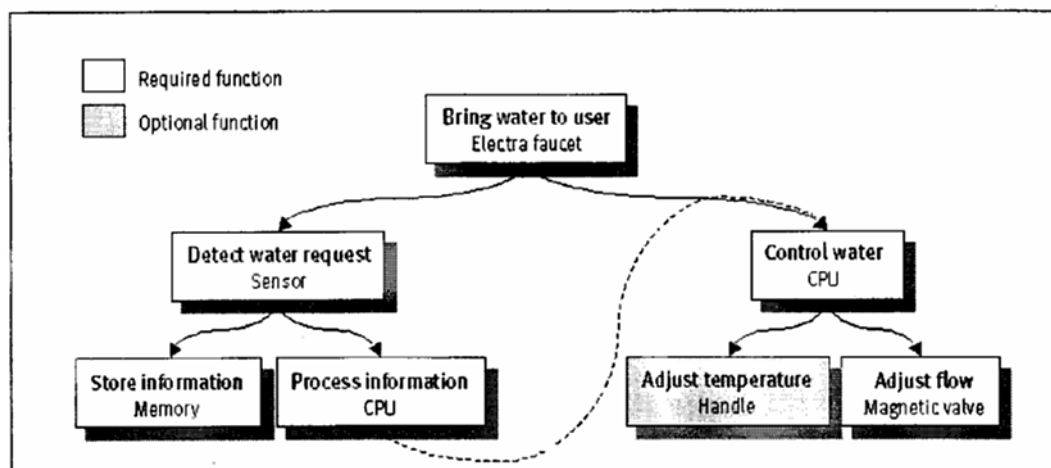
tärkeitä tuotteisiin vaikuttavia vaatimuksia ei unohdettaisi. Stakeholder -listaa tehtäessä otetaan huomioon kaikki ne ryhmät, muista tuotteista tuotteiden loppukäyttäjiiin, joilla on vaikutusta tuotteeseen tai joihin tuote vaikuttaa. Vaihe vaiheelta - analyysissä taas huomioidaan kaikki ne eri ryhmät tai toiminnot, joilla on tuotteeseen kohdistuvia vaatimuksia sen elinkaaren aikana. Koska kyse on monessa tapauksessa samoista ryhmistä, tulee vaatimuslistoista helposti monelta osin melko yhteneviä. /3, 21/

3.4.2 Teknisten ratkaisujen valinta

MFD- menetelmän toisena päävaiheena on teknisten ratkaisujen valinta. Tämän vaiheen tärkeimmät työvaiheet ovat tuotteen toimintorakenteen luominen, teknisten ratkaisujen analysointi ja valinta. /3, 22/

Koska QFD -analyysin avulla saadut tuoteominaisuudet tai suunnitteluvaatimukset ovat voimakkaasti keskittyneet asiakkaaseen ja markkinoihin, tarvitaan myös paljon teknisempi näkökulma, jotta suunnitelmissa voidaan edetä. Tuotetta on siis tarkasteltava sen sisältämien eri toimintojen ja teknisten ratkaisujen kannalta. Tämä voidaan toteuttaa tuotteelle tehtävän toimintoanalyysin avulla. Toimintoanalyysi on systemaattinen menetelmä tuotteen toimintorakenteen ja parhaina pidettyjen teknisten ratkaisujen selvittämiseksi. Toimintoanalyysi voidaan esittää niin kutsutun toimintopuun muodossa (**Kuva 6.**). /3, 22/

Toimintoanalyysin ja toimintopuun tekemiseen voi olla useita eri syitä, mutta yleisesti niiden avulla pyritään saavuttamaan tuotteen eri toimintojen välinen riippumattomuus. Tällä päästään tuoterakenteeseen, jossa moduulien välinen vuorovaikutus on mahdollisimman vähäistä, mikä taas on välttämätön edellytys hyvälle modulaariselle tuoterakenteelle. Toimintoanalyysin ja toimintopuun avulla voidaan myös lisätä projektiin osallistuvan työryhmän tuotetuntemusta ja tunnistaa toimintoja, jotka ovat erityisesti jollekin asiakasryhmälle tai markkinasegmentille kuuluvia. /3, 22/



Kuva 6. Osa toimintopuuta, johon on lisätty mahdolliset tekniset ratkaisut /3, 23/

Toimintopuussa voidaan myös erotella kaikkien asiakasryhmien vaatimat toiminnot valinnaisista tai ainoastaan joidenkin asiakasryhmien vaatimista toiminnoista. Tästä on apua menetelmän myöhemmissä vaiheissa, kun määritellään eri tuotevariantteja. /3, 23/

Koska toimintopuuta tehtäessä voi yhdelle toiminnolle löytyä useampia mahdollisia teknisiä ratkaisuja, joiden keskinäisestä paremmuudesta työryhmän voi olla vaikea päästä yhteisymmärrykseen, voidaan valinnassa käyttää yksinkertaisena apuna Pughin valintamatriisia (**Kuva 7.**). Siinä kunkin teknisen ratkaisun positiivisia ja negatiivisia puolia verrataan keskenään. Vertailukohtana voidaan pitää myös esimerkiksi nykyisin käytössä olevaa ratkaisua. /3, 23–24/

| Technical Concepts and Solutions | Production Goals | | | | | | | | | | Company specific | | | |
|----------------------------------|------------------|---------|---------------|-----------------|----------|---------|------------------|-----------|--------------|------------------|------------------|--|----|----|
| | Lead-time | Storage | Direct labour | Direct material | Purchase | Quality | Job-satisfaction | Balancing | Sales offers | Logistical costs | | | | |
| Exchang. gearbox | = | = | + | - | + | = | - | = | = | - | | | 2+ | 3- |
| Reconstr. gearbox | + | + | - | = | + | = | + | = | = | + | | | 5+ | 1- |
| Co-oper. gearbox | - | - | - | - | - | = | - | = | = | - | | | | 7- |
| Existing solution | | | | | | | | | | | | | | |

Kuva 7. Pughin valintamatriisi /3, 24/

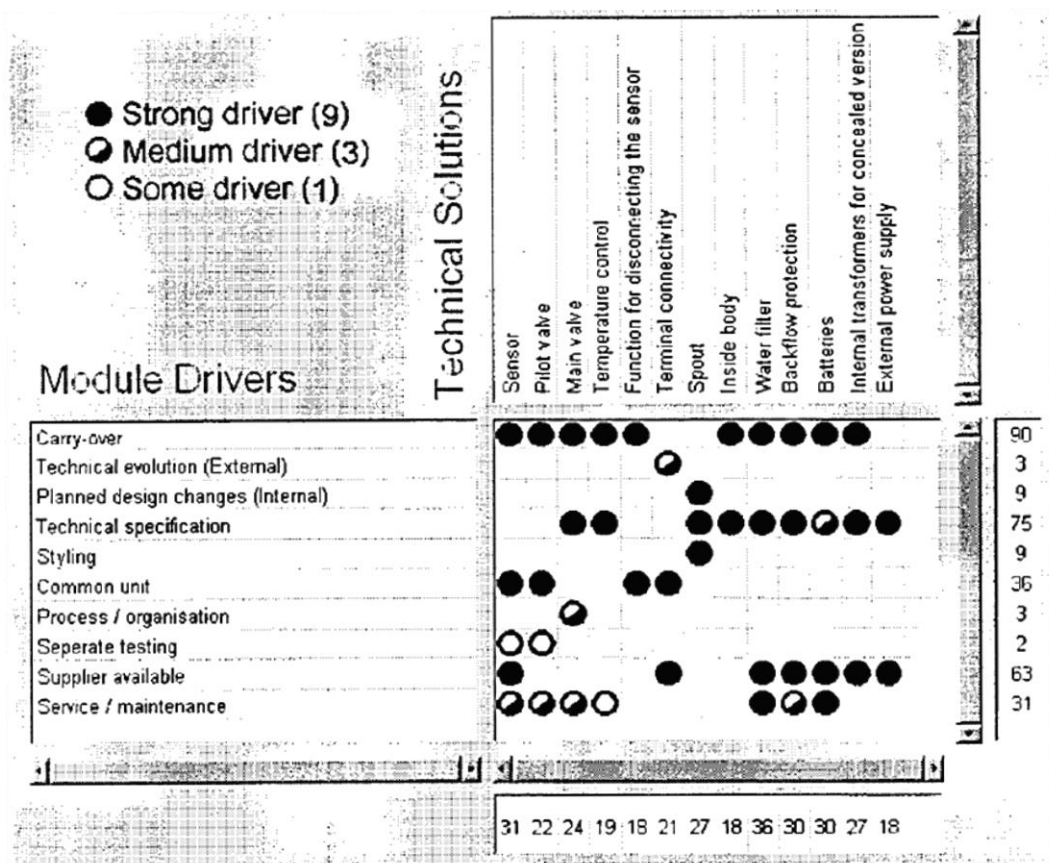
Matriisin vaihtoehtojen arviointi tehdään alimmalla mahdollisella tasolla vertaamalla niitä eri näkökulmista referenssiin, joka siis voi olla esimerkiksi nykyisin käytössä oleva tekninen ratkaisu tai muu todennäköisimmin valittava tekninen ratkaisu. Vaihtoehtoja verrataan yksinkertaisesti antamalla kaikille ratkaisuille arvio jokaisen valintakriteerin suhteen, joko parempi (+), huonompi (-), tai yhtä hyvä (=), ja lopuksi summaamalla sekä plussat että miinukset erikseen yhteen. Plussia ja miinuksia ei siis lasketa keskenään yhteen. /3, 24/

3.4.3 Modulaaristen konseptien muodostuminen

Keskeinen osa MFD -menetelmää on sen kolmas päävaihe, missä modulaarinen konsepti muodostetaan moduulin osoitusmatriisia (Module Indication Matrix - MIM) apuna käyttäen (**Kuva 8.**). MIMissä menetelmän toisessa päävaiheessa valittuja teknisiä ratkaisuja verrataan yrityksen strategiaan perustuviin modulointia ohjaaviin tekijöihin eli moduulidrivereihin päämääränä pyrkiä löytämään mahdollisia moduulikandidaatteja. /3, 24/

MIM on QFD -matriisin kaltainen lähestymistapa, joka osoittaa, mitkä tekniset ratkaisut voisivat yhdessä muodostaa moduulin. Matriisia täytettäessä lähdetään oletuksesta, että jokainen tekninen ratkaisu on erillinen asennusmoduuli, joten matriisin avulla etsitään nimenomaan moduulien yhdistämismahdollisuuksia. MIM -matriisissa teknisiä ratkaisuja arvioidaan QFD:n tapaan modulointia ohjaavia tekijöitä vastaan painotetulla skaalalla: vahva driveri (9), keskivahva driveri

(3) ja heikko driveri (1). Mikäli teknisen ratkaisun ja moduulidriverin välillä ei ole minkäänlaista vuorovaikutusta, jätetään kyseinen ruutu tyhjäksi. Painotettua skaalaa käytetään, jotta todella painavat syyt nousisivat paremmin esiin ja täytetyt matriisin avulla saataisiin selkeä kuva siitä, millä teknisellä ratkaisulla on monia tai jotain syitä yhdessä muodostaa moduuli ja millä on vahvimmat syyt tulla yksin moduuliksi. /3, 25/



Kuva 8. Moduulin osoitusmatriisi - MIM /3, 25/

Moduulin osoitusmatriisin täyttämisen jälkeen sen arvioinnissa on ensin syytä kiinnittää huomiota modulointia ohjaavien tekijöiden painotukseen ja tyyppiin. Jos teknisellä ratkaisulla on monia ja/tai ainutlaatuisia vahvasti painotettuja drive-reita, viittaa se siihen, että tekninen ratkaisu voi yksin muodostaa moduulin tai se voi toimia perustana moduulille, koska se voi olla vaikeasti muihin yhdistettävissä. Jos taas teknisellä ratkaisulla on vain muutamia ja/tai heikosti painotettuja mo-

dulointia ohjaavia tekijöitä, viittaa se siihen, että se voi olla helposti yhdistettävissä toisiin teknisiin ratkaisuihin, joilla on samankaltainen driverirakenne. /3, 28/

Seuraavaksi täytetystä matriisista voidaan arvioida modulointityön onnistumista verrattuna projektille asetettuihin tavoitteisiin eli drivereiden saaman pisteytyksen avulla. Koska jokaisen tuotekehitysprojektin aluksi projektille asetetaan tietyt tavoitteet, joihin projektissa pyritään ja joihin myöhemmin voidaan verrata sen onnistumista, määritetään projektin aluksi ne modulointia ohjaavat tekijät, joihin projektissa keskitytään (**Kuva 9.**). Myös moduulidriverien varsinainen projekti-kohtainen sisältö voidaan määrittellä perustuen projektille asetettuihin tavoitteisiin. Jos siis jonkin projektissa tärkeäksi määritellyn modulointia ohjaavan tekijän saama pistemäärä jää matriisin täyttämisen jälkeen kovin alhaiseksi, voidaan jo tässä vaiheessa päätellä, että projektille asetettuja tavoitteita ei välttämättä saavuteta ja jotain on tehtävä toisin niiden saavuttamiseksi. /3, 28/

| |
|--|
| <p>Suunnittelu ja tuotekehitys</p> <p><i>Carry-over</i> – Tuoteominaisuuksien siirto seuraavaan tuotesukupolveen Yksikkö, jota voidaan käyttää uudelleen tulevissa tuotesukupolvissa tai jota voidaan käyttää myös muissa tuoteperheissä.</p> <p><i>Technical evolution / Technology push (External)</i> – Tekninen kehitys (yrityksen ulkoinen) Yksikkö, jonka teknologiaan on odotettavissa muutoksia tuoteperheen elinkaaren aikana. Tämä voi olla seurausta asiakasvaatimusten perinpohjaisista muutoksista, itse tekniikan kehittymisestä tai esimerkiksi uusien materiaalien tai komponenttien markkinoille tulosta.</p> <p><i>Planned design changes / Product planning (Internal)</i> – Tuotteeseen suunnitellut muutokset (yrityksen sisäiset) Yksikkö, johon on suunniteltu tehtäväksi jotain muutoksia yrityksen sisäisen suunnitelman mukaisesti.</p> |
| <p>Varioituvuus</p> <p><i>Technical specification</i> – Tekninen variointi Yksikkö, jonka toiminnot tai suorituskyky varioivat tuoteperheen tuotteiden välillä.</p> <p><i>Styling</i> – Ulkonäöllinen variointi Yksikkö, jonka väri ja/tai muoto varioivat tuoteperheen tuotteiden välillä.</p> |
| <p>Valmistus</p> <p><i>Common unit</i> – Yhteinen yksikkö Yksikkö, jota käytetään läpi koko tuoteperheen eli kaikissa tuoteperheen tuotteissa.</p> <p><i>Process/organisation</i> – Tuotantoprosessi/organisaatio Yksikkö, jonka valmistuksessa tarvitaan erityisiä valmistusmenetelmiä tai joka on sopiva työkokonaisuus ryhmälle. Se voi myös muodostaa sopivan kokonaisuuden kokoonpantuna esim. kuljetusta tai käsittelyä ajatellen tai sen läpimenoaika voi olla poikkeava muista tuotannon läpimenoajoista.</p> |

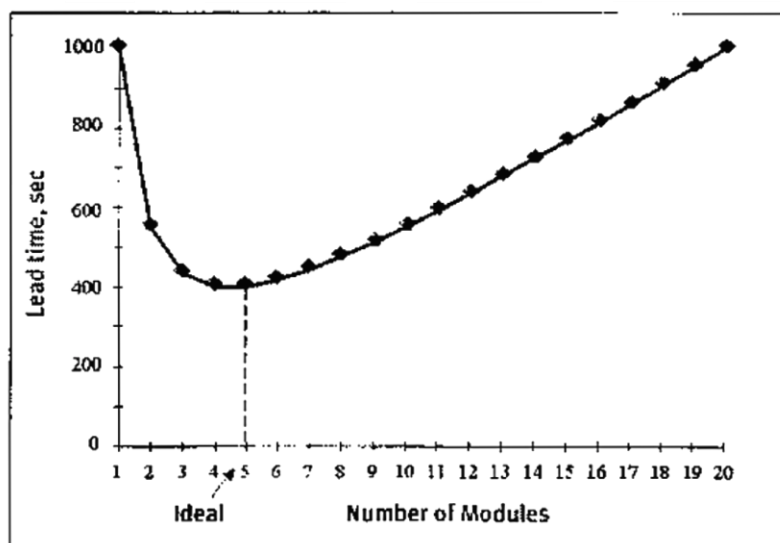
Kuva 9. Yleiset modulointia ohjaavat tekijät eli moduulidriverit /3, 14/

Teknisten ratkaisujen yhdistämismahdollisuuksia mietittäessä on erityistä huomiota kiinnitettävä modulointia ohjaavien tekijöiden välisiin ristiriitoihin ja erityis-

vaatimuksiin, jotka saattavat edellyttää joidenkin teknisten ratkaisujen erillään pitämistä. Keskenään ristiriitaisia tekijöitä ovat toisaalta carry-over, technical evolution ja planned design changes ja toisaalta common unit, technical specification ja styling. Muiden modulointia ohjaavien tekijöiden kohdalla taas syyt pitää tekninen ratkaisu erillisenä, esimerkiksi testattavuuden tai alihankinnan mahdollistamiseksi saattavat vaikeuttaa niiden yhdistämistä tai ainakin vaatia asian huomioimista varsinaisessa tuotesuunnittelussa. /3, 28/

Tarkastelemalla MIM-matriisissa olevia merkintöjä horisontaalisesti, voidaan havaita millä teknisellä ratkaisulla on samankaltainen ja millä ristiriitainen driverirakenne. Mikäli rakenne on samankaltainen, on syytä tutkia mahdollisuudet yhdistää tekniset ratkaisut samaan moduuliin. /3, 28/

Moduulien lukumäärälle on myös olemassa ideaaliarvo, joka on hyvä huomioida teknisten ratkaisujen yhdistämistä mietittäessä ja modulaarisia konsepteja muodostaessa. Moduulien ideaalisella lukumäärällä tarkoitetaan, että moduulien asennukseen vaadittava osakokoonpanoaika ja tuotantolinjalla tapahtuva valmiiden moduulien yhdistämiseen kuluva aika ovat tasapainossa keskenään. Moduulien ideaalista lukumäärää voidaan arvioida käyrän avulla (**Kuva 10.**). /3, 29/



Kuva 10. Kokoonpanon läpimenoaika tuoteperheen kaikkien tuotteiden keskimääräisen moduulien lukumäärän funktiona. Minimiläpimenoaika kun moduulien lukumäärä on yhtä suuri kuin neliöjuuri asennusoperaatioiden lukumäärästä keskimääräisellä tuotteella tai keskimääräisessä kokoonpanossa /3, 29/

Moduulien lukumäärän poikkeaminen ideaalista kasvattaa läpimenoaikaa molempiin suuntiin, mutta kuten käyrän muodosta voidaan nähdä, lukumäärän poikkeaminen alaspäin on huomattavasti haitallisempaa läpimenoajan kannalta kuin poikkeaminen ylöspäin. Tämä johtuu toisaalta siitä, että moduulien liian vähäinen lukumäärä tekee niiden osakokoonpanoista monimutkaisia ja paljon aikaa vieviä, ja toisaalta myös siitä, että moduulien yhteenliittämiseen kuluva aika kasvaa niiden välisten rajapintojen monimutkaistumisen vuoksi. /3, 30/

Varsinaista yksittäisen modulaarisen konseptin valintaa ei kuitenkaan menetelmän tässä vaiheessa tarvitse vielä suorittaa, vaan tässä vaiheessa voidaan ehdottaa useampia eri konsepteja, joista yksi tai useampia valittava. Vaihtoehtoja vertailtaessa voidaan jälleen apuna käyttää Pughin valintamatriisia, jossa vertaillaan eri konseptien vahvuuksia ja heikkouksia, kuten teknisten ratkaisujen valinnan yhteydessä. /3, 30/

3.4.4 Modulaaristen konseptien arviointi

Neljäntenä päävaiheena MFD -menetelmässä on vaiheessa 3 muodostettujen modulaaristen konseptien arviointi.

Kun useita uusia modulaarisia konsepteja on muodostettu, nousee esiin monia kysymyksiä, esimerkiksi:

- Mikä uusista konsepteista tulisi valita?
- Mitä vaikutuksia uudella konseptilla on tuotekehitykseen tai tuotantoon?
- Kuinka paljon parempi uusi modulaarinen konsepti on verrattuna olemassa olevaan ratkaisuun? /3, 30/

Jotta tämänkaltaisiin kysymyksiin voitaisiin vastata ja eri vaikutukset osattaisiin arvioida oikein, täytyy uusia konsepteja arvioida usealta eri kannalta, jotka kattavat tuotteen elinkaaren eri vaiheita. /3, 31/

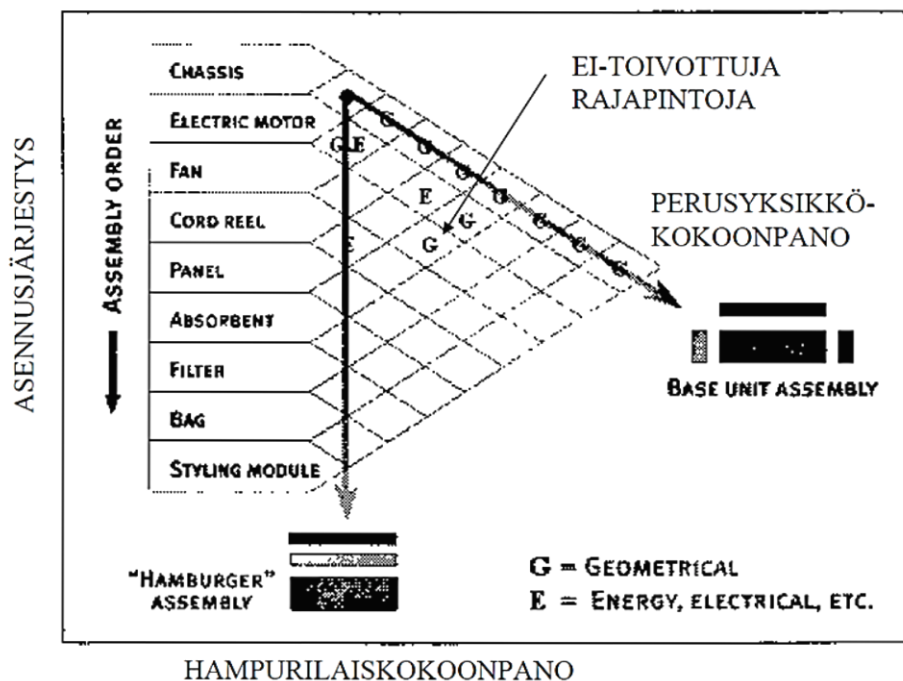
Modulaarisessa tuoterakenteessa moduulien välisillä rajapinnoilla on ratkaiseva vaikutus lopputuotteeseen ja tuotevalikoiman joustavuuteen. Tästä syystä rajapintojen liityntöjen arviointi on tärkeä tekijä moduulikonseptin valinnassa (**Kuva 11.**). /3, 31/

| Rajapinta | Esimerkki | Rajapintamatriisissa |
|----------------------|--|----------------------|
| Kiinteä | Liittää tuotteen moduulit yhteen ja siirtää voimia | G |
| Liikkuva | Siirtää energiaa pyörivän tai edestakaisin liikkuvan voiman muodossa | E |
| Väliainetta siirtävä | Väliaineella tarkoitetaan nesteitä, sähköä, jne. | E |

Kuva 11. Esimerkkejä moduulien välisistä rajapinnoista /3, 31/

Moduulien välisiä rajapintoja voidaan arvioida niin kutsutun rajapintamatriisin avulla (**Kuva 12.**), johon moduulit laitetaan niiden oletetussa asennusjärjestykseen-

sä. Matriisissa moduulien väliset vuorovaikutukset on merkitty kirjaintunnuksilla, jotka kuvaavat niiden välisiä yhteyksiä rajapintojen yli. /3, 31/



Kuva 12. Rajapintamatriisi /3, 32/

Kokoontapano kannalta voidaan havaita kaksi ideaalista rajapintaperiaatetta: Perusyksikkökokoontapano (Base unit assembly) ja "Hampurilaiskokoontapano" ("Hamburger" assembly), jotka on merkitty kuvaan nuolilla. Perusyksikkökokoontapano tarkoittaa kuvan mukaisesti kokoontapanoa, jossa tuote kootaan perusmoduulien ympärille, kun taas "Hampurilaiskokoontapanossa" koko tuote kootaan ylhäältä alaspäin seuraava moduuli aina edellisen päälle. /3, 31/

Rajapintamatriisi osoittaa myös ne ei-toivotut liittynät, joita on erityisesti tarkastettava ja joista on pyrittävä pääsemään eroon, joko tuotteen uudelleen suunnittelun avulla tai sen kokoontapanojärjestystä muuttamalla. Näitä ei-toivottuja rajapintoja osoittavat kaikki nuolien ulkopuolella olevat merkinnät. /3, 31/

Rajapintamatriisiin lisäksi modulaaristen konseptien arviointiin voidaan käyttää kymmentä arvoa/sääntöä (**Kuva 13.**). Osalle esitetyille vaikutuksille on ollut

mahdollista kehittää sitä kuvaava arvo, mutta osalle on jouduttu esittämään ainoastaan arviointisääntö. /3, 32/

| Vaiikutukset (elinkaaren vaiheet) | Tuotteen ominaispiirre | Tyyppi Arvo/sääntö | Ideaali, optimi tai tavoite |
|---|--|--------------------|--|
| Tuotekehitys | | | |
| 1. Tuotekehityksen läpimenoaika | Rajapintojen monimutkaisuus | Arvo | $\frac{(N_m - 1)10}{3}$ |
| 2. Tuotekehityskustannukset | Carry-over -moduulien osuus | Sääntö | Maksimoidaan |
| 3. Tuotekehityskapasiteetti | Ostettavien moduulien osuus | Sääntö | Arvioidaan: "tehdä vai ostaa" |
| Kokoonpano | | | |
| 4. Tuotekustannukset | Tuotevalikoiman monimutkaisuus | Arvo | $1,5 \sqrt{N_p}$ |
| 5. Järjestelmäkustannukset | Ostettavien moduulien osuus | Sääntö | Arvioidaan: "tehdä vai ostaa" |
| 6. Läpimenoaika | Tuotteen moduulien lukumäärä | Arvo | $20 \sqrt{N_p} - 10$ [s] |
| 7. Laatu | Erillisesti testattavien moduulien osuus | Arvo | Maksimoidaan |
| Myynti/Myyntin jälkeinen palvelu (After sales) | | | |
| 8. Varianttien joustavuus | Kerrannaiskäyttö | Arvo | Maksimoidaan: $E_{var} = \frac{N_{var}}{N_{mtot}}$ |
| 9. Huolto/kunnossapito | Moduulien toiminnallinen sekoittumattomuus | Sääntö | Mitään alitoimintoa ei ole jaettu kahden tai useamman moduulin kesken |
| 10. Kierrätettävyys | Materiaalien sekoittumattomuus moduuleissa | Sääntö | Eri materiaalien lukumäärä yhdessä moduulissa niin alhainen kuin mahdollista |

Kuva 13. Arvoja/sääntöjä modulaarisen tuoterakenteen arviointiin /3, 32/

Kuvassa 13 käytetyt merkinnät:

N_m = Moduulien lukumäärä yhdessä tuotevariantissa

N_p = Osien lukumäärä valmiissa tuotteessa

E_{var} = Varianttien joustavuus

N_{var} = Varianttien saavutettavissa oleva lukumäärä

N_{mtot} = Kaikkien varianttien valmistamiseen vaadittava moduulien lukumäärä

- Tuotekehityksen läpimenoaika riippuu rajapintojen monimutkaisuudesta
- Tuotekehityskustannukset riippuvat carry-over -moduulien osuudesta
- Tuotekehityskapasiteetti ja järjestelmäkustannukset riippuvat ostettavien moduulien osuudesta
- Tuotekustannukset riippuvat tuotevalikoiman monimutkaisuudesta
- Kokoonpanon läpimenoaika riippuu tuotteen moduulien lukumäärästä
- Laatu riippuu erillisesti testattavien moduulien osuudesta
- Varianttien joustavuus riippuu kerrannaiskäytöstä
- Huolto ja kunnossapito riippuvat moduulien toiminnallisesta puhtaudesta

Kierrätettävyys riippuu moduulien sekoittumattomuudesta moduuleissa /3, 33–35/

3.4.5 Moduulikohtainen suunnittelu

Viimeisenä päävaiheena MFD -menetelmässä on moduulikohtainen suunnittelu, jossa keskitytään moduulikonseptin parantamiseen moduulitasolla. /3, 37/

Näkökohtia moduulikohtaisesta suunnittelusta:

- Moduuleille on laadittava spesifikaatiot ja dokumentoitava.
- Modulointi osoittaa usein, milloin osien yhdistämistä tulee välttää, kun taas DFA/M näyttävät, koska tulee yhdistää.
- MIM-matriisia voidaan hyödyntää moduulin periaatteiden valinnassa (esim. huollon takia tehty moduuli helposti irrotettavaksi).
- Kokoonpanon läpimenoaika riippuu tuotteen moduulien lukumäärästä.
- Osien suuri määrä lisää tuotekustannuksia.
- Modulointi usein lisää yhden tuotteen osien määrää, mutta vähentää kokonaisuusmäärää. /3, 37–39/

4 TESTAUSJÄRJESTELMÄN KAAPIN LÄHTÖKOHDAT

Testausjärjestelmän kaapista on ajan mittaan tullut monta eri variaatiota ja vaikka on tullut myös samankaltaisia tilauksia asiakkailta, niin dokumentointi on jäänyt puolitiehen ja hankinnat koko testausjärjestelmään on hankittu eri valmistajilta, mistä on siten tullut liian laaja materiaalivalikoima kaapin valmistukseen. Osat eivät ole tahtoneet sopia keskenään yhteen ja niitä on pitänyt omin päin soveltaa. Dokumentoinnin puutteellisuudesta johtuen, kaapin kasaaminen on alkanut joka kerta alusta ilman selvyyttä mikä komponentti kuuluu minnekin. Tämä on aiheuttanut liian paljon turhia toimenpiteitä, kustannuksia ja kaapin kasaaminen on ollut hidasta.

Tästä johtuen yritys halusi selkeyttää testausjärjestelmiensä kokoonpanoa ja standardisoida koko testausjärjestelmä kaikkine komponentteineen vakiomalliksi, mistä sitä on sitten helppo räätälöidä asiakkaan toiveiden mukaiseksi ilman isompia muutoksia.

4.1 Spesifikaatio

Yrityksen johdon tavoitteet ja vaatimukset olivat, että testausjärjestelmä olisi jatkossa mahdollisimman kompakti, helppo kasata, edullinen, liikuteltavuus helppoa, turvallinen, muuntautumiskykyinen, helppo säätää eri ihmisille sopivaksi esim. korkeus fixturelle ja samoin hiiri/näppäimistöille + näytölle ja myös erittäin tärkeää, että huolto olisi jatkossa helppo toteuttaa, ettei tarvitse purkaa koko laitetta.

Muunneltavuus on tärkeää siksi, että asiakas saattaa tilata erilaisen kokoonpanon kuin edellinen asiakas. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että testausjärjestelmän kaapin mittalaitteille on määriteltä vakiopaikat ja mahdollisille lisämittalaitteille optiopaikat, mihinkä ne tulee sijoittaa aina tilauksen mukaan. Tällöin laite toimii modulaarisesti ja jokaiselle on oma paikka. Johdinsarjojen pituuksiakaan ei tällöin tarvitse muuttaa, koska paikat ovat valmiiksi määriteltä ja jos joku laite jää pois, siitä on helppo karsia juuri kyseiselle laitteelle kuuluvat johdinsarjat.

Kierrätys pitää huomioida myös, esim. pakkausjätteet pitää tarkkaan katsoa, että ei ole luontoa tuhoavaa ja saastuttavaa materiaalia käytössä ja testausjärjestelmän osia pitää ajatella niin, että ne voidaan mahdollisesti myöhemmin uusiokäyttää.

Tiedonhankinta tapahtui keskustelemalla yrityksen johdon ja asiantuntijoiden kanssa. Heillä oli myös esitteitä mistä pystyi hahmottamaan esim. kilpailijoiden tuotteita ja tietenkin myös oman yrityksen erilaisia variaatioita. Niistä pystyi helposti myös näkemään, mitä ei kannata suunnitella ja mitä taas kannattaa ainakin harkita, kun suunnitelmia tekee.

4.2 Vaatimuslista

Vaatimuslistassa (**Taulukko 1.**) tulee tarkemmin eriteltynä mitä eri vaatimuksia tuli esille laitteen suunnittelussa.

Taulukko 1. Yrityksen johdon vaatimuslista työlle

| Vaatimuslista | | | | |
|--|-------------------|-----------|---|-------------------|
| Kohde: Testausjärjestelmän mekaniikan kehittäminen uudelle alustalle | | | | |
| Muutos pvm | Päätunnus, numero | KV, VV, T | VAATIMUS | Toiv. tärkeys 1-5 |
| 23.9.2015 | Geometria 1 | KV | Testauskaapin mitat: räkki 19", korkeus 2000mm, leveys 600mm ja syvyys 800mm | |
| 23.9.2015 | Geometria 2 | KV | Fixturen ja receiverin mitat (Nykyinen hyvä tällä hetkellä, rajapinnan liitokset tulee kahdella eri liitin mallilla, yrityksen omalla ja yleisellä kaupallisella) | |
| 23.9.2015 | Geometria 3 | KV | Näppäimistön / Näytön mitat (Ei määritelty, voi olla myös kosketusnäytöllinen näyttö) | |
| 23.9.2015 | Geometria 4 | KV | Pyörät (Mitoilla, eikä malleilla väliä, kestää min. 400kg painoa yhteensä) | |
| 23.9.2015 | Geometria 5 | T | Tukijalat (Ei määritelty minkälainen pitää olla) | 5 |
| 23.9.2015 | Kinematikka 1 | KV | Liikuteltava / Työntämällä | |
| 23.9.2015 | Voimat 1 | KV | Pystyssä pysyvä | |
| 23.9.2015 | Voimat 2 | KV | Kuljetuksen aikainen kestävyys | |
| 23.9.2015 | Energia 1 | T | Ei paineilmaa | 4 |
| 23.9.2015 | Energia 2 | KV | Puhallin / Jäähdytys / Ilmanvaihto | |
| 23.9.2015 | Energia 3 | KV | Sähköliitäntä 240V / 10A | |
| 23.9.2015 | Energia 4 | KV | Lämpötila-alue max 40°C min 10°C | |

| | | | | |
|-----------|----------------|----|--|---|
| 23.9.2015 | Energia 5 | KV | Kuivat sisätilat / IP20 | |
| 23.9.2015 | Aines 1 | KV | Materiaalit turvallisia / Kemikaalivapaa | |
| 23.9.2015 | Signaali 1 | KV | PC:n käyttöliittymä (PC:n ja testausjärjestelmän tulevat/lähtevät signaalit) | |
| 23.9.2015 | Signaali 2 | KV | Sähköliitäntä 240V / 10A | |
| 23.9.2015 | Turvallisuus 1 | KV | Käsivoimalla tehtävät lukitukset | |
| 23.9.2015 | Turvallisuus 2 | KV | Sähköturvallisuus pienjännitteillä (LVD, Low voltage directive) | |
| 23.9.2015 | Turvallisuus 3 | KV | Kaappi tukeva | |
| 23.9.2015 | Turvallisuus 4 | KV | Paloturvallinen | |
| 23.9.2015 | Ergonomia 1 | KV | Hiiri / Näppäimistön + Näytön korkeuden säätö | |
| 23.9.2015 | Ergonomia 2 | T | Fixturen korkeus (Maasta mitattuna noin 1 metrin korkeudella) | 3 |
| 23.9.2015 | Ergonomia 3 | T | Valaistus | 2 |
| 23.9.2015 | Ergonomia 4 | KV | Ei teräviä kulmia | |
| 23.9.2015 | Ergonomia 5 | T | Kätisyys säädettävissä | 3 |
| 23.9.2015 | Valmistus 1 | T | Liikutettavuus valmistuksessa (Kaappi kasataan sellaisen alustan päällä, että sitä on helppo liikutella tarpeen mukaan, esim. pyörät alla tai pumppukärryillä) | 4 |
| 23.9.2015 | Tarkastus 1 | KV | Kosketussuojatarkastukset | |
| 23.9.2015 | Tarkastus 2 | KV | Maadoitukset | |
| 23.9.2015 | Asennus 1 | KV | Helposti asennettava (Ei kiinteä asennus) | |
| 23.9.2015 | Kuljetus 1 | KV | Vienti pakkaus | |
| 23.9.2015 | Kuljetus 2 | T | Nostosilmukat | 4 |
| 23.9.2015 | Kuljetus 3 | KV | Pumppukärry liikutettavuus | |
| 23.9.2015 | Käyttö 1 | KV | Käyttöpaikka sisätilat IP20 | |
| 23.9.2015 | Kunnossapito 1 | KV | Vuosihuolto helposti tehtävissä (Suodattimet helppo vaihtaa ilman erillistä kaapin siirtelyä) | |
| 23.9.2015 | Kierrätys 1 | KV | Kierrätys pitää huomioida esim. pakkausmateriaalit | |
| 23.9.2015 | Kustannukset 1 | KV | Ei työkaluinvestointeja | |
| 23.9.2015 | Kustannukset 2 | VV | Mahdollisimman edullisesti, hintavertailuna 10% halvempi kuin nykyinen malli, mieluiten halvempikin | |
| 23.9.2015 | Määräajat 1 | KV | Aikataulu: Piirustukset joulukuun puoliväliin mennessä | |
| 23.9.2015 | Määräajat 2 | KV | Aikataulu: Opinnäytetyö joulukuun loppu | |
| 23.9.2015 | Määräajat 3 | KV | Aikataulu: Proton valmistus toukokuun loppu | |

Vaatimukset kaapille oli, että ulkomitat pysyisivät samoina kuin nykyiset kaapit eli 2000 mm korkea, 600 mm leveä ja 800 mm syvä. Kaapin alle tulevien pyörien olisi tarkoitus kestää vähintään 400 kg painoa. Pienjännitetestauskaappia koskivat pienjännitedirektiivin 2006/95/EY eli LVD (low voltage directive) sähköturvallisuus. Kaappi oli tarkoitus suunnitella kuiviin sisätiloihin IP20 max 40 °C ja min 10 °C lämpötiloihin. Vähittäisvaatimus oli, että kaappi olisi 10 % halvempi kuin nykyinen malli.

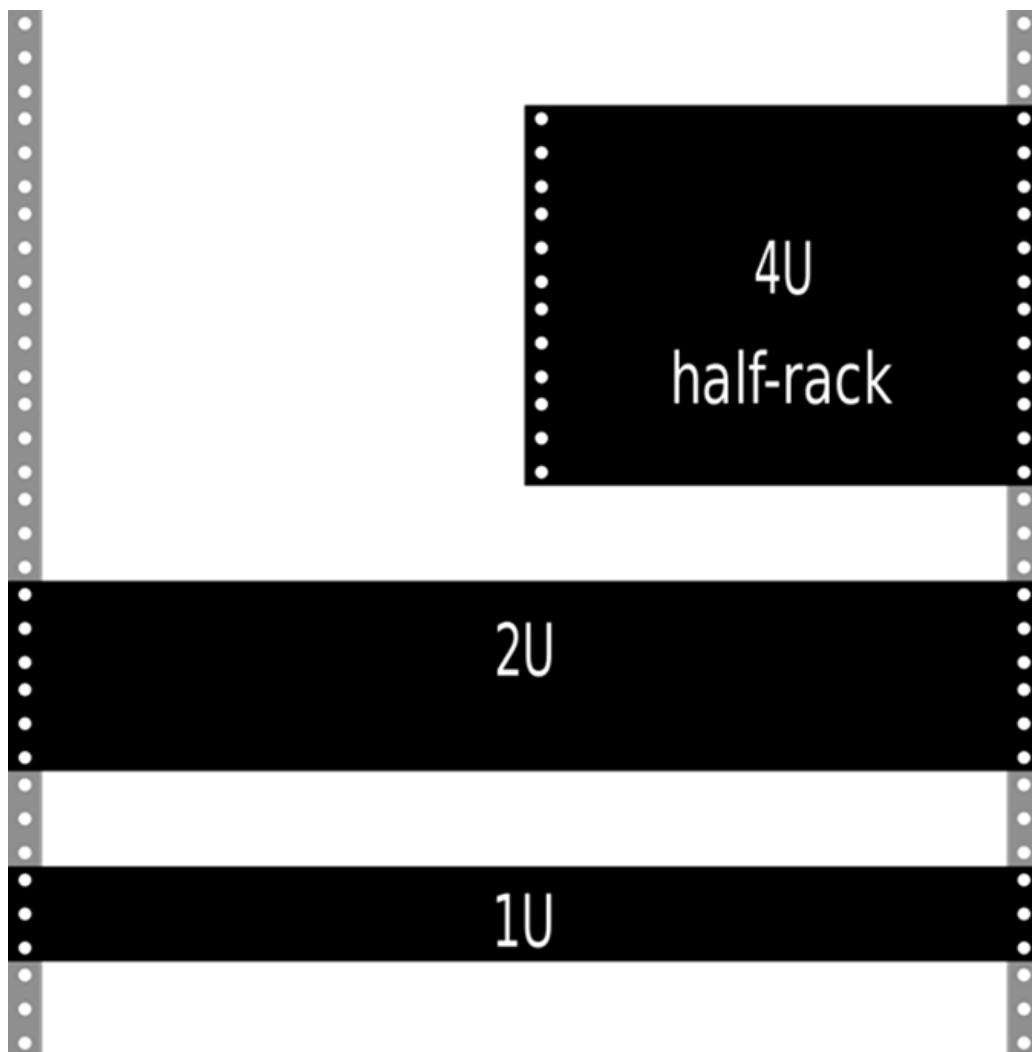
5 TESTAUSJÄRJESTELMÄN MEKANIIKAN SUUNNITTELU

5.1 Työn aloitus

Työ alkoi selvittämällä ja tutustumalla nykyisiin malleihin ja eri valmistajiin. Tällä tavoin pystyttiin selvittämään, mitä eri valmistajilla on tarjottavana ja mitä pitää suunnitella itse. Kustannukset, materiaalit ja toimitus nousi vahvasti esille valmistajaa valittaessa.

Heti alkuun sai jo käsityksen siitä, minkälaista kaappia kannattaa lähteä kehittämään. Runkomekaniikka hahmottui nopeasti ja enemmän aikaa vei osien etsiminen tuoteluetteloista ja valmistuksen kustannuksien selvittäminen mahdollisilta valmistajilta.

Testausjärjestelmän kaappi käyttää 19 tuuman räkkiä. 19 tuuman räkki on standardisoitu (EIA 310-D, IEC 60297 ja DIN 41494 SC48D) laiteteline tai -kaappi, johon voidaan asentaa nimensä mukaisesti 19 tuumaa (482,6 mm) leveällä etulevyllä varustettuja laitteita. /4/ Räkkiin kiinnitettävien laitteiden korkeutta mitataan käyttämällä U-yksikköä (engl. unit). Yhden räkkiyksikön korkeus on 44,45 mm (1,75 tuumaa). Yhden räkkiyksikön korkuista laitetta merkitään merkinnällä "1U", kahden yksikön korkuista laitetta merkinnällä "2U", jne. Räkkiin kiinnitettävistä laitteista, jotka vievät leveyssuunnassa vain puolen yksikön verran tilaa, käytetään lisämerkintää "half-rack" (**Kuva 14.**). /4/



Kuva 14. Räkkiin voidaan kiinnittää standardimittaisia laitteita /4/



Kuva 15. 19” räkkiprofiilista luonnollinen kuva

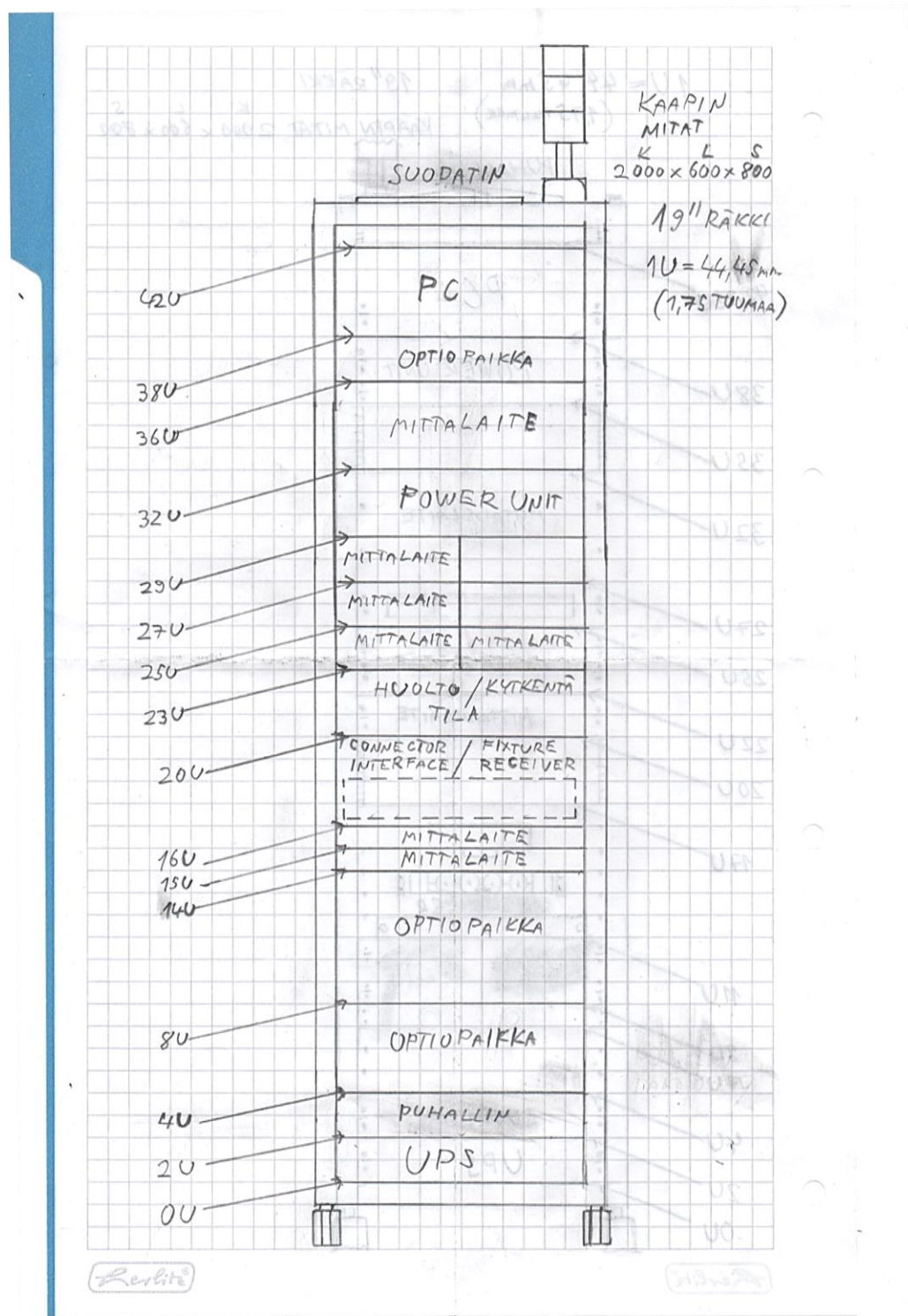
5.2 Luonnostelu

Luonnos (**Kuva 16.**) piirrettiin lyijykynällä ruutupaperille käyttäen ruutuja hyväksi kaapin mittoja laadittaessa. Luonnosta piirrettäessä kaapin ulkomitat olivat selvillä, joten siihen ei tarvinnut puuttua. Kaapin ulkomitat: 2000 mm korkea, 600 mm leveä ja 800 mm syvä. Tämä kaappi tuli käyttöön pienjännitetestaukseen.

Kaappiin jäi siksi paljon optiotilaa käyttämättä, koska myöhemmin siitä pystytään räätälöimään myös suurjännitetestauskaapin, jolloin optiotila otetaan käyttöön. Tämä mahdollistaa sen, että ei tarvitse erikseen suunnitella uutta testauskaappia. Vain testausjärjestelmän turvallisuutta pitää muokata suurjännitteille sopivaksi.

Kaappia suunniteltaessa, vakiomittalaitteiden valinta tapahtui yllättävän nopeasti, mutta ilmanvaihtojärjestelmästä kehitettiin aluksi kolme erilaista versiota. Jokaisesta versiosta mietittiin hyvät ja huonot puolet, niin kustannuksien ja ilmanvaihdon toimivuuden kuin huollon helppouden kannalta. Lopulta kehittämissä vaiheeseen päätyi heti vaihtoehto, missä puhallin on sijoitettu normaalisti mittalaitteiden taivon etupuolelle räkkikiskoon kiinni (**Kuva 15.**). Kahta muuta vaihtoehtoa ei kokonaan suljettu pois tulevaisuutta ajatellen, joten kaikki kolme valittiin kehittämissä vaiheeseen.

Liitteinä löytyvät luonnoskuvat kahdesta versiosta, missä ilmanvaihto on suunniteltu erilailla. Vaihtoehto, missä puhallin on takaovessa, suodatin katossa sekä vaihtoehto, missä puhallin katolla, suodatin etupaneelissa.



Kuva 16. Luonnoksessa puhallin on sijoitettu etupuolelle kaapin alaosaan, suodatin kattoon

Koska kaapin ulkomitat olivat jo selvillä etukäteen, niin suurimmaksi työksi tuli kaapin sisäisen mekaniikan soveltaminen, sekä eri vakiomittalaitteiden sijoittelu kaapin sisälle. Tavoite oli, että laitteet jotka kytketään toisiinsa, niiden etäisyydet olisivat mahdollisimman lyhyet ja tällä tavoin saataisiin turhat kytkentäetäisyydet ja johtimien pituudet pidettyä maltillisina.

Modulaarisessa toiminnassa on hyvä saada asiat toimimaan yhdessä kompaktisti ilman turhia välimatkoja, sekä liiallista soveltamista. Mittalaitteiden valinnoista vastasivat yrityksen sähkö- ja elektroniikkasuunnittelijat ja heiltä sai myös hyviä vinkkejä mittalaitteiden sijoittelupaikkoja laadittaessa.

Kun laitteita alettiin sijoittelemaan kaappiin, oli selvää, että UPS sijoitetaan kaapin alimmaiseksi. Uninterruptible Power Supply (UPS) eli keskeytymätön virransyöttö on järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa. /5/

Tämän jälkeen sijoitettiin joko puhallin, peitelevy tai suodatin. Se riippuu siitä, minkälaista ilmanvaihtoa halutaan kaapin viilentämiseksi. Mikäli puhallin laitetaan kaapin alaosaan tai kaapin takaoveen, niin suodatin sijoitetaan sitten kattoon ja ilma puhalletaan ylöspäin. Jos suodatin laitetaan kaapin alaosaan, niin puhallin sijoitetaan sitten kattoon. Tällöin ilmanvaihto toimii toisin päin.

Ilmanvaihtokomponentin jälkeen kaapin alaosassa sijoittelukohtat 2U-14U olivat vapaita jos puhallin tuli takaoveen kiinni ja 4U-14U olivat vapaita jos puhallin tai suodatin tuli eteen räkkikiskoon kiinni. Vapaat paikat olivat ns. optiopaikkoja mahdollisia lisälaitteita varten. Se riippuu siitä miten asiakas haluaa, että hänen testausjärjestelmänsä räätälöidään.

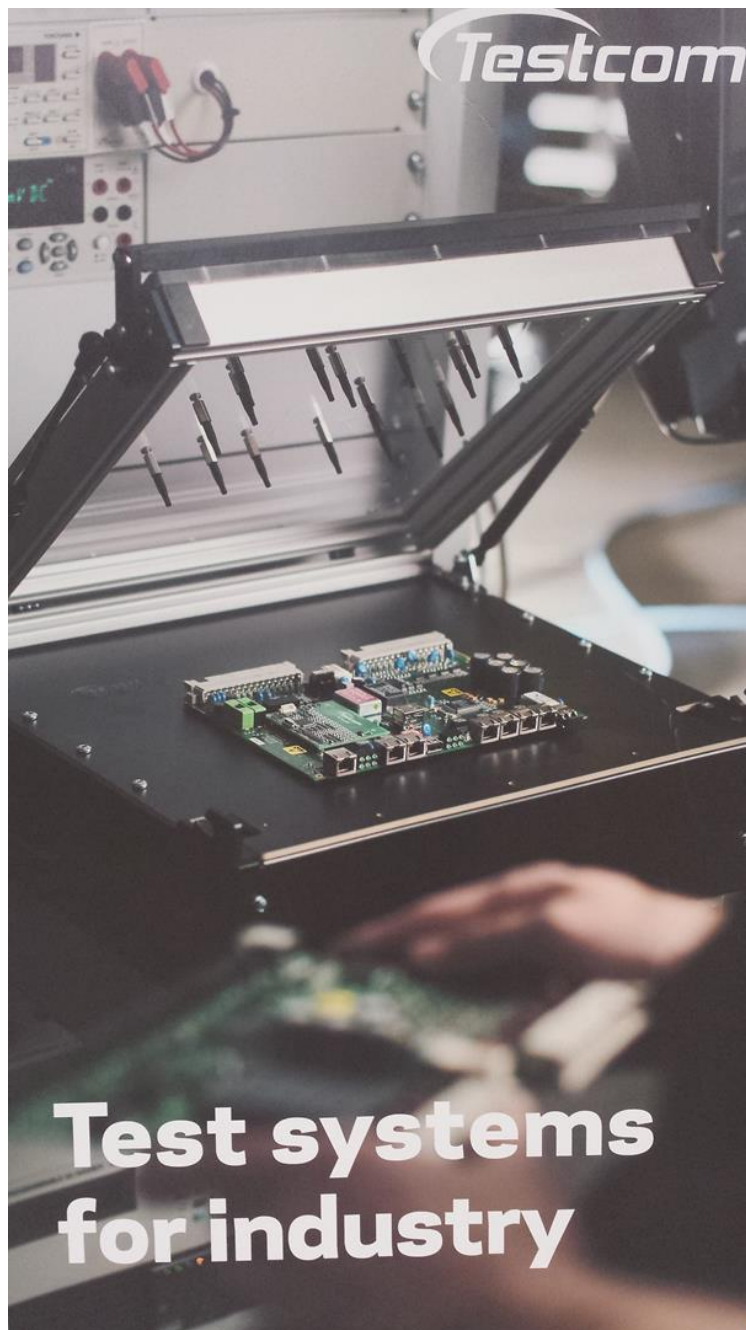
14-16U kohdalle tuli mittalaitteita ja 16U-20U kohdalla oli testausjärjestelmän kytkentäraajapinta eli connector interface ja fixture receiver samassa missä testaukset suoritetaan. Kytkentäraajapintoja (**Kuva 17.**) tuli valituksi kaksi eri liitinvaihtoehtoa. Toinen oli yrityksen itse kehittämä ja toinen oli yleinen kaupallinen versio. Näin ollen asiakas pystyy valitsemaan minkä liitinvaihtoehdon hän haluaa kytkentäraajapintaan.



Kuva 17. Testausjärjestelmän kytkentärajpinta

Receiveriin kytketään testifixture (**Kuva 18.**), jonka sisälle tulee testattava komponentti, yleensä piirilevy tai muu kriittinen komponentti mikä vaatii testausta. Sen takia oli tärkeää, että receiver sijaitsee juuri oikealla korkeudella, että testaus sujuu vaivattomasti ja ergonomisesti. Testifixture saattaa painaa muutamia kym-

meniä kiloja, joten sen takia ei ole järkevää sijoittaa sitä kovinkaan ylös. Vaatimus oli, että maksimissaan noin 1000 mm korkeudelle maasta mitattuna. Näin se on helppo siirtää pois receiveristä jos tarve niin vaatii.



Kuva 18. Fixture valmiina testaukseen

Receiveristä ylöspäin 20-23U on luokku eri huolto- ja kytkentätarpeita varten, mikäli pitää päästä etupuolelta säätämään kytkentöjä kaapin sisälle. 23-29U oli va-

rattu paikat mittalaitteille ja Power Unit/Power Module eli virtalähde, sijoitettiin räkissä 29U korkeudelle. 32U korkeudelle tuli vielä yksi vakiomittalaite. Tämän jälkeen 36-38U oli optiopaikka ja ylimmäksi räkkiin kiinni tuleva oli PC- tietokone.

Nämä vakiokomponentit olisi tarkoitus sijoittaa juuri näihin kohtiin. Se helpottaa kaapin kokoamista, kun paikat ovat jo selvillä etukäteen. Toiset laitteet saattavat kuumentua enemmän kuin toiset, joten ilmanvaihdon pitää pelata moitteettomasti, että laitteet pysyvät tarpeeksi viileänä. Tämäkin on otettu huomioon mittalaitteiden paikkoja mietittäessä.

5.3 Kehittely

Mittalaitteiden sijoittelupaikat olivat kehittelyvaiheessa jo selvät, mikä helpotti kaapin kokoamisessa, kun niitä ruvettiin sijoittelemaan 3D-suunnitteluohjelmalla paikoilleen. Kun tiedettiin minkä valmistajan mittalaitteita tullaan käyttämään testausjärjestelmässä, jokaisesta mittalaitteesta löytyi valmistajan sivuilta oikeilla mitoilla olevat laitekuvaukset ja joistakin löytyi valmis 3D-malli, minkä pystyi lataamaan käytettäväksi.

Kehittelyvaiheeseen valittiin kolmella eri ilmanvaihtojärjestelmällä toimivaa ratkaisua, mutta lopulta tässä vaiheessa ruvettiin panostamaan yhteen ainoaan ratkaisuun, eli siihen missä puhallin on etupaneelissa ja suodatin katossa (**Taulukko 2.**) (**Kuva 19.**), johtuen kustannuksista, toiminnan varmuudesta, sekä huollon helpoudesta.

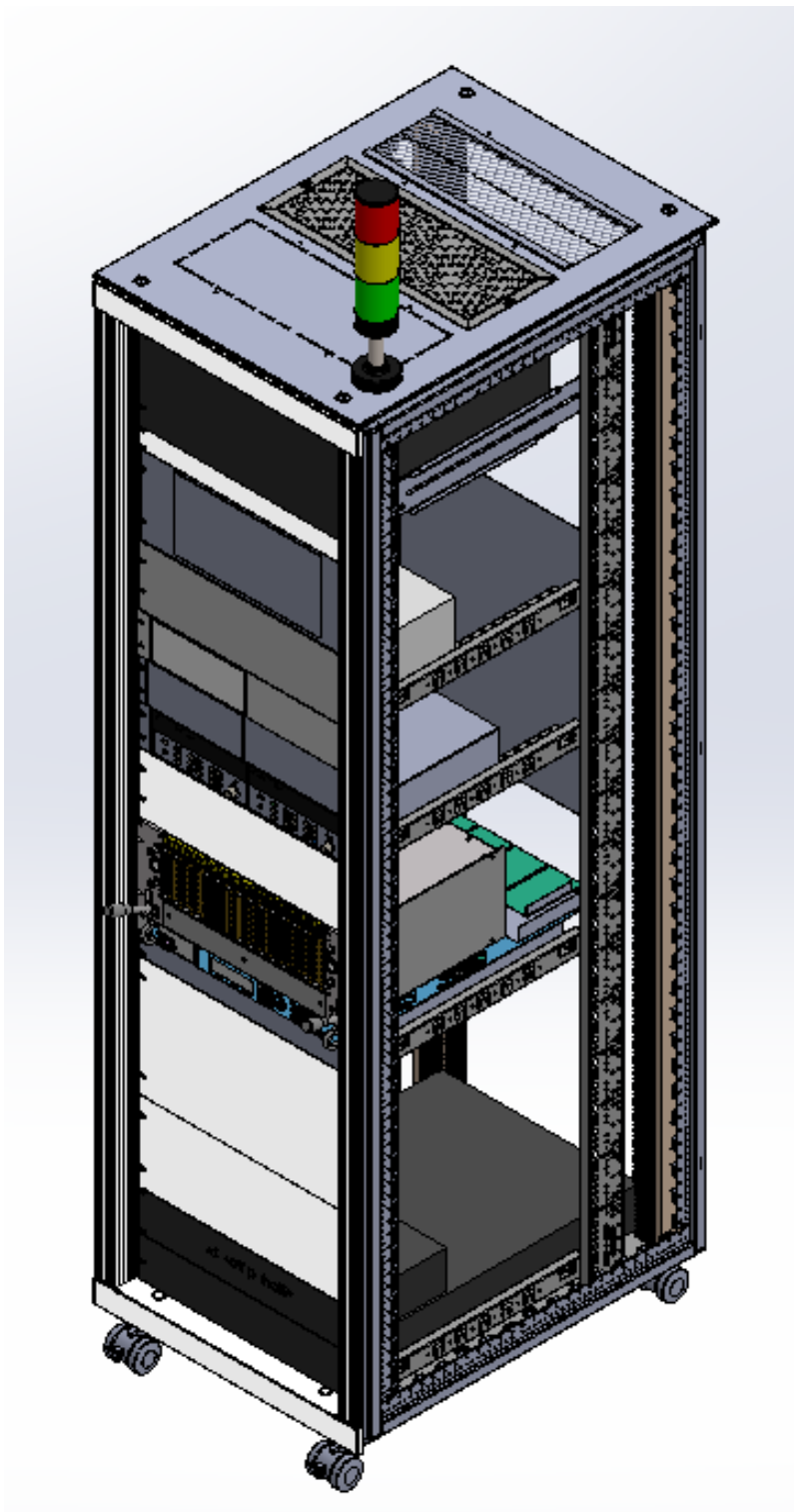
Kustannukset olisivat nousseet melkein kaksinkertaiseksi, jos puhallin olisi sijoitettu takaoveen, johtuen kaapin valmistajan ylimääräisistä työtehtävistä. Jos puhallin olisi sijoitettu kaapin kattoon, ilmanvaihto ei olisi toiminut niin hyvin kuin valittu versio olisi toiminut. Tässäkin versiossa kustannukset olisivat nousseet korkeiksi, koska puhaltimen tehoa olisi pitänyt kasvattaa, että ilma saataisiin vaihtumaan vaaditunlaisesti.

Taulukko 2. Testauskaapin eri ilmanvaihtojärjestelmien paremmuusjärjestys

| Ilmanvaihtojärjestelmien paremmuusjärjestys | | | |
|---|--|---------------------------------------|--|
| | Vaihtoehdot | | |
| Arvostelu asteikolla 1-5 (1=huono, kallis ja 5=hyvä, edullinen) | Puhallin etupaneelissa, suodatin katolla | Puhallin takaovessa, suodatin katolla | Puhallin katolla, suodatin etupaneelissa |
| Kustannukset | 5 | 2 | 4 |
| Huollon helppous (Suodattimen vaihto) | 4 | 4 | 5 |
| Ilmanvaihdon toimivuus | 5 | 5 | 3 |
| Yhteensä: | 14 | 11 | 12 |

Liitteinä löytyy 3D-malleja myös kahdesta muusta versiosta, missä ilmanvaihto on suunniteltu erilailla. Vaihtoehto, missä puhallin on takaovessa, suodatin katos-
sa sekä vaihtoehto, missä puhallin katolla, suodatin etupaneelissa.

Tavoitteena oli myös testausjärjestelmän tietokoneen näytön varren kehittäminen niin, että jatkossa olisi myös kosketusnäytöllä toimiva malli. Kehittelyyn otettiin sekä kosketusnäytölle tarkoitettu versio että vanhalle testausjärjestelmälle oleva versio, missä on mukana näyttö, hiiri ja näppäimistö. Tulevaisuudessa tavoite oli kuitenkin siirtyä kokonaan kosketusnäytölliseen versioon. **(Kuva 21.) (Kuva 22.)**



Kuva 19. 3D-malli, puhallin etupaneelissa, suodatin katossa

Vaatuslistan suhteen kaikki työn piiriin kuuluvat on tarkistettu ja OK. Opinnäytetyön ulkopuolelle jätettyihin vaiheisiin ei vaatuslistassa vielä päästy, kuten

esimerkiksi proton valmistukseen liittyvissä asioissa, mihinkä kuuluvat pakkausmateriaalit ja kuljetuksen aikainen kestävyys. Mutta tuotekehitys jatkuu myös opinnäytetyön jälkeenkin, joten vaatimuslistaa pystyy seuraamaan myös silloin. Testauskaapin kriittisimmissä vaatimuksissa kuitenkin pysyttiin suunnitellusti ja mahdollisessa jatkokehityksessä otetaan vielä huomioon sellaiset asiat, mitkä ei tähän opinnäytetyöhön kuulunut.

Vaatimuslistan toiveiden toteutumiset:

- kaapissa ei käytetä paineilmaa
- tukijalat kaapille on vielä kehittäelyvaiheessa
- fixturen asennuskorkeus on noin 1000 mm korkeudella
- valaistusta ei toteuteta
- nostosilmukat saa asennettua katolle
- kätisyys on säädettävissä
- kaappi on suunniteltu niin, että sitä pystyy liikuttelemaan valmistuksen aikana.

5.4 Modulaarinen testausjärjestelmä

Testausjärjestelmän modulaarisuus tulee esiin tavalla, jossa pienjännitetestauskaapin vakiopaikoilla olevat mittalaitteet kuuluvat perusmoduuleihin, eli ne ovat järjestelmässä perustavia, aina toistuvia ja välttämättömiä. Ne on sen vuoksi nimetty pakkomoduleiksi.

Jos testausjärjestelmässä otetaan optiopaikat käyttöön, ne kuuluvat erikoismoduuleihin, eli ne ovat erityisiä, täydentäviä, tehtävänomaisia osatoimintoja, jotka ovat perusmoduulien erityisiä täydennyksiä tai lisäkkeitä. Ne on sen vuoksi nimetty lisämoduleiksi.

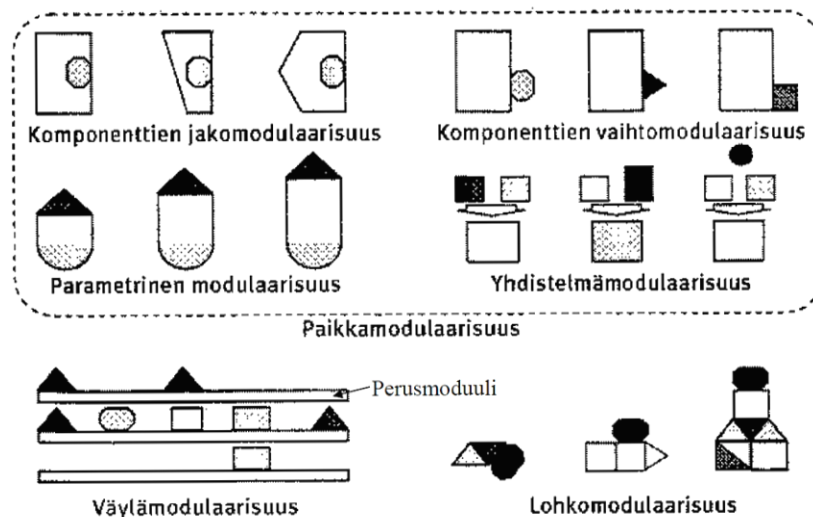
Testausjärjestelmän kaapille lähimmäksi soveltuvat modulaarisuustyypit (**Kuva 20.**) ovat komponenttien vaihtomodulaarisuus, sekä väylämodulaarisuus:

- Vaihtomodulaarisuus (yhteinen ydin)

Samaan perustuotteeseen voidaan yhdistää useita erilaisia moduuleita.

- Väylämodulaarisuus

Yhteinen, standardisoitu perusväylä, johon väylään sopivia moduuleita voidaan vapaasti liittää. /3, 10–11/



Kuva 20. Modulaarisuuden eri tyyppejä. /3, 11/

Pienjännitetestaaskaapin mittalaitteiden kokoonpano on määritelty yrityksen sähkö- ja elektroniikkasuunnittelijoiden toimesta, mutta asiakkaalla on mahdollisuus myös lisätä mittalaitteita optiopaikoille, jolloin kokoonpano muuttuu.

Mittalaitteiden paikat on tarkkaan määritelty mihinkä kohtaan ne kaapissa sijoitetaan. Mittalaitteita pystyy sijoittelemaan muihinkin kohtiin, mutta silloin kokoonpanojen järkevyyttä kärsii ja mittalaitteiden signaalietäisyydet muuttuvat liian pitkiksi. Tällaisista menetelmistä pyritään pääsemään eroon.

5.5 Viimeistely

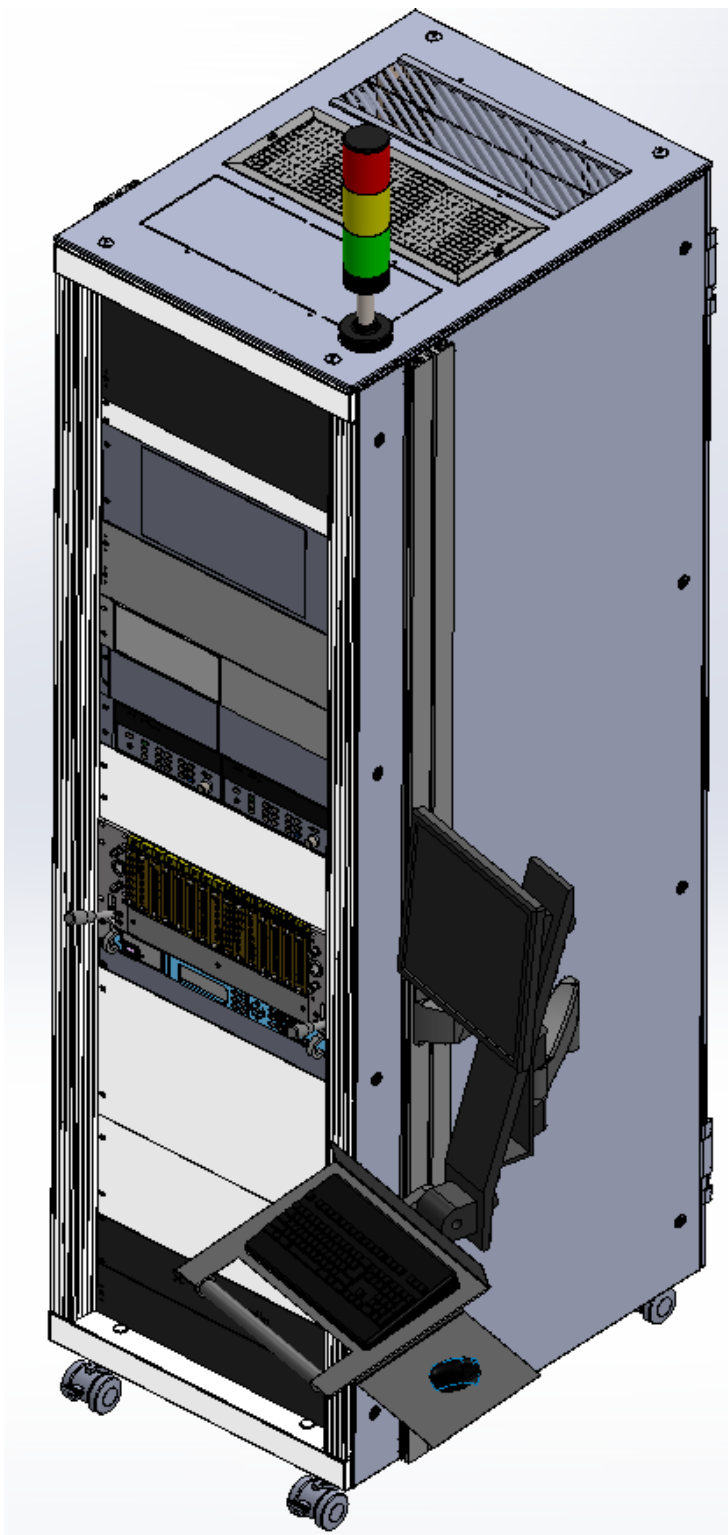
Kosketusnäytön teline saatiin kasattua erään valmistajan tuotteista, mikä sujuikin yllättävän helposti, koska kaikki tarvittavat komponentit löytyivät kyseiseltä valmistajalta, eikä tarvinnut etsiä monesta eri paikasta. Suunnittelu ajateltiin niin, että

on mahdollisimman hyvät säätömahdollisuudet niin telineen kääntökulmissa kuin pituussuunnassa.

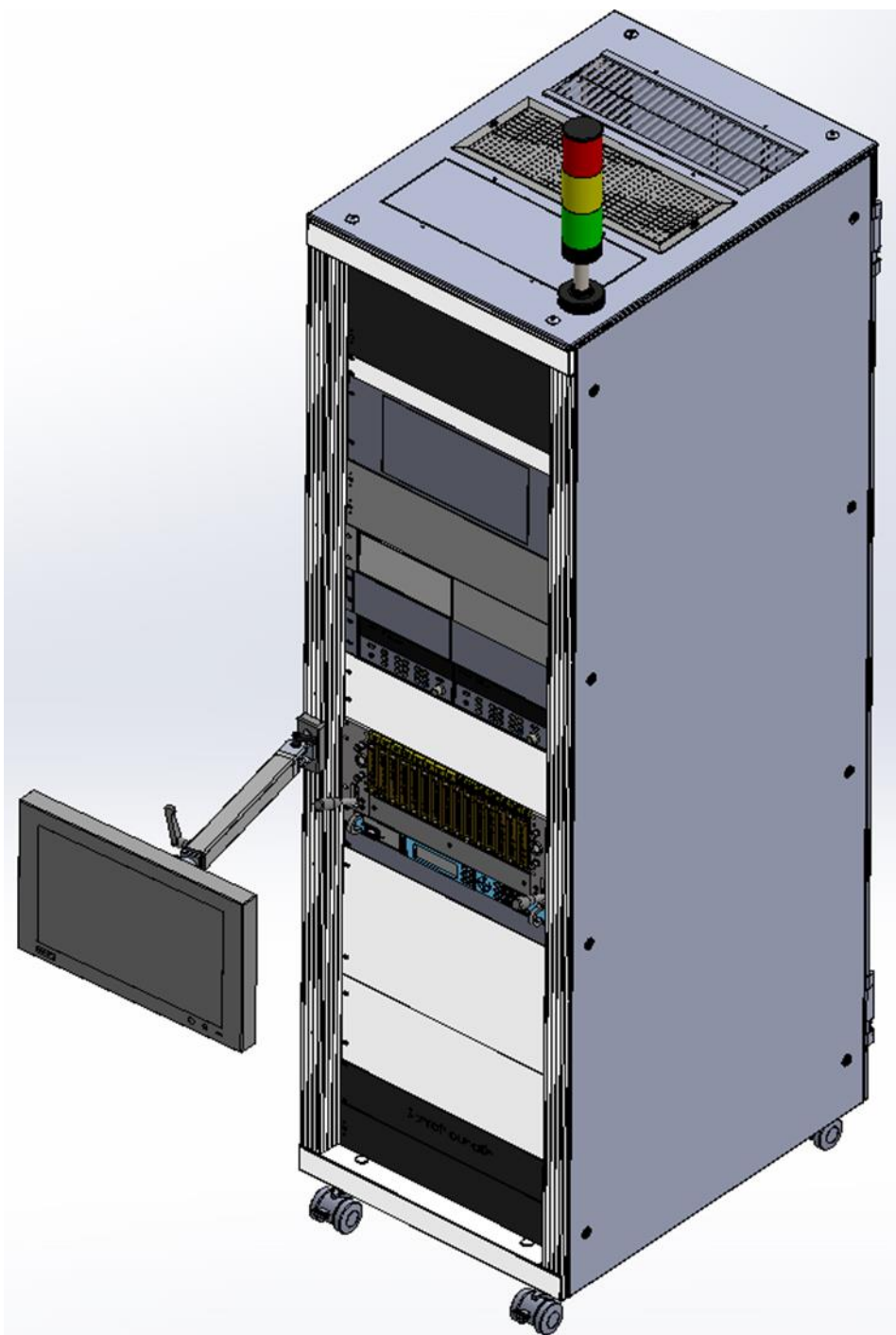
Kun suunnittelu ja kaikki halutut komponentit kaappiin oli valittu, alkoi lopullisten valmistajien etsiminen. Nopeasti sai käsityksen, että moni oli halukas yhteistyöhön. Muutama tuli yritysvierailulle ja yhteen saatiin ensikontakti messuilla. Valmistajia kaapille löytyi aluksi neljä kappaletta, mistä niitä sitten lähdettiin karsimaan pois eri syihin perustuen ja lopuksi kaksi valmistajaa nousi potentiaalisiksi yhteistyökumppaneiksi.

Tarjosten perusteella kustannuksissa päästiin tavoitteeseen, eli vähittäisvaatimuksena oli 10 % halvempi testauskaappi kuin mitä vanha kaappi oli. Eri tilausmäärillä voi nousta vielä edullisemmäksi. Toimitusajat molemmilla valmistajilla oli 4-6 viikkoa. Testausjärjestelmään löytyi osat helposti valmistajan sivuilta, mikä auttoi kaapin suunnittelussa.

Kaapin proton valmistus oli rajattuna pois tästä opinnäytetyöstä, mutta sekin saadaan käyntiin heti, kun testausjärjestelmän tuotteistusprojekti saadaan kaikelta osin valmiiksi. Valmiudet kaapin onnistumiseksi on ainakin hyvät.



Kuva 21. Testausjärjestelmän versio, jossa on mukana näyttö, hiiri ja näppäimistö.



Kuva 22. Testausjärjestelmän versio, jossa on teleskoopivarrella liikuteltava kosketusnäyttö.

6 YHTEENVETO

Työn tuloksena saatiin hyvä ratkaisu, missä jokaiselle komponentille löytyi oma paikka testausjärjestelmässä. Testauskaappi toimii modulaarisesti ja kytkentävälimatkat eri laitteista toisiinsa pysyivät mahdollisimman lyhyinä. Tällä tavoin säästettiin niin sähköjohtojen pituuksissa kuin kustannuksissakin. Itse kaapin suunnittelu hahmottui aika lailla itsestään ja vaatimuslista täyttyi lähes kokonaan, tosin kaikkia asioita ei opinnäytetyön aikana ehtinyt vielä toteuttamaan.

Modulaarisuuden tyyppiesimerkeissä testausjärjestelmä pääsi lähimmäksi komponenttien vaihtomodulaarisuutta sekä väylämodulaarisuutta. Mittalaitteet, jotka oli tarkoitus olla vakiona pienjännitetestauskaapissa, luokiteltiin perusmoduuleiksi. Lisämittalaitteet luokiteltiin lisämoduuleiksi. Vakiomittalaitteet oli tarkoitus sijoittaa kaappiin juuri niin, että niiden signaalietäisyydet pysyisivät mahdollisimman lyhyinä toisiinsa ja kytkentärajaan. Tällä tavoin kaapin sisältökin pysyisi mahdollisimman kompaktina.

Testausjärjestelmän mekaniikan suunnittelu oli kaiken kaikkiaan mielenkiintoinen projekti, koska aihe ja koko toiminta oli itselle aivan uutta, mikä taas toi oman haasteen työn teolle. Suunnittelun ohessa, pääsi myös tutustumaan kaapin kasamiseen käytännössä. Se auttoi suunnittelussa ja hahmottamisessa, eli mitä kannattaa jättää suosiolla pois ja mitä voisi harkita työhön mukaan.

Ilmanvaihtojärjestelmän suhteen päädyttiin lopulta siihen vaihtoehtoon, että puhallin sijoitetaan kaapin etupuolelle alaosaan ja suodatin tulee kattoon. Tämä vaihtoehto osoittautui kaikkein parhaimmaksi ja tehokkaimmaksi sekä kustannukset pysyivät maltillisimpana.

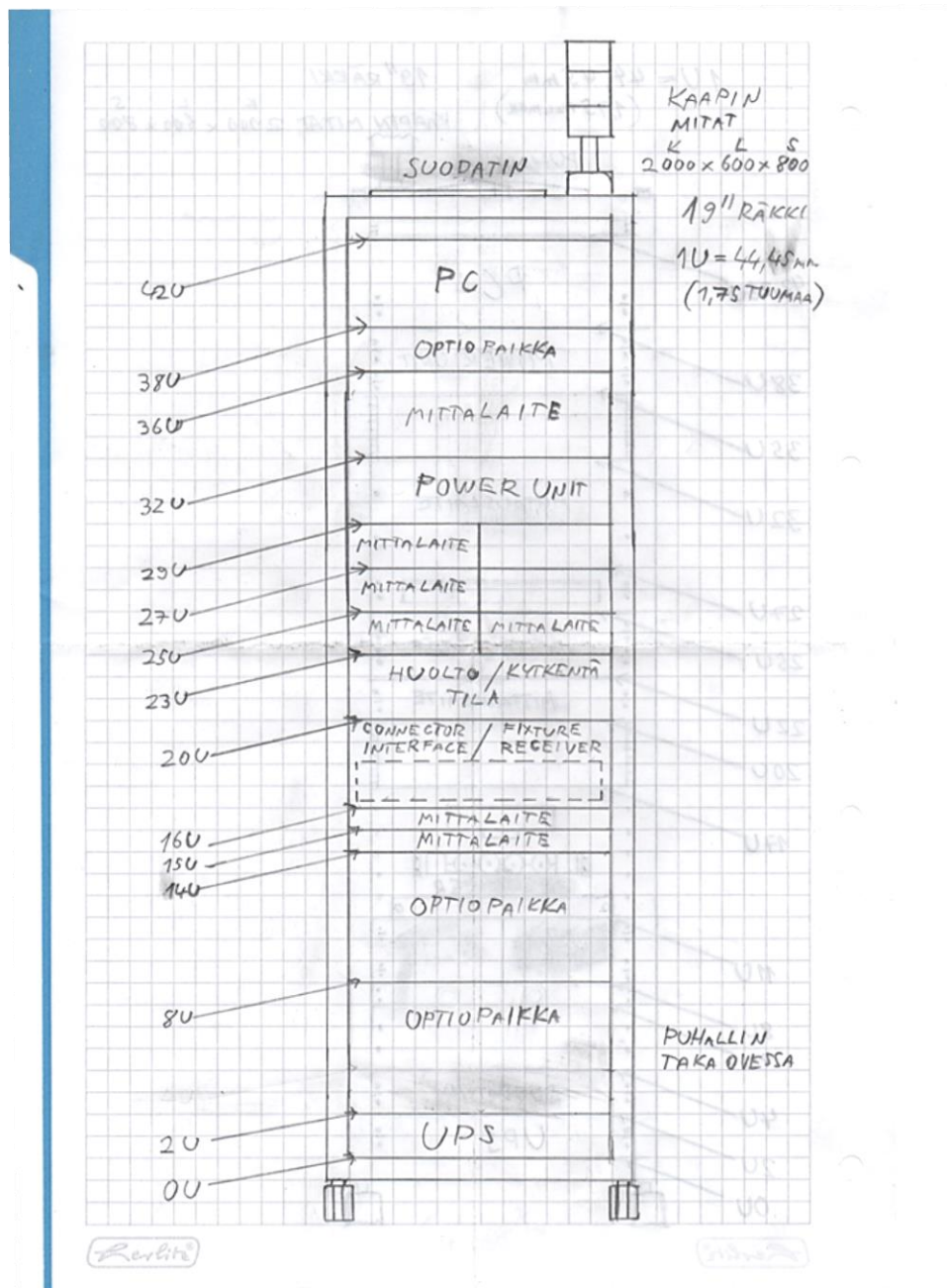
Valmistajia testauskaapille saatiin lopulta kaksi. Kustannuksissa päästiin tavoitteeseen, eli vähittäisvaatimuksena 10 % halvempi kuin nykyinen testausjärjestelmä.

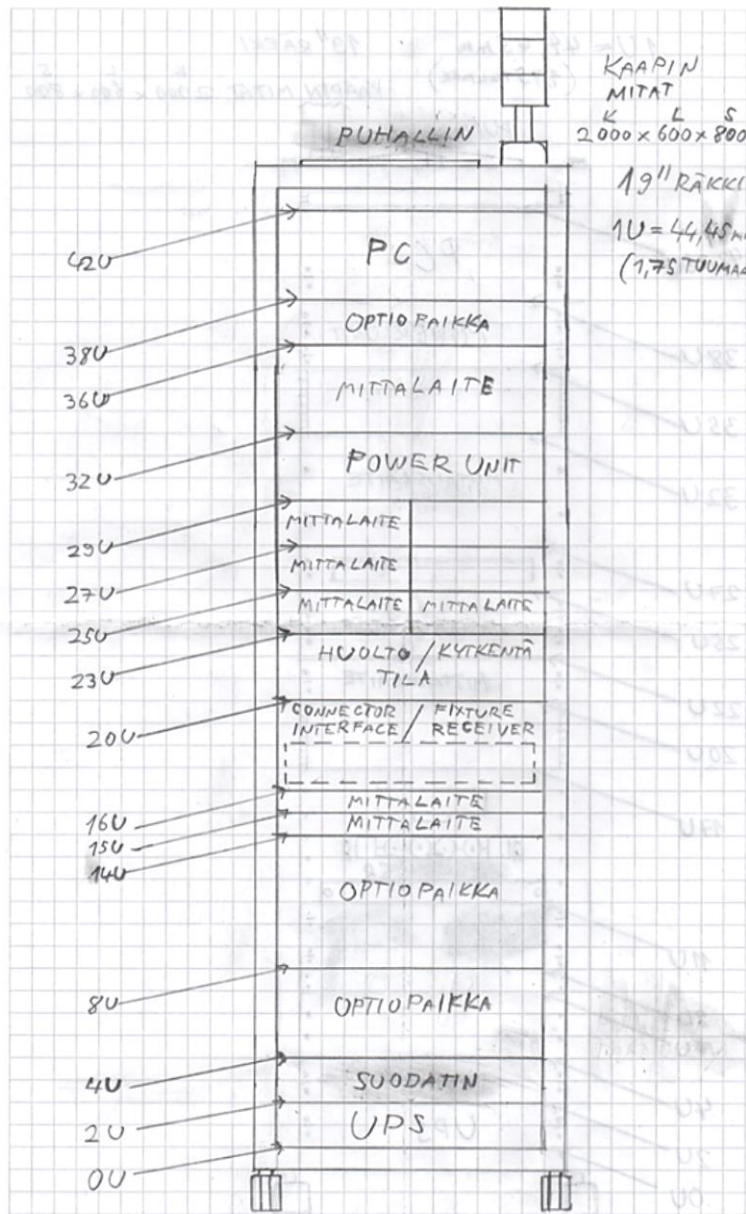
Kaapin proton valmistus oli rajattuna pois tästä opinnäytetyöstä, mutta sekin saadaan käyntiin heti kun testausjärjestelmän tuotteistusprojekti saadaan kaikelta osin valmiiksi.

LÄHTEET

- /1/ Ampner Oy:n kotisivut. Viitattu 15.12.2015. <http://www.ampner.com/>
- /2/ Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Moduulijärjestelmät. Koneensuunnitteluoppi. 2.painos. Helsinki. MET. (s.436–451)
- /3/ Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin - Modular Function Deployment. Helsinki. MET-julkaisuja nro 21/2001. (s.12–39)
- /4/ Wikipedia 2015. 19 tuuman räkki. Viitattu 15.12.2015.
https://fi.wikipedia.org/wiki/19_tuuman_r%C3%A4kki
- /5/ Wikipedia 2015. UPS. Viitattu 15.12.2015.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/UPS>

LIITTEET





Revista

210422

