

Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanon layoutsuunnittelu

Jere Matilainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

| | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Tekijä(t) Matilainen, Jere | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä Huhtikuu 2020 |
| | Sivumäärä 40 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi Tuuliturbiinivaihteen kokoonpanon layoutsuunnittelu | | |
| Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma | | |
| Työn ohjaaja(t) Hannu Kivistö, Miikka Parviainen | | |
| Toimeksiantaja(t) Moventas Gears Oy | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Jyväskylässä sijaitsevalle Moventas Gears Oy:n Etelä-Keljon tehtaalle. Työn taustalla oli hiljattain aloitettu Exceed Evo -tuuliturbiinivaihteen sarjatuotanto, jonka kokoonpanon tuotantokyky pyrittiin saamaan halutulle tasolle. Osasyynä huonoon tuotantokykyyn oli vaihteen sarjatuotantoon huonosti soveltuva layout. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda uusi kokoonpanohallin layoutsuunnitelma, joka mahdollistaa 8–10 vaihteen kokoonpanon viikossa.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin osakokoonpanosolujen vaiheajat ja tilantarve sekä pyrittiin minimoimaan osakokoonpanojen kuljetusmatkat. Työssä tutkittiin ja tarkkailtiin kokoonpanon toimintaa, suoritettiin useita haastatteluja sekä keskusteltiin tuotannon ongelmakohdista, tuotantoon vaikuttavista tekijöistä ja investoinneista. Opinnäytetyössä haluttiin kehittää kokoonpanon toimintaa suunnittelemalla uusi, helposti muunneltava layout ja tasapainoittamaan osakokoonpanojen vaiheajoja jakamalla työpisteen sisäisiä työvaiheita uusiin työasemiin tai kasvattamaan kokoonpanosolujen määrää.</p> <p>Työn tuloksena syntyi Catia 3D -mallinusohjelmistolla luotu uusi kokoonpanon layoutsuunnitelma, joka mahdollistaa teoriassa 8–10 vaihteen kokoonpanon viikossa. Lisäksi saatiin luotettavaa dataa työvaiheajoista, joiden avulla voidaan kehittää kokoonpanon pullonkauloja investoimalla suorituskykyisempiin työvälineisiin tai lisäämällä resursseja. Suunnitelma mahdollistaa helposti toteutettavan layoutin, sillä työpisteet ja toimintojen sijoittelu on havainnollistavassa muodossa 3D-mallissa. Malli on helposti muokattavissa, mikäli layoutiin ollaan tekemässä jatkossa tehdä muutoksia. Malli ja työvaiheajat luovutettiin toimeksiantajalle, joiden perusteella se voi tehdä jatkotoimenpiteitä uuden layoutin käyttöönottamiseksi.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Tuotanto, layout-suunnittelu, työntutkimus, 3D-malli, tuuliturbiinivaihde | | |
| Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) Taulukko 1 ja liite 2 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on julkisuuslain 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 31.5.2025. | | |

| | | |
|---|--|---|
| Author(s) Matilainen, Jere | Type of publication Bachelor's thesis | Date April 2020 Language of publication: Finnish |
| | Number of pages 40 | Permission for web publication: x |
| Title of publication Layout design of wind turbine gear assembly | | |
| Degree programme Engineer (AMK), Degree Programme in Mechanical Engineering | | |
| Supervisor(s) Hannu Kivistö, Miikka Parviainen | | |
| Assigned by Moventas Gears Oy | | |
| Abstract <p>Thesis was made for Moventas Gears Oy South Keljos factory in Jyväskylä. The work was driven by the recently launched serial production of the Exceed Evo wind turbine gearbox which production capacity of assembly aimed to bring to the desired level. Contributory cause for the poor production capacity was the poorly suited layout of the gear unit. The goal of this thesis was to create a new layout plan for the assembly hall, which allows 8 to 10 assembly of gears per week.</p> <p>The thesis investigated the phase times of the subassembly cells, the space requirements and strive to minimize the transport distances of the subassemblies. The work investigated and observed assembly operations, conducted several interviews, discussed production issues, factors affecting production and investments. The aim of this thesis was to improve the operation of the assembly by designing a new, easily adaptable layout and to balance the phase times of the subassemblies by dividing the workstations internal stages into new workstations or increasing the number of assembly cells.</p> <p>As a result of this work, a new design for assembly layout was created using Catia 3D modeling software, which theoretically allows for 8 to 10 assembly of gears per week. In addition, reliable data on operating times were obtained, which can be used to develop assembly bottlenecks by investing in more efficient tools or increasing resources. The plan allows an easy-to-implement layout, as the workstations and function placement are in an illustrative form in the 3D model. Planning allows easily carried out layout because workstations and function placements are in an illustrative format in a 3D model.</p> <p>The model can be easily modified if changes are made to the layout in the future. The model and operating times were handed over to the client, on the basis of which it can take further steps to implement the new layout.</p> | | |
| Keywords/tags (subjects) Production, layout-planning, work study, 3D model, wind turbine gear | | |
| Miscellaneous (Confidential information) Table 1 and annex 2 are confidential and have been removed from public thesis. Secrecy is based on section 24 part 17 of the law of Publicity. commercial or professional secrecy of a company. The confidentiality period is five (5) years. Confidentiality ends on 31.5.2025. | | |

Sisältö

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 3 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet | 3 |
| 1.2 | Työn rajaus ja tavoitteet..... | 4 |
| 1.3 | Kehittämistutkimus | 4 |
| 1.4 | Moventas Gears Oy | 5 |
| 2 | Tuuliturbiini ja vaihde..... | 6 |
| 3 | Työntutkimus | 9 |
| 3.1 | Ajanmittaus ja mittaustavan valinta | 9 |
| 3.2 | Tuotannon tasapainotus | 10 |
| 4 | Layout suunnittelu..... | 11 |
| 4.1 | Layout-tyypit | 12 |
| 4.1.1 | Tuotantolinja | 12 |
| 4.1.2 | Solulayout | 12 |
| 4.1.3 | Funktionaalinen layout..... | 13 |
| 4.1.4 | Layout-tyypin valinta | 13 |
| 4.1.5 | Toimintojen väliset suhteet..... | 14 |
| 5 | Työn toteutus..... | 15 |
| 5.1 | Aineiston kerääminen ja nykytilan kartoitus..... | 15 |
| 5.1.1 | Kokoonpanoprosessi | 15 |
| 5.1.2 | Nykytilan layout..... | 16 |
| 5.1.3 | Exceed Evon kokoonpano..... | 16 |
| 5.2 | Työvaiheajat | 18 |
| 5.2.1 | Työvaiheajkojen mittaaminen..... | 18 |
| 5.2.2 | Työvaiheajkojen analysointi | 19 |
| 5.2.3 | Työpisteiden määrä | 20 |
| 5.3 | Layout-tyypin valinta | 22 |
| 5.3.1 | Solujen sijoituspaikat..... | 22 |
| 5.3.2 | Layoutin mallintaminen..... | 25 |

| | |
|---|-----------|
| | 2 |
| 6 Työn tulokset..... | 27 |
| 7 Pohdinta..... | 28 |
| Lähteet | 30 |
| Liitteet | 32 |
| Liite 1. Nykytilan layout | 32 |
| Liite 2. Työvaiheiden tutkimus (salattu salassapitosopimuksen mukaisesti)..... | 33 |
| Liite 3. Valmis layout..... | 39 |
| Liite 4. Lieriösolun sijoituspaikka | 40 |
| Kuviot | |
| Kuvio 1. Moventaksen verkosto (Moventas Gears Oy:n yritysesittely 2020) | 6 |
| Kuvio 2. Nordex tuulivoimalan konehuone (Tuulivoimaloiden rakenne n.d.) | 7 |
| Kuvio 3. Exceed Evo -tuuliturbiinivaihte (Exceed series. N.d.) | 8 |
| Kuvio 4. Yhteyssuhdepiirros (Muther 1973, muokattu.) | 14 |
| Kuvio 5. Vaihteen kokoonpanoprosessi | 15 |
| Kuvio 6. Exceed Evo -vaihteen rakenne..... | 17 |
| Kuvio 7. Vaihteen kokoonpanojärjestys | 18 |
| Kuvio 8. Lieriöportaan kannen esikokoonpanot..... | 21 |
| Kuvio 9. 7-hallin kokoonpanon alue | 23 |
| Kuvio 10. Solujen yhteyssuhdepiirros..... | 24 |
| Kuvio 11. Solujen tilantarve piirros..... | 24 |
| Kuvio 12. Layout-hahmotelma | 25 |
| Kuvio 13. 7-hallin 3D-malli..... | 26 |
| Kuvio 14. Osasettikärry | 27 |
| Kuvio 15. 7-hallin kokoonpanon 3D-malli..... | 27 |
| Taulukot | |
| Taulukko 1. Lieriöportaan kannen vaihevaiheajat (salattu salassapitosopimuksen mukaisesti)..... | 21 |

1 Johdanto

Kone- ja metallituoteteollisuuden muutostekijät pakottavat yrityksiä kasvattamaan kilpailukykyään markkinoilla. Kilpailukyvyyn ja kannattavuuden ylläpitämiseksi yrityksen tulee jatkuvasti parantaa toimitusvarmuutta, laatua ja tuotantokykyä. Tuotannon tehtävänä on valmistaa asiakkailleen myymät tuotteet kuormituksen mukaisesti ajallaan ja laadukkaasti ilman häiriötekijöitä. Sellaiseen tuotantoon on kuitenkin hankala päästä, mikäli tuotantotilat ja -laitteet eivät täytä sujuvan tuotannon edellytyksiä. Sujuvasti virtaavan tuotannon perustana toimii hyvin suunniteltu layout, joka käsitteenä tarkoittaa tuotantotilojen fyysisten osien sijoittelua tehtaassa. Layoutin suunnittelu on työläs prosessi, joten se tulee suunnitella huolellisesti.

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Moventas Gears on hiljattain aloittanut Exceed Evo -tuuliturbiinivaihteen sarjatuotannon. Vaihteen kokoonpano suoritetaan vuonna 2018 valmistuneessa, noin 3500 m² tuotantotiloissa (7-halli). Samassa tilassa suoritetaan myös vaihteen koeajo sekä loppuvarustelu. Kokoonpanoalueen pinta-ala kattaa tuotantotiloista noin 1500 m². Nykytilassa vaihteita kokoonpannaan kahdessa vuorossa 1-3 kpl/viikko. Lähitulevaisuudessa pyritään 6-8 kappaleen viikkotahtiin. Nykytilan layout on epäselvä eikä luo edellytyksiä tulevaisuuden tuotantovolyymille. Työpisteet ovat hajanaisia, työkaluilla ja tarvikkeilla ei ole sovittuja sijoituspaikkoja sekä materiaalivirta on epäselvä. Myös kokoonpanon nostureiden vähäinen määrä hankaloittaa tuotantoa, sillä nostureita joudutaan vuorottelemaan protovaihteiden ja eri työpisteiden välillä. Sarjatuotantovaihteiden valmistusta hankaloittaa myös protovaihteiden kokoonpano ja testaus.

Aihe oli tutkimisen arvoinen ja ongelma on todellinen, sillä kokoonpano on nykytilassa hyvin hajanainen ja pullonkaula tuotteen valmistuksessa. Tähän on tehtävä riipeästi muutoksia, jotta kysyntään voidaan vastata.

1.2 Työn rajaus ja tavoitteet

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan 7-hallin kokoonpanon aluetta ja toimintoja, kuten työpisteiden sijoittelua, materiaalivirtaa ja tarvittavia laitehankintoja uuteen layoutiin. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda uusi kokoonpanohallin layoutsuunnitelma, joka mahdollistaa 8-10 vaihteen kokoonpanon viikossa. Opinnäytetyössä tuli selvittää osakokoonpanosolujen vaiheajat ja tilantarve sekä pyrkiä minimoimaan osakokoonpanojen kuljetusmatkat. Lisäksi tuli tasapainottaa osakokoonpanojen vaiheajoja jakamalla työpisteen sisäisiä työvaiheita uusiin työasemiin tai kasvattamalla kokoonpanosolujen määrää. Uuden layoutin suunnittelussa tuli välttää kiinteitä kuluksia, jotta layout on helposti muunneltavissa sekä siivoaminen helpottuisi. Kokoonpanon uusi layout tuli esittää 3D-mallin muodossa.

1.3 Kehittämistutkimus

Tätä opinnäytetyötä voidaan pitää kehittämistutkimuksena, koska työn tavoitteena oli kehittää jo olemassa olevaa prosessia. Kehittämistutkimuksessa tunnistetaan ongelma, hankitaan tietoa ongelmasta ja siihen liittyvistä ratkaisukeinoista, tehdään johtopäätökset ja kehitysehdotukset hankitun tiedon pohjalta sekä analysoidaan tutkimuksesta saatujen tulosten toimivuutta. Kehittämistutkimuksen tarkoituksena on kuvata ja analysoida jokin prosessi tai jonkun toiminnon kulku sekä esittää siihen parempia toimintamalleja. (Kananen 2012, 13-14, 44.)

Edellytyksenä kehittämistyössä on, että ongelmat määritellään nykytilan kuvauksen kautta. Nykytilan kuvauksella rajataan kehitettävä prosessi tarkasti sekä varmistetaan se, että ymmärretään mistä on kysymys. Nykytilan kuvaamiseen on useita menetelmiä, kuten lähestyminen teorian kautta tai työntekijöiden haastatteleminen. Kehittämistutkimuksessa onkin tärkeää sisällyttää prosessin kanssa toimivien henkilöiden osaaminen ja kokemus mukaan kehitystyöhön. Henkilöiden saadessa ilmaista kantansa, esittää parannusehdotuksia ja osallistua suunnittelutyöhön lähtevät he helpommin mukaan kehitystyöhön. (Kananen 2012, 60-63.)

Kehittämistutkimuksessa käytetään erilaisia tutkimusmenetelmiä tutkittavan kohteen mukaan. Siinä yhdistyvät sekä kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen tutkimus. Kehittämistutkimuksessa kehittäminen vaatii lisäksi tutkimuksellista otetta. Kehittämistutkimuksen kohteita voivat olla esimerkiksi prosessit, toiminnot yms. Sopivia kohteita ovat kaikki kohteet, joihin voidaan vaikuttaa jollain keinoilla. (Kananen 2012, 19-21.)

Kehittämiseen ja kohteen muuttamiseen liittyy oleellisesti muutokset ja niiden mitaaminen. Mittareita käytettäessä tulee niiden mitata muutosta eli esimerkiksi prosessia, joka muuttuu erilaiseksi, kuin se on alkuperäisenä ollut. Tavoitteenasetannassa kehitys tai muutos asetetaan tavoitteeksi, jota mitataan. Prosessia tulisi mitata työn alkuvaiheessa sekä tavoitteeksi asetetussa lopputilanteessa. (Kananen 2012, 22-23.)

Opinnäytetyössä haastateltiin, keskusteltiin ja tarkkailtiin toimintaa. Lisäksi hyödynsin omaa työkokemustani vastaavanlaisesta prosessista, sillä olen itsekin työskennellyt tuuliturbiinivaihteiden kokoonpanotyötehtävissä. Keskusteluissa ja haastatteluissa kysymykset pyrittiin kohdistamaan tarkasti kehitettävään prosessiin. Haastatteluista saatiin tietoa ja mielipiteitä useasta eri näkökulmasta.

1.4 Moventas Gears Oy

Moventas Gears on noin 500 työntekijää työllistävä, tuuliturbiinivaihteita valmistava yritys, jonka päätoimipiste sijaitsee Jyväskylässä. Moventas on toimittanut jo yli 15000 vaihdetta sekä suorittanut tuhansia vaihdehuoltoja. Moventas toimitti ensimmäisen tuuliturbiinivaihteensa vuonna 1980. Yrityksen juuret ovat lähtöisin 1940-luvulta, jolloin Valmet ja Metso Drives olivat olleet teollisuusvaihteiden valmistamisessa mukana. Nykyisin Moventaksen omistaa skotlantilainen teollisuussijoitusyhtiö Clyde Blower's Capital. Moventas toimii globaalisti ja toimipisteitä on yhdeksässä eri maassa (ks. kuvio 1). (Moventas Gears Oy:n yritysesitys 2020.)

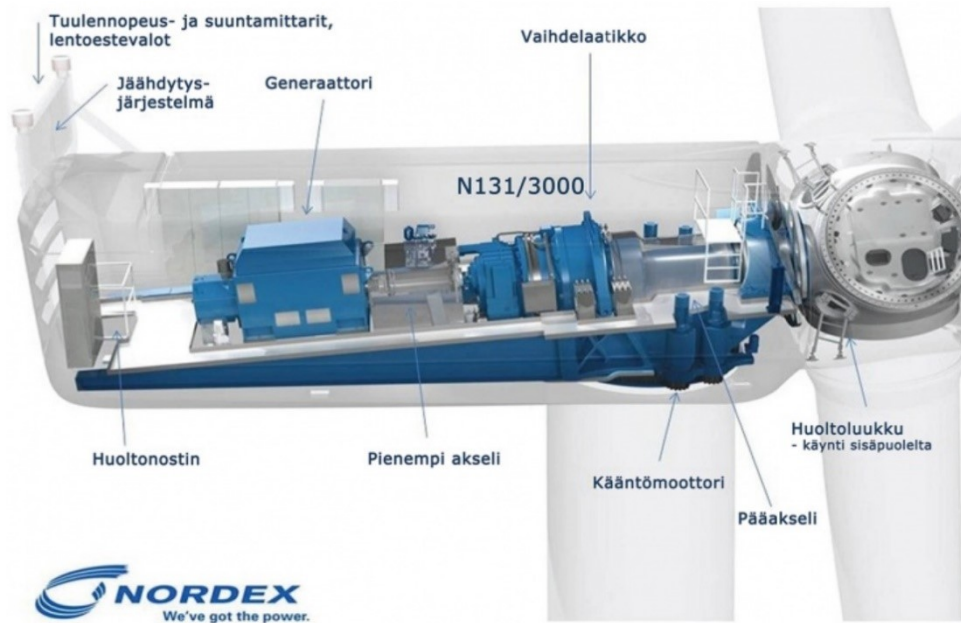


Kuvio 1. Moventaksen verkosto (Moventas Gears Oy:n yritysesitys 2020)

Moventaksella on Suomessa kolme tehdasta. Työ toteutettiin Etelä-Keljossa sijaitsevaan Ikolan tehtaaseen, jonka toimintoja ovat vaihteiden kokoonpano, koeajo, loppuvarustelu sekä planeettapyörien valmistus. Rautpohjan tehtaalla valmistetaan akseleita ja kehäpyöriä. Siellä sijaitsee myös tutkimus- ja kehitysosaston koeajokenttä. Karkkilassa sijaitsee koteloverstas.

2 Tuuliturbiini ja vaihde

Perinteinen sähköä tuottava tuulivoimala koostuu tornista ja sen perustuksista, nassellista eli konehuoneesta ja roottorista ja lavoista (ks. kuvio 2). Teollisessa tuulivoimatuotannossa käytetään pääsääntöisesti vaaka-akselisia voimaloita, joissa tuulen aikaansaama roottorin pyörintänopeus muutetaan sähköä tuottavalle generaattorille sopivaksi vaihdelaatikon avulla. (Tuulivoimatekniikka. N.d.)



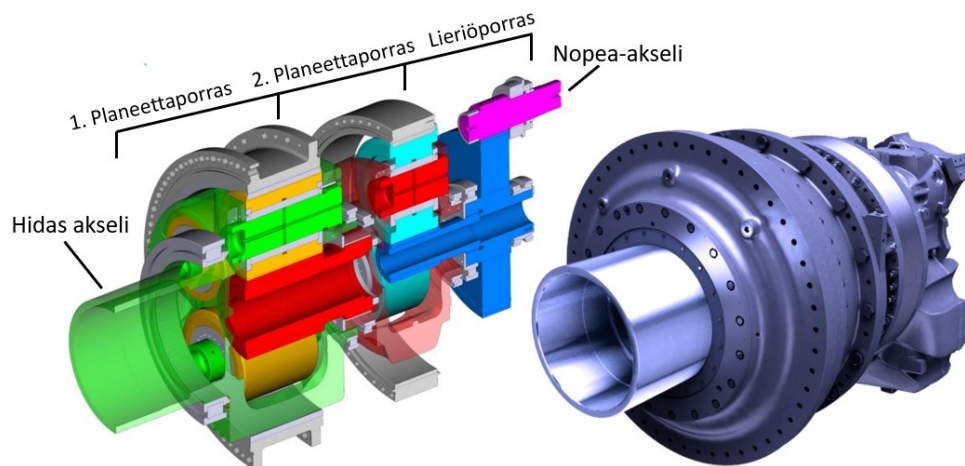
Kuvio 2. Nordex tuulivoimalan konehuone (Tuulivoimaloiden rakenne n.d.)

Nykyisin teollisen tuulivoimatuotannon tuulivoimalat ovat pääsääntöisesti 3-lapaisia, 3-5 megawatin tehoisia etutuulivoimaloita. Voimalan sähköntuotto on suoraan verrannollinen roottorin pyyhkäisyypinta-alaan, joka suurimmillaan voi olla yli hehtaarin. Tuulivoimalan teoreettinen maksimihyötysuhde on noin 59 %. Roottorin läpi virtaavan tuulen ilmassan tehosta saadaan hyödynnettyä vain osa, sillä häviötä syntyy erityisesti, kun tuulen nopeus heikkenee roottorin takana ilman massavirran säilyessä vakiona. Roottorihyötysuhteet ovat kuitenkin käytännössä maksimissaan noin 50 %, sillä häviötä syntyy mekaanisessa voimansiirrosta, generaattorissa, muuntajassa ja kaapeleissa. (Tuulivoimatekniikka. N.d.)

Viime vuosina tuulivoimaloiden koko on kasvanut huomattavasti paremman sähköntuotannon saamiseksi. Nykyaikaisten tuulivoimaloiden napakorkeus on tyypillisesti 120–150 metriä. Suomeen vuonna 2017 rakennettujen tuulivoimaloiden napakorkeus on 140–150 metriä, mutta Saksassa sijaitsee jopa lähes 180 metrin napakorkeuden omaava tuulivoimala, jonka lavan kärki ulottuu yli 240 metrin korkeuteen. (Tuulivoimatekniikka. N.d.)

Vaihdelaatikko on yksi tuulivoimalan raskaimmista sekä kalleimmista komponenteista. Suurin osa teollisen tuulivoimatuotannon turbiineista sisältää vaihdelaatikon, jonka avulla kasvatetaan tuulen aikaansaama roottorin pyörimisnopeus generaattorille sopivaksi. Isoimmat roottorit pyörivät rakenteellisten syiden vuoksi hitaammin ja useimmat generaattorit vaativat toimiakseen pyörimisnopeudeksi 1500 rpm (50 Hz) tai 1800 rpm (60 Hz). Tavanomaisesti vaihdelaatikon on suunnitellut ja valmistanut asiantunteva vaihdevalmistaja, joka tuntee tuuliturbiinivaihteen kokemat käyttöolosuhteet ja niiden muutokset, jotka ovat huomattavasti erilaisia kuin useimmissa muissa sovelluksissa. (Manwell, McGowan, & Rogers 2002, 294)

Moventaksen valmistama Exceed Evo -tuuliturbiinivaihte koostuu kahdesta planeetaportaasta ja yhdestä lieriöportaasta (ks. kuvio 3). Roottorin pääakseli kytketään vaihteen ensimmäisen portaan planeetankantajaan, jolloin kantajaan asennetut viisi planeettapyörää pyörivät paikallaan pysyvää kehäpyörää vasten. Veto siirtyy planeettapyörien keskellä sijaitsevaan aurinkoakseliin, joka on kytketty toisen portaan planeetankantajaan. Toisen portaan planeetankantajassa on kolme planeettapyörää ja ne pyörivät toisen portaan paikallaan pysyvää kehäpyörää vasten. Toisen portaan planeettapyörien keskellä sijaitsee myös aurinkoakseli, joka välittää pyörimisliikkeen lieriöportaalle. Lieriöportaalla hammastuksella säädetään haluttu välityssuhde, josta nopea-akseli välittää pyörimisliikkeen generaattorille. Planeettavaihteen etu on sen suuri momentinsiirtokyky kokoonsa nähden.



Kuvio 3. Exceed Evo -tuuliturbiinivaihte (Exceed series. N.d.)

3 Työntutkimus

Työntutkimuksella tarkoitetaan kaikkia tutkimuksia, jotka tähtäävät työn tuottavuuden kehittämiseen. Työntutkimuksessa pyritään löytämään tuotantovälineiden, ihmisten ja materiaalin yhteistoiminnan paras menettelytapa. Päämääränä tutkimuksessa on määrittää tarvittava työaika työn suorittamiseksi ja luoda hyvät työolosuhteet. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 490.)

3.1 Ajanmittaus ja mittaustavan valinta

Työnmittauksen tarkoitus määrittää työhön kuluva aika. Ajan määrittämiseen on useita tapoja. Se, mihin työnmittauksen tuloksia tarvitaan, määrää tavan mitata työhön kulunutta aikaa. Ajan voi esimerkiksi määrittää kokemusperäisen arvion pohjalta tai toiminnanohjausjärjestelmän kirjausten perusteella tai mitata työhön kuluva aika työnmittauksen menetelmillä. Käyttötarkoituksen vaatima ajanmäärittäytapa ja tarkkuustaso on arvioitava tapauskohtaisesti. Varsinaisia työnmittausmenetelmiä ovat EK-SAK tuottavuusryhmän (Ahokas, Tiuhonen, Neuvonen & Suikki 2011, 21-24) mukaan seuraavat tavat:

Havainnointitutkimus

Havainnointitutkimuksessa nimensä mukaisesti havainnoidaan ja erotellaan tapahtumat eri aikalajeihin. Aikalajeja ovat esimerkiksi tekemisaika, apuaika, tauko-aika ja häiriöaika. Aikalajeja voi tutkimuksen käyttötarkkuuden mukaan jakaa pienempiin osakokonaisuuksiin. Havainnointitutkimuksessa tutkimuksen suorittaja havainnoi kunkin työvaihetta ja kirjaa ylös käynnissä olevan tapahtuman. Havainnointitutkimus on yleisesti ottaen helppo suorittaa ja se on monikäyttöinen. Havainnointitutkimuksen etuna on sen laajuus, koska sillä voidaan selvittää työaikoja, kokonaisajankäyttöä ja työturvallisuutta sekä työergonomiaa.

Normaaliaikatutkimus

Normaaliaikatutkimuksella tarkoitetaan vakiomenetelmillä- ja olosuhteissa toistettavan työn normaaliajan määrittämistä kellon avulla. Normaaliaikatutkimus soveltuu

toistuvien, suhteellisen lyhyiden käsillä tehtävien töiden ajan määrittämiseen. Tutkittava työ jaetaan eriin, joihin kuluvat ajat mitataan ja samanaikaisesti määritetään joutuisuus. Tarvittavien aikahavaintojen määrä riippuu halutusta mittaustarkkuudesta sekä työn luonteesta ja tyypistä.

Jatkuva ajankäyttötutkimus

Jatkuva ajankäyttötutkimus on työntekijän tai tietyn työn seuraamista pitemmällä ajanjaksolla. Jatkuva ajankäyttötutkimus soveltuu erityisesti sellaisten töiden tutkimiseen, jossa työn järjestystä työtä suunniteltaessa ei tiedetä. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi huolto- ja korjaustyöt, joissa työtä suunnitellaan samaan aikaan työn edetessä.

Liikeaikatutkimus

Liikeaikatutkimuksia käytetään lähinnä kehittämään työmenetelmiä. Tässä menetelmässä ei tarvitse kelloa, vaan aika määritellään aikastandardien avulla. Vakioajat taulukoidaan ja työn sisältö jaotellaan pieniin osiin, kunnes niiden aika on vakio. Liikeaikatutkimuksen toteutus edellyttää hyvin koulutettua työn suorittajaa.

Aikalaskelma

Aikalaskelmissa koneen tai prosessin suoritusarvojen perusteella voidaan laskea työn suoritukseen kulunut aika. Aikalaskelmiin lasketaan mukaan myös työvaiheen kesto.

Standardiaikalajärjestelmät

Standardiaikalaskelma soveltuu tietyille käyttöalueelle, joka koostuu työnosien kokonaisuudesta, jossa kullekin työnosan menetelmälle ja sisällölle on määritelty aika. Standardiaikalajärjestelmät soveltuvat esimerkiksi tarjouslaskennan tarpeisiin.

3.2 Tuotannon tasapainotus

Tuotannon tahtiaika määrittää eri työvaiheiden maksimikeston. Tuotannon tasapainotuksessa pyritään jakamaan työasemien työmäärä mahdollisimman tasaisesti. Tuotannon tarkka tasapainotus edellyttää luotettavia työvaiheiden aikatietoja kaikkien

työpisteiden työvaiheista. Koneaikaa tasapainotuksessa käytetään sellaisenaan. (Aho-
kas ym. 2011, 21.)

Työvaiheajkojen mittaamisella saadaan tietoa siitä, kuinka kauan kokoonpanossa ta-
pahtuvien työtehtävien suorittamiseen kuluu aikaa. Mitatuista työvaiheajoista on
tarkasteltavissa, voiko joitain ajallisesti pitkäkestoisten kokoonpanosolujen määrää
kasvattaa ja kokoonpanoja tehdä porrastetusti. Vaihteen rakenteen, kokoonpanojär-
jestyksen ja työvaiheajkojen perusteella voidaan tutkia myös, onko mahdollista jakaa
solun sisäisiä eri työvaiheita pienempiin kokonaisuuksiin, jolloin työpistekohtainen
kuormitus tasoittuu.

4 Layout suunnittelu

Layout käsitteenä tarkoittaa tuotannon fyysisten osien, esimerkiksi kulkuväylien, ko-
neiden, laitteiden ja varastointipaikkojen sijoittelua tehdasympäristössä. Layout mää-
rittää työnkulun, minkä vuoksi eri layout-tyypit voidaan jakaa kolmeen erilaiseen
tyyppiin: solu-, tuotantolinja- sekä funktionaalinen layout. Tuotetyypin, valmistus-
määrän ja tuotantolaitteiden mukaan valittavalla layout-tyypillä on suuri vaikutus, jo-
ten sen suunnitteluun kannattaa panostaa. (Haverila ym. 2009, 475; Tuotannon
layout. N.d.)

Layout-suunnittelu on mutkikas ja monen eri muuttujan muodostama prosessi. Tuo-
tannon layout on lähes poikkeuksetta kompromissi, sillä kaikkien toimintojen suh-
teen ei voi päästä optimaaliseen ratkaisuun. Layout-suunnittelussa on tärkeää mini-
moida materiaalien kuljetusmatkat ja kuljetuskerrat työpisteiden ja osastojen välillä.
Selkeän materiaalivirran ansiosta tuotannonohjaus ja toiminnan kehittäminen selkey-
tyy. Tuotantomäärien ja tuotetyypin muuttuessa layoutin tulisi olla helposti muokat-
tavissa tarpeen mukaan. Vaikeasti siirrettävien tuotantolaitteiden sijoitteluun kan-
nattaa kiinnittää erityistä huomiota. (Haverila ym. 2009, 481-482.)

4.1 Layout-tyypit

4.1.1 Tuotantolinja

Tuotantolinja on sidoksissa sekä erikoistunut vain tietyn tuotteen valmistukseen, ja linjan eri työvaiheet on järjestelty työnkulun mukaan. Tuotteen edetessä linjalla siihen suoritetaan vain tietty työvaihe kussakin pisteessä. Tyypillisesti suuren volyymin omaaville tuotteille rakennettavan tuotantolinjan kustannukset nousevat suuriksi, mutta tuotteen yksikköhinta jää pieneksi. Tuotantolinjan pienetkin häiriöt vaikuttavat suuresti linjan tuottavuuteen, sillä peräkkäisten työvaiheiden vuoksi häiriöaika kasvattaa tuotteen läpimenoaika. (Haverila ym. 2009, 475.)

4.1.2 Solulayout

Solulayoutin ominaista on itsenäinen, eri koneista ja työvaiheiden vaatimista välineistöstä koottu ryhmä, joka tuottaa vain tiettyjä työvaiheita tai komponentteja. Solun sisäiset työlaitteet ja koneet on valittu sen mukaan, mitä solussa tuotetaan. Funktionaaliseen layoutiin verrattuna solujen läpäisyajat ovat lyhyemmät selkeän materiaali-
virran vuoksi. Solun ominaisuuksiin kuuluu joustavuus, mutta vain tiettyä tuotetyyp-
piä valmistettaessa. Pääsääntöisesti solu joustaa enemmän kuin tuotantolinja ja on
tehokkaampi kuin funktionaalinen järjestelmä, mutta vain tietyn tuotteen valmista-
miseen tarkoitettussa solussa. (Haverila ym. 2009, 477-478.)

Tuotannonohjaus solukohtaisesti on helppoa, sillä solut ovat yksittäisiä kuormituspis-
teitä tuotannossa. Solukohtaiset tuotantomäärät ja koneiden kuormitusasteet voivat
vaihdella paljonkin ja ne ovat keskimääräistä alhaisemmat kuin tuotantolinjalla. So-
lun päämäärä on tuottaa tiettyjä työvaiheita, ja sisäisiä työvaiheita voi olla useita, jol-
loin solussa työskentelevät henkilöt voivat keskenään jakaa ja suunnitella työtehtävi-
ään itsenäisesti. Tämä lisää työnteon mielekkyyttä ja vaihtelevuutta. Solutuotannon
työvaiheiden suorittaminen rutiininomaisesti samalla alueella helpottaa virheiden
löytymistä ja helpottaa laadunvalvontaa. Solulayout on herkempi tuotevalikoiman
muutoksille kuin funktionaalinen layout. (Haverila ym. 477-478.)

4.1.3 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutissa on koottu osastot työtehtävien samankaltaisuuden perusteella. Esimerkiksi hitsaustyöpisteet sijaitsevat hitsaamossa, maalaus tapahtuu maalaamossa ja sorvit ovat sijoiteltu sorvaamoon. Tästä syystä tuotekirjo voi olla laaja ja tuotevolyymit voivat vaihdella paljonkin. Tavallisesti funktionaalisisessa layoutissa koneet ja laitteet ovat monipuolisia yleiskoneita, jotka soveltuvat usean eri tuotetyypin valmistamiseen. Tuotteet valmistetaan yksittäin tai pieninä sarjoina, sillä tuotteilla voi olla hyvinkin erilainen työnkulku. Töiden kulkua on lähes mahdotonta optimoida ajoituksellisesti oikein, ja töillä on tapana kasaantua jonoiksi eri työvaiheille. Työpisteiden väliset kuljetusmatkat ovat pitkiä, minkä vuoksi materiaalinkäsittelykustannukset nousevat suuriksi. (Haverila ym. 2009, 476.)

Funktionaalisen layoutin toteutus ja kapasiteetin kasvattaminen on helppoa ja halpaa verratessa tuotantolinjaan. Erilaisten tuotteiden ja tuotemäärien hallinta on joustavaa, mutta tuottavuus on heikompi ja yksikkökustannukset ovat suuremmat kuin tuotantolinjalla. (Haverila ym. 2009, 476-477.)

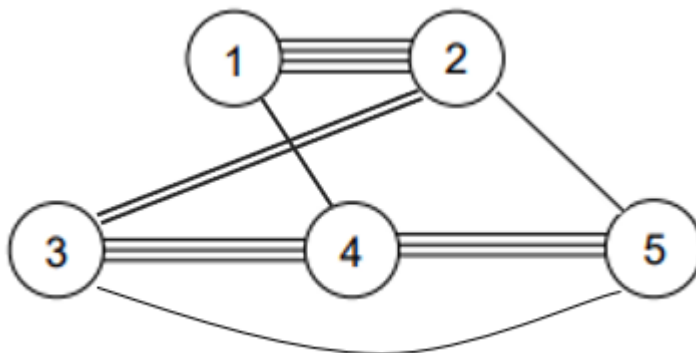
4.1.4 Layout-tyyppin valinta

Layout-tyyppin valinta määräytyy tuotevalikoiman laajuuden ja tuotantomäärän perusteella. Tuotantolinja layoutia käytetään saman tyyppisten suurien tuotemäärien tuottamiseen. Funktionaalinen linja puolestaan sopii parhaiten, kun valmistetaan eri tuotetyyppejä runsaasti. Solulayout soveltuu hyvin funktionaalisen- ja tuotantolinjalayoutin välimaastoon. Solulayoutia tyyppillisesti käytetään, kun valmistetaan eri tuotteita, mutta ei kuitenkaan niin paljon, että kannattaisi perustaa tuotantolinja. Soluissa voidaan valmistaa tuotantolinjaa joustavammin eri tyyppisiä tuotteita, mutta tuotteiden valmistusmäärät eivät puolla tuotantolinjan perustamista. Funktionaalista layouttia ei ole kannattavaa perustaa, mikäli tuotekirjo ei ole laaja. Tuotanto ei ole sidottu vain yhteen layout-malliin vaan se voi koostua erityyppisistä osalayouteista. (Haverila ym. 2009, 479-480.)

4.1.5 Toimintojen väliset suhteet

Toimintojen sijoittelu pelkästään materiaalivirran perusteella voi aiheuttaa ongelmia layoutin toimivuudessa. Vaikka materiaalivirta on tuotannon yksi tärkeimmistä tekijöistä, riippuu täysin tuotannon volyymista ja tuotetyypistä kuinka merkityksellinen materiaalivirta on. Pienen ja harvoin tapahtuvan virtauksen ei tarvitse olla yhtä sujuvaa kuin nopeatempoisen. Optimaalisen layoutin kannalta huomioon tulee ottaa materiaalivirran lisäksi myös häiriöt, turvallisuus ja toimivuus. Layoutin toimivuuteen vaikuttaa materiaalivirran lisäksi eri toimintojen väliset yhteydet, esimerkiksi toimisto-, tauko- ja saniteettitilat. Vaikka ne eivät vaikuta merkityksellisiltä tekijöiltä, on niillä kuitenkin vaikutusta tuotantoon. Sen vuoksi myös merkityksettömiltä vaikuttavat toiminnot pitää ottaa layoutsuunnittelussa huomioon (Muther 1973, 5-1-5-2.)

Toimintojen sijoittelu lähtee liikkeelle toimintojen välisen läheisyyden merkityksestä luomalla yhteyssuhdepiirros. Tilavaatimuksia ei yhteyssuhteita laatiessa oteta huomioon, vaan tarkastellaan ainoastaan toimintojen välisiä yhteyssuhteita. Toimintojen välisiä suhteita kuvataan suorilla viivoilla, joiden määrä kuvastaa suhteen merkitystä. Mikäli viivoja toimintojen välillä ei ole lainkaan, viittaa se merkityksettömään suhteeseen toimintojen välillä (ks. kuvio 4). Kun suunnittelija on luonut valmiin version yhteyssuhdepiirroksista, voidaan nähdä läheisyyden merkityksen kannalta toimivien layout. (Muther 1973, 6-5-6-14.)



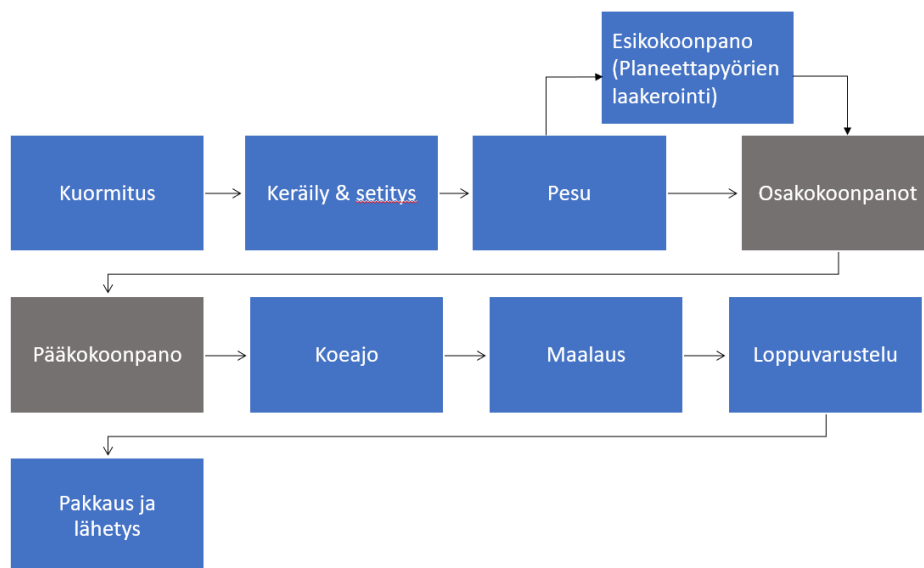
Kuvio 4. Yhteyssuhdepiirros (Muther 1973, muokattu.)

5 Työn toteutus

5.1 Aineiston kerääminen ja nykytilan kartoitus

5.1.1 Kokoonpanoprosessi

Ennen työn toteutusta tuli tutustua kauttaaltaan Exceed Evo -tuuliturbiinivaihteen kokoonpanoprosessiin. Prosessi lähtee liikkeelle tuotannosuunnittelun kuormituksesta ja aloituksen ajoittamisesta. Kuviosta 5 on nähtävissä 7-hallin kokoonpanon toimintoihin rajautunut alue tummemmilla ruuduilla. Kun vaihde on kuormitettu ja osto-osat ovat saapuneet sekä tarkastettu, voidaan aloittaa osien keräily kokoonpanoa varten. Tietyt osat, pääsääntöisesti suurimmat komponentit, joiden liikuttelemiseen tarvitsee nosturia tai trukkia, kulkeutuvat kokoonpanosoluille pesukoneen kautta. Tällaisia ovat esimerkiksi kehä- ja planeettapyörät sekä valuosat. Muut osat toimitetaan asennuspuhtaina. Osa osista setitetään, eli puretaan kuljetuspakkauksista ja keräillään osasettikärryihin, jotka toimitetaan kokoonpanosoluille. Näitä ovat tyypillisesti osat, jotka ovat liikuteltavissa käsin, esimerkiksi laipat, suuttimet, voiteluöljyputket- ja letkut. Tämä vähentää lian ja pakkausmateriaalin kulkeutumista kokoonpanosoluihin sekä nopeuttaa työskentelyä kokoonpanossa.



Kuvio 5. Vaihteen kokoonpanoprosessi

Kun vaihde on kokoonpantu, koeajolla varmistetaan vaihteen toimivuus. Koeajossa tarkkaillaan vaihteen toimintaa mittaamalla esimerkiksi öljynpainetta ja lämpötilaa sekä värinöitä. Hyväksytyin koeajon jälkeen vaihde siirtyy prosessissa eteenpäin, pesun kautta pintakäsittelyyn, joka suoritetaan märkämaalilla. Vaihteen pintakäsittely tapahtuu Moventaksen tiloissa ulkoistettuna. Pintakäsittelyn jälkeen vaihde siirretään loppuvarusteluun, jossa siihen asennetaan johtosarjat, anturit, voiteluyksikkö yms. Loppuvarustelun jälkeen vaihde on valmis pakattavaksi ja lähetettäväksi.

5.1.2 Nykytilan layout

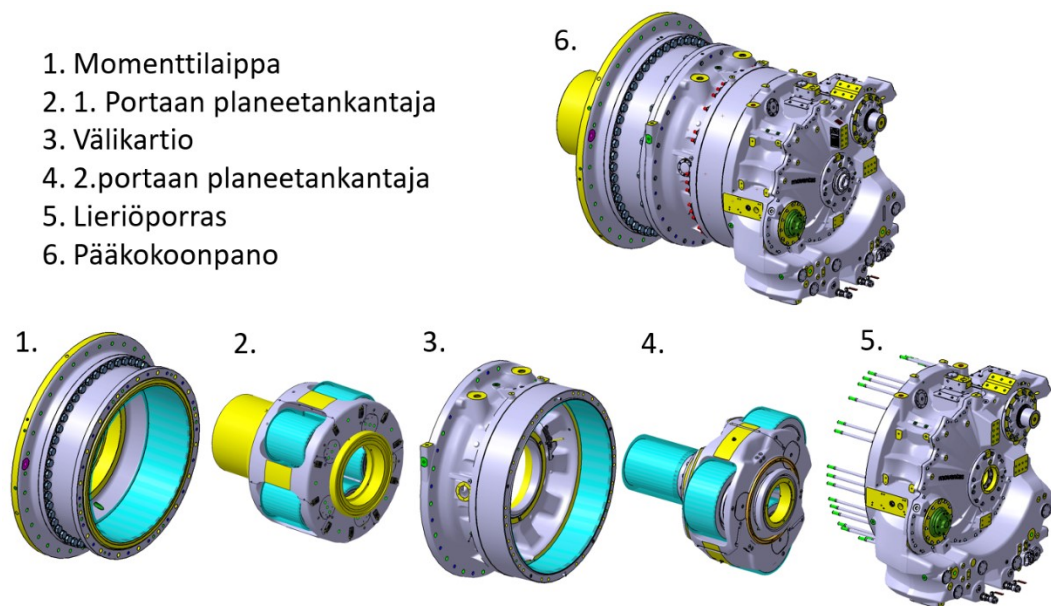
Opinnäytetyön alkuvaiheilla nykytilan layout on liitteen 1 mukainen (ei mittaakaavassa). Punaiset nuolet kuvastavat materiaalivirtaa ja muut punaiset muodot lattiasa olevia syvennyksiä, joita hyödynnetään kokoonpanoissa. Suorakulmion muotoinen syvennys kuitenkin täytettiin pian työn aloittamisen jälkeen. Harmaa lattiapinta-ala on protovaihteiden käyttöön varattu alue, myös harmaalla merkitty kylmäkopin alue on protovaihteiden testaukseen tarkoitettua aluetta, joka vie runsaasti lattiapinta-alaa sarjatuotantovaihteelta. Kylmäkoppi ja protovaihteet kuitenkin siirtyvät uuden layoutin tieltä pois. Nostokapasiteettia kokoonpanon käytössä on nykytilassa 2 kpl 12 t puolipukkinosturia ja 1 kpl 50 t siltanosturi. 60 t siltanosturia vuorotellaan pääkokoonpanon, koeajon ja loppuvarustelun kesken. Uusiin nostureihin on kuitenkin jo investoitu, ja jatkossa nostokapasiteettia tulee olemaan kokoonpanon käytössä 6 kpl 12 t puolipukkinostureita, 2 kpl siltanostureita 50 t ja 25 t.

5.1.3 Exceed Evon kokoonpano

Tuotteeseen ja kokoonpanon toimintoihin tuli myös tutustua, sillä tuote oli itselleni uusi. 7-hallissa kokoonpantava sarjatuotantovaihde sisältää yli 300 keräiltävää nimekettä ja näistä 18 on sellaisia, jotka eivät mahdu EUR lavalle. Kokoonpano valmiiksi vaihteeksi vaatii lukuisia eri työvaiheita ja henkilöitä. Kokoonpanon tyyppillisiä työvaiheita ovat puolipukki- ja siltanosturi, sillä siirreltävien osien ja osakokoonpanojen painot ovat sadoista kiloista tuhansiin kiloihin. Myös momenttivääntimet, hydrauliset

työkalut sekä perinteiset käsityökalut ovat tyypillisiä kokoonpanon työkaluja. Osakokoonpanoissa käytetään useissa kohteissa ahdistusovitteita, esimerkiksi laakereissa ja akselitapeissa. Komponentteja, joihin käytetään ahdistusovitteita, asennukseen käytetään apuna nestemäistä tyypeä sekä induktiolämmittimiä.

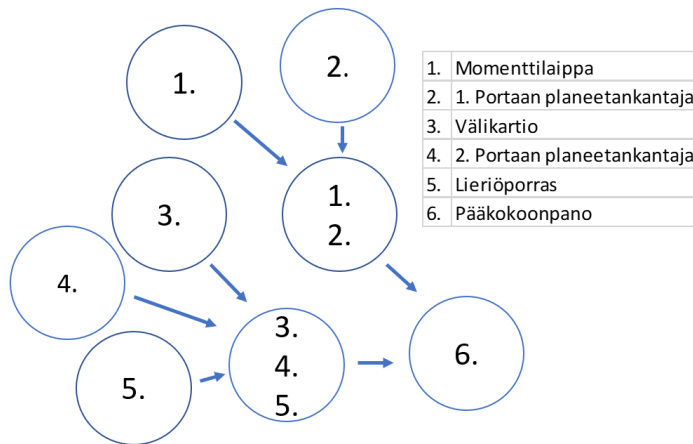
Ennen työvaiheikojen mittaamista oli välttämätöntä tutustua tuotteen kokoonpanoon ja työvaiheisiin. Kokoonpanoprosessiin tutustuminen auttoi ymmärtämään vaihteen rakenteen, komponenttien merkityksen ja niiden vaatimat rajoitteet uuden layoutin suunnitteluun. Myös solun sisäisten työvaiheiden tunteminen oli välttämätön tietoperusta layout-suunnittelulle ja työvaiheikojen mittaamiselle. Vaihde koostuu viidestä eri osakokoonpanosta, joita ovat momenttilaippa, 1. ja 2. portaan planeetankantaja, välikartio sekä lieriöporras. Osakokoonpanot liitetään yhteen pääkokoonpanossa (ks. kuvio 6).



Kuvio 6. Exceed Evo -vaihteen rakenne

Kokoonpanosoluja on nykytilassa kuusi. 1. ja 2. portaan planeetankantajat kokoonpannaan samassa solussa (planeetankantajasolu) vuorotellen tai 2 kpl erissä riippuen osatilanteesta. Välikartio kokoonpannaan omassa solussaan. Lieriösolussa kokoonpannaan lieriöporras sekä pääkokoonpanoa edeltävä kokoonpano, jossa paritetaan

välikartio, 2. portaan planeetankantaja sekä lieriöporras. Momenttilaippasolussa kokoonpannaan nimensä mukaisesti momenttilaippa, jossa se myös paritetaan 1. portaan planeetankantajan kanssa (ks. Kuvio 7).



Kuvio 7. Vaihteen kokoonpanojärjestys

5.2 Työvaiheajat

5.2.1 Työvaiheajojen mittaaminen

Vaihteen osakokoonpanojen työvaiheajat olivat tarvittava tieto layout-suunnitteluun, sillä osakokoonpanojen kesto määrittää solujen tarvittavan määrän. Lisäksi työvaiheajoista on tarkasteltavissa tulisiko joitain työvaiheita jakaa omaksi työpisteeksi tai tehdä vaikkapa toisessa hallissa. Vaihteen kokoonpanon työvaiheajoista ei ollut ennalta mitään luotettavaa dataa. Saatavilla oli vain työnjohdon arvioituja aikoja eri työvaiheista ja toiminnanohjausjärjestelmästä töiden aloitus- ja lopetusajat. Tuli siis ottaa selvää, kuinka kauan solujen kokoonpanoissa kestää.

Työntutkimus lähti liikkeelle mitattavien kohteiden määrittämisestä ja ajanmittaustavan valinnasta. Riittäväksi tarkkuudeksi valikoitui mitata kokoonpanojen tekemisaikaa, apuaikaa ja koneaikaa, sillä työ on usein toistuvaa käsin tehtävää kokoonpanotyötä, joka tarvitsee valmistelevia toimenpiteitä. Lisäksi kokoonpanossa on laitteita, joiden suoritusten kesto voidaan mitata koneaikana. Tällaisia ovat esimerkiksi laakerin lämmittäminen induktiolämmittimellä tai akselitapin jäähdyttäminen nestemäisessä työssä. Tässä tapauksessa tekemisaika tarkoittaa sitä aikajaksoa, mikä menee

työtehtävän suorittamiseen, jolloin tuotteen arvo kasvaa. Sidottuihin työnosiin kuuluvalla koneajalla tarkoitetaan aikaa, joka koneelta tai laitteelta menee työtehtävän suorittamiseen. Tällaisena voidaan myös pitää aikaa, jossa esimerkiksi odotetaan kappaleen lämpötilan laskua tiettyyn lämpötilaan. Apuajalla tarkoitetaan tekemisajan ja koneajan edeltäviä, valmistelevia toimenpiteitä, joka vaaditaan niiden suorittamiseen kuten kappaleisiin kierrettävien nostolenkkien asennus.

Työvaiheajat taltioitiin Microsoft Excel-tilukkolaskentaohjelmaan (ks. liite 2.), josta ne ovat helppo jatkokäsitellä. Excel-tilukkoon tuli koota jokainen osakokoonpano omalle välilehdelle ja kirjata niistä työvaiheet ja kestot omiin sarakkeisiin. Työvaiheet ja niiden kestot kirjattiin ylös työn edetessä jokaisesta osakokoonpanosta. Työntutkimuksen alkuvaiheilla oli jo havaittavissa, että lieriöporras yksittäisenä kokoonpanona on paljon aikaa vievä, joten se jaettiin kahdeksi kokoonpanoksi, lieriöportaan koteloksi ja lieriöportaan kanneksi. Samoin pääkokoonpanoa edeltävä kokoonpano, jossa kootaan välikartio, 2. portaan planeetankantaja ja lieriöporras, tarkasteltiin omana kokonaisuutena.

5.2.2 Työvaiheajkojen analysointi

Kun työvaiheajat olivat selvillä ja taulukoitu, tuli niitä tarkastella kriittisesti. Työvaiheajat on mitattu vain yhden vaihteen kokoonpanon osalta, jolloin ei ole dataa riittävästi tarkasteltavana työvaiheajkojen hajontaan. Työvaiheiden kesto tulee normalisoida, jotta se vastaisi todellisuutta.

Joutuisuuskerroin tulee määritellä, jotta havaittu työsuoritus voidaan normalisoida. Normalisoinnilla pyritään saamaan selville se työhön kuluva aika, joka voidaan olettaa ammattitaitoisten asentajien saavutettavan. Joutuisuuteen vaikuttaa runsas joukko eri tekijöitä. Esimerkiksi se että, kyseessä on suhteellisen uusi vaihdemalli, joka suurimmalle osalle asentajista ei ollut täysin tuttu, jolloin työskentelyn rutiinimaisuus kärsii. Myös työskentelyn katkonaisuus laskee työskentelyn tehokkuutta, jolloin työskentelyyn tarvittava aika lisääntyy. Työnteko myös keskeytyi usein eri systä kuten osapuutteista, osien ja työkalujen etsimisestä, nostureiden vuorottelusta

sekä laatupuutteista, mutta tällaisia odotusaikoja ei ajan mittaamisessa otettu huomioon. Joutuisuuskerrointa ei käytetä lainkaan sidottuihin työnosiin, eli koneaikaan, sillä koneen suorituskyky määrittää koneajan keston.

Työntutkimus tulisi myös teettää siihen erikoistuneella henkilöllä, jolloin saadaan tarkka kuva työvaiheajoista. Työ tulisi suorittaa myös vakiomenetelmällä ja siten ettei työ olisi katkonaista. Parempaa dataa osakokoonpanojen vaiheajoista ei kuitenkaan ollut saatavilla, joten vaikka tulokset ovat viitteellisiä, ovat ne kuitenkin käyttökelpoisia layout-suunnitteluun, sillä muuta luotettavaa dataa ei ollut saatavilla. Tekemisaajan ja apuajan joutuisuuskertoimiksi määritettiin 0,75.

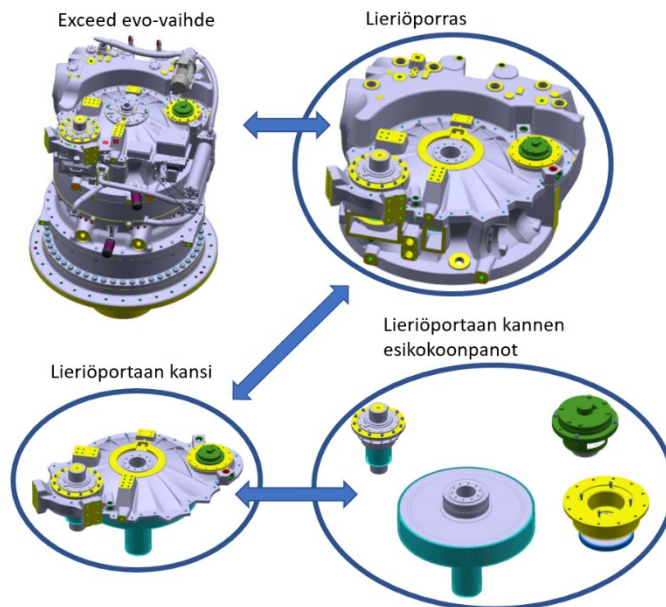
Vaihteen läpimenoaika on todellisuudessa pidempi, johtuen eri odotusajoista ja muista viivästyksistä, joiden kestoja on mahdoton määritellä. Odotusaikaa aiheuttavat esimerkiksi osa- ja laatupuutteet sekä nostureiden vuorottelu. Toisaalta kaikkien osakokoonpanojen vaiheajat tulevat pienentymään uuden layoutin myötä, ja kokoonpanojen tullessa asentajille tutuiksi, nostureiden määrän lisäämisellä ja nopeampiin työväliseisiin investoimalla.

5.2.3 Työpisteiden määrä

Työvaiheajojen mittaaminen toi loistavasti ilmi, mitkä kokoonpanot olivat aikaa vieviä solun sisällä. Kaikkien kokoonpanojen vaiheajat ovat esitetty Liitteessä 3. Taulukoiduista työvaiheajoista oli helppo tarkastella, mitä työvaiheita olisi järkevää jakaa omiin resursseihin, mikäli se on mahdollista. Työn edetessä ja työvaiheiden jakamisen aikana tuli kuitenkin tietää, mitä sellaisia muutoksia tuotantoväliseisiin/tuotteen on lähitulevaisuudessa tulossa, jotka vaikuttavat kokoonpanojen vaiheajoihin. Esimerkiksi Taulukon 1 mukaan, 1. portaan planeetankantajan kokoonpano on vaihteen läpimenoajan kannalta kriittisellä polulla, mutta tähän kuitenkin oli tulossa jo useita läpimenoaikaa lyhentäviä tekijöitä, kuten uusi planeettapyörien asennusvälineistö, tehokkaammat induktiolämmittimet sekä uusi akselitappien jäähdytysastia. Uusien hankintojen lyhentämiä vaiheajoja voi vain arvioida, mutta kyse on joissain tapauksissa useista tunneista. Asentajien työskentely myös muuttui työn aikana rutii-

ninomaiseksi, joka myös vaikutti läpimenoaikaan. Jokaisen osakokoonpanosolun työvaiheet tuli siis käydä yksityiskohtaisesti läpi ja pohtia läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä.

Esimerkkinä lieriöportaan kokoonpano, jossa lieriön kannen kokoonpano vaatii paljon aikaa vieviä esikokoonpanoja: nopean- ja holkkiakselin sekä öljypumpun kokoonpanot (ks. Kuvio 8 ja Taulukko 1). Tähän ei ollut näköpiirissä vaiheajoja lyhentäviä tekijöitä. Jakaminen omaksi kuormituspisteeksi lyhentää lieriöportaan kannen kokoonpanon läpimenoaikaa huomattavasti, sillä esikokoonpanoja voidaan tehdä pienissä sarjoissa.



Kuvio 8. Lieriöportaan kannen esikokoonpanot

Taulukko 1. Lieriöportaan kannen vaiheajat (salattu salassapitosopimuksen mukaisesti)

| |
|--|
| |
|--|

Mikäli solunsisäisiä työvaiheita ei ole mahdollista tai järkevää jakaa uusiin työpisteisiin, tuli kokoonpanopisteitä kyseiselle kokoonpanolle lisätä. Jokainen solu tuli tarkastella yksityiskohtaisesti ja pohtia, mikä on paras keino lyhentää läpimeno aikaa. Huomioon tuli ottaa myös se, että kyseiset ajat ovat mitattu nykytilassa, nykyisillä menetelmillä. Näköpiirissä oli jo uusia läpimenoaikaa lyhentäviä tekijöitä kuten työkaluja, apuvälineitä, nostureita ja tyypilinja 7-halliin. Siitä syystä pelkästään työvaiheajkojen perusteella solujen määrää ei voinut laskea, vaan lisäksi oli arvioitava kuinka paljon uudet hankinnat vaikuttavat kokoonpanojen keston.

5.3 Layout-tyypin valinta

Kokoonpano suosii solutyypistä layoutia, sillä tuotantomäärät eivät ole suuria, jolloin ei ole järkevää perustaa tuotantolinjaa. Komponenttien käsiteltävyys fyysisen koon ja painon puolesta ei myöskään puolla tuotantolinja layoutia. Tuotetyypin kirjo ei ole laaja, joten funktionaalinen layout-tyyppi myös karsiutui pois. Solut ovat tuotannonohjauksen kannalta helppoja hallita, sillä niitä voi tarkastella yksittäisinä kuorituspisteinä tuotannossa. 7-hallin kokoonpanon layout halutaan pitää helposti muunneltavana vähäisin kustannuksin, siisteyden ja tuotetyypin tai tuotantomäärän muuttuessa.

5.3.1 Solujen sijoituspaikat

Kun solujen määrä oli selvillä, tuli aloittaa layout-suunnittelu. Rajoitteena solujen sijoituspaikkojen suunnittelussa on puolipukkinostureiden luomat rajoitteet, jotka jakavat kokoonpanosolut hallin molemmille puolille, jolloin keskelle jää käytävä (ks. Kuvio 9).



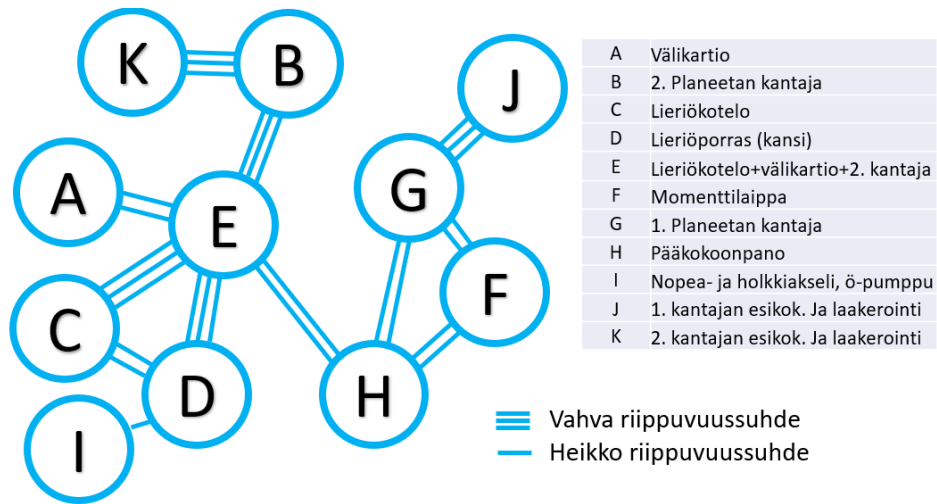
Kuvio 9. 7-hallin kokoonpanon alue

Lisäksi planeetankantajasolujen sijoituspaikoille ei ollut juuri vaihtoehtoja, sillä niiden kokoonpanot tarvitsevat nestemäistä tyypeä ja syvennykset lattiaan. Tyyppiallas ja syvennykset lattiaan oli jo osittain toteutettu tietyille alueille ennen opinnäytetyötä.

Solujen sijoittelussa pyrittiin löytämään kaikkien vaikuttavien tekijöiden kannalta niin optimaalinen ratkaisu kuin mahdollista. Kokoonpanosolujen sijoittelussa 7-halliin tuli ottaa huomioon esimerkiksi:

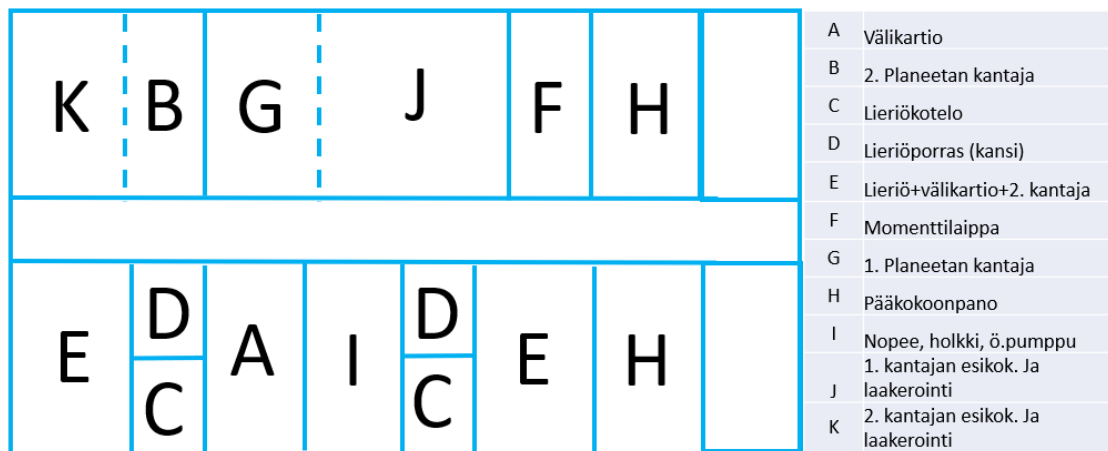
- Materiaalivirta
- Tilantarve
- Nostokapasiteetti
- Nostojen määrä
- Tarvittavat apuvälineet
- Lattian syvennykset
- muut jo suunnitellut tai toteutetut ratkaisut

Solujen sijoittelussa sovellettiin Mutherin yhteyssuhdepiirrosta, jonka avulla selvitetiin solujen läheisyyden tärkeys (ks. kuvio 10).

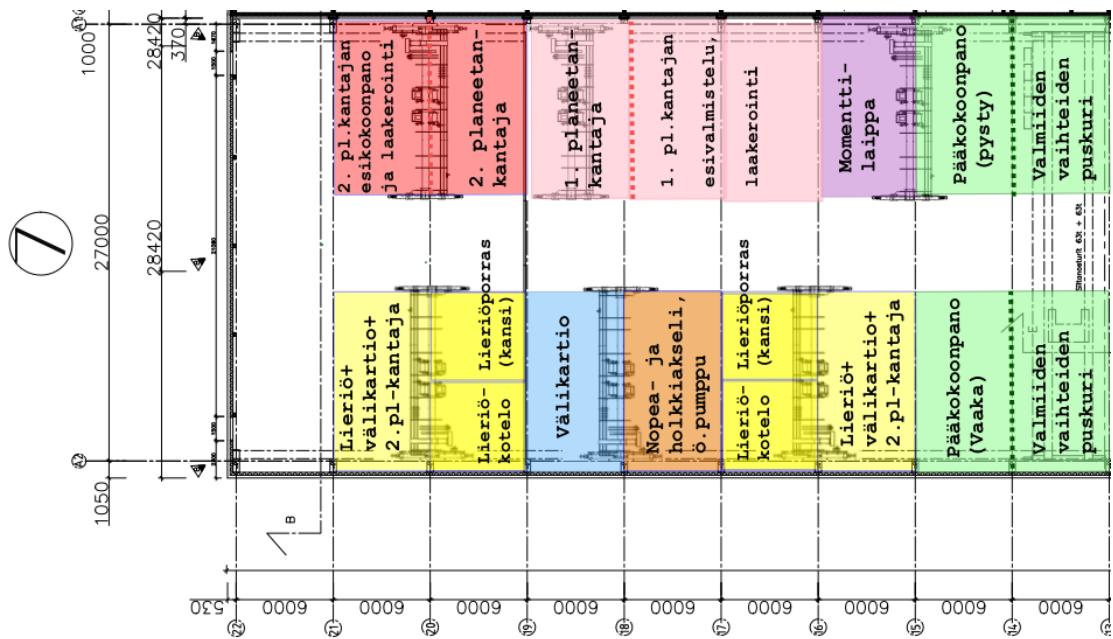


Kuvio 10. Solujen yhteyssuhdepiirros

Sijoittelun suunnittelu lähti liikkeelle luomalla erilaisia layout-variaatioita lasketun työpisteiden määrän ja solujen yhteyssuhdepiirroksen perusteella. Solut sijoiteltiin silmällä pitäen yhteyssuhdepiirroksen mukaista järjestystä todellisesta tilantarpeesta välittämättä, sillä uusi layout tuli joka tapauksessa mallintaa. Tilantarvepiirros kuitenkin havainnollistaa solujen sijainnin tehdasrakennuksessa. Eri layout-variaatioita tarkasteltiin yhdessä työnjohdon ja kokoonpanijoiden kanssa ja parhaimmaksi vaihtoehdoksi valikoitui kuvion 11 mukainen piirros. Tilantarvepiirros vietiin tehdasrakennuksen pohjapiirustukseen (kuvio 12) jossa se on havainnollistavammassa muodossa.



Kuvio 11. Solujen tilantarve piirros

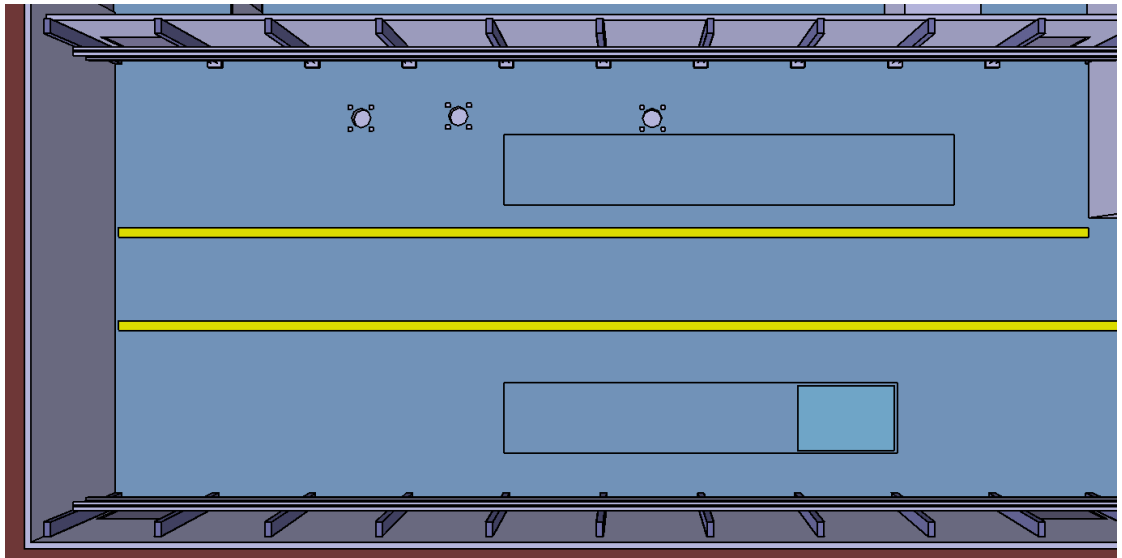


Kuvio 12. Layout-hahmotelma

5.3.2 Layoutin mallintaminen

Layoutin mallintamiseen valikoitui Catia V5 3D-mallinnusohjelmisto. Ohjelmisto on Moventaksella käytössä tuuliturbiinivaihteiden ja työvälineiden suunnittelussa. Catia-mallinnusohjelmistoa käytetään laajalti eri toimialoilla 3D-mallien luomiseen.

Layout tuli mallintaa mittakaavassa, sillä kolmiulotteisessa mallissa on helposti havaittavissa komponenttien ja tuotantovälineiden fyysinen koko sekä tilan tarve. Mallia voi tarkastella useista kuvakulmista ja näkymistä sekä siinä voi mitata tuotantovälineiden välisiä etäisyyksiä. Mallissa on myös helppo tehdä muutoksia layouttiin, mikäli jokin toiminto tai sen sijainti todetaan epäkäytännölliseksi. Layoutin mallintaminen lähti liikkeelle tehdusrakennuksen mallintamisesta (ks. Kuvio 13).

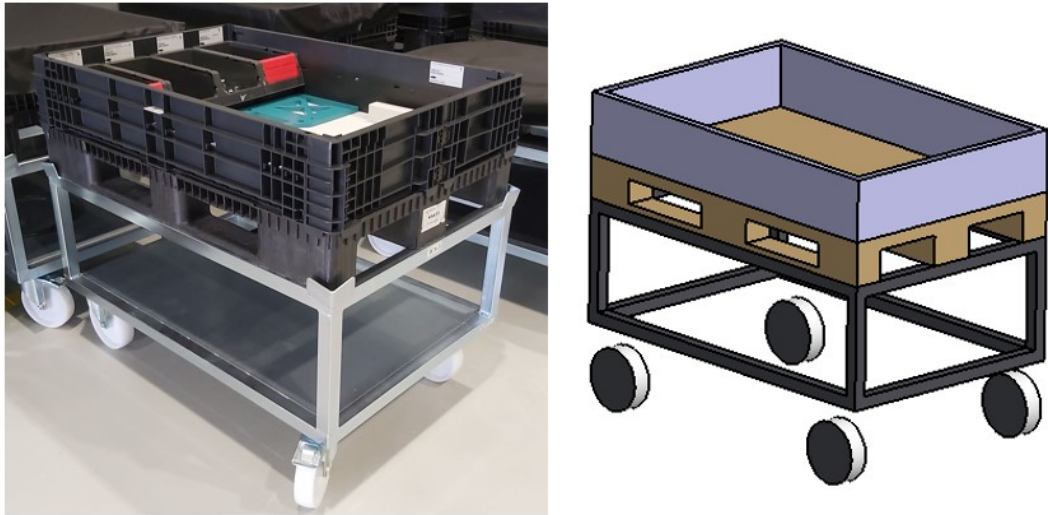


Kuvio 13. 7-hallin 3D-malli

Jokaiseen työpisteeseen tuli mallintaa päätoiminnot ja välineet, jotka ovat layout-suunnittelun kannalta olennaisia. Tällaisia ovat esimerkiksi

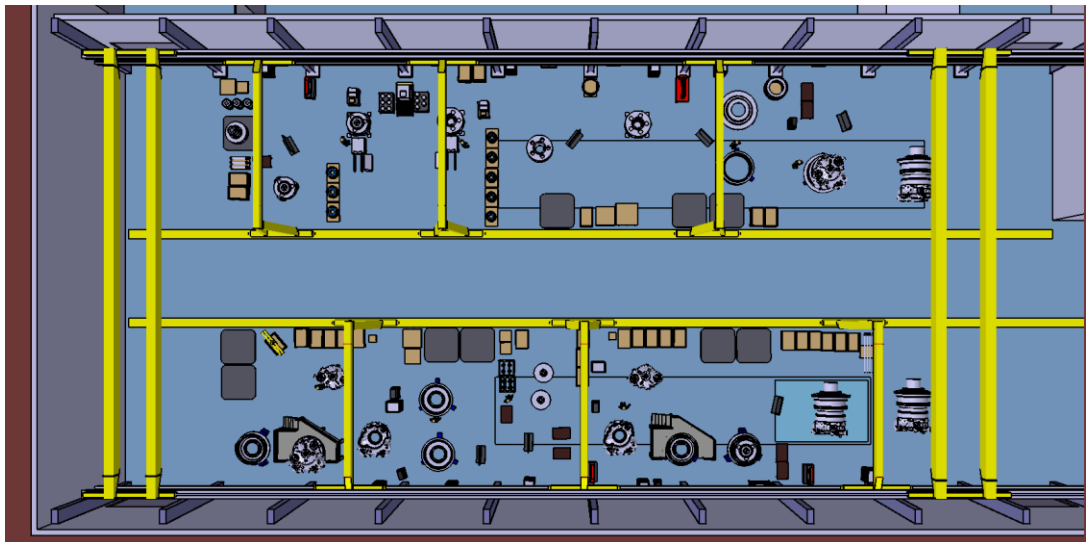
- tarvikehyllyt ja työkaluvaunut
- työtasot
- osasettikärryt
- vaihteen suurimmat komponentit
- nosturit
- induktiolämmittimet ja uunit
- kiinteät kalusteet.

Työpisteet käytiin läpi sekä kaikki olennaiset välineet kirjattiin ylös mitä on jo olemassa ja mitä joudutaan hankkimaan. Välineiden mallinnuksessa tärkeimmässä roolissa oli piirteiden päämitat sekä informatiivisuus, jotta mallista on havaittavissa mitä kyseinen piirre esittää (ks. kuvio 14). Malleista ei ollut tarkoitus tehdä yksityiskohtaisia, sillä tarkan mallin luomiseen kuluu huomattavasti enemmän aikaa sekä sen tiedostokoko kasvaa ja työskentely hidastuu entisestään tiedonsiirtoon kuluvan ajan kasvaessa.



Kuvio 14. Osasettikärry

Kun kaikki olennaiset välineet oli mallinnettu, pystyi niistä alkaa muodostamaan työpisteitä kuvion 12 mukaisesti (ks. Kuvio 15).



Kuvio 15. 7-hallin kokoonpanon 3D-malli

6 Työn tulokset

Työ aloitettiin työvaiheajojen mittaamisella, jonka perusteella oli tarkoitus määrittellä tarvittava työpisteiden määrä. Työn tuloksena saatiin taulukoitua kattavaa dataa

työvaiheajoista, joista oli helppo tarkastella aikaa vieviä työvaiheita. Työvaiheisiin, joiden ajallinen kesto oli suuri, hankittiin parempia ja suorituskykyisempiä välineitä. Lopulta työpisteiden määrä määritettiin mitattujen työvaiheajojen ja aikaa lyhentävien tekijöiden arvioiden pohjalta. Kaikki data työvaiheajojen mittaamisesta jää toimeksiantajan käyttöön. Työvaiheajat tulisi mitata myös uuden layoutin toteutuksen jälkeen, jolloin voitaisiin tarkastella, kuinka hyvin työssä onnistuttiin.

Layoutin toteutusta helpottaa työn tuloksena syntynyt 3D-malli, joka sisältää kaikki olennaiset Exceed Evo -vaihteen kokoonpanon toiminnot. Mallin mukainen layout mahdollistaa teoriassa 8-10 vaihteen kokoonpanon viikossa nykyisillä henkilöresursseilla. Lopullinen henkilöresurssien arviointi jää yritykselle. Mallia on helppo hyödyntää layoutin käyttöönotossa, sen muutoksissa muutoksissa tai vaikka suunniteltaessa uusia laitehankintoja. Mallin etuna on sen helppokäyttöisyys, sillä siinä on nopea tehdä muutoksia layoutiin sekä fyysisten osien tilantarve on selkeästi havaittavissa (ks. liitteet 3 ja 4.) 3D-malli ja mallin mukainen layoutin toteutus jää yritykselle.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön päätavoitteena oli suunnitella layout, joka mahdollistaa 8-10 vaihteen kokoonpanon viikossa ja esittää se 3D-mallin muodossa. Layoutista tuli suunnitella joustava, helposti muunneltava ja selkeä. Lisäksi Työvaiheajat tuli selvittää sillä niistä on tarkasteltavissa kokoonpanon pullonkaulat, joihin etsittiin parempia toimintatapoja tai suorituskykyisempiä työvälineitä. Työvaiheajojen perusteella laskettiin tarvittavien kokoonpanosolujen määrä.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin pääasiassa hyvin. Uudesta layout-mallista tuli selkeä ja käyttöönotto mallin pohjalta helposti toteutettavissa. Toimeksiantaja oli opinnäytetyön tuloksiin tyytyväinen ja aikoo lähteä toteuttamaan uutta layoutia mallin pohjalta. Mielestäni uuden layoutin toteutuksen jatkoksi tulisi käynnistää projekti, joka käsittelee lean-työkaluista tuttua 5S-menetelmää. Menetelmän avulla uudesta layoutista saisi kaiken hyödyn irti ja Kokoonpanosta tulisi asentajille viihtyisämpi ympäristö ja tuotannonohjaus helpottuisi.

Layout-suunnittelu oli pitkäkestoinen ja haastava prosessi, sillä suunnittelussa käsiteltiin tuotantoon liittyviä asioita, jotka olivat varsin laajoja kokonaisuuksia. Opinnäytetyö oli mieleinen suorittaa, sillä toimeksiantajan toimintatavat ja prosessit olivat pääosin jo entuudestaan tuttuja. Mitä pidemmälle työ eteni, sen tärkeämmäksi kokoonpanoprosessin tunteminen osoittautui. Toimeksiantaja oli motivoitunut ja sitoutunut uuden layout-suunnitelman laatimiseen ja tarjosi tarvittavan tuen opinnäytetyön toteuttamiseen. Opinnäytetyön suorittaminen kokonaisuudessaan oli haastava ja aikaa vievä projekti. Työtä hankaloitti niin itsestä riippuvat kuin riippumattomat tekijät, jonka vuoksi työ hieman pitkittyi alkuperäisestä aikataulusta. Raportoinnin ja vapaa-ajan tasapainottelussa oli haasteita, jotka kuitenkin sain priorisoitua määräajan puitteissa.

Lähteet

Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J. & Suikki, M. 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Teknologiateollisuus ry. Viitattu 16.2.2020. https://teknologiainfo.net/sites/teknologiainfo.net/files/download/Tyontutkimuksen_kasitteita_ebook.pdf.

Exceed series. N.d. Markkinointimateriaali. Moventas Gears Oy.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacts.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 134.

Manwell, J F. McGrowan, J.G. Rogers A.L. 2002. Wind Energy Explained – Theory, Design and Application. John Wiley & Sons Ltd. Viitattu 11.2.2020. http://ee.tlu.edu.vn/Portals/0/2018/NLG/Sach_Tieng_Anh.pdf.

Moventas Gears Oy:n yritysesittely. 2020. Powerpoint-esitys. Moventas Gears Oy.

Muther, R. 1973. Systematic Layout Planning. 2. uud .p. 8. p. Kansas City. Management and Industrial Research Publications.

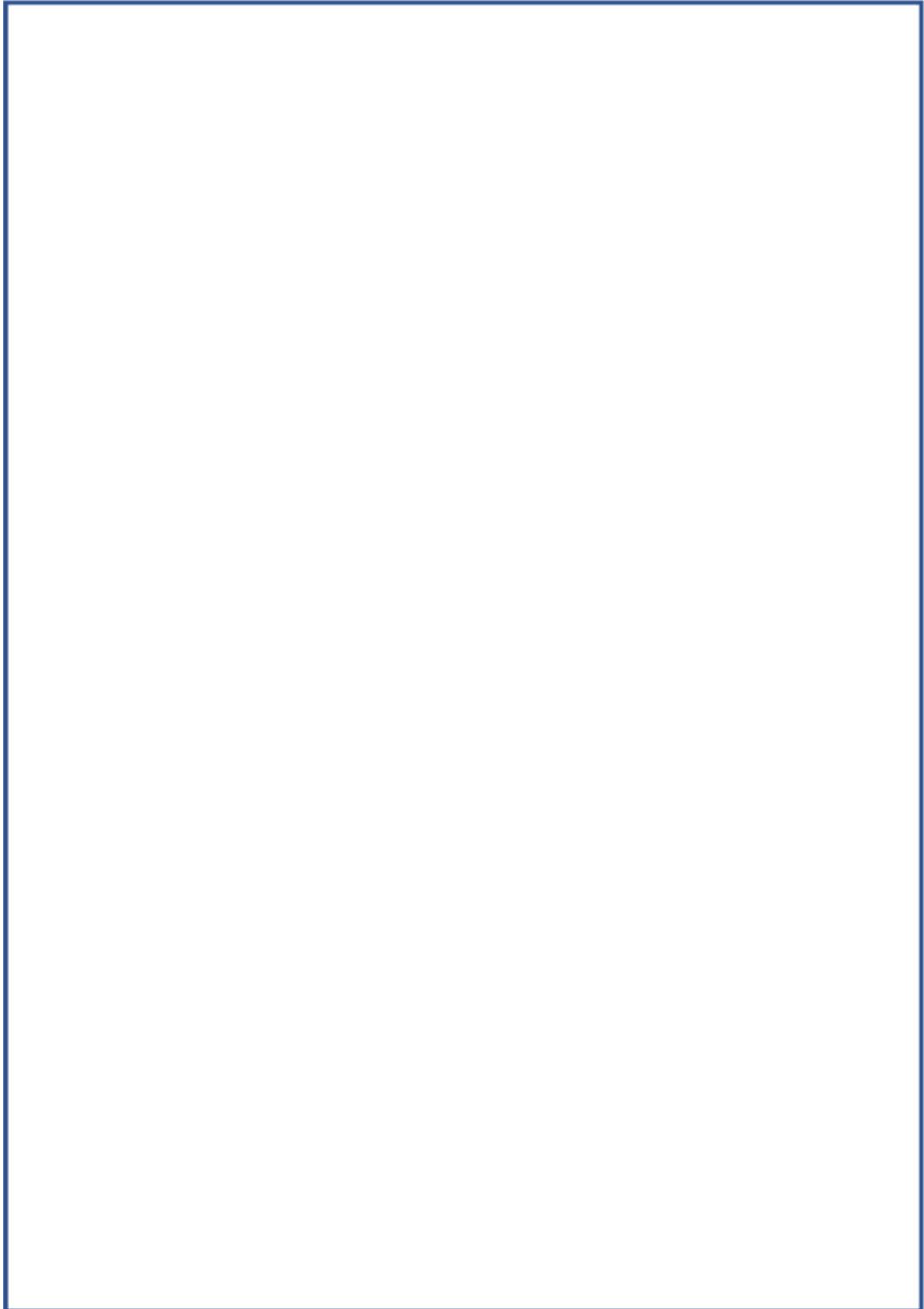
Tuulivoimatekniikka. N.d. Suomen tuulivoimayhdistys ry. Viitattu 9.2.2020. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka>.

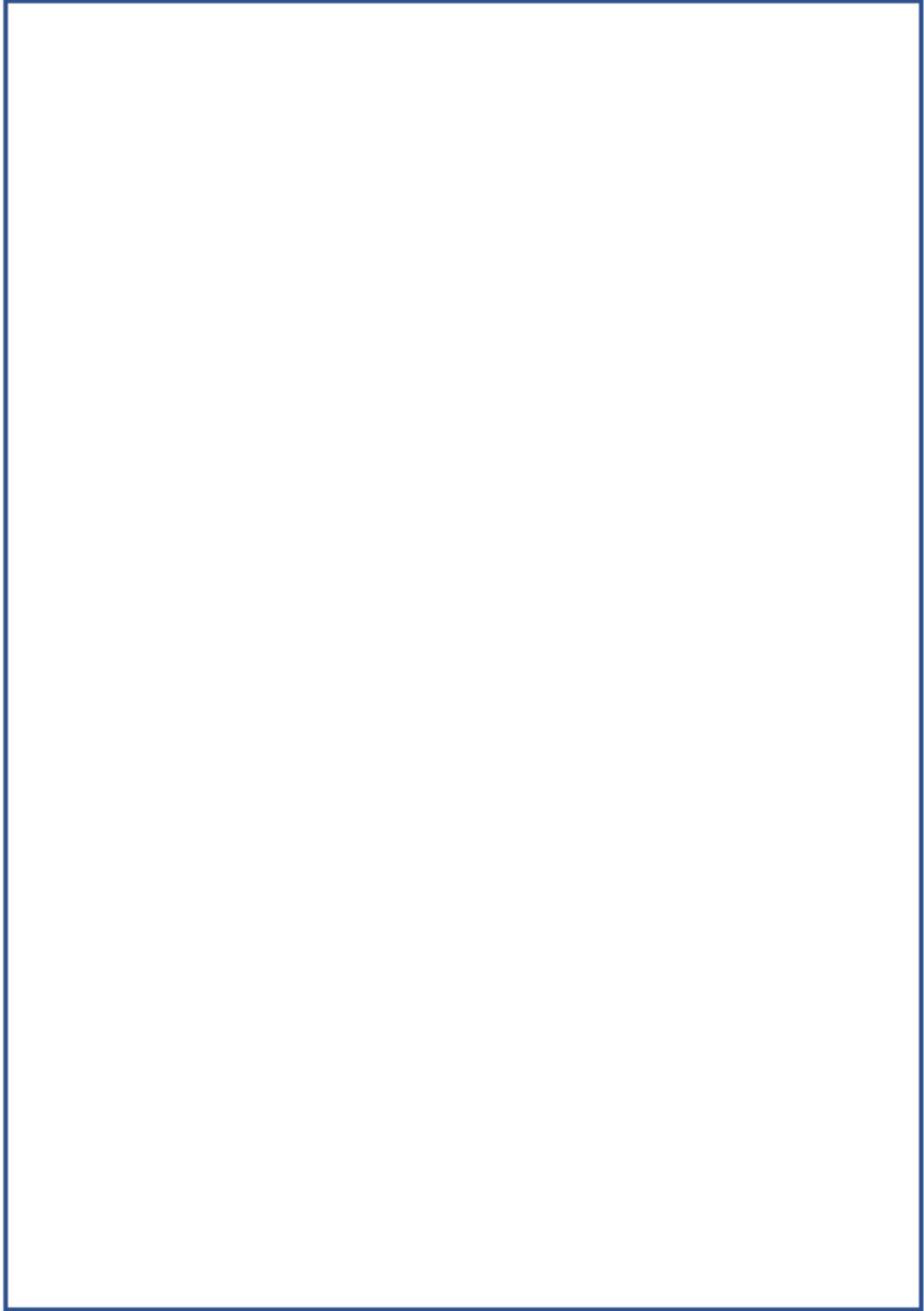
Tuulivoimaloiden rakenne. N.d. Kuvio Tuulivoimayhdistys ry:n verkkosivustolla. Viitattu 9.2.2020. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>

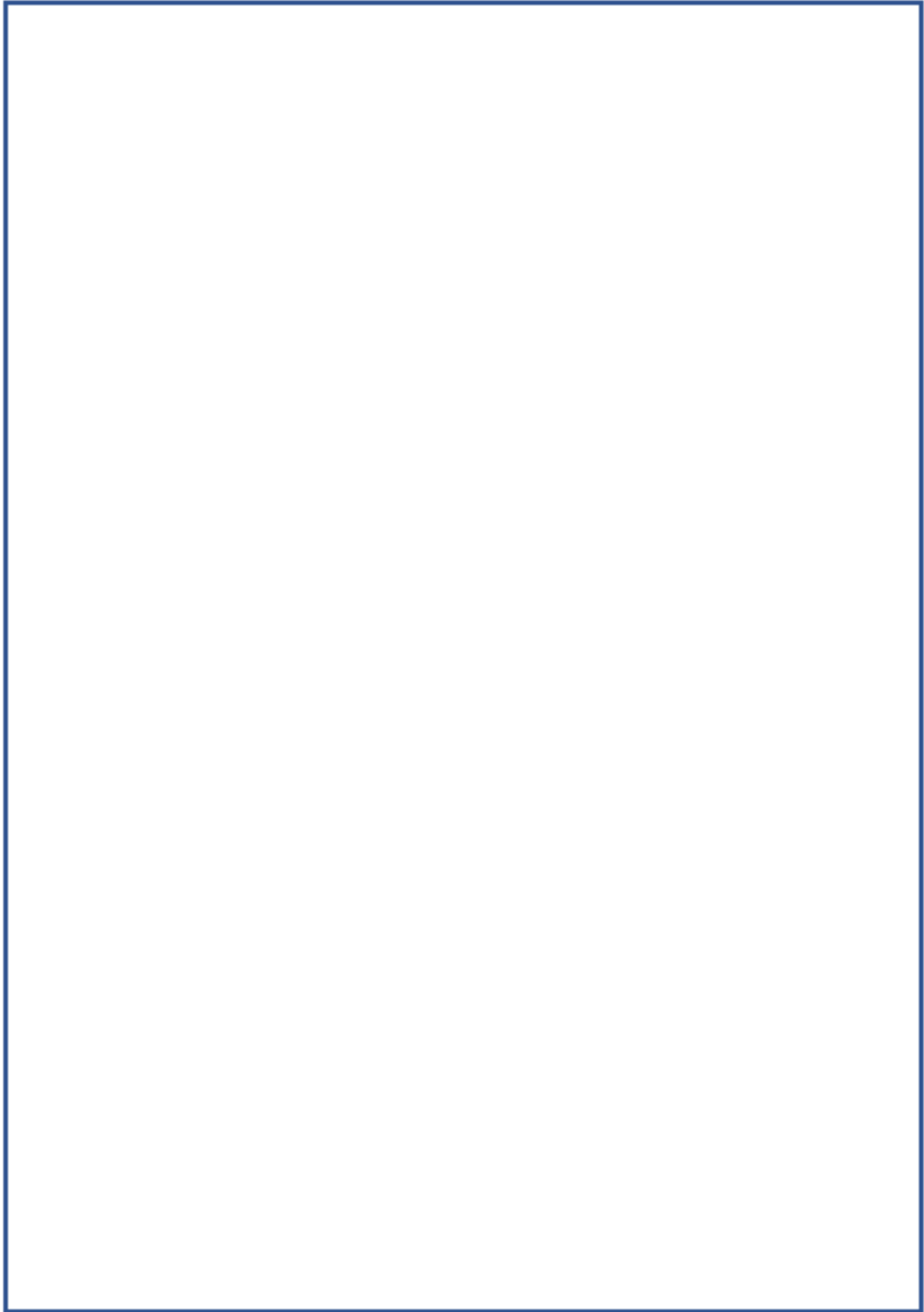
Tuotannon layout. N.d. Logistiikan-Maailma sivusto. Viitattu 14.2.2020.

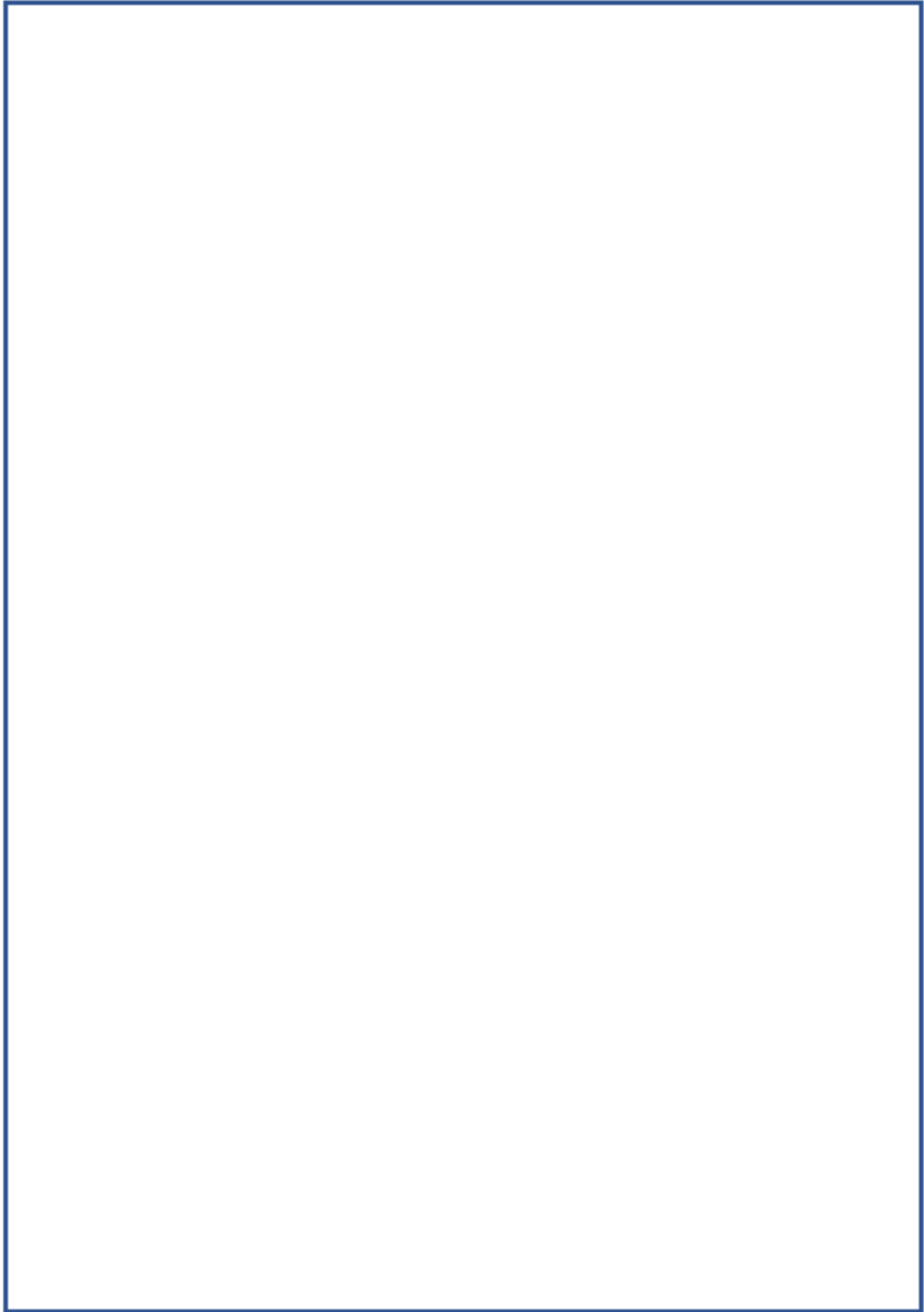
<http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

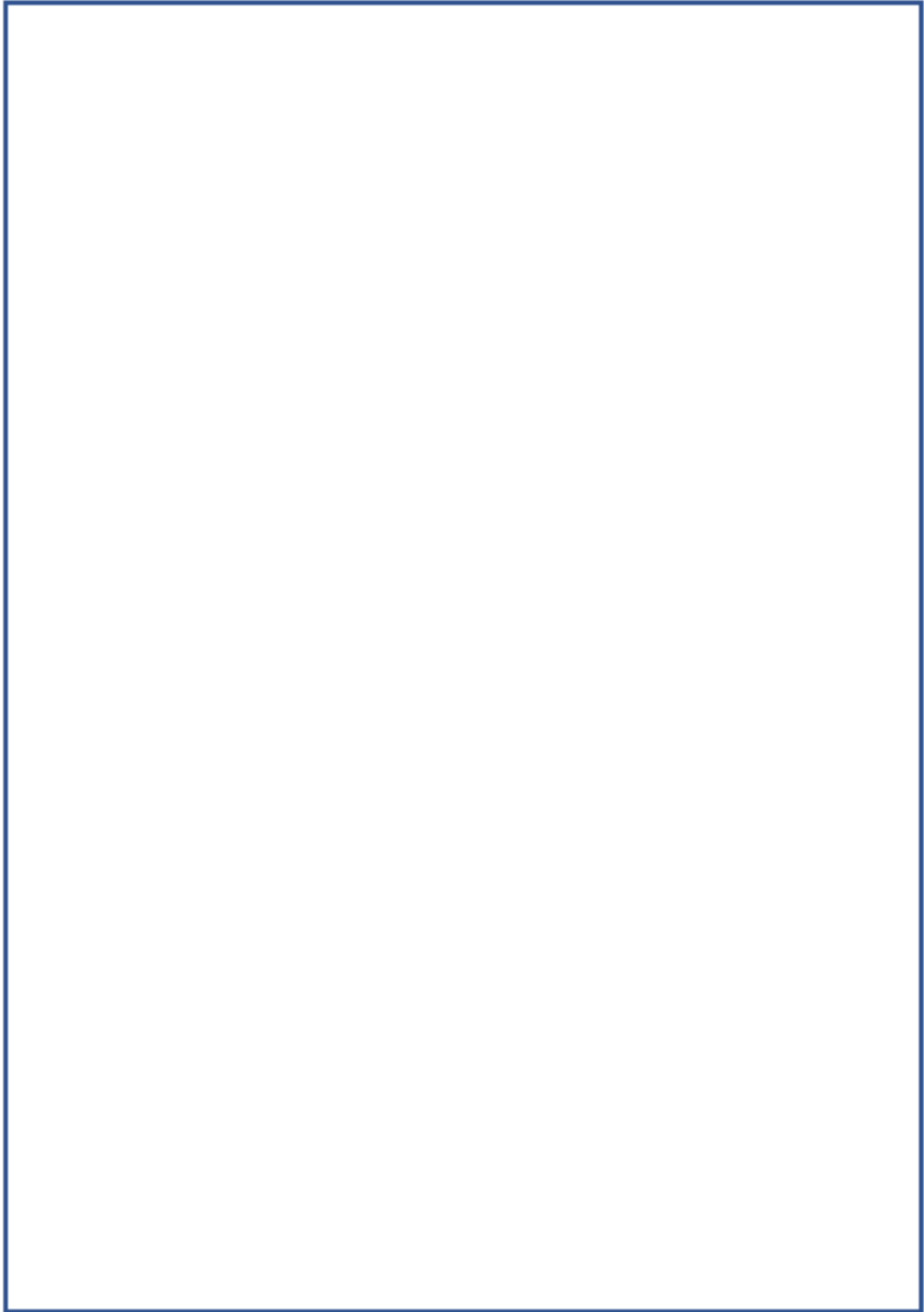
Liite 2. Työvaiheiden tutkimus (salattu salassapitosopimuksen mukaisesti)

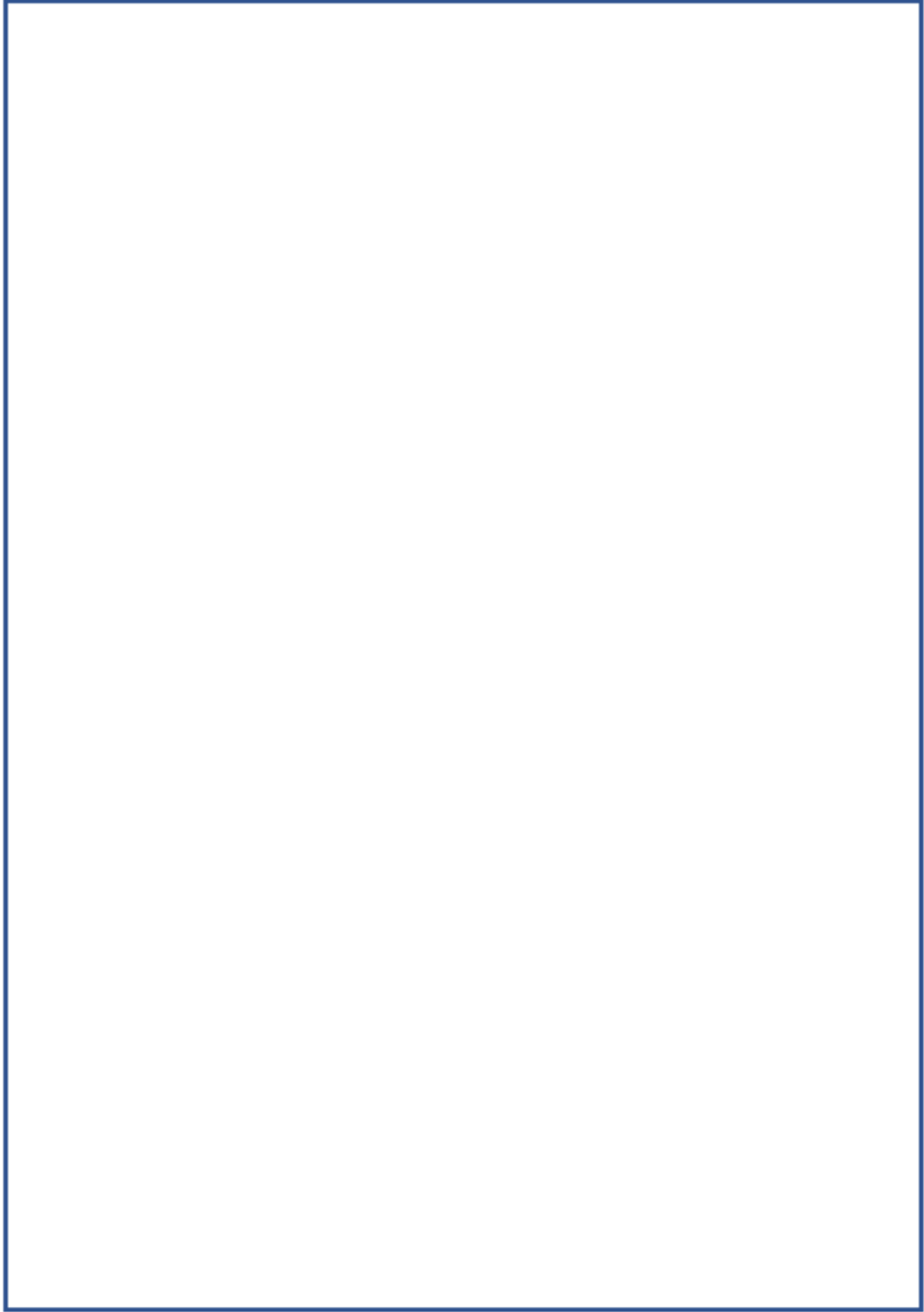




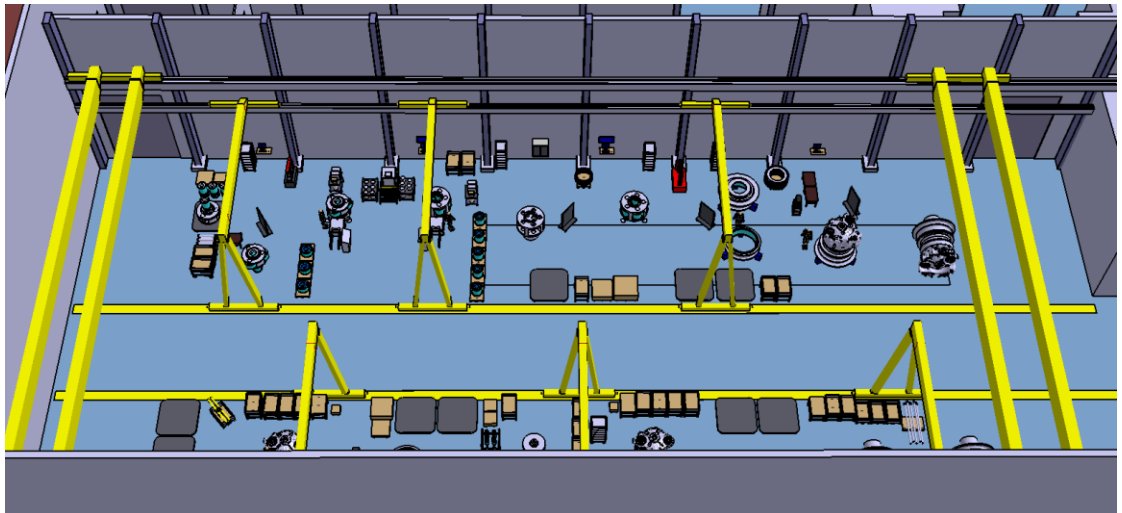
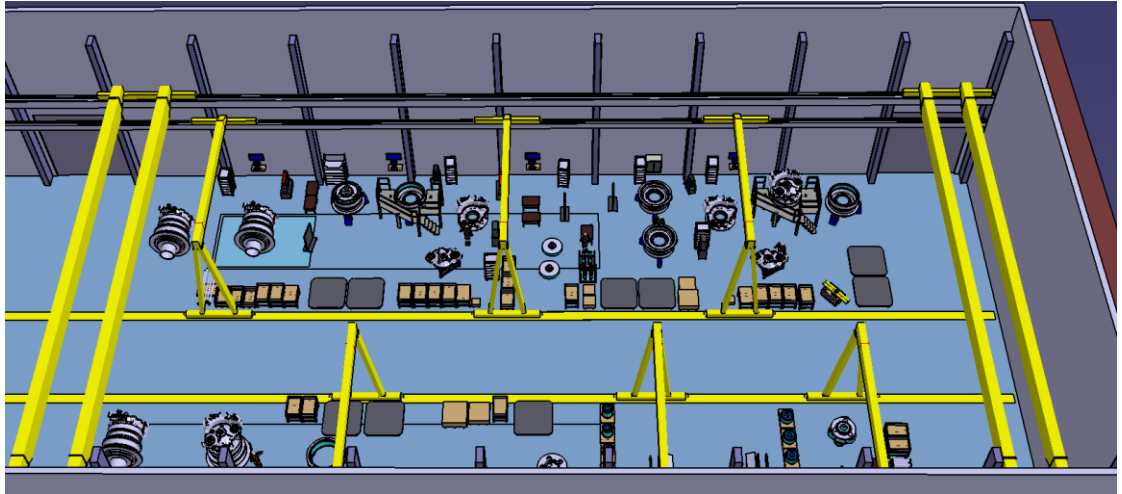








Liite 3. Valmis layout



Liite 4. Lieriösolun sijoituspaikka

