



Prototyypiprojektin projektin- hallinta

Konenaulakko

Heikki Niva

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Kone- ja tuotantotekniikan ko.
Tuotantotalous

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotantotalous

NIVA, HEIKKI
Prototyypiprojektin projektinhallinta
Konenaulakko

Opinnäytetyö 62 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2022

Tämän toiminnallisen opinnäytetyön aiheena on projektinjohtaminen prototyypilaitteen valmistusprojektissa.

Tampereen ammattikorkeakoulun konetekniikan koulutusohjelma järjesti suunnittelukilpailun, jossa etsittiin vaihtoehtoa perinteisille säilytyslokeroille. Viiden hengen opiskelijaryhmä osallistui kilpailuun Konenaulakoksi nimetyllä ehdotuksellaan ja voitti kilpailun. Konenaulakko on paternoster-periaatteella toimiva säilytysjärjestelmä, joka pyörittää säilytyslaatikoita kahdessa pystysuuntaisessa rivissä kahden akselin ympäri.

Opinnäytetyön tekijä oli projektissa projektipäällikkö. Hänen tehtävänsä olivat projektin suunnittelu, aikataulutus, ostotoiminta ja logistiikka. Projektipäällikkö osallistui lopulta myös prototyypin valmistamiseen, sillä projektiryhmä kutistui kahteen henkilöön. Taustalla vaikutti vaikea taloudellinen tilanne, joka johti projektin alihankkijoiden, muiden Pirkanmaalaisten oppilaitosten, vetäytymiseen suullisesti sovitusta alihankintatöistä.

Resurssien pudottua murto-osaan alkuperäisestä, projektiryhmä neuvotteli projektille uudet raamit. Valmiin laitteen sijaan sovittiin valmistettavaksi täysikokoinen prototyyppi. Projekti koostui prototyypin suunnittelusta ja toteutuksesta. Tavoite oli mekaanisesti toimiva prototyyppi. Prototyyppi luovutettaisiin seuraavalle opiskelijaryhmälle, joka suunnittelisi ja asentaisi siihen sähkömoottorin ja sitä ohjaavan ohjausyksikön.

Prototyypin tuli olla jatkojalostuskelpoinen, joten se tuli valmistaa metallista juuri sen kokoisena, jollaiseksi se oli suunniteltu. Valmis prototyyppi oli mekaaninen laite, joka toimi suunnitellulla tavalla. Projekti oli kaikkine muutoksineen opettavainen katsaus projektinjohtamiseen.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltyyn prototyypilaitteeseen perustuen on tehty myös muita opinnäytetöitä. Muissa opinnäytetöissä laite on nimetty i-Locker:iksi ja niissä käsitellään Konenaulakon jatkojalostusta eri näkökulmista.

Asiasanat: projektinjohtaminen, prototyyppi, ETO, valmistaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Industrial Engineering

HEIKKI NIVA
Project Management in a Prototype Project
Konenaulakko

Bachelor's thesis 62 pages, appendices 4 pages
May 2022

The subject of this functional thesis was project management in the manufacturing of a prototype product. The Degree Programme in Mechanical Engineering of Tampere University of Applied Sciences organized a competition for designing an alternative to the regular school locker.

A group of five won the competition with a design coined 'Konenaulakko'. They were then commissioned to build the design into a functioning machine. Konenaulakko is a machine which utilizes the paternoster-design, rotating lockers in two vertical rows around two axles.

The author's role in the project was that of a project manager. His responsibilities included scheduling, purchasing, and logistics. The team's goal was to produce a mechanically functional prototype.

The prototype was manufactured of metal in its intended size. The manufacturing process proved to be educational.

Konenaulakko is also the subject of many other theses. In the other theses, the prototype machine has been re-named 'i-Locker', and they focus on the further development of the machine.

Key words: project management, prototype, ETO, manufacturing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	PROTOTYYPPIPROJEKTIN JOHTAMINEN	9
	2.1 Konenaulakko ETO:na	11
	2.2 Projektinjohtajan ominaisuuksia, vastuita ja haasteita	14
	2.3 Projektinjohtamisen malleja	15
	2.4 Projektipäällikön lähtötaso	17
3	KONENLAUKKOPROJEKTIN VIISI VAIHETTA	19
	3.1 Konenaulakkoprojektin aloitus	20
	3.1.1 Toimeksiantajan vaatimukset projektille	20
	3.1.2 Riskien määrittely	21
	3.2 Konenaulakkoprojektin suunnittelu.....	21
	3.3 Konenaulakkoprojektin toteutus	25
	3.4 Konenaulakkoprojektin valvonta.....	26
	3.4.1 Kriisi keskellä projektia ja toimeksiantajan uudet vaatimukset	27
	3.4.2 Muutokseen reagointi	29
	3.4.3 Sopeutuminen uusiin rooleihin	30
	3.5 Konenaulakkoprojektin lopetus	31
4	KONENLAUKON VALMISTUSPROSESSI	33
	4.1 Käytännön järjestelyt.....	33
	4.2 Valmistusprosessin suunnittelu	34
	4.3 Valmistustilat	36
	4.4 Materiaalien vastaanottaminen	37
	4.5 Sahaus	37
	4.6 Ensimmäinen muutos.....	39
	4.7 Hitsaaminen	39
	4.8 Ensimmäinen testikokoonpano	42
	4.9 Pintakäsittely	45
	4.10 Akselien työstö	46
	4.11 Säilytyslaatikoiden valmistus	47
	4.12 Toinen testikokoonpano.....	48
	4.13 Viimeistely ja luovutus	53
5	POHDINTA	54
	LÄHTEET	57
	LIITTEET	59
	Liite 1. Konenaulakon rungon alaosan CAD-kuva.	59
	Liite 2. Ketjun pituuden laskeminen	60

Liite 3. Koneaulakon rungon yläosan CAD-kuva.	61
Liite 4. Koneaulakon akselin navan alkuperäinen CAD-kuva.	62

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
Konenaulakko	Opinnäytetyön aihe, mekaaninen laite
i-Locker	Mekaaninen laite, eteenpäin jalostettu Konenaulakko
Paternoster	Hissityyppi, jossa ketjuihin kiinnitetyt korit liikkuvat kahden akselin ympäri
Konenaulakko	Opinnäytetyön aihe, kone
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
ETO	Engineer-to-order, asiakkaan tilauksen mukaan suunniteltu ja valmistettu tuote
OPP	Order Penetration Point, tilauksen kohdennuspiste

1 JOHDANTO

Konenaulakkoprojektin tavoite oli suunnitella ja valmistaa mekaanisesti toimiva varastointilaitteen prototyyppi Tampereen ammattikorkeakoululle. Toimeksiantannon mukaan valmiin prototyypin täytyi olla jatkojalostettavissa, jotta seuraava opiskelijaryhmä pystyisi jatkamaan sen kehittämistä. Tämä meidän täytyi ottaa huomioon materiaalivalinnoissa.

Prototyyppi nimettiin *konenaulakoksi*. Valmiissa laitteessa oli tarkoitus säilyttää pientä henkilökohtaista irtaimistoa, kuten takkeja, kantolaitteita, elektroniikkaa ynnä muuta vastaavaa. Tampereen ammattikorkeakoululta saamamme toimeksiantannon mukaan laitteen tuli edustaa konetekniikan opiskelijoiden suunnitteluosaamista. Konenaulakkoprojekti aloitettiin viiden hengen opiskelijaryhmällä, mutta vietiin loppuun kahdella opiskelijalla.

Koska työmme oli suunnitella säilytysjärjestelmä, joka ilmentäisi ”koneteknistä osaamistamme”, päädyimme paternoster-periaatetta hyödyntävään ratkaisuun. Paternoster-periaatteella toimiva laite on edullinen varastointiratkaisu, jossa säilytysyksiköt kiertävät pystylinjassa (Pientavarakeruu ja automaatio 2022).

Säilytysjärjestelmät eittämättä harvoin herättävät käyttäjissään minkäänlaisia tunnereaktioita. Ajattelimme, että mielikuvitustamme käyttämällä saisimme valmistettua tällaisesta useita liikkuvia osia vaativasta laitteesta tarpeeksi erikoislaitteen näköisen, jotta ohi kulkiessa sitä vilkaisisi mielenkiinnosta uudestaan.

Tässä opinnäytetyössä tarkastelen prototyypin suunnittelu- ja valmistusprosessia projektinhallinnan ja projektinjohdon näkökulmasta. Koska lopulta valmistimme laitteen itse ja valmistusprosessi oli iso osa projektia, kuvailen tarkasti myös itse valmistusprosessin, projektin aikana tekemäni päätökset ja niiden perustelut.

Projektinhallinnan näkökulmasta projektimme ei ollut perinteisellä tavalla menestys. Hyvästä lopputuloksesta huolimatta jouduin projektipäällikön roolissa nöyrymään useiden meistä riippumattomien tekijöiden edessä. Käytännössä alussa sovitut roolit murenivat ja suunnittelijan kanssa sopeuduimme tilanteeseen. Suurimman osan projektista työskentelimme kaksin koulumme konelaboratoriossa.

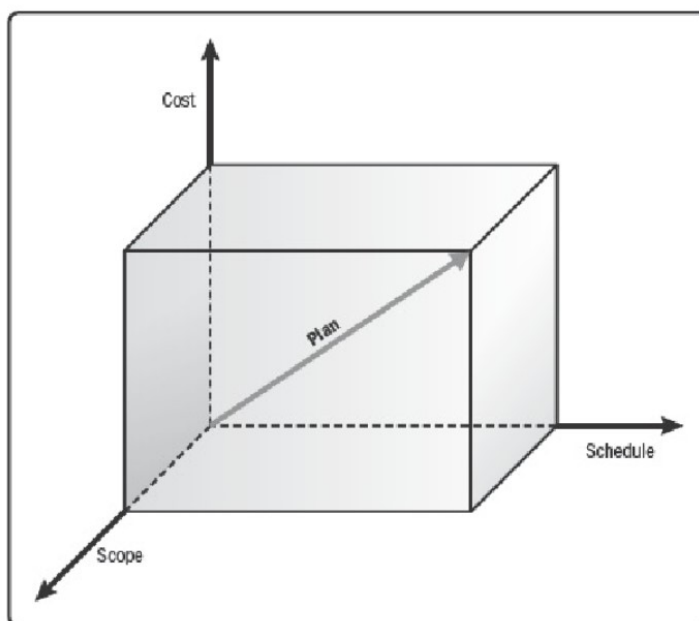
Luvussa 2 määrittelen opinnäytetyön kannalta tärkeät peruskäsitteet, kuten projektinjohtamisen. Kolmannessa luvussa kuvaan konenaulakkoprojektin viisi vaihetta, projektinhallintaa käsittelevässä kirjallisuudessa perinteisesti käytettyjen viiden vaiheen mukaisesti. Luvussa 4 avaan konenaulakon prototyypin valmistusprosessin, sillä vaikka toteutus ei perinteisesti kuulu projektinjohtajan tehtäviin, opin hankkeessa mitä projektinjohtajalta vaadittavalla joustavuudella tarkoitetaan, kun jouduin myös valmistamaan prototyypin. Lopuksi luvussa 5 vedän yhteen projektin annin, pohdin onnistumisiani ja haasteitani projektinjohtajana sekä arvioin projektin onnistumista.

2 PROTOTYYPPIPROJEKTIN JOHTAMINEN

Jotta voidaan ymmärtää, mistä konenaulakon prototyypin valmistusprojektissa on kyse, määritellään ensin peruskäsitteet projekti, prototyyppi ja projektinjohtaminen sekä projektissa tuotekehityksen tavaksi muodostuneen ETO:n, eli engineer to order -periaatteen.

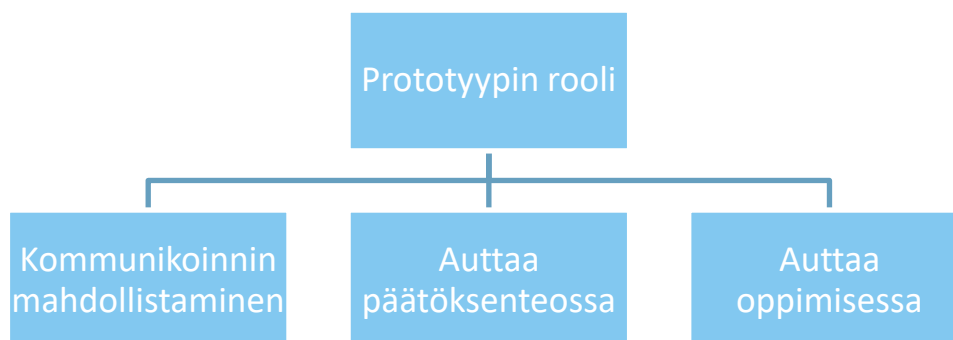
Puhekielessä sanalla *projekti* voidaan viitata moneen eri asiaan ydinvoimalan rakentamisesta aina auton renkaiden vaihtamiseen ja sille on kirjallisuudessa lähes yhtä monia määritelmiä. Mutta esimerkiksi projektinhallinnan yliopistoprofessorien Nicholaksen ja Steynin (2012, 22) mukaan projekti on väliaikaista ja kertaluontoista työskentelyä yhden selkeästi määriteltävissä olevan tavoitteen saavuttamiseksi. Tällainen yhteinen tavoite voi Project Management Institutin (2022) mukaan olla esimerkiksi jokin uusi tuote tai palvelu, jollaisia ovat Campbellin (2014, luku 1) mukaan myös muun muassa teknologiset toteutukset.

Konenaulakon prototyypin valmistamisen Tampereen ammattikorkeakoululle voidaan katsoa olevan projekti, sillä ylläkuvatun mukaisesti se on kertaluontoinen ja sillä on selkeästi määritelty tavoite sekä alku ja loppu. Bissonette (2016, kappale 2) havainnollistaa projektia kolmiakselisella avaruudella, jossa projektia eteenpäin vievät, mutta toisaalta rajoittavat aikataulu, kustannukset ja laajuus (kuva 1).



KUVA 1. Projektin graafinen havainnollistus (Bissonette 2016, kappale 2)

Prototyyppi on niin ikään puhekieleen levinnyt sana, jonka merkitys vaihtelee kontekstista riippuen. Lauff ym. (2017, 7) mukaan prototyyppi on mallin kriittisten elementtien fyysinen ruumiillistuma ja iteratiivinen työkalu, joka voi tarjota lisätietoa ja helpottaa suunnitteluprosessin päätöksentekoa. Insinööriyön tuotesuunnittelukonferenssia varten tekemässään tutkimusartikkelissa kirjoittajat tiivistävät prototyypille kolme roolia, jotka ovat kommunikoinnin mahdollistaminen, päätöksenteossa auttaminen ja oppimisessa auttaminen (kuvio 1).



KUVIO 1. Prototyyppien kolme kehkeytyvää roolia (Lauff ym. 2017, 7).

Eräs prototyypin kommunikoinnin mahdollistavista asioista on idean tai konseptin selittäminen. Prototyyppi voi olla fyysinen tai virtuaalinen. CAD-luonnos on keino viestiä monien erilaisten ihmisten kanssa, esimerkiksi insinöörien ja koneistajien. Käsin kosketeltavan prototyypin avulla taas voi kommunikoida kaikkien ihmisten kanssa läpi organisaation ja aina loppukäyttäjään asti, myös ei-tekniikkien henkilöiden kanssa. Fyysinen prototyyppi voi olla täysin tai osittain toimiva. Mitä päätöksenteon auttamiseen tulee, prototyyppiä voi ajatella kriittisen tiedon suodattimena. Prototyypin luonti itsessään on tapa päättää, mitä asioita suunnitelmaan kannattaa jättää ja mikä taas ei ole tarpeeksi tärkeää siihen jäädäkseen. Lisäksi sen avulla voi tunnistaa mahdollisia valmistus- tai kokoonpano-ongelmia. Eräs yleisimmistä tavoista oppia prototyypeistä on, että prototyyppi paljastaa sen, mitkä suunnitelman elementit toimivat ja eivät toimi käytännössä. Prototyyppien luominen myös opettaa materiaaleista, teknologioista, prosesseista ja monista liiketoiminnallisista elementeistä. (Lauff ym. 2017, 8; Hamon ym 2014, 2)

Projektinjohtamisen määritelmä on tiedon, taidon, työkalujen ja tekniikoiden soveltamista projektitoimintaan projektin vaatimusten täyttämiseksi (PMI n.d.). Heerkensin (2014, kappale 1) mukaan projektinjohtamisessa yhdistyy taide, eli ihmisten ja projektin johtaminen ja tiede, eli määrittely ja koordinointi työn

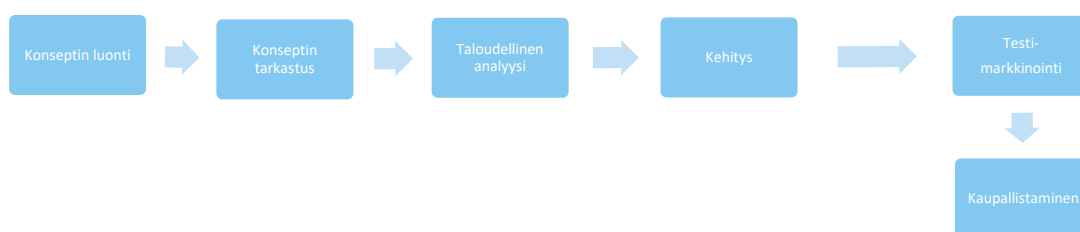
saattamiseksi loppuun. Projektinjohtamisen taideaspektin ydin on siinä, että projektien tarkoitus on oikeastaan se, että ihmiset saavat asioita aikaan.

Päädyin projektinjohtajaksi, koska pääaineeni oli tuotantotalous ja halusin soveltaa oppimaani käytännössä. Kuvailen tarkemmin projektinjohtajan ominaisuuksia, vastuita ja haasteita luvussa 2.2.

Koska konenaulakon prototyypin valmistusprosessi on perimmäiseltä luonteeltaan tuotekehitystä, niin käsitelen seuraavassa alaluvussa tiivistä sitä engineer-to-order-periaatteen (ETO) mukaisesti.

2.1 Konenaulakko ETO:na

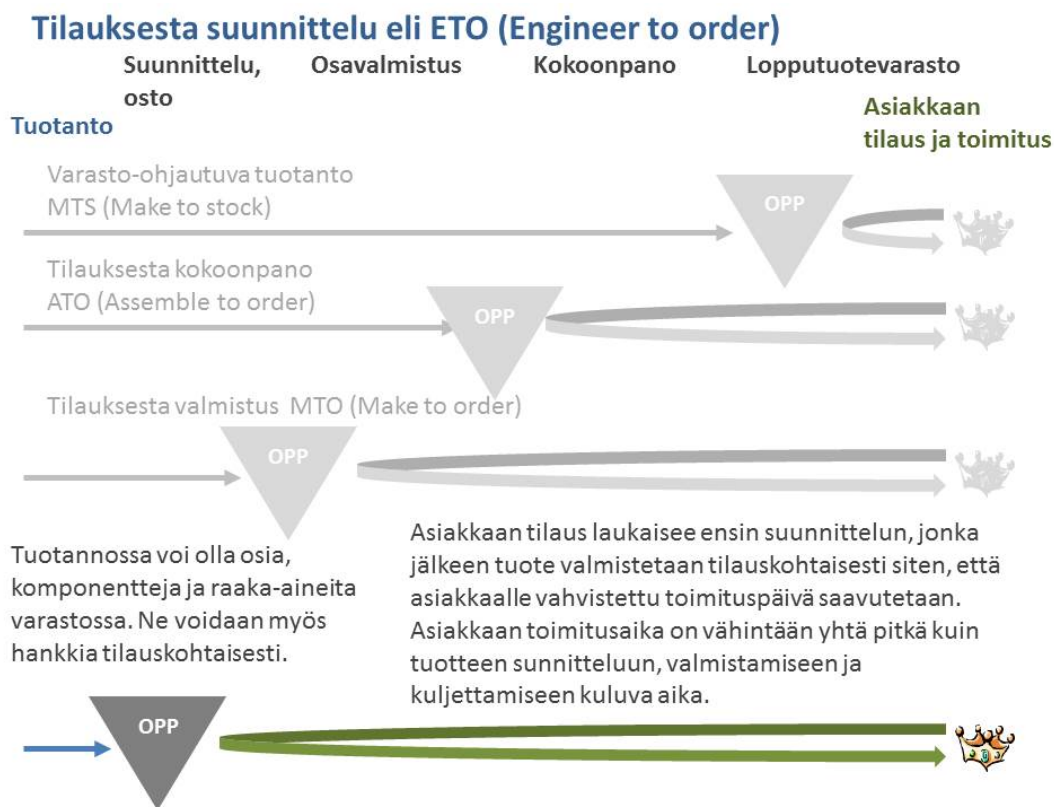
Konenaulakkoprojektissa on häivähdys useita eri tuotantometodeja ja suunnitteluprosesseja. Suurelta osin se on perinteistä uuden tuotteen kehitystä, koska suunnittelimme tyhjästä uuden tuotteen kilpailun parametrien perusteella ja valmistimme siitä prototyypin. Konenaulakkoprojektiin ei kuitenkaan kuulunut tuotekehitysprosessille tyypillisiä kaupallisia elementtejä, kuten perinteistä uuden tuotteen kehitysprosessia kuvaavassa kuviossa 2 esitettyä markkinointia tai tuoteistusta.



KUVIO 2. Perinteinen uuden tuotteen kehitysprosessi (Pitta 2007, 433)

Engineer-to-order tai ETO on tyypillinen ratkaisu tilanteissa, joissa asiakas tarvitsee juuri hänen tarpeisiinsa räätälöidyn tuotteen. Myös TAMK:in tilaama konenaulakon prototyyppi on tällainen, sillä se on räätälöity vastaamaan toimeksiantajan tavoitetta esitellä opiskelijoiden suunnitteluosaamista. Tuotesuunnittelua voi olla joko vähän, tai se voi vaatia suuria ponnisteluja tuotekehityksen suhteen. Tuote valmistetaan asiakkaan tilauksen mukaan, mutta hyödykkeiden valmistamisen lisäksi tuote vaatii tuotesuunnittelua (kuva 2). ETO-ympäristölle on myös

ominaista dynaamisuus ja monimutkaisuus (Logistiikan Maailma: Engineer to order; Birkie ym. 2017, 469).



KUVA 2. Tilauksesta suunnittelu eli ETO (Logistiikan Maailma)

ETO-ympäristön tuotannonhallintaa käsittelevässä artikkelissaan Adrodegari ym. (2015, 912) ovat akateemisen kirjallisuuden pohjalta määritelleet ETO-strategian pääasialliset ominaispiirteet, joita ovat muun muassa pieni tuotantomäärä uniikkeja tuotteita, korkea kustomointiaste, useat tekniset muutokset tuotantovaiheiden aikana ja materiaalien ostaminen suoraan projektia varten.

Konenaulakkoprojektin ominaispiirteet noudattivat lähes täysin tätä määritelmää: ryhmämme vahvuus oli suunnittelu, projektinjohtaminen ja kokoonpano, tuotetta valmistettiin vain yksi kappale, tuote oli mittatilaustyö, tuotteeseen tehtiin useita muutoksia tuotannon aikana ja projektiin liittyi sopimusteknisiä riskejä. Kuvaan konenaulakkoprototyypin valmistusprojektia ETO-strategian näkökulmasta alla olevassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1. ETO-strategian pääominaispiirteet konenaulakkoprojektissa (Adrodegari ym., 2015, 912)

Erityispiirre	Kuvaus
Ydinosaaminen	Konenaulakkoprojektissa hyödynnettiin tiimin jäsenten ydinosaamista suunnittelussa, kokoonpanossa ja projektinhallinnassa.
Kilpailuetu	Konenaulakko voitti suunnittelukilpailun ja siitä päätettiin valmistaa prototyyppi, koska se oli toiminnallisuudeltaan paras.
Vertikaalinen integraatio	Matala, sillä projektin toimeksiannosta suunnitteli ja toteutti yksi itsenäinen entiteetti, kahden hengen tiimi.
Pieni tuotantomäärä	Konenaulakko on yksi uniikki tuote, prototyyppi.
Toimittaja	Prototyypin materiaalit tilattiin yksittäisinä erinä.
Korkea kustomointiaste	Konenaulakko oli täysin kustomoitu toimeksiantajan toiveisiin ja heidän osoittamaansa tilaan.
Suunnittelu ja kehitys	Projekti sisälsi useita teknisiä muutoksia, suunnittelu jatkui tuotannon kanssa lomittain.
Täydennys	Materiaaleja ostettiin suoraan projektia varten sekä täydennettiin sen aikana.
Menekin ennustaminen	Menekin ennustaminen on vaikeaa, sillä konenaulakkoa ei ole tarkoitus tuottaa useampia.
Riskit	Tiedon jakaminen, kapasiteetin hyödyntäminen, sopimustekniset riskit.

Konenaulakkoprojektin kehityksessä oli kyse engineering to order -tuotannosta, sillä se noudatti kuvan 2 sekä taulukon 1 mukaista ETO-valmistustapaa. Tilauksen kohdennuspiste eli OPP sijoittuu ennen suunnittelua ja ostotoimintaa. Konenaulakko ideoitiin ensin konseptipaperille, jonka jälkeen siitä tehtiin Autocadilla malli, tulostettiin piirustukset ja valmistettiin juuri tarkoitukseen ostetuista materiaaleista. Jalostimme suurimman osan ostetuista materiaaleista komponenteiksi, mitkä kokoonpantuina muodostivat lopputuotteen.

2.2 Projektinjohtajan ominaisuuksia, vastuita ja haasteita

Kirjallisuudessa on paljon erilaisia määritelmiä sille, millainen projektipäällikön tulisi olla ja mitä taitoja tämän tulisi hallita. Campbellin (2014, kappale 2) mukaan projektipäällikön täytyy olla luova ongelmanratkaisussa, koska kaikki projektit ovat aina uniikkeja. Murch (2001, kappale 2) listaa hyvän projektipäällikön keskeisiksi selviytymistaidoiksi lisäksi joustavuuden, sinnikkyuden ja tarvittaessa järkähtämättömyyden. Hän toteaa myös, että projektipäällikön täytyy olla luova, silloinkin kun projekti ei sitä kaipaa, sillä projektit harvoin etenevät suunnitellulla tavalla ja projektipäällikön täytyy hallita siitä seuraavaa epävarmuutta.

Heerkensin (2013) mukaan projektipäällikön rooliin kuuluu neljä ylätasoa vastuualuetta: projekti, organisaatio, projektiryhmä ja projektipäällikkö itse. Hän jatkaa, että yleinen käsitys projektinhallinnasta on, että projektipäällikön vastuu on ylimitoitettu tämän auktoriteettiin nähden, mikä näkyi myös konenaulakkoprojektissa, jossa hallinnoinnin lisäksi osallistuin suunnitteluun ja lopulta myös valmistukseen. Vastuun ja auktoriteetin suhde taas riippuu organisaatorakenteesta. Auktoriteetin puutetta projektipäällikkö voi kompensoida esimerkiksi ylivoimaisilla kyvyillään tai harjoittamalla erinomaista johtamistyyliä. (Heerkens 2013, kappale 3)

Kyetäkseen täyttämään tehtävään kuuluvat vastuut projektipäälliköllä tulee olla riittävästi tietoa ja taitoa. Vaadittu osaaminen voidaan jakaa projektinhallinnan prosesseihin liittyviin kykyihin, ihmisten väliseen kanssakäymiseen, teknologiseen osaamiseen ja suotuisiin henkilökohtaisiin ominaisuuksiin. Projektinjohtamisen prosessien hallitseminen on edellytys projektinjohtajana toimimiselle, tai niiden puute ainakin tekee tehtävästä hankalan. Teknologisella osaamisella tarkoitetaan esimerkiksi ymmärrystä alasta yleensä, suunnittelukykyä ja tuotetietoa. (Heerkens 2013, kappale 3)

Hieman erilaisia projektinjohtajalta edellytettyjä asioita edustavat taas kyky sujuvaan ihmisten väliseen kanssakäymiseen kuten ihmissuhteiden luominen ja tiedyt luonteenpiirteet. Kovin teknisistä taustoista projektinjohtotehtäviin tulevilla henkilöillä ihmissuhdetaitojen luominen voi olla erityisen haastavaa.

Campbell (2014) puolestaan listaa seitsemän ominaisuutta, jotka projektinhallintaprosessien ymmärryksen lisäksi auttavat projektipäällikköjä suoriutumaan tehtävästään menestyksekkäästi (kuvio 3). Nämä ominaisuudet ovat alan tuntemus, innostus, muutoksenhallintakyky, monitulkintaisuuden sietokyky, tiiminrakennus- ja neuvottelutaidot, asiakas ensin -asenne ja liiketoiminnan prioriteeteissa pitäytyminen.

Luontaisesti minusta projektipäällikkönä löytyivät innostus projekti kohtaan, monitulkintaisuuden sietokyky, hyvät vuorovaikutustaidot sekä prioriteeteissa pitäytyminen. Vaikeimmaksi koin jatkuviin muutoksiin reagoinnin. Luonnollisesti alan tuntemus oli koulutusohjelmani mukaista ydinosaamistani, mutta siinä oli vielä hurjasti kehitettävää, sillä opinnäytetyö tehdään uran alkupuolella.



KUVIO 3. Menestyksekkään projektinpäällikön seitsemän ominaisuutta (Campbell, 2014)

2.3 Projektinjohtamisen malleja

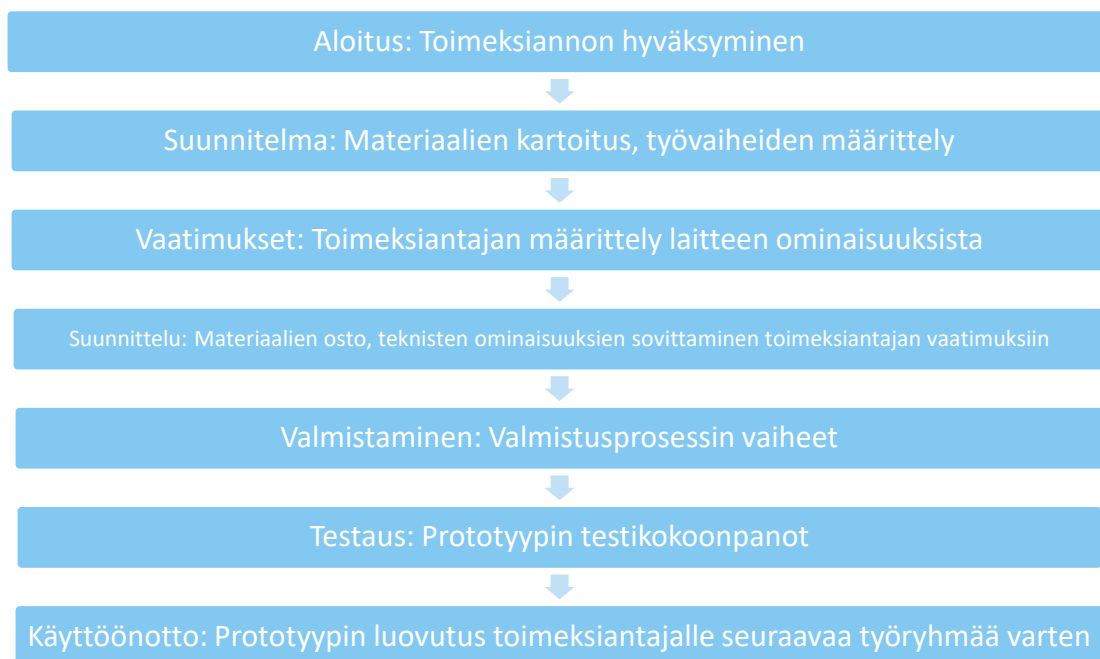
Teknisillä, esimerkiksi metallintyöstö-, rakennus- ja IT-aloilla on kullakin omia vaikiintuneita ja uusia tapoja johtaa projekteja. Etenkin ohjelmistoalalla Agile on

paitsi jakanut mielipiteitä, niin myös kasvattanut suosiotaan kahtena viime vuosikymmenenä. Ennen projektiin ryhtymistä selvitin, että eri toimialoilla ja erisuuruisissa projekteissa käytetään erilaisia projektijohtamisen metodologioita, joista päädyin vesiputousmalliin, jossa on piirteitä ketterästä, eli agilesta projektinhallinnasta.

Layton ja Ostermiller (2017, 7) kuvailevat Agilea projektinhallintatyyliseksi, joka keskittyy liiketoiminnallisen arvon tuottamiseen aikaisessa vaiheessa, jatkuvaan projektin tuotteen ja prosessien parantamiseen, laajuuden joustavuuteen, tiimin palautteeseen ja asiakkaiden tarpeita vastaavien, hyvin testattujen tuotteiden toimittamiseen. Konenaulakkoprojektia ajatellen Agile olisi ollut oiva perusta työkentelyllemme. Siihen perehtyminen, sisäistäminen ja käyttöönotto olisi kuitenkin ollut liian aikaa vievä prosessi.

Projektsuunnitelmalle tarvittiin kuitenkin runko. Päädyin waterfall-, eli vesiputousmetodiin, sillä harjaantumattomalle projektipäällikölle se edusti loogista tapaa suorittaa projekti. Waterfall on perinteinen, systeemitekniikan kehitykseen tarkoitettu metodologia, joka on alun perin perustunut teollisuuden ja rakennusalan projekteihin. Se on lähestymistavaltaan lineaarinen ja projektin seuraavan vaiheen voi suorittaa vain, jos edellinen vaihe on valmistunut (Santos, 2022).

Pitkän uran projektien parissa tehneen Ellisin (2019, kappale 42) mukaan vesiputousmallissa kaikki tarvittava pitää olla kerättynä etukäteen ennen projektin alkua kuin isossa Lego-setissä. Kun palat, ohjeet ja työkalut on hankittu, pitää enää tarkastaa suunnitelma ja arvioida keitä ja kuinka kauan sen toteuttaminen vaatii. Juuri tällainen, vaihe vaiheelta suoritettava toteutus vaikutti intuitiivisesti järkevältä tavalta toteuttaa Konenaulakko (kuvio 4).



KUVIO 4. Waterfall-malli konenaulakkoprojektissa (Ellis 2019, kappale 42)

Vesiputousmalli on vaiheisiin ja tarkistuspisteisiin nojaava tapa suorittaa projekti. Vaihe vaiheelta eteneminen helpottaa projektin aikaista kommunikointia ja lineaarinen lähestymistapa on monille mielekäs. Vesiputousmalli on myös onnistunut vahvistamaan projektin vaatimusten merkitystä. Linearisessa lähestymistavassa on myös vesiputousmallin heikkous: jos metodia tulkitaan liian byrokraattisesti ja määritellyistä vaatimuksista ei jousteta yhtään, projekti ei etene. Lisäksi jos projektissa on liikaa muutoksia, vesiputous voi lähteä virtaamaan ylöspäin. (Leffingwell & Widrig 2003, kappale 3; Ellis 2019, kappale 42).

Konenaulakkoprojektissa emme kokeneet vesiputousmallia hankalaksi toteutettavaksi. Opinnäytetyön kirjoittajan projektinjohtokokemuksen puutteesta huolimatta valittu projektinjohtometodi auttoi meitä projektin loppuunsaattamisessa. Tähän vaikutti myös ryhmämme pieni koko ja toimiva kommunikaatio ryhmän jäsenten välillä.

2.4 Projektipäällikön lähtötaso

Olin tuotantotalouden perusopinnoissani menestynyt kohtuullisesti ja kokenut projektinjohtamisen perusteet -kurssin sisällön mielekkääksi. TAMKia edeltäviin tuotantotalouden opintoihini oli kuulunut useita projektiluontoisia kurssisuorituksia. Työelämästä minulla oli kokemusta logistiikasta ja myynnin tuen tehtävistä.

Näistä johtuen ajattelin suoriutuvani kelvollisesti Konenaulakon kaltaisessa, verrattain pienessä projektissa projektipäällikkönä.

Perinteisen projektinjohtamisen näkökulmasta konenaulakkoprojektillamme putosi kuitenkin pohja jo ennen, kuin saimme sen kunnolla käyntiin. Käytännössä minulle projektipäällikkönä jäi enää hyvin vähän johdettavaa alihankkijoiden vetäytyessä pois ja ryhmämme kutistuessa kahteen henkilöön. Viedessämme projektia eteenpäin pidimme kuitenkin nimelliset roolimme huolimatta siitä, että teimme töitä tasa-arvoisesti kahden hengen ryhmänä.

Projektinjohtotaitoni olivat lopulta teoriatasolla vaatimattomat. Rooleja jakaessamme erehdyin luulemaan työni koostuvan MS Project -ohjelmiston ja Ganttkaavioiden täyttämisestä, vastuumatriisien ja tarjouspyyntöjen tekemisestä, dokumentoinnista ja resurssienhallinnasta. Koimme niin paljon muutoksia, että dokumentaation kerääminen kesken valmistusvaiheen ei onnistunut optimaalisella tavalla. Sisäistämäni ja käyttämäni perinteinen lineaarinen projektinjohtamisen malli, jossa jokainen työvaihe valmistellaan etukäteen ja sitten suoritetaan loppuun, toistaen kunnes jokainen työvaihe on valmis, koitui lopulta onneksemme. Äärimmäisestä yksinkertaisuudestaan johtuen se oli tarpeeksi helposti noudatettava, että muutoksien ja myllerryksen keskellä ryhmämme keskittyminen pysyi oikeissa, meille lisäarvoa tuottavissa asioissa.

3 KONENAULAKKOPROJEKTIN VIISI VAIHETTA

Kirjallisuudessa tunnetaan useita, hyvin samankaltaisia projektinjohtamisen jaoteluita eri vaiheisiin. Sekä Campbell (2014) että Portny (2013, 14) jakavat projektinjohtamisen viiteen prosessiin tai vaiheeseen: aloitukseen, suunnitteluun, toteuttamiseen, valvontaan ja lopetukseen (kuvio 5). Seuraavaksi käsittelen kone-aulakon prototyypin valmistamista projektinhallinnan näkökulmasta ja käyn läpi kone-aulakko-projektin viisi vaihetta alla kuvatun jaon mukaisesti.



KUVIO 5. Projektin viisi vaihetta (Campbell 2014; Portny 2013, 14-21)

3.1 Konenaulakkoprojektin aloitus

Projektimme alkoi keskustelutilaisuudella ryhmämme ja Tampereen ammattikorkeakoulun edustajien kanssa. Tilaisuuden tarkoitus oli puolin ja toisin arvioida, onko osapuolilla tahtoa viedä projekti loppuun asti.

Ensimmäisessä tapaamisessa kävimme läpi karkeasti suunnittelemamme laitteen toimintaperiaatteen ja alustavat materiaalivalinnat. Lisäksi saimme toimeksiantajaltamme TAMKilta käyttöömmme budjetin ja jaoimme kullekin jäsenelle tehtävät. Tapaamisessa selvennettiin myös se, että kaikki ostotoimintaan liittyvä rahaliikenne tulisi tapahtumaan toimeksiantajamme kautta ja Konenaulakko-ryhmämme olisi projektissa mukana vain tekijöinä, ei rahoittajina.

Konenaulakon budjetti oli 2000 euroa. Sähkömoottorin ja ohjainlogiikkayksikön jälkeen summasta ei olisi jäänyt jäljelle juuri mitään, joten ne sovittiin saatavaksi TAMKin automaatiolaboratorion varastosta. Budjetissa oli suullisen sopimuksen mukaan hieman harkinnanvaraista liikkumavaraa ylöspäin, jos tarvetta ilmenisi. 2000 euroa meidän piti kuitenkin saada riittämään prototyypilaitteen runkoon ja mekaanisen voimansiirron komponentteihin.

3.1.1 Toimeksiantajan vaatimukset projektille

Jo ensimmäisessä tapaamisessa toimeksiantajamme ehdotti, että keskittyisimme suunnitteluun ja teetättäisimme alihankkijoilla niin paljon työtä kuin suinkin mahdollista. Pirkanmaan oppilaitokset pyrkivät tekemään mahdollisimman paljon yhteistyötä erilaisten projektien ja tilojen jakamisen muodossa. Meille ehdotettiin projektiamme varten Tampereen aikuiskoulutuskeskusta ja Tampereen seudun ammattiopistoa mahdollisiksi alihankkijoiksi metallitöiden suhteen. TAK-Killa ja Tredulla on omaa oppilaitostamme suuremmat metallityötilat, joten se kuulosti järkevältä. Eräällä ryhmämme jäsenellä oli jo toisen projektin tiimoilta kertynyt yhteistyökokemusta erään paikallisen metallityöpajan kanssa ja loppu-tulos oli ollut tuolloin kiitettävä. Hänen suosituksestaan pidimme tämän metallityöpajan mahdollisten alihankkijoiden listalla.

TAMKin vaatimukset valmiille laitteelle olivat seuraavat:

- toimiva prototyyppi
- turvallinen ja helppo käyttää
- pitkä huoltoväli
- yksinkertainen ja tukeva rakenne

Lisäksi laitteen tuli mahtua ulkomitoiltaan Kuntokadun toimipisteen F-siiven alimman kerroksen yleisiin tiloihin.

3.1.2 Riskien määrittely

Vauhdikkaasta alusta huolimatta, tai siitä johtuen, projektin aloitusvaihe ei täysin onnistunut. Projektiryhmän keskinäinen innostuneisuus sai meidät sivuuttamaan projektiin liittyvät riskit täysin, emmekä lainkaan kartoittaneet niitä. Yksinkertainenkin riskianalyysi olisi projektin edetessä helpottanut ollut suureksi avuksi.

Riski on mikä tahansa tapahtuma, mikä voi estää projektin tavoitteen täyttymisen tai ylittämisen. Riskienhallinta taas on prosessi minkä avulla tunnistetaan mahdolliset riskit, määritellään niiden seuraamukset ja pyritään minimoimaan niiden ei-toivotut seuraamukset. Yleinen työkalu riskien ja mahdollisuuksien määrittelyyn on SWOT-analyysi, missä nimetään vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Terminä riski ja uhka voivat olla toisiinsa verrattavia mutta kunkin projektin riskinhallintametodologian harjoittajan tulee itse päättää, kumpi näistä termeistä sopii millekin alalle ja mihinkin organisaatioon (Bissonette 2016, kappale 3; Portny 2013, 178-179).

3.2 Konenaulakkoprojektin suunnittelu

Päätettyämme toteuttaa projektin valitsimme itsellemme sopivimmat roolit ja sovimme, että minun tehtäväni oli olla projektipäällikkö. Kirjallisuudesta löytyvien esimerkkien mukaan roolien määrittely tapahtuisi kuvion 4 mukaisesti vasta toteutusvaiheessa. Konenaulakon kaltaisessa pienimuotoisessa projektissa olimme kuitenkin kukin alkaneet jo aloitusvaiheessa hakeutua tehtäviin, mihin meillä oli eniten kiinnostusta. Roolien määrittely paperille helpotti ryhmämme

toimintaa ja Portny (2013, kappale 10) toteaakin, että menestyminen projektiympäristössä edellyttää projektiryhmän kaikkien jäsenten kesken yhteisymmärrystä kunkin työpanoksen maksimoinnista ja hukatun ajan minimoinnista.

Projektipäällikkönä laatimani projektisuunnitelma oli tiivistettynä suunnittelun käynnistäminen, materiaalien tilaaminen, alihankkijoiden työn valvominen ja projektin loppuun saattamisen varmistaminen (kuvio 6). Alihankkijoiden työ oli keskeinen osa alkuperäistä projektisuunnitelmaa ja sen onnistumista, mutta heidän vetäytyttyään projektin loppuun saattamisesta tuli projektin ehdottomasti keskeisin ja työläin vaihe, johon myös suurin osa riskeistä liittyi.



KUVIO 6. Koneaulakon alkuperäinen projektisuunnitelma (Heikki Niva)

Toiseen TAMKin henkilökunnan tapaamiseen mennessä suunnittelijamme oli jo piirtänyt Autocadilla hieman pidemmälle viedymmän mallin Koneaulakosta. Piirretystä kaksiulotteisesta mallista kävi ilmi naulakon runkorakenne ja voimansiirtojärjestelmän pääpiirteinen kokoonpano, mutta siinä ei ollut vielä määritelty runkoa lukuun ottamatta materiaalivalintoja tai automaatioteknisiä ratkaisuja.

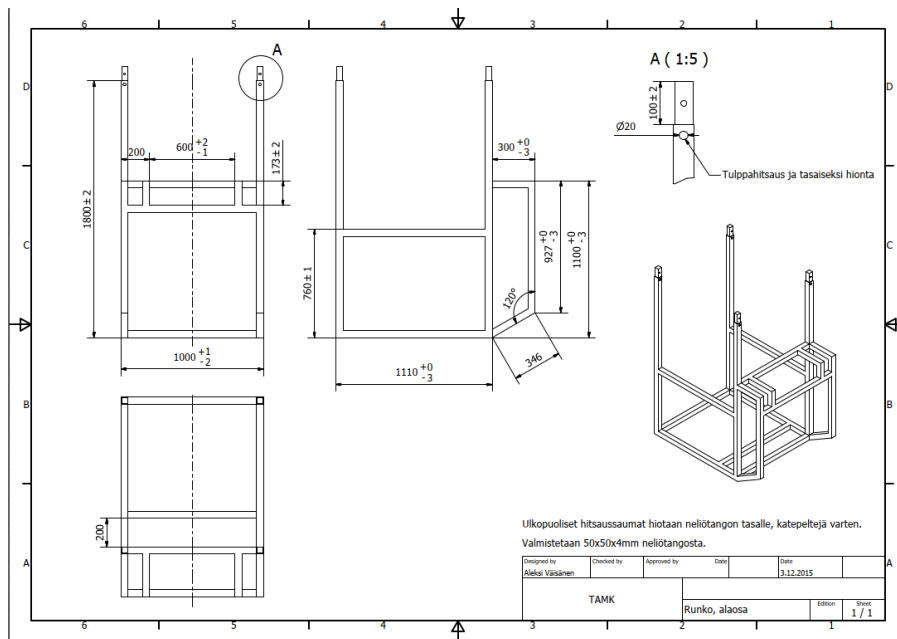
Seuraavassa keskustelutilaisuudessa esittelimme mallin toimeksiantajallemme. Lisäksi olimme valinneet jo osan käytetyistä komponenteista ja mahdollisista materiaalintoimittajista.

Valmistusmateriaalit ja komponentit ajattelimme jo projektin alussa hankkivamme verkkokaupoista ja edellä mainitulta tamperelaiselta metallityöpajalta. Lopullisten materiaalien ja komponenttien vielä ollessa auki kukin ryhmän jäsen suoritti tahoillaan eri verkkokauppojen valikoimien tutkiskelua. Kootessamme tutkimustemme tuloksia päätimme pysyä alkuperäisessä ajatuksessamme ja tilata materiaaleja verkkokaupoista kuvan 3 mukaisesti.

	Materiaali	spec.	Kauppa	Linkki	Valmistajan	Laskettu
Runkoputki, neliöteräs	S355-teräs	50x50x4	Onninen	http://w	AHA630	30639,2mm
Rungon katopellit	teräs	1mm	Tenimet	e	-	-
LED-valonauha	-	24W/IP67	Valotorni	ww.valot	-	1kpl
LED-virtalähde	-	36W/IP67	Valotorni	ww.valot	-	1kpl
Korin päätypellit	S355	1mm	Tenimet	tilaustuot	-	-
korin runkopellit	S355	1mm	Tenimet	e	-	-
Korin kahva	muovikomposiitti	A=14	Spinea	ww.gant	GN 115	8pl
Korin sivulaakeriyksiköt			Laakerinetti	ww.laake	UFL000	16
Korin sarana	RST	50x7x0,7cm	Clas Ohlson	ww.claso	-	8
Korin magneetit	Magneettinauha	p = 1,5	Magnetoy	ww.i	-	16m
Akselit	MoCN 216 CQ /18CrNiMo7-6	-	Sten & Co Oy		-	2kpl
Napa	S355	-	TAKK	te	-	4kpl
Akseleiden laakerit	-	-	ETRA	otteet.et	-	4kpl
Ketjupyörät	jako 19,05	-	SKS	ww.sks.fi	P34-114	4kpl
Ketjut tapeilla	jako 19,05	-	SKS	ww.sks.fi	513-F	-
Turvalasi (muovi)	akryyli		ETRA	http://tu	-	2kpl
Konsolin kahva	komposiitti		Spinea	https://w	GN 565.3-20-120-B-SR	1kpl
Tärinävaimennusmatto	muovi		ETRA	otteet.et	10680001840	1kpl
Huoltoluukun salpa	-	triangular	Spinea	ww.gant	GN115, DK	1kpl
Huoltoluukun avain	-	triangular	Spinea	ww.gant http://w	GN119,2 , DK	1kpl
ketju: moottori-akseli	jako 19,05		SKS	ww.sks.fi	513	1kpl
Ketjupyörä/moottori/akseli					P34-65	
Ketjupyörä/akseli/moottori					P34-13	
L-kiinnitysraudat	teräs		Onninen	-		2kpl
Magneettilukko			Nerival Oy	ww.neriv		
TAMKin varasto						
Sähkömoottori			TAMK			
Johdot			TAMK			
Kortinlukija			TAMK			
Ohjausyksikkö			TAMK			

KUVA 3. Konenaulakon alkuperäinen materiaaliluettelo (Heikki Niva, 2015)

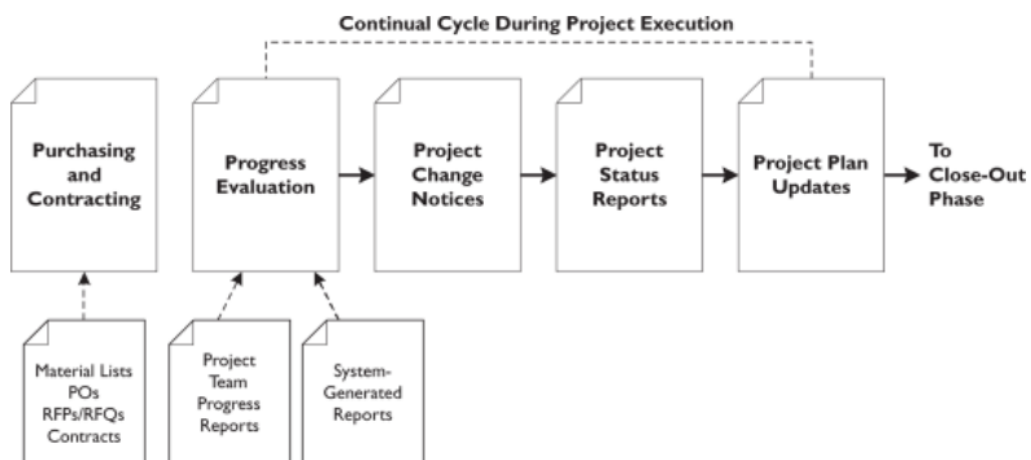
Reilun kahden kuukauden suunnittelun jälkeen laitteesta oli tehty lopulliset piirrokset ja olimme valmiit tilaamaan tarvittavat komponentit ja teetättämään tietyt työt alihankkijoilla. Kuvassa 4 konenaulakon mittavatoisimmäksi muodostuneen alarungon tekninen piirustus.



KUVA 4. Konenaulakon alarunko (Aleksi Väisänen, 2015)

3.3 Konenaulakkoprojektin toteutus

Konenaulakkoprojektin toteutusvaiheen alkaessa olimme jo valinneet projektiryhmän. Kokonaisuutena se ei kuitenkaan sujunut alkuperäisen suunnitelmani, saati sitten projektinjohtamiskirjallisuudessa hyväksytyjen parhaiden mahdollisten käytäntöjen mukaisesti. Ideaalissa toteutusvaiheessa projektipäällikön keskeisiin kuuluu kertaluonteisten tai toistuvien prosessien hallinta. Tällä tarkoitetaan dokumentointia, projektiryhmän tavoitteiden seuranta ja sidosryhmien kanssa kommunikointia (kuva 5).



KUVA 5. Prosessin suoritusvaiheen avaindokumentit (Heerkens 2013, kappale 11)

Mitä sidosryhmien kanssa keskusteluun tulee, toimeksiantajamme edustaja kävi pyynnöstämme katsomassa keskeneräistä konenaulakkoa kaksi kertaa. Toisin kuin projekteissa yleensä, projektipäällikkönä minulla ei ollut raportointivelvollisuutta toimeksiantajallemme. Projektiryhmäämme luotettiin riittävästi, ettei tekemisiämme valvottu tai kyseenalaistettu missään vaiheessa. Saimme vain ajoittain kuulla toimeksiantajamme edustajalta, että konelaboratorion henkilökunta oli huomannut ryhmämme työskentelevän paikan päällä.

Campbellin (2014, kappale 20) mukaan projektin valvontavaiheessa on tärkeää pitää huolta budjetissa pysymisestä sekä etenemisen ja alkuperäisen projektisuunnitelman vertaamisesta.

Budjetissa pysyminen ei vaatinut projektipäälliköltä ponnisteluja. Meille myönnetty budjetti oli vaatimaton ja olimme ostaneet tarvittavat materiaalit ja komponentit äärimmäisen etupainotteisesti ETO-valmistustapaa mukaillen. Projektipäällikkönä minulla ei myöskään ollut oikeutta hallita TAMKin kautta tapahtuvaa rahaliikennettä. Jokainen projektiin liittyvä osto täytyi ensin perustella yhteyshenkilöllemme ja hyväksyttää TAMKilla, minkä jälkeen tilasin materiaalin tai osan laskulla TAMKille. Käytetystä kokonaissummasta oli helppo pitää kirjaa.

Projektin valvontavaiheessa on oleellista myös ratkoa esille tulevia ongelmia ja reagoida muutoksiin (Portny 2013, 21). Konenaulakkoprojektin keskeisimmälle muutokselle ja siihen liittyvien ongelmien ratkaisuun on omistettu tässä opinnäytetyössä koko seuraava luku.

3.4.1 Kriisi keskellä projektia ja toimeksiantajan uudet vaatimukset

Projekti lähti lennokkaasti käyntiin, mutta eräänä syksyisenä viikkona soittokierros alihankkijoille paljasti pinnan alla kyteneen kriisin. Pirkanmaan alueen oppilaitokset, joiden kanssa meillä oli suulliset sopimukset prototyypin metallitöistä, ilmoittivat yksi toisensa jälkeen taloudellisen tilanteensa kiristyneen sen verran, että ne joutuvat vetäytymään projektista. Tähän vaikutti yleinen epävarma talouden tilanne Suomessa. Samanaikaisesti kaikki ryhmämme jäsenet, paitsi yksi henkilö ja minä, vetäytyivät projektista. Jäimme kaksin pohtimaan, kannattaako projektia enää jatkaa.

Järjestin tapaamisen asiakkaamme kanssa ja kerroin projektin uusimmista käänteistä. TAMKin edustaja toivoi, että projekti vietäisiin loppuun asti. Henkilöresursien ja kollektiivisen osaamisen pudottua murto-osaan alkuperäisestä sovimme karsivamme projektista kaiken ylimääräisen ja että jatkaisimme työtä kaksin suunnittelijan kanssa. Prototyypilaitteesta jätettiin pois sähkömoottori ja sitä ohjaava ohjainlogiikka, kaikki paitsi kaksi varastokoria sekä ulkonäöllinen viimeistely.

Toimeksiantajan uudet vaatimukset lopputuotteelle muuttuivat seuraaviksi:

- Prototyyppi tuli valmistaa niin pitkälle, että sen mekaaninen, paternoster-rakenne on täysin valmis, jotta konsepti voidaan todeta toimivaksi (runko, voimansiirron komponentit, varastoyksiköt)
- Prototyyppi tuli saattaa niin pitkälle, että luovutettuumme sen eteenpäin, seuraavien opiskelijoiden olisi mahdollista jatkojalostaa prototyyppiä eteenpäin

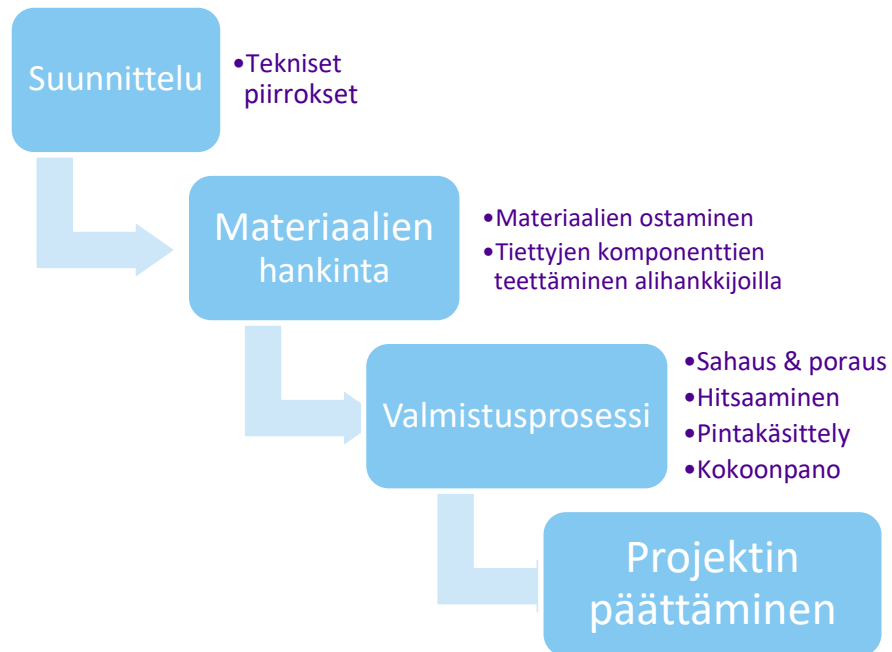
Konenaulakon jatkojalostuskelpoisuus oli toimeksiantajallemme tärkeä asia ja tätä painotettiin keskeisenä projektin onnistumisen mittarina. Onnistuessamme työssämme konenaulakosta tulisi aihio mahdollisesti useille tuleville oppinnäytteille.

Projektiryhmämme osalta prototyyppilaitte oli luovutuskelpoinen, kun sen runko olisi koottu, ja sen paternoster-toimintaperiaate olisi todettavissa toimivaksi pyörittämällä akseleita manuaalisesti siten, että ketjuihin kiinnitetyt varastoyksiköt liikkuvat sulavasti akseleiden ympäri.

Soitto- ja tarjouspyyntökierros Pirkanmaan pienille metallipajoille selvensi nopeasti, että konenaulakon komponenttien valmistaminen kokonaan ammattilaisilla menisi budjetistamme heittämällä yli. Jälleen pidimme teknisen piirtäjän kanssa kriisikokouksen, jossa arvioimme projektissa onnistumisemme edellytyksiä. Puuttuvien opintopisteiden kiilto silmissä päätimme kuitenkin tehdä aloitetun työn loppuun ja rakentaa laitteen sen itse, olihan TAMKilla sentään tarjota meille työtilat ja -välineet.

3.4.2 Muutokseen reagointi

Päivitetty projektisuunnitelma virtaviivaistui alihankkijoiden työn poistuttua lähes kokonaan. Sisäistettyämme, että projektin keskeinen osa tulisi olemaan oma työmme, laadin päivitetyn, kuvion 7 mukaisen projektisuunnitelman. Oli kuitenkin yksittäisiä komponentteja, joita oli kustannustehokkainta teetättää alihankkijoilla, kuten hammaspyörien laserleikkauttaminen HT-Laser Oy:llä.



KUVIO 7. Päivitetty projektisuunnitelma (Heikki Niva)

3.4.3 Sopeutuminen uusiin rooleihin

Totesimme myös aiempien roolimme olevan liian jäykkiä uuteen tilanteeseen. Kumpikin meistä oli tahollaan harjaantunut suorittavan työn tekijä ja kokenut työkalujen ja -välineiden käyttäjä, mutta suunnittelijalla oli minua huomattavasti enemmän kokemusta koneistamisesta. Tässä tilanteessa minun olisi ollut typerää pitää kiinni näennäisestä projektipäällikön roolista, kun meidän molempien työpanosta tarvittiin kipeästi. Minulla ei ollut enää käytännössä mitään konkreettisen valmistustyön ulkopuolelta johdettavaa, mutta sitäkin enemmän suoritettavaa.

3.5 Koneaulakkoprojektin lopetus

Muihin työtehtäviin verrattuna projekteille on ominaista selkeä loppu. Usein lopputuotteen valmistuttua projektin lopetustoimenpiteet jäävät kuitenkin tekemättä. Projektin täydellinen lopettamatta jättäminen voi aiheuttaa haittaa projektityöntekijöille, projektipäällikölle ja organisaatiolle, minkä nimissä projekti on suoritettu. Lisäksi silloin projektityöntekijöiltä jää kokematta saavutuksen tunne. Projektin lopettamiseen kuuluu varmistus siitä, että kaikki työ on tehty, varmistus siitä, että kaikki projektinjohtamiseen liittyvät prosessit on suoritettu ja virallinen tunnustus projektin loppuun suorittamisesta (Aziz 2015; Portny 2013, 315).

Projektin kokonaisvaltainen lopetus voidaan Azizin (2015) mukaan jakaa kymmenen kohdan tarkistuslistaan, vaikkakin niitä voi olla vieläkin enemmän riippuen projektin koosta, vaikuttavuudesta ja monimutkaisuudesta. Vaikka tehdessä ei aina siltä tuntunutkaan, koneaulakkoprojekti oli kuitenkin melko lyhyt ja kompakti, jonka onnistuneen lopetuksen saavuttamiseksi oli keskeisintä varmistaa, että luvattu työ tuli tehtyä ja sille saatiin hyväksyntä. Taulukossa 3 listaan koneaulakkoprojektin päätöksen osatekijät Azizin jaottelun mukaan ja arvioin päätösprosessien suorittamista ja relevanttiutta koneaulakkoprojektissa.

TAULUKKO 3. Lopetusprosessit konenaulakoprojektissa

Prosessi	Toteutuminen konenaulakossa
Varmistaminen, että kaikki tarvittava työ on tehty	Kyllä
Projektin tilaajan hyväksyntä suoritettulle työlle	Kyllä
Kaiken tarvittavan organisaation vaatiman hallinnollisen työn tekemisen tarkistus	Kyllä
Tarvittavien projektinhallintaprosessien käytön arviointi	Osittain kyllä, prosessien arviointi tässä opinnäytetyössä.
Ostotoiminnan hallinnollinen lopettaminen ja molempien osapuolien sopimuksellisten velvoitteiden täyttämisen tarkistaminen	Muodollisesti kyllä
Projektin loppuun suorittamisen virallinen hyväksyntä	Kyllä
Varmistus, että projekti tuotti suunniteltua liiketoiminnallista arvoa	Jälkikäteen kyllä, lisää aiheesta opinnäytetyön pohdintakappaleessa
Opittujen asioiden yhteenveto	Osittain kyllä, yhteenvetona tämä opinnäytetyö
Projektiresurssien vapauttaminen	Ei vapautettavia resursseja, pl. projektiryhmäläiset
Lopputuotteen siirtäminen asiakasorganisaatiolle sulavasti	Kyllä

Konenaulakoprojektin lopetus sujui ilman ongelmia. Prototyypilaitteen viimeisen kokoonpanon jälkeen pyysimme toimeksiantajamme TAMKin yhteyshenkilöä tarkastuskäynnille. Kävimme yhdessä läpi laitteen komponentit ja demonstroimme, kuinka ne toimivat. Todettuamme, että laite on suunnitellun mukainen ja toimii kuten olimme sopineet, saimme hyväksynnän suoritettulle työlle sekä pyynnön jättää laite koottuna niille sijoilleen seuraavia opiskelijoita varten. Kaikki projektiin liittyvä toiminta lopetettiin ja minulle ja suunnittelijalle jäi jäljelle enää aiheesta kirjallisen raportin, eli opinnäytetyön kirjoittaminen.

4 KONENLAUKON VALMISTUSPROSESSI

Tämän opinnäytetyö keskittyy projektinjohtamiseen ja siihen liittyvien prosessien hallintaan projektinjohtajan näkökulmasta. Käyn kuitenkin myös läpi prototyypilaitteen valmistusprosessin, sillä käytettävissä olevien resurssien pudottua murto-osaan alkuperäisestä projektin loppuunsaattamisen edellytyksenä oli myös projektipäällikön käytännön työ.

Konenaulakkoprototyypin valmistamisen suurin anti minulle projektinjohtajana oli havainto siitä, miten joustava ja reaktiokykyinen projektinjohtajan tulee olla. Campbellin (2014) menestyksekkään projektipäällikön ominaisuuksiin peilaten huomasin, että menestyäkseni projektinjohtajana minulla tulee olla mm. kyky hallita muutoksia, olla intohimoa projektia kohtaan ja alan tuntemusta, joita minusta ja suunnittelijastamme onnekseni löytyi.

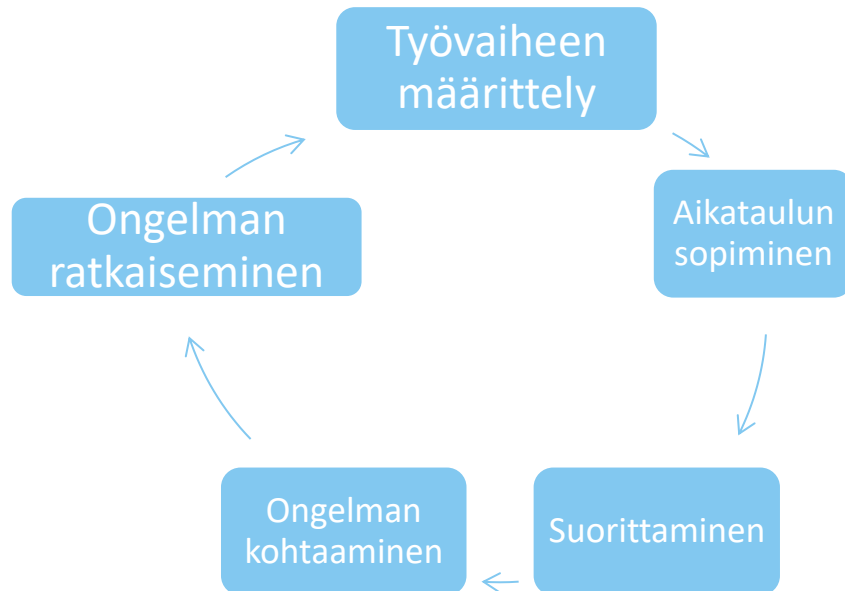
4.1 Käytännön järjestelyt

Projektiin sitoutuneen asiakkaamme TAMKin mandaatilla tilasimme metallituksista ja metallitarvikemyyjiltä lähes kaikki tarvittavat materiaalit. Lähetimme myös CAD-piirrokset tarvitsemistamme osista alihankkijoille räätälöitäviä komponentteja varten.

Aloitimme valmistusprosessin heti ensimmäiset rungon muodostavat neliöteräsputket vastaanotettuumme. Tässä vaiheessa keskityimme suorittavaan työhön, unohtaen lähes kaikki muut projektin suorittamiseen liittyvät asiat. Esimerkiksi luopaavasti alkanut dokumentointiprosessi jäi työn tuoksinassa puolitiehen.

Nojasimme pitkälti alkuperäisiin, tämän opinnäytetyön liitteinä 1, 3, ja 4 oleviin teknisiin piirustuksiin (Väisänen, 2015) ja rakensimme laitetta ratkoen käytännön ongelmia sitä mukaa, kun niitä kohtasimme. Suunnittelijamme alkuperäiset, alun perin alihankkijoille tehdyt tekniset piirustukset olivat kuitenkin taiten laaditut ja tekemäni projektisuunnitelma tarpeeksi yksinkertainen, jotta meidän ei tarvinnut tehdä niihin huomattavia muutoksia.

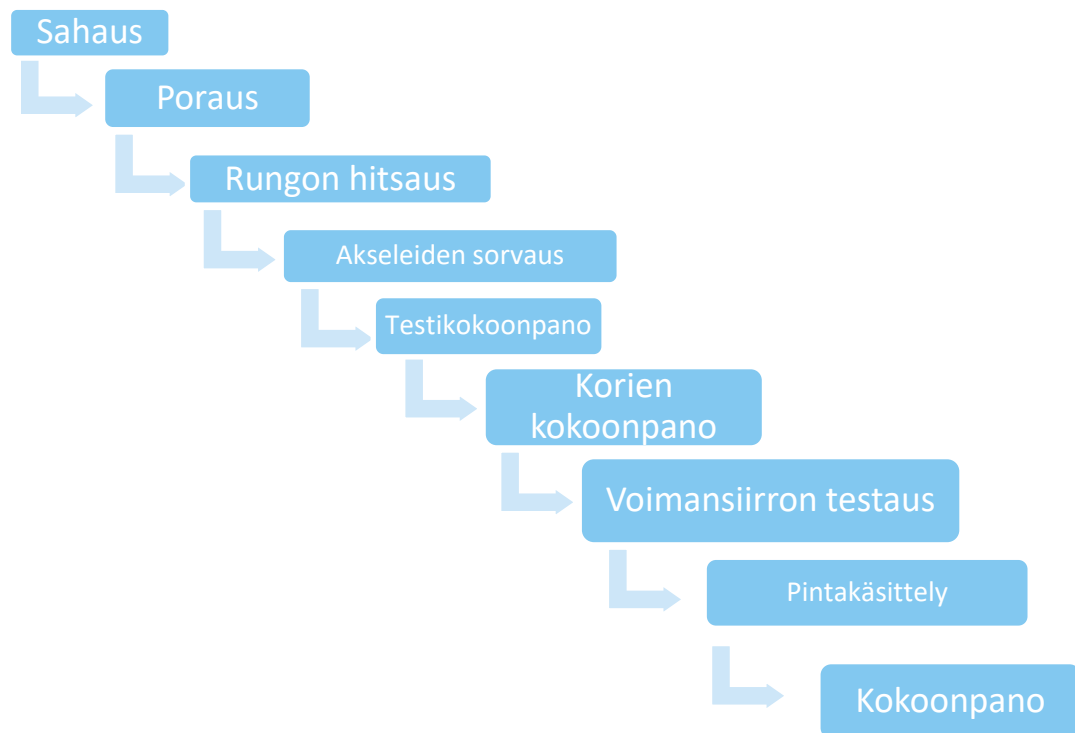
Sovimme pienen ryhmämme kesken työpäivät ja -ajat viikko kerrallaan muiden velvoitteidemme puitteissa. Työprosessistamme muodostui päivä- ja viikkotasolla kuvion 8 kaltainen.



KUVIO 8. Koneaulakon toistuva työprosessi (Heikki Niva)

4.2 Valmistusprosessin suunnittelu

Ennen valmistusprosessin aloittamista kirjasimme ylös kaikki tulevat työvaiheet. Nämä työvaiheet on listattu kuvioon 9.



KUVIO 9. Valmistusprosessin kaavio (Heikki Niva)

Vesiputousmallin vastaisesti jouduimme hieman hyppimään eri työvaiheiden välillä, mutta pääpiirteittäin noudatimme tätä valmistusprosessia. Työn edetessä työvaiheita ilmaantui myös lisää. Esimerkiksi yksi suunniteltu testikokoonpano ei riittänyt, vaan teimme sen kahdesti. Pintakäsittelyä puolestaan meidän täytyi tehdä useaan otteeseen.

4.3 Valmistustilat

Suoritimme suurimman osan valmistus- ja kokoonpanotyöstä Tampereen ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa (kuva 6), missä meillä oli käytössämme liuta erilaisia metallitöihin tarkoitettuja työstölaitteita ja -koneita. Käyttämämme laitteet olivat joko uusia tai hyvin huollettuja ja muuten erinomaisessa kunnossa eikä niiden kanssa ilmennyt mitään ongelmia.



KUVA 6. Konelaboratorion tulityöosasto (Heikki Niva, 2015).

4.4 Materiaalien vastaanottaminen

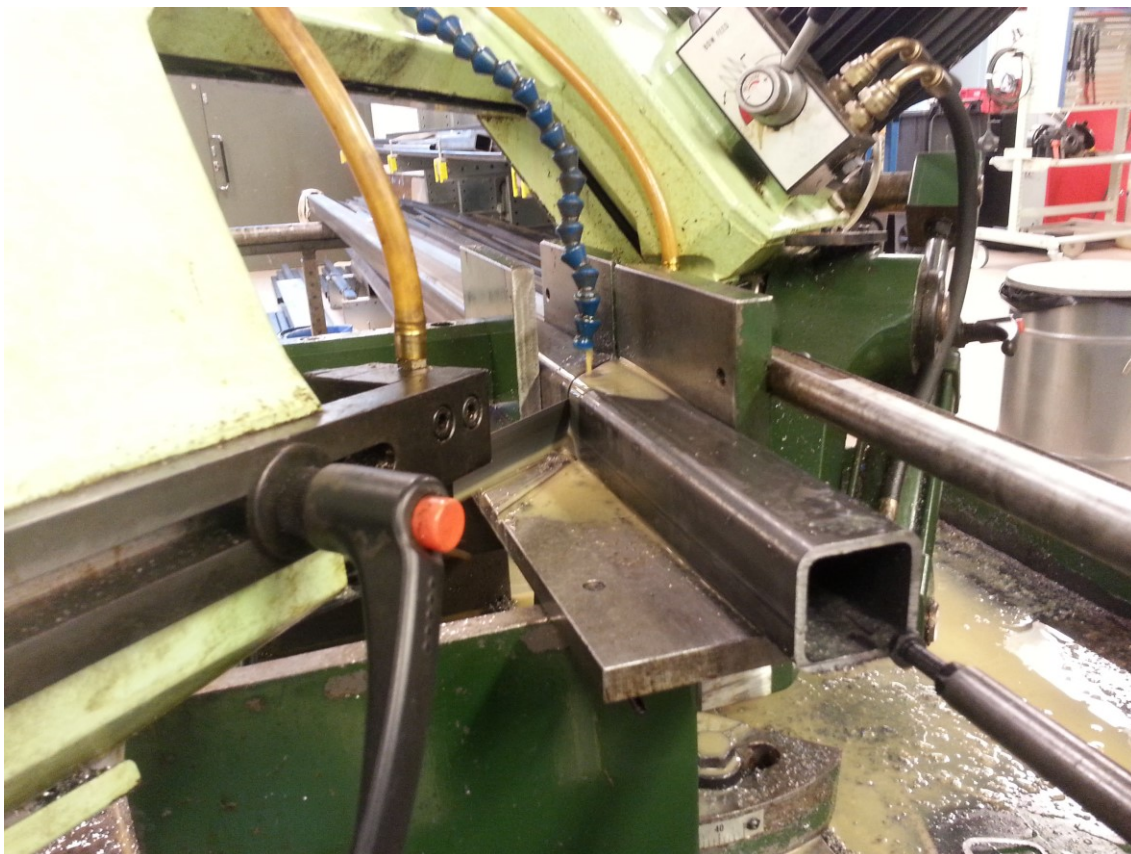
Materiaalitulokset tehtyämme kuljetusyritys otti minuun yhteyttä ja sovimme ajan, jolloin meidän tuli olla TAMKilla valmiina vastaanottamaan eurolavoille pakatut neliöteräsputket. Siirtäessämme lavoja pumppukärryillä konelaboratorioon meille valkeni virheemme. Kuten useaan otteeseen projektin edetessä huomasimme, olimme ylimitoittaneet laitteen lujuusvaatimukset moninkertaisesti, mikä puolestaan tekisi tilaamiemme ylivahvojen osien työstämisestä erittäin aikaa vievää. Valitsemamme materiaalit osoittautuivat milloin vahvuudeltaan tarpeettoman suuriksi, milloin taas tarpeisiimme liian koviksi.

Suurikokoisten, painavien ja hankalasti työstettävien kappaleiden liikuttelu, työstö ja kokoonpano pienikokoisessa laboratorioissa viivästytti tekemääni aikataulua jatkuvasti. Suunnitelmat oli kuitenkin tässä vaiheessa jo tehty ja tarvittavat materiaalit ostettu, joten ainoa vaihtoehtomme oli saattaa työ loppuun.

Vastaanotettuamme laboratoriotiloissa sijaitsevaan tilapäiseen Konenaulakko-varastoomme tilaamamme, ainevahvuudeltaan neljä millimetriä paksut neliöteräsputket, aloitimme niiden sahaamisen oikeisiin mittoihin ja -muotoihin. Sahaaminen sujui ongelmitta ja se osoittautui suunnitelluista työvaiheista yhdeksi harvoista, joka eteni alusta loppuun asti aikataulussa. Teimme tässä vaiheessa jopa yhden muutoksen lennosta alkuperäisiin mittoihin, antamalla rungon alaosan pystypalkeille lisää pituutta ja lyhentämällä vastaavasti yläosaa, ettei meidän enää kokoonpanovaiheessa tarvitsisi nostaa liian painavia komponentteja kovin paljoa pään yläpuolelle.

4.5 Sahaus

Ei mennyt aikaakaan, kun olimme saaneet leikattua laitteen rungon muodostavat kappaleet neliöteräsputkikappaleet oikeisiin mittoihinsa (kuva 7). Seuraava työvaiheemme oli rungon hitsaus. Valmis laitteemme tulisi olemaan ulkomitoiltaan niin suurikokoinen, että runko oli käytännön syistä pakko koota osista. Tarkoituksenamme oli hitsata rungon muodostavat siten, että ne muodostaisivat useita pieniä ja helposti liikuteltavia komponentteja.



KUVA 7. Neliöteräsputken sahaus tukirullien avulla (Heikki Niva, 2015)

Viimeisimmän osasuorituksen näennäisestä helppoudesta innostuneina aloimme voimiemme tunnossa kasata pitkiä ja painavia kappaleita käytösämme olleille erinomaisille hitsauspöydille. Asetellessamme näitä yli kaksimetrisiä teräskappaleita hitsauspöydille meille valkeni, että rungon rakennetta täytyisi muuttaa lennosta vielä suunniteltuakin enemmän modulaarisemmaksi, tai muuten sen liikuttelu ja kokoonpano olisi mahdotonta. Kuvasta 8 ilmenee, kuinka pylväsporakonetta käyttäen teimme laitteen ylärunkoon tätä edesauttavat reiät.



KUVA 8. Rungon muuttaminen modulaariseksi (Heikki Niva, 2015)

4.6 Ensimmäinen muutos

Muutaman ruutupaperille tuherretun luonnoksen jälkeen päätimme jakaa rungon alaosan kahteen ala-akselia kannattelevaan seinämäosaan ja niitä vaakatasossa tukeviin, pulteilla kiinnitettäviin palkkeihin. Alun perin olimme pohtineet voimansiirtokoneiston ja epätasaisesti lastattujen korien kohdistavan runkoon niin paljon tärinää, että rungon alaosasta pitäisi tehdä mahdollisimman kiertäjykkä hitsaamalla se yhtenäiseksi. Väärin ajateltu. Reippaassa prototyypinrakentamisen hengessä otimme metallityötilan leikkausjätekorista lattaraudan paloja, leikkasimme ne sopivan kokoisiksi, taitoimme niistä sopivan kokoisia kulmapaloja ja siirsimme ne omaan varastoomme odottamaan tulevaa.

4.7 Hitsaaminen

Porattuamme rungon muodostaviin, nyt tarpeeksi pieniksi sahaamiimme nelioputkiin oikean kokoiset reiät pulteille, aloimme jälleen asetella putkia jig-hitsauspöydille hitsaamista varten. Käytimme hitsaamiseen Kempin

teollisuuskäyttöön valmistamaa, automaattisella langansyötöllä varustettua PROMIG 501-hitsauslaitetta.

Ennen kuin aloitimme runkokappaleiden hitsaamisen toisiinsa kiinni, testailimme leikkuujätteiksi jääneihin kappaleisiin eri hitsausnopeuksia ja -jännitteitä. Nämä testit osoittautuivat hyödyllisiksi, koska löysimme nopeasti parhaat mahdolliset asetukset MIG-hitsauslaitteelle. Varmistuaksemme siitä, että hitsisauman läpikunema olisi tarpeeksi - muttei liian - syvä, leikkasimme hitsaamiamme koe-kappaleita halki, nähdäksemme selvästi tekemämme hitsisauman syvyyden.

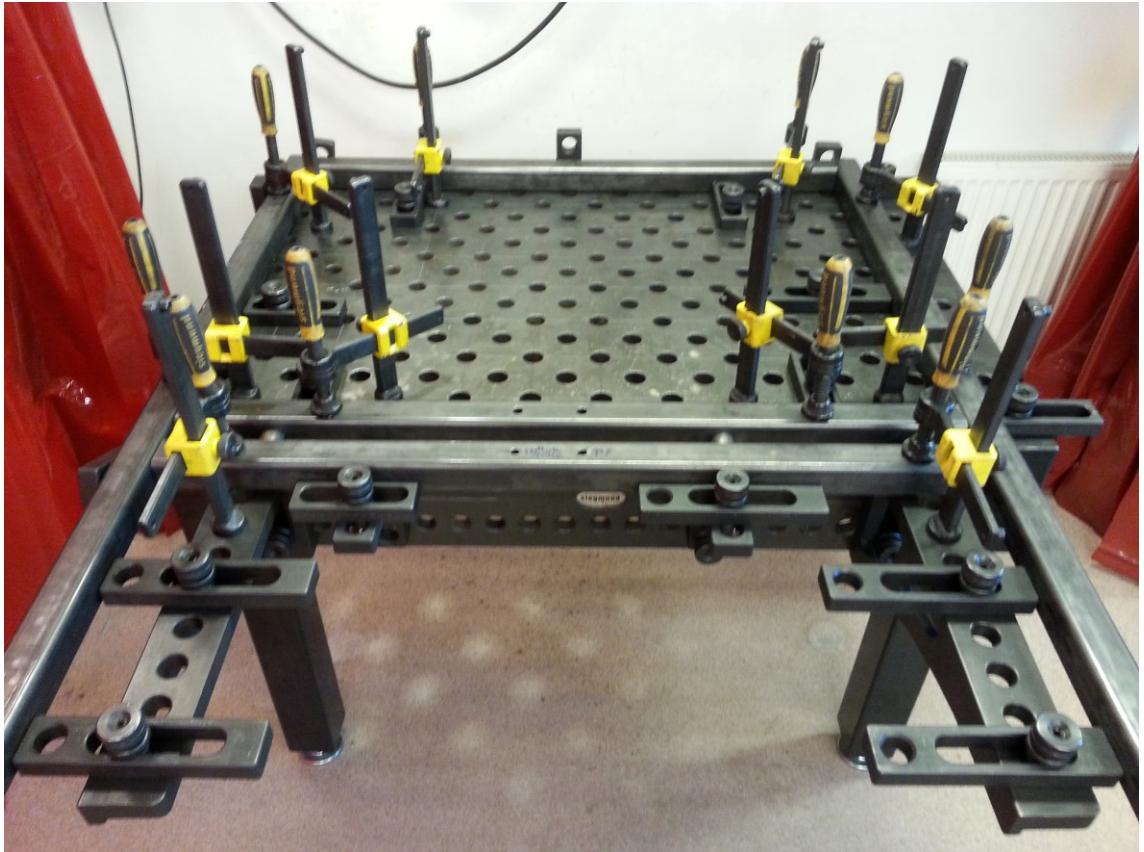
Runkokappaleiden liittäminen hitsaamalla toisiinsa vaati tarkkuutta ja vakaata kättä, mutta se sujui joutuisasti. Kappaleiden asettelu vei ylivoimaisesti suurimman osan tähän käytetystä ajasta. Pöytään kiinnitettävillä kiinnityskappaleilla saimme neliöputket pysymään juuri oikeissa kohdissa ja liitimme kappaleet toisiinsa ensin pistehitseillä kuvan 9 mukaisesti. Kun pistehitsit pitivät kappaleet kiinni toisissaan, hitsasimme vaadittavat saumat kiinni.



KUVA 9. Konsolin pistehitsausta (Heikki Niva, 2015)

Koska suunnittelemaamme rungolla oli tarkkaan lasketut mitat, valokaaren aiheuttama teräskappaleiden lämpölaajeneminen ja sitä seuraava jäähtyminen oli

omiaan aiheuttamaan meille harmaita hiuksia. Ymmärsimme kuitenkin nopeasti, että kappaleiden kannatti antaa jäähtyä siten, että ne olivat kiinnitettynä kiinnityskappaleilla hitsauspöytään (kuvat 10 ja 11). Näin kappaleet eivät jäähtyessään päässeet ylen määrin liikkumaan, eikä meidän tarvinnut kompensoida millin, parin heittoa hitsausseamaa vastapäisissä kappaleen osissa.



KUVA 10. Rungon kiinnitys jigeillä ja puristimilla hitsaamista varten (Heikki Niva, 2015)

Tiivistettynä hitsausprosessi sujui hyvin. Tekemämme samat olivat paitsi kestäviä, myös ulkoisesti siistin näköisiä. Päätimme kuitenkin hioa hitsisaumat tasaisiksi kulmahiomakoneella ja akkukäyttöisellä jyskimellä, jotta koneen tuleva maalaaminen helpottuisi.



KUVA 11. Opinnäytteen tekijä hitsaamassa konenaulakon runkoa (Heikki Niva, 2015)

4.8 Ensimmäinen testikokoonpano

Halusimme varmistua siitä, että rungon osat sopivat toisiinsa suunnitellulla tavalla. Siksi päätimme poiketa alkuperäisestä suunnitelmastamme ja suoritimme rungolle testikokoonpanon kuvassa 12 nähtävällä tavalla. Saimme rungon ka-
sattua vaakatasossa, mutta konelaboratorion matala katto esti meitä nostamasta runkoa pystyyn. Niinpä kokosimme rungon robottihitsaustiloissa.



KUVA 12. Konenaulakko vaakatasossa (Heikki Niva, 2015)

Hämmästyksemme saimme kuin saimmekin koottua kappaleet pystysuunnassa paikalleen ilman pajavasaraa tai muita hienosäätötyökaluja. Testikokoonpano oli menestys (kuva 13).



KUVA 13. Konenaulakon onnistunut testikokoonpano (Heikki Niva, 2015)

4.9 Pintakäsittely

Valmistusprosessin seuraava vaihe oli akselien sorvaus, mutta konelaboratorion sorvauskone oli toisen opiskelijaryhmän käytössä. Koska meillä ei ollut aikaa hukattavaksi, päätimme siirtyä maalaamaan runkokappaleita. Teimme pikavisiitin maalikauppaan ja valmistelimme konesiiven maalaushuoneen. Pintakäsittelyn eli maalauksen tarkoitus oli tehdä rungosta välttävän siisti. Maalaushuoneessa meillä oli käytössämme runsaasti telineitä ja koukkuja, joita käyttämällä saimme kappaleiden ulkopinnat sopivasti esille. Harjasimme kappaleet puhtaaksi ja pyyhimme ne putsausaineella.



KUVA 14. Kuivuvia kappaleita maalaustilassa (Heikki Niva, 2015)

Maalaustyökalumme oli verrattain laadukas, yläsäiliöllä varustettu paineilmatoiminen maaliruisku. Maalasimme kappaleet ensin pohjamaalilla ja sitten kahdesti valitsemallamme värillä. Lopputulos oli jo tässä vaiheessa tyydyttävä (kuva 14), mutta siirrellessämme kuivuneita kappaleita satuimme naarmuttamaan yhden kappaleen maalipintaa sen verran, että päätimme vielä lakata ne. Lakan

kuivuttua totesimme lopputuloksen olevan suunniteltua parempi ja siirsimme rungon improvisoituun välivarastoon konesiiven sähkölaboratorioon.

4.10 Akselien työstö

Tehtyämme neliöteräsputkesta muodostuvan rungon osat valmiiksi, siirryimme laitteen akselien työstämiseen. Materiaalitekniikan peruskurssin tuomalla itsevarmuudella olimme vertailleet eri teräslaatuja keskinäisiä ominaisuuksia, ja päädyimme valitsemaan lopulta hiiletysteräkseen, sen hyvän väsymis- ja kulumiskestävyyden vuoksi.

Vastaanottaessamme Sten Oy:ltä tilaamamme kaksi kappaletta metrin pituisiksi leikattuja kiinteitä tankoja ymmärsimme jälleen ylimitoitaneemme valitun materiaalin sen käyttötarpeen huomioiden. Halkaisijaltaan 40-milliset tangot painoivat kuin synti ja totesimme, että valurauta olisi materiaalina ollut helpommin työstettävissä ja eittämättä kestänyt kaikki akseleihin kohdistuneet vääntömomentit. Mittaan leikattuja kappaleita ei kuitenkaan voinut enää palauttaa, joten aloimme työstää niitä.



KUVA 15. Akseleiden sorvausta (Heikki Niva, 2015)

Vannesahalla akselien katkaisu oikeaan mittaan sujui joutuisasti, mutta jätimme molempiin päihin vielä hieman ylimääräistä mitta, että saimme akselit kiinnitettyä sorviin turvallisesti. Sorvauksen aikana tankojen ainevahvuus hupeni silmissä, kun työparini, meistä kokeneempi sorvaaja, aloitti niiden työstämisen. Tankojen päät jouduimme sorvaamaan suunniteltua ohuemmiksi, että saimme ne asetettua hieman odotettua tiiviimpiin laakereihin sisälle. Lukuun ottamatta tankojen verrattaista kovuutta ja sen sanelemaa maltillista työstönopeutta, sorvaus sujui erinomaisesti (kuva 15). Lopuksi siirsimme valmiit akselit varastohyllyyn odottamaan tulevaa kokoonpanoa.

4.11 Säilytyslaatikoiden valmistus

Konenaulakon toimintaperiaate oli, että käyttäjät laittaisivat tavaransa siinä pyöriviin laatikoihin. Nämä laatikot olimme tilanneet HT-Laserilta yhden millin paksuisesta, valssatusta teräslevystä. Emme kuitenkaan halunneet jättää peltien taittelemista lopulliseen muotoonsa HT-Laserin vastuulle. Huoleni oli, että

levyjen taittaminen alihankintana olisi tarpeettoman kallista. Käytimme siis itse konelaboratoriossa sijaitsevaa kulmauskonetta (kuva 16).



KUVA 16. Konelaboratorio, etualalla kulmauskone (Heikki Niva, 2015)

Piirsimme jo-leikattuihin levyihin CAD-kuviin merkittyjen taittolinjojen mukaiset viivat ja aloitimme muotoilun. Levyjen kulmaus sujui hyvin ja vältyimme virheellisiltä taitoksilta. Korit ja niiden päätylevyt sopivat toisiinsa hyvin. Meitä kuitenkin häiritsi muutama pieni kauneusvirhe, joita emme halunneet lopulliseen tuotteeseen näkyville. Peltisaksia ja kulmahiomakonetta käyttämällä saimme laatikot sopimaan päätykappaleisiin täydellisesti. Löimme taiteltuihin kappaleisiin piikillä paikat porauskohtiin ja porasimme paikat pop-niiteille myöhempää kokoonpanoa varten.

4.12 Toinen testikokoonpano

Luotimme siihen, että tähän mennessä valmistamamme komponentit olivat juuri sellaisia, mitä niiden tulikin olla. Olimme kuitenkin jo sisäistäneet prototyypilaitteen valmistamisen syvimmän olemuksen, eli sen, että kaikki ennalta suunniteltu ei aina käytännössä toteudukaan sujuvasti. Sen vuoksi halusimme testata akselien ja hammaspyörien kokoonpanon toimivuutta. Alihankkijan työn jälki oli

hammaspyörien ja napojen suhteen onneksemme erinomaista. Meitä kuitenkin kalvoi, että saammeko kiinnitettyä molemmat, halkaisijoiltaan valtavat hammaspyöräparit napoineen akseleihin siten, että ne asettuvat lähes millilleen päällekkäin. Etäisyyttä akseleiden välillä oli lähemmäs kaksi metriä, eli pienikin heitto saattaisi estää niitä pyörittävän ketjun toiminnan.

Kokosimme molemmat akselikokoonpanot, eivätkä hammaspyörät kummassakaan asettuneet täysin kohtisuoraan akseliin nähden. Läsnä olleiden autoinsinööriopiskelijoiden hyväntahtoisten - joskin hyödyttömien - neuvojen vastaanottamisen jälkeen keksimme tavan kohdistaa hammaspyörät. Irrotimme kunkin navan viidestä pultista kolme kuvan 17 mukaisesti ja niiden läpi pujotettuja hammastankoja apunamme käyttäen saimme kiristettyä pultit yksi kerrallaan oikeaan momenttiin, säätäen kulmat oikeiksi.

Seuraavaksi kokosimme laitteen tarkastaaksemme, että akselikokoonpanot ja muut niihin liittyvät komponentit liikkuvat oikealla tavalla. Kiinnitimme runkoon myös kumitassut, jotta emme raastaisi koulun laboratorion lattiaa rikki.



KUVA 17. Akseleiden kohdistusmetodi (Heikki Niva, 2015)

Kiinnitettyämme akseleiden laakerit runkoon, yritimme ujuttaa akselit niihin kiinni. Runko oli kuitenkin liian ahdas. Irrotimme laakerit rungosta ja kiinnitimme laakerit ensin akseleiden päihin, näin saimme ujutettua kokoonpanot rungon sisäpuolelle ja kiinnitettyä ne paikalleen. Akselikokoonpanot (kuva 17) olivat painavia ja vaikeasti liikuteltavia eli niiden kiinnittäminen, etenkin yläakselin, oli haastavaa ja mahdollisesti vaarallista. Saimme ne kuitenkin paikalleen ilman henkilövahinkoja.



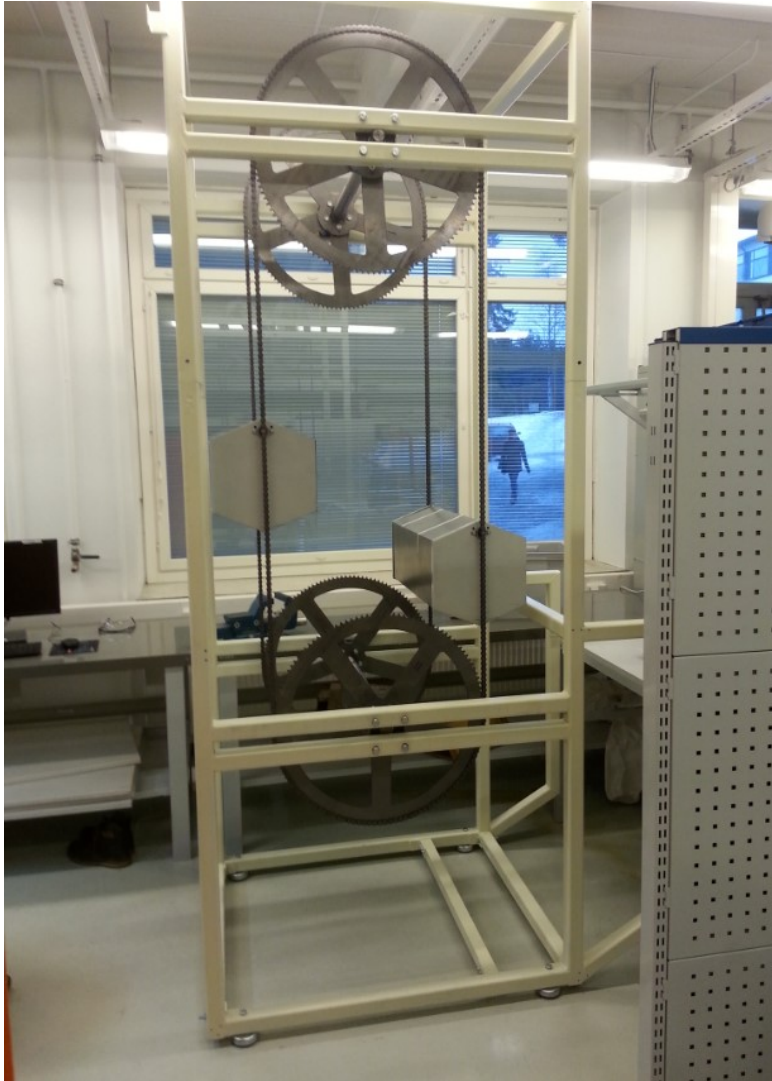
KUVA 18. Lähikuvassa ala-akselin, laakerin ja rungon kiinnityskohta (Heikki Niva, 2015)

Kokoamisen seuraava vaihe oli asentaa ketjut hammaspyörien ympärille ja kiinnittää tavaralaatikat ketjuihin kiinni. Vastaanottamamme ketjut olivat juuri sellaiset, mitä olimme tilanneetkin. Lyhensimme ne oikeisiin mittoihin valmistajan verkkosivuilla olleiden kaavojen mukaan liitteen 2 laskujen perusteella ja huomasimme, että akseleiden asentoja pitää vielä hienosäätää, jotta saisimme ketjut kiristettyä täysin oikein. Irrotimme siis akselikokoonpanot ja raskain sydämin

laajensimme ulkoisesti jo viimeistellyn rungon reikiä metallijyrsimellä joitakin millimetrejä, että saimme laakereiden liikutteluun hieman pelivaraa.

Emme olleet käsittäneet, kuinka vähän säätövara suunnitelmassamme oli ketjujen asennuksen suhteen. Onneksi alkuperäinen suunnitelmamme oli kuitenkin siinä määrin onnistunut, että runkoputkien pienellä jyrsimisellä saimme kiristettyä ketjut paikalleen täydellisesti kuvan 18 mukaisesti.

Molemmissa ketjuissamme oli yhtä monen lenkin päässä toisistaan kaksi kiinnityskappaletta, joissa oli laatikoihin kiinnittämiimme laakereihin sopivat tapit. Laatikoiden pujottaminen ketjujen väliin ja tappien kiristys laakereihin kävi kuin tanssi. Pyörittäessämme hammaspyöriä säilytyslaatikot pysyivät koko kierroksen ajan visusti vaakatasossa emmekä kohdanneet ketjujen hyppimistä pois paikaltaan (kuva 19). Myös akselit pyörivät suunnitellusti.



KUVA 19. Konenaulakon kokoonpano (Heikki Niva, 2015)

4.13 Viimeistely ja luovutus

Tässä vaiheessa valmistus- ja kokoonpanotyömme oli valmis. Jäljellä oli enää säilytyslaatikoiden pintakäsittely. Päätimme kuitenkin pintakäsittelä myös akselit ja hammaspyörät. Maalaus- ja lakkaustyön jälkeen odotimme komponenttien kuivumista yhden päivän ja suoritimme konenaulakolle viimeisen kokoonpanon. Olimme tyytyväisiä päätökseemme pintakäsittelä akselikokoonpano ja hammaspyörät. Puutteistaan huolimatta kuvassa 20 näkyvä konenaulakon prototyyppi oli riittävän silmää miellyttävä ja ennen kaikkea suunnitellulla tavalla toimiva mekaaninen laite.



KUVA 20. Konenaulakon valmis prototyyppi (Heikki Niva, 2015)

5 POHDINTA

Luovutimme TAMKille mekaanisesti toimivan konenaulakon prototyypin ja onnistuimme valmistamaan sen määrättyssä budjetissa pysyen. Projektin päätavoite siis täyttyi. Projektin kantavat teemat olivat projektinhallintametodologioiden hallitsemisen tärkeys, muutoksiin reagointi ja käytännön valmistustyöstä opitut asiat. Olimme suunnitelleet hyvin erityyppisen toteutuksen, mutta saimme maistiaisen itseohjautuvan, räätälitöitä tekevän konepajan arjesta. Pääsimme myös verestämään metallintyöstössä vaadittavia taitoja. On eduksi, että konetekniikan insinööri taitaa ainakin kohtuullisesti myös hitsaamisen ja sorvauksen, muista käden-taidoista puhumattakaan.

Konenaulakko täytti toimeksiantajallemme TAMKille merkittävää lisäarvoa tuotavan vaatimuksen; prototyypilaitteesta tuli valmistuttuaan aihio useille tuleville opinnäytetöille. Konenaulakko on TAMKin käytävillä nimetty uudelleen ja tunnetaan nykyään nimellä i-Locker, mitä on sittemmin jatkojalostettu ja siitä on tehty tämän työn lisäksi kolme hyväksyttyä opinnäytetyötä.

Projektinjohtoihteisessa kirjallisuudessa yleisesti tunnetut projektin viisi vaihetta olivat suureksi avuksi projektin jäsentelyssä opinnäytetyötä varten. Lisäksi niiden avulla projektin onnistumisen arviointi helpottui, koska eri prosessien kategorisointi oikeiden vaiheiden alle selvensi jo-tehtyjä toimenpiteitä. Joitain pieniä eroavaisuuksia lukuun ottamatta yllätyin hieman itsekin opinnäytetyötä tehdesäni, kuinka tarkkaan olimme noudattaneet projektin viittä vaihetta. Arvelen tämän johtuneen osittain projektiryhmän jäsenten henkilökohtaisista luonteenpiirteistä ja osin konetekniikan ja tuotantotalouden opintojen iskostamasta tavasta lähestyä isompaa työkokonaisuutta.

Menestyksellä projektinjohtaminen vaatii projektinhallintametodologioiden ymmärtämistä sekä johtamiselle erikseen allokoitua aikaa myös projektin aikana. Hyvin tehty ja tarkoituksenmukainen projektisuunnitelma kantaa pitkälle, mutta erinomaisen ja tarkoituksenmukaisen dokumentaation kerääminen ja päivittäinen projektinjohtaminen parhaalla mahdollisella tavalla on aikaa vievää työtä. Jos olisimme kuitenkin pitäneet alkuperäisistä rooleistamme viimeiseen asti kiinni, emme olisi saaneet prototyypilaitetta koskaan valmiiksi.

Käyttämäni projektisuunnitelmat noudattivat vesiputousmallia. Tein suunnitelmat nojaten projektinjohtamiskursseilla opittuihin asioihin ja kaupunkilaisjärkeen, kategorisoimatta niitä työn tuoksinassa tarkasti. Projektinjohtamismalleja on liuta erilaisia eri käyttötarkoituksiin ja vesiputousmallilla on kone- ja rakennusteollisuudessa pitkät perinteet. Päädyin siihen ja se toimi tässä projektissa erinomaisesti.

Projektinjohtotavaksi valikoitunut vesiputousmalli osoittautui toimivaksi, joskaan ei täydelliseksi. Haasteet vesiputousmallin kanssa johtuivat osin projektinjohtajan kokemattomuudesta ja osin mallin tyypillisestä jäykkyydestä. Vaadituista muutoksista johtuen jouduimme tuotantovaiheessa kulkemaan vesiputousta ajoittain ylävirtaan, aivan kuten kirjallisuudessa mainituissa esimerkeissä varoiteltiin. Malli muodosti kuitenkin projektipäällikölle helposti hallittavan prosessirungon, jota meidän molempien ryhmän jäsenten tekijöiden oli suoraviivaista noudattaa.

Konenaulakko projekti oli kokoluokaltaan pieni ja edullinen toteutettava, eikä meillä ryhmän jäsenillä ollut siitä kuin opittavaa. Lähestyimme tehtävää työtä innolla ja ajoittain ylitimme yksittäisten suunniteltujen prosessien rajoja. Isoissa organisaatioissa ajoittain käyttämämme ”tee ensin ja kysele jälkikäteen” -lähestymistapa ei ole ihanteellinen. Se voi jopa aiheuttaa merkittävää haittaa kaikille osapuolille. Toisaalta intomme oli tehtävän työn suhteen merkittävä voimavara. Suuremman kokoluokan projekteissa projektinjohtajan täytyy eittämättä hallita useiden projektinjohtamismetodologioiden perusteet ja valita kullekin toimialalle ja kuhunkin projektiin parhaiten sopiva johtotapa.

Konenaulakon prototyypin tuotantotapa oli tilauksesta suunnittelu eli engineer-to-order. Työtapamme ei juuri eronnut alan kirjallisuudessa mainituista ETO-esimerkeistä. Tuotantotapana, etenkin konetekniikan alalla, ETO on vakiintunut ja pienessä projektissa ETO osoittautui oivaksi tavaksi valmistaa pitkälle räätälöity lopputuote. Kirjallisuudesta sain tukea tavallamme toimia esimerkiksi kohdennuspisteen määrittelyn perustuen.

Toimeksiantajamme TAMKin vaatimus oli jatkojalostuskelpoinen prototyyppi, mutta jälkiviisaana totean, että minun olisi pitänyt pyrkiä tekemään sopimus paljon heppoisemmasta laitteesta koska heikompitekoinenkin laite olisi ollut tarkoituksenmukainen. Ylimoitimme konenaulakon rungon komponenttien

ainevahvuudet ja akselien väsymismurtolujuudet kuormitukseen nähden moninkertaisesti. Laskimme materiaaleille teoreettiset, ihanteelliset ominaisuudet, mutta epäonnistuimme komponentteihin kohdistuvien kuormitusten määrittelyssä. Olisimme säästäneet selvästi aikaa, jos emme olisi lähteneet rakentamaan prototyypistä kerralla täysin jalostuskelpoista aihiota. Projekti ei olisi valmistunut ilman suunnittelijamme jo-kerryttämää kokemusta konetekniikan alalta. Hänen laatimansa konenaulakon tekniset piirustukset oli niin hyvin laadittu, että meidän ei pääosin tarvinnut kuin noudattaa niitä laitteen muodostavia osia valmistaessamme. Tämän projektin perusteella kehottaisin tulevia opiskelijaryhmiä prototyyppiä tehdessä pyrkimään mahdollisimman helposti työstettävään ensimmäiseen versioon.

Projektinjohtokirjallisuudessa käsitellään paljon sitä, millaisia henkilökohtaisia ominaisuuksia projektinjohtajalla tulisi olla. Niistä nostaisin omalla kohdalla eduskenseni etenkin innostuksen projektia kohtaan, teknisen osaamisen sekä hyvät vuorovaikutustaidot. Projektin valmistelu sujui ryhmässämme hyvin ja itse prototyypin valmistusvaihe oli konetekniikan opintojeni mielekkäimpiä ja mieleenpainuvimpia kokemuksia. Haasteita minulle aiheutti kyky reagoida jatkuviin muutoksiin. Kaikkiin muutoksiin en olisi voinut varautua, mutta luomani toimintaympäristö oli osittain omasta projektijohtamisen kokemuksen puutteesta johtuen turbulentinen. Projektinjohtamiskirjallisuudessa kuitenkin usein muistutetaan, että menestyksekkääksi projektinjohtajaksi ei synnytä, vaan kasvetaan kokemusta kerryttämällä.

Projektipäällikön kokemattomuus aiheutti projektissa selkeitä haasteita. Puutteellinen riskienhallinta oli koitua projektin kohtaloksi riskien realisoituessa. Siitä sekä laitteen teknisestä ylimitoituksesta huolimatta Konenaulakoprojekti oli mielestäni menestys. Valmistimme toimeksiantajallemme sopimuksen mukaisen lopputuotteen tyhjästä, annetussa aikataulussa ja budjetissa pysyen, muuttuvassa toimintaympäristössä onnistuneesti navigoiden ja lisäarvoa tuottaen.

LÄHTEET

Adrodegari F., Bacchetti A., Pinto R., Pirola F., Zanardini M. 2015 Engineer-to-order (ETO) production planning and control: an empirical framework for machinery-building companies, *Production Planning & Control*, 26/11, 910-932, Viitattu 15.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden. DOI:10.1080/09537287.2014.1001808

Aziz, E. E. 2015. Project closing: the small process group with big impact. Konferenssipaperi. Viitattu 1.4.2022. <https://www.pmi.org/learning/library/importance-of-closing-process-group-9949>

Birkie, S. E., Trucco, P., Kaulio, M. 2017. Sustaining performance under operational turbulence. *International journal of lean six sigma*. 8/4, 457-481. Viitattu 1.3.2022. DOI: 10.1108/IJLSS-12-2016-0077

Bissonette, M. 2016. Project risk management : a practical implementation approach. 1st edition. Project Management Institute, Inc. Viitattu 1.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910678609105973

Campbell, G.M. 2014. Project Management. New York: Penguin Group. Viitattu 15.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911130466905973

Ellis, C. 2019. The Project Book : the Complete Guide to Consistently Delivering Great Projects. 1. painos. Wiley. Viitattu 10.3.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911130222405973

Hamon, C. L., Green, M. G., Dunlap, B. Camburn, B. A., Crawford, R. H., Jensen, D. D. 2014. Virtual or Physical Prototypes? Development and Testing of a Prototyping Planning Tool. Konferenssipaperi. Viitattu 28.2.2022. DOI: 10.18260/1-2—23294

Heerkens, G. 2013. Project Management. 2. painos. New York: McGraw-Hill. Viitattu 29.3.22. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_askewsholts_vlebooks_9780071818520

Lauff, C., Kotys-Schwartz, D. & Rentschler, M. E. 2017. What is a prototype? Emergent roles of prototypes from empirical work in three diverse companies. Konferenssipaperi. Viitattu 8.3.2022. DOI: 10.1115/DETC2017-67173.

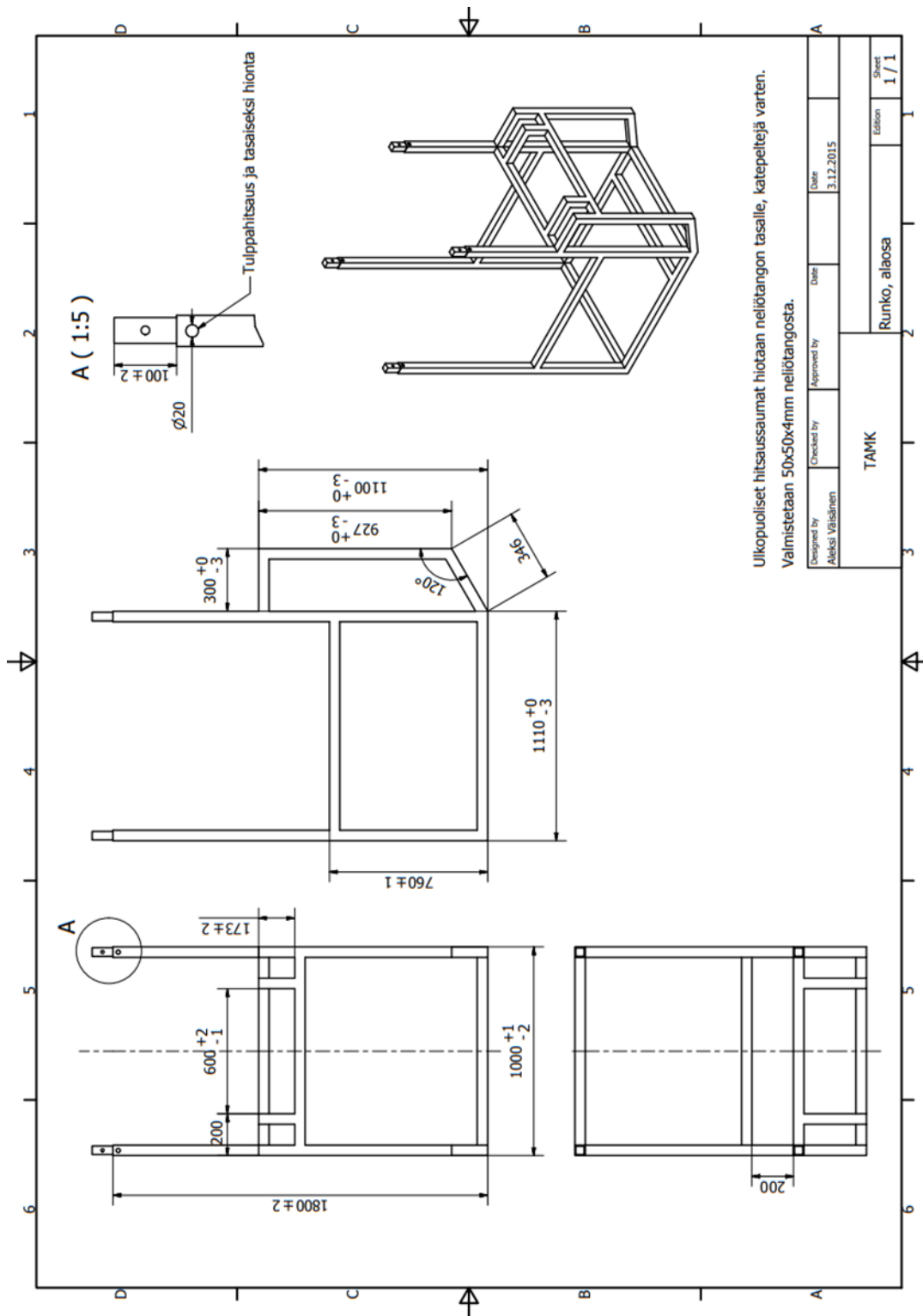
Layton, M., Ostermiller, S. J. 2017. Agile Project Management for Dummies. Toinen painos. ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.

Leffingwell, D., Widrig, D. 2003. Managing Software Requirements: A Use Case Approach, Second Edition. Addison-Wesley Professional. Viitattu 10.3.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_safari_books_v2_032112247X

- Logistiikan Maailma. Engineer to order – ETO. 2022. Viitattu 1.1.2022
<https://www.logistiikanmaailma.fi/en/production/order-penetration-point-opp/engineer-to-order-eto/>
- Logistiikan Maailma. Tilauksesta suunnittelu eli ETO. Kuva. 2022. Viitattu 1.1.2022.
<https://www.logistiikanmaailma.fi/wp-content/uploads/2017/03/ETO.jpg>
- Murch, R. 2001. Project Management. Best Practices for IT Professionals. 1st edition. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 1.2.2022 https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1kfmqvo/alma9910689881305973
- Nicholas, J. M. & Steyn, H. 2012. Project Management for Engineering, Business and Technology. 4. painos. Oxon: Routledge.
- Papandrea, D. 2022. Monster. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2022. <https://www.monster.com/career-advice/article/boss-watching-too-close-micromanagement>
- Pientavarakeruu ja automaatio. 2022. Logistiikan maailma. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/logistiikkakeskus/pientavarakeruu-ja-automaatio/>.
- Pitta, D. 2007. Selection as a new product development process: The case of Vertical Branding, Inc. Journal of Product & Brand Management (16) 432-436. Viitattu 2.3.2022. DOI: 10.1108/10610420710823807.
- Portny, S. E. 2013. Project Management for Dummies. 4. painos. Hoboken: Wiley & Sons.
- Project Management Institute 2022. What is Project Management? Verkkosivu. Luettu 1.2.2022. <https://www.pmi.org/about/learn-about-pmi/what-is-project-management>.
- Santos, J., M., D. 2022. Agile vs. Waterfall: Differences in Software Development Methodologies? Project-Management.com. Viitattu 20.3.2022
<https://project-management.com/agile-vs-waterfall/>
- Väisänen, Aleksi. 2015. Koneaulakon CAD-kuvat. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

LIITTEET

Liite 1. Konenaulakon rungon alaosan CAD-kuva.



Liite 2. Ketjun pituuden laskeminen

19.10.16

Ketjun pituuden laskeminen, konenaulakko

Lähde: Sks.fi → ketjut → Wippermannin ketjukuvasto → s. 56

Konenaulakon lähtötiedot

Hammaspyörien hampaiden lukumäärä = 125

(a) akseliväli = 1590mm

jako(p) = 15,875mm

X = ketjun pituus lenkkeinä

Samalla hammasluvulla $z_1 = z_2$ on ketjun pituus

$$x = 2 \frac{a}{p} + z$$

$$x = 2 \cdot \frac{1590}{15,875} + 125$$

$$x = 325,3749...$$

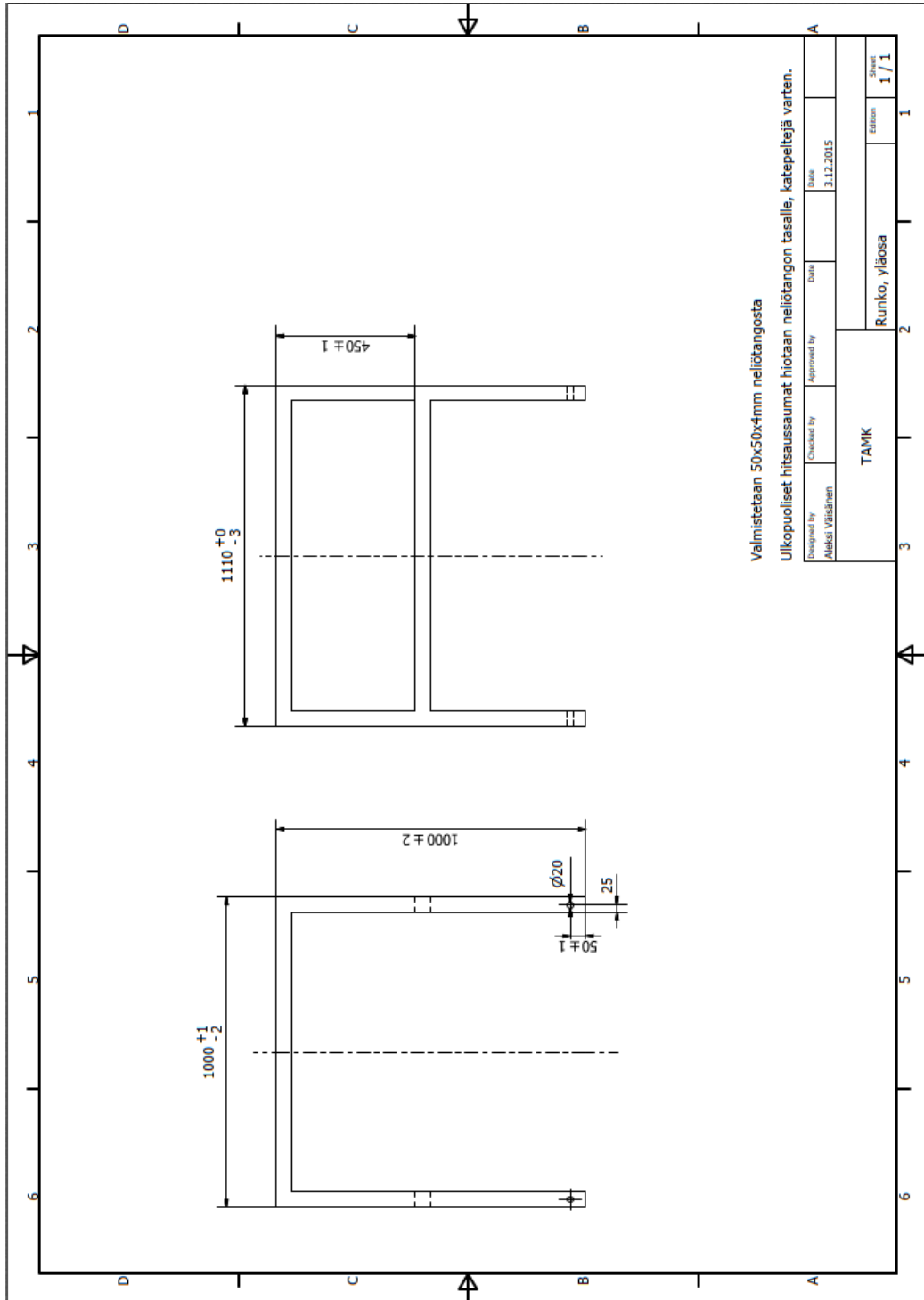
- "Saadut lenkkiluvut on pyöristettävä ylöspäin"
- Parittoman luvun tapauksessa lisätään lenkki
- Asennuksen helpottamiseksi on lisättävä lenkki

⇒ Pyöristetään siis $325,3 \approx 326$

⇒ Lisätään asennusta varten yksi lenkki (326 → 327)

⇒ Lisätään parittomaan lenkkimäärään yksi lenkki (327 → 328)

Liite 3. Konenaulakon rungon yläosan CAD-kuva.



Liite 4. Konenaulakon akselin navan alkuperäinen CAD-kuva.

