

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2022

Henri Haltia

LUJUUSOPIN TOIMINNALLISEN OPETUKSEN TUTKIMUSLAITTEISTOJEN VALMISTAMINEN

Henri Haltia

LUJUUSOPIN TOIMINNALLISEN OPETUKSEN TUTKIMUSLAITTEISTOJEN VALMISTAMINEN

Tämä opinnäytetyö tehtiin Turun ammattikorkeakoululle. Sen tavoitteena oli ennalta luotujen konseptien ja mallien avulla jatkokehittää sekä valmistuttaa kaksi modulaarista ja helppokäyttöistä tutkimuslaitteistoa, joilla saadaan lujuusopin kurssien teorian lisäksi tehtyä myös käytännön harjoitteita.

Alustavat konseptit arvioitiin ja niihin tehtiin tarvittavat muutokset käytön helppouden sekä kestävyuden maksimoiseksi. Yleisimmät muutokset tulivat komponenttien kokoluokissa sekä rakenteen tuennassa, jotka olivat laitteistojen toiminnan kannalta suurimpia haasteita. Tämän jälkeen aloitettiin ammattikorkeakoulun yhteistyökumppanin Koneteknologiakeskus Turku Oy:n kanssa koneistustyöt. Laitteistojen työstön aikana niihin jouduttiin kuitenkin tekemään muutamia muutoksia, jottei niistä olisi tullut liian monimutkaisia. Testilaitteistoissa päätettiin myös hyödyntää ennalta käytettyjä osia sekä levyjä kustannusten ja romumäärän vähentämiseksi. Tätä päätöstä tuki ennalta mainittujen asioiden lisäksi myös aikataululliset syyt, sillä laitteistojen piti olla valmiita sekä testattuja ennen uusien kurssien alkamista vuoden vaihtumisen jälkeen.

Laitteistojen valmistusprosessi onnistui jopa paremmin kuin alunperin oltiin ajateltu, sillä tiukan aikataulun takia oli vaarana, ettei laitteistoja saataisi ajoissa valmiiksi. Laitteistot kestivät kovat ja vaativat testaukset todella hyvin. Niiden helppokäyttöisyys sekä hyväksi todettu toimintavarmuus ylittivät kaikki odotukset, sillä laitteistojen alkuperäiset mallit eivät olisi toimineet mitenkään järkevästi ainakaan käyttäjäystävällisyyden kannalta. Hyväksytyjen laitteistojen poikkeuksellisen hyvä liikutelvavuus sekä yllättävän kevyet loppupainot helpottavat myös mahdollisia siirtoja tai huoltotöitä.

ASIASANAT:

Lujuusoppi, Laboratorio, Käytäntö, Monipuolistaminen, Konetekniikka, Teoria

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2022 | 23 pages

Henri Haltia

MANUFACTURING OF THE STRENGTH OF MATERIALS' EDUCATIONAL RESEARCH EQUIPMENT

This thesis was commissioned by Turku University of Applied Sciences. Its goal was to further develop and manufacture two modular and easy-to-use test and research equipment with the help of pre-created concepts and models, which provide not only strength of materials' theory courses but also practical exercises.

Preliminary concepts were evaluated, and the necessary changes were made to maximize the ease of use and durability. The most common changes came in the size classes of the components and in the support of the structure, which were the biggest challenges for the operation of the equipment. After this, machining work was started with the Turku University of Applied Sciences' partner, Machine Technology Center Turku Ltd. However, during the machining of the equipment, a few changes had to be made to it so that it would not become too complex. In the test equipment, it was also decided to use pre-used parts and plates to reduce costs and the amount of scrap. In addition to the issues mentioned above, this decision was also supported by timeliness reasons, as the equipment had to be ready and tested before the start of new courses after the turn of the year.

The hardware manufacturing process was even more successful than originally thought, as there were fears that the hardware would not be completed on time due to the tight schedule. The equipment withstood hard testing really well. Their ease of use and proven reliability were a positive surprise for all parties, as the original models of the equipment would not have made any sense, at least in terms of user-friendliness. The exceptionally good mobility of the approved equipment and the surprisingly light final weights also facilitate possible transfers or maintenance work.

KEYWORDS:

STRENGTH OF MATERIALS, LABORATORY, PRACTICE, DIVERSIFICATION, MECHANICAL ENGINEERING, THEORY

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2 LAITTEISTOILLA TESTATTAVAT ILMIÖT	6
2.1 Nurjahdus	6
2.2 Taivutus	7
3 KONSEPTIEN ARVIOINTI, KEHITTÄMINEN SEKÄ BUDJETOINTI	8
3.1 Alustava arviointi	8
3.2 Konseptien jatkokehittäminen	10
3.3 Laitteistojen budjetointi	12
4 TESTILAITTEISTOJEN VALMISTUSPROSESSI	13
5 LAITTEISTOJEN VIIMEISTELY, TESTAUS JA LUOVUTUS	19
6 LOPPUPOHDINTA	21
LÄHTEET	22

KUVAT

Kuva 1. Nurjahdustesti yksinkertaistettuna.	6
Kuva 2. Eulerin nurjahdustapaukset.	7
Kuva 3. Taivutustesti yksinkertaistettuna.	7
Kuva 4. Nurjahduslaitteiston alustava konseptipiirros.	8
Kuva 5. Taivutuslaitteiston alustava konseptipiirros.	9
Kuva 6. Nurjahduslaitteiston kehitysluonnos.	10
Kuva 7. Taivutuslaitteiston kehitysluonnos.	11
Kuva 8. Testilaitteistojen runkorakenteet.	13
Kuva 9. Taivutuslaitteiston perusrakenne sekä alavasteet.	14
Kuva 10. Nurjahduslaitteiston perusrakenne.	15
Kuva 11. Alavasteiden sovitin ja konfigurointi nurjahduslaitteistoon.	16
Kuva 12. Viimeistellyt painotangot asennettuna nurjahduslaitteistoon.	17
Kuva 13. Taivutuslaitteiston viimeistelty painotanko asennettuna.	18
Kuva 14. Valmis Taivutuslaitteisto.	19
Kuva 15. Valmis nurjahduslaitteisto.	20

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena valmistuttaa ammattikorkeakoulun käyttöön kaksi kappaletta erilaisia testauslaitteistoja, joilla saadaan havainnollistettua lujuusopissa käsiteltäviä fysikaalisia ilmiöitä ja havainnollistaa niiden vaikutuksia erilaisten materiaalien toimintaan sekä niiden ominaisuuksiin. Laitteistojen valmistuksen toisena päätavoitteena on mahdollistaa opiskelijoille käytännönläheinen oppimisympäristö, jossa saadaan tehtyä hyvin tositalanteisiin verrattavia laboratoriotestauksia. Näiden laitteistojen avulla voidaan esittää kahta lujuusopille oleellista ilmiötä: nurjahdusta ja taivutusta.

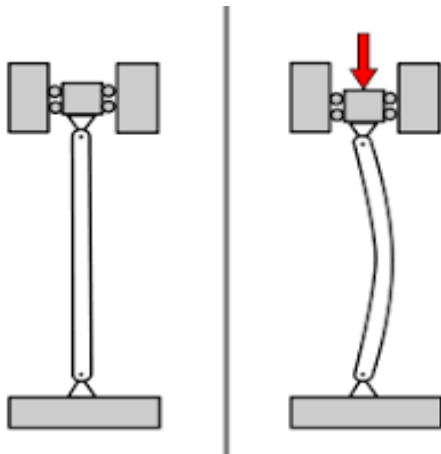
Tämä opinnäytetyö käsittää kaksiosaisen projektikonaisuuden jälkipuoliskon, jossa saatetaan hyväksi todetut konseptit valmistus- ja testausprosessin läpi, joista ne saataan loppujen lopuksi käyttövalmiiksi testilaitteistoiksi. Tämän projektin myötä toivotaan, että opetukseen saadaan paljonkin kaivattua monipuolisuutta, jonka avulla saataisiin paremmin opiskelijoita oppimaan lujuusopin laskentaa ja ymmärtämään laajemmin sen merkitystä nykyajan infrastruktuurille.

2 LAITTEISTOILLA TESTATTAVAT ILMIÖT

Laitteistojen avulla testataan ja havainnollistetaan kahta erilaista ilmiötä, jotka ovat lujuusopissa keskeisessä asemassa erilaisten rakenteiden suunnittelun, kehittämisen, kestävyuden sekä turvallisuuden kannalta. Nämä ovat nurjahdus ja taivutus, jotka ovat yleisimpiä huolenaiheita esimerkiksi siltarakenteiden suunnittelussa.

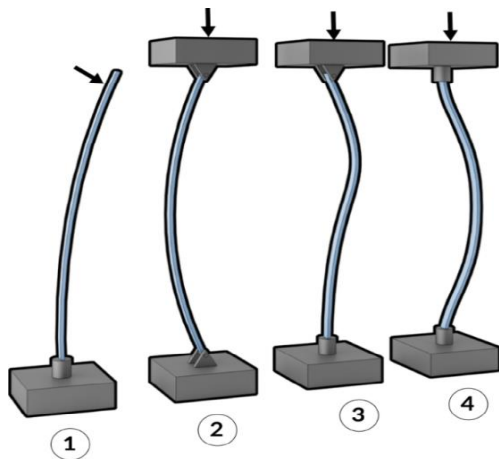
2.1 Nurjahdus

Nurjahduksella tarkoitetaan tilannetta, jossa kappaleeseen kohdistuu huomattavan suuri poikittaisliike kappaleeseen kohdistuvan voiman suuntaan verrattuna kappaleen ollessa jollain tavalla tuettuna. Yleisesti tapahtumaa havainnollistetaan (Kuva 1) tilanteella, jossa molemmista päistä tuettua sauvaa aletaan puristamaan huomattavalla pitkittäisakselin suuntaisella voimalla, joka ylittää sauvan materiaalin myötörajan, aiheuttaen plastista eli pysyvää muodonmuutosta. Tämä myötörajan ylitys aiheuttaa sauvassa nurjahdusliikkeen sen heikoimmassa kohdassa, joka on yleensä joko kappaleen keskipiste tai se kohta, joka on kauimpana tuentapaikoista. (Kolehmainen 2017b.)



Kuva 1. Nurjahdustesti yksinkertaistettuna.

Nurjahduksen laitteistolla simuloidaan Leonhard Eulerin mukaan nimettyjä (Kuva 2) nurjahdustapauksia, joita on neljä erilaista. Ensimmäisessä tapauksessa sauva on tuettu kiinteästi toisesta päästä ja on vapaa toisesta päästä. Toisessa tapauksessa sauva nivelletty molemmista päistä. Kolmannessa tapauksessa sauva on tuettu kiinteästi toisesta päästä ja nivelletty toisesta. Neljännessä eli viimeisessä tapauksessa sauva on kiinteästi tuettu molemmista päistä.

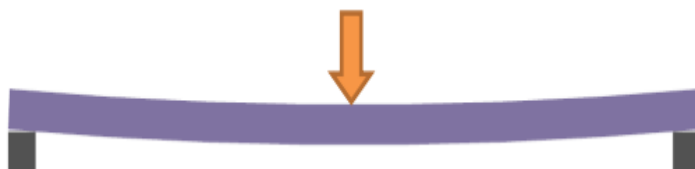


Kuva 2. Eulerin nurjahdustapaukset.

2.2 Taivutus

Taivutuksessa kappale taipuu, kun siihen kohdistuu voima, joka liikkuu kohtisuoraan kappaleen pitkittäisakseliin verrattuna ja yrittää painaa kappaletta alaspäin. Taivutuksen alaisena olevaan kappaleeseen syntyy myös sisäisiä veto- ja puristusjännityksiä. (Karhunen 2012, 93.)

Taivutuksen laitteistolla simuloidaan taivutusta sen yksinkertaisimmassa muodossa, jossa päistä tuettua sauvaa painetaan alaspäin sellaisella voimalla, jolla saadaan taipumistapahtuma selkeästi havainnollistettua.



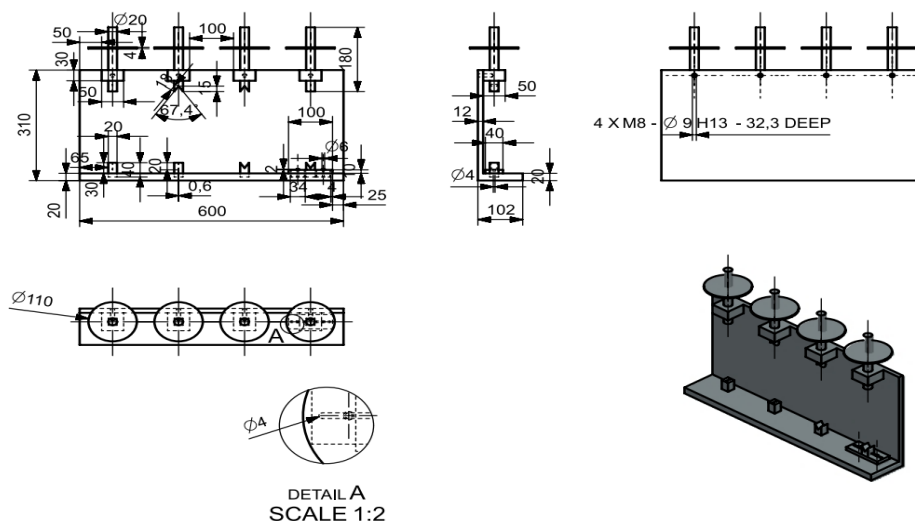
Kuva 3. Taivutustesti yksinkertaistettuna.

3 KONSEPTIEN ARVIOINTI, KEHITTÄMINEN SEKÄ BUDJETOINTI

Yksi projektin tärkeä osa-alue on suunnittelun tekemien konseptien arviointi sekä niiden jatkokehittäminen. Tärkeitä huomioita niiden arvioinnin kriteereissä ovat muun muassa komponenttien kestävyys ja toimintavarmuus, laadukas dokumentointi sekä turvallisuus. Kun alustavat konseptit on saatu arvioitua ja kehitettyä toimiviksi malleiksi, voidaan aloittaa realistisen budjetin suunnitteluprosessi.

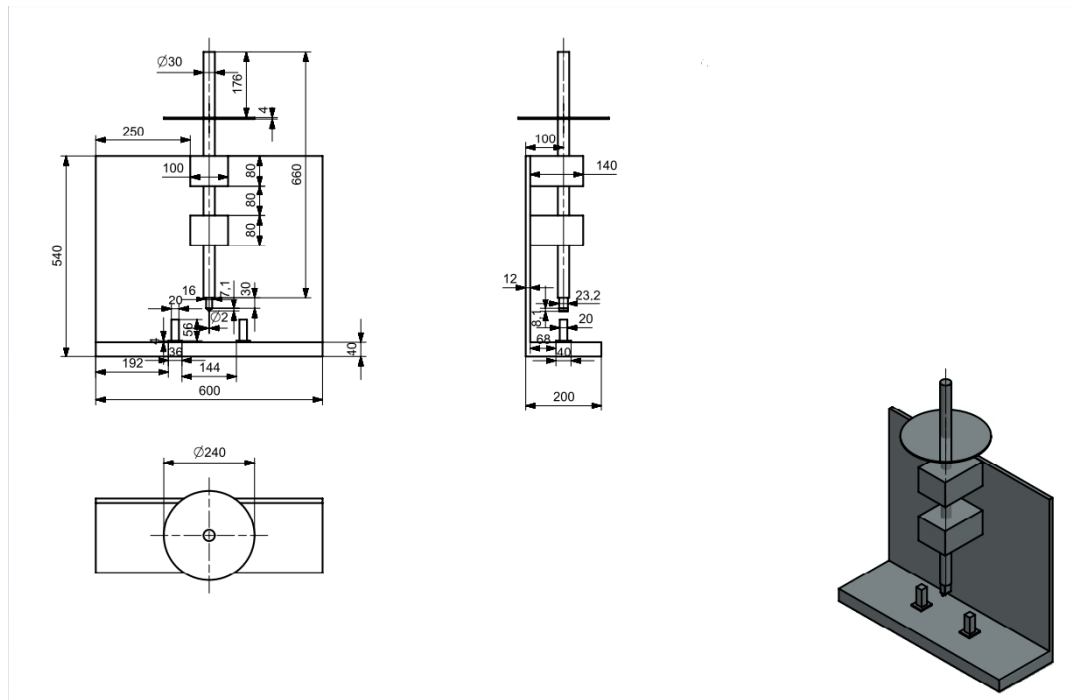
3.1 Alustava arviointi

Arviointiprosessissa käytiin läpi huolellisesti konseptien ensimmäiset piirustukset, joiden pohjalta pystyttiin luomaan uusia ja toimivampia ratkaisuja laitteistojen toimintaan saattamiseksi. Ensimmäisiä huomioita olivat rakenteen yhtenäisyys ja osien koneistuspainotteisuus. Yleisellä tasolla nämä asiat ovat hyviä rakenteen vahvuuden ja laadun varmistamisessa. Suurimmaksi ongelmaksi molemmissa konsepteissa kuitenkin muodostui pienet ja haastavan muotoiset osat, joiden koneistaminen alkuperäisellä mitoituksella voi pahimmassa tapauksessa olla jopa mahdotonta, mikäli ne pidettäisiin sellaisenaan.



Kuva 4. Nurjahduslaitteiston alustava konseptipiirros.

Toisena suurena ongelmana tuli vastaan laitteistojen suuri koko, koska niiden pohjimmiltaan yksinkertaisten rakenteiden vuoksi ei tarvittaisi suuria kappaleita ja voimia toivotun tapahtuman esittämiseksi. Näiden huomioiden lisäksi konsepteissa oli ylimääräisiä ja tarpeettomia osia, joita ilmankin laitteistoa voitaisiin käyttää tehokkaasti.



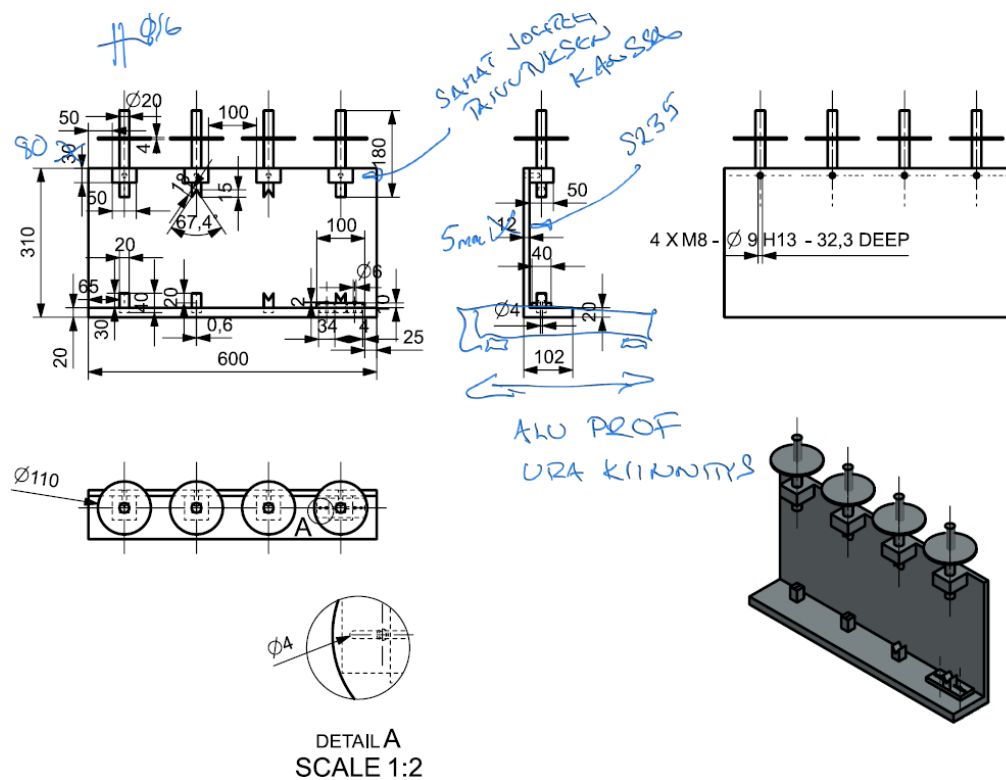
Kuva 5. Taivutuslaitteiston alustava konseptipiirros.

Tämän lisäksi myös valitut materiaalit eivät olleet optimaalisia, kun tutkitaan niiden käyttötarkoitusta laitteistoissa. Konseptien dokumentoinneissa oli myös havaittavissa erityisesti nurjahduksen osalta paljon epäsiisteyttä, joka vaikeutti mitoitusarviointia sekä yleistä luettavuutta huomattavasti.

3.2 Konseptien jatkokehittäminen

Kun ensimmäiset konseptit oli arvioitu ja niistä tehdyt huomiot, puutteet ja ristiriidat oli taltioitu, voitiin aloittaa konseptien jatkokehittäminen sekä jalostaminen enemmän lopputuotteiden näköisiksi malleiksi. Nurjahduksen laitteistossa kehitettävää ja muutettavaa oli selkeästi enemmän kuin taivutuksessa, sen testauskapasiteetin vuoksi.

Ensimmäisenä alettiin pohtia modulaarista ja edullisempaa pohjaratkaisua, koska yhden kiinteän osan menetelmällä laitteisto olisi kallis valmistaa ja sen huoltaminen vaikeampaa. Tämä ongelma saatiin ratkaistua muuttamalla pohjarakennetta niin, että hyödynnettäisiin alumiiniprofiilia pohjana, johon liitettäisiin ruuviliitoksilla kuvan 6 kehityspiirroksista poiketen S355-rakenneteräksestä leikattu takalevy. Tällä tavalla saataisiin myös helpommin suoritettua myöhempien työvaiheiden koneistustyöt yksinkertaisten rakenteiden ja osien helpon erottamisen ansiosta.



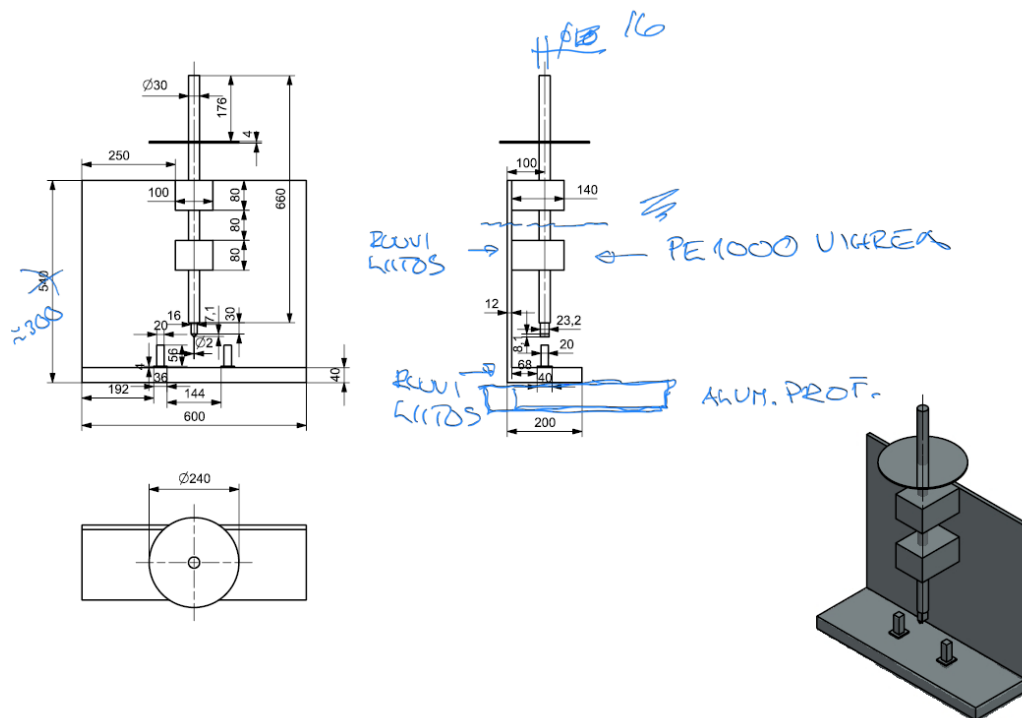
Kuva 6. Nurjahduslaitteiston kehitysluonnos.

Alumiiniprofiilin valitseminen pohjarakenteeksi mahdollisti myös 3D-tulostettujen osien käytön, joilla saisi tehtyä haastavampia muotoja. Erityisesti nurjahduksessa alavasteet ovat kovilla, sillä ne joutuvat ottamaan kustakin voimamäärästä suurimman osan

vastaan. Tämä lähestymistapa helpottaa tulevaisuudessa myös uusien osien teettämistä, sillä ammattikorkeakoululla on omistuksessaan 3D-tulostimia. Projektissa käytetyt mallit olisivat myös helposti saatavilla, koska niistä tallennettiin useita kopioita, jotka ovat projektin vastuupettajan hallussa mikäli niitä tarvitaan.

Nurjahduslaitteistoon tehtyjä kehitysratkaisuja päätettiin soveltaa myös taivutuslaitteistossa, jotta saataisiin luotua yhtenäinen valmistusfilosofia ja samalla voitaisiin hyödyntää samoja komponentteja. Tällä tavalla voidaan myös vähentää hukkamateriaalin määrää.

Taivutuslaitteiston alustavan konseptin isoimpana ongelmana olivat alavasteet, joiden päälle taivutettava kappale asetetaan. Niissä oli alun perin esimerkiksi pieniä kielekkeitä, jotka eivät olisi riittävän kestäviä kyseisessä testissä. Se ratkaistiin yksinkertaistamalla alavasteiden muotoa suorakulmioiksi, sillä suorat ja puhtaat muodot kestävät rasitusta paljon paremmin. Lisäksi kuvassa 7 olevista kahdesta ohjuripalasta poistettiin ylempi pala, koska yksi ohjuri kestää riittävän hyvin testissä käytettävien voimien määrän.



Kuva 7. Taivutuslaitteiston kehitysluonnos.

Pohjarakenteen ja alavasteiden muuttamisen lisäksi päätettiin myös hyödyntää PE1000-muovia painotankojen ohjuripalojen materiaalina, sillä kyseinen materiaali on muoviksi poikkeuksellisen kestävä ja liukasta. PE1000:ta käytetään paljon teollisuudessa

erityisesti kuljettimissa ja kevyemmissä akselirakenteissa, joissa vaaditaan esimerkiksi mahdollisimman pientä kitkakerrointa. (Muovia OY. 2021)

3.3 Laitteistojen budjetointi

Kun laitteistojen jatkosuunnittelun lopuksi tiedettiin, miten ne kasattaisiin ja kuinka paljon eri osia tarvitaan, aloitettiin projektin budjetointi. Budjetti rakennettiin siltä pohjalta, että kaikki tarvittava ostettaisiin uutena, eikä siinä otettu esimerkiksi koneistuksia tai romulavoilta löytyviä levyjä huomioon. Budjetissa ei ole myöskään huomioitu 3D-tulostuksia, sillä ne on mahdollista hoitaa ammattikorkeakoulun omilla tulostimilla, jolloin ulkoisia kustannuksia ei synny.

Projektin kokonaisbudjetiksi muodostui noin 1000 euroa, joka jakautui seuraavanlaisesti:

- 300€ alumiiniprofiileihin
- 150€ S355-levyihin (Takalevyt ja painot)
- 100€ kiinnitystarvikkeisiin sekä kemikaaleihin
- 150€ PE1000-muoviin
- 200€ alumiinitankoihin
- 100€ muihin menoihin

4 TESTILAITTEISTOJEN VALMISTUSPROSESSI

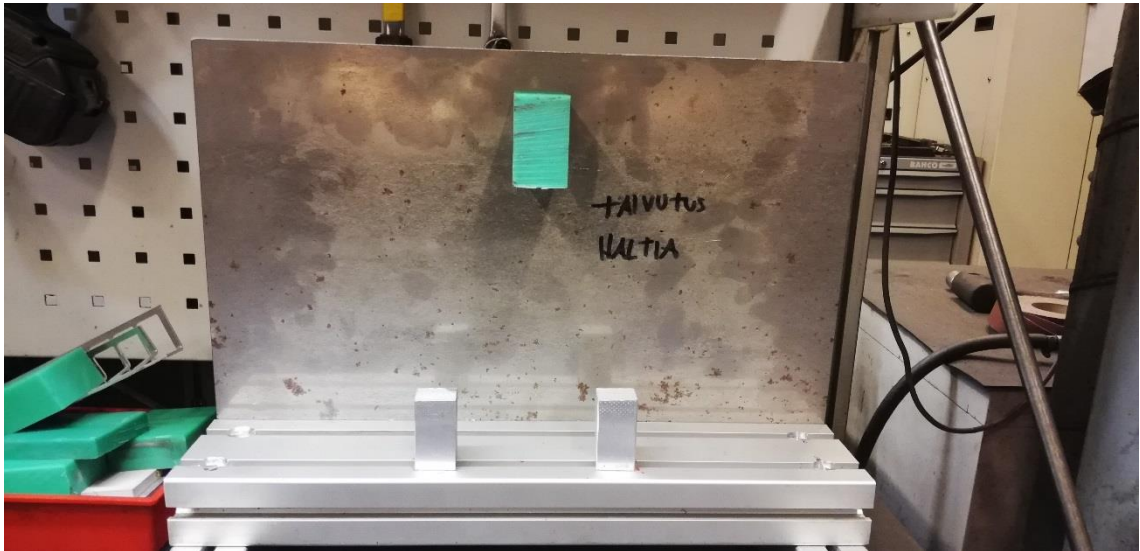
Testilaitteistojen suunnittelun ja budjetoinnin valmistumisen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen valmistusprosessi. Tarkasti suunniteltujen konseptien avulla saadaan tehtyä hyvä pohja laadukaille testilaitteistoille, joita voidaan hyödyntää opetus- ja tutkimustaroituksessa useita vuosia, kuitenkin mahdollistaen valmiidenkin laitteistojen jatkokehittämistä.

Ensimmäisenä asiana valmistusprosessin pitkässä listassa oli pohjarungon valmistaminen. Luvussa 3 tuotiin esille alumiiniprofiilin käyttöä pohjarakenteena. Kuitenkin nopeasti tuli ilmi uusi, alavasteiden kiinnitykseen liittyvä ongelma. Laitteistoissa käytettyjen alumiiniprofiilien rakenne ei mahdollistanut rungon alapintaan tulevia ruuvikiinnityksiä, joten niihin päätettiin kiinnittää päihin ruuveilla kiinnitettävät alumiiniprofiilitangot. Näiden avulla pohjarunko saatiin tarpeeksi korkealle, jotta ruuvikiinnityksiä voitaisiin hyödyntää myös alavasteissa. Kuvan 8 mukaisella ratkaisulla saatiin luotua myös pitkällä aikavälillä mahdollisesti tarvittavia säätömahdollisuuksia, joilla voidaan laajentaa testien mittausta-alueita sekä tarvittaessa myös muuttaa testien toteutustapaa.



Kuva 8. Testilaitteistojen runkorakenteet.

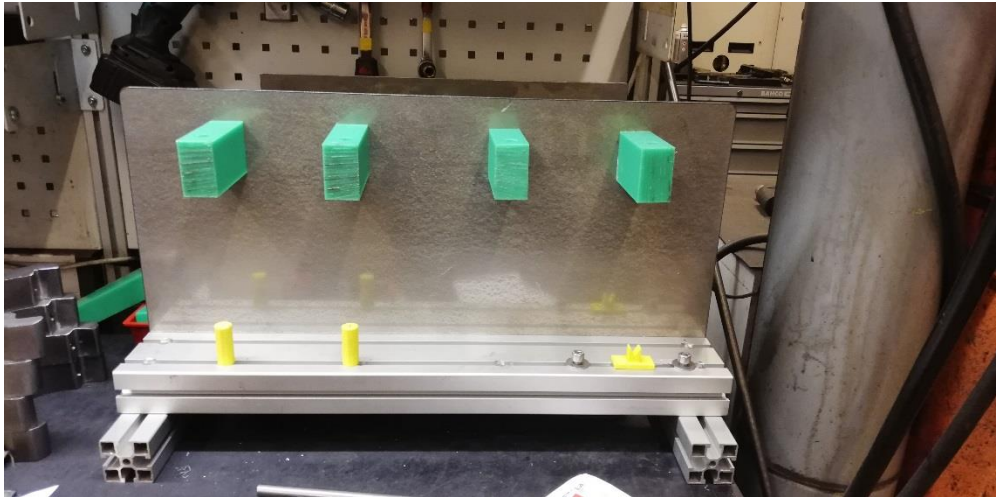
Pohjarunkojen rakentamisen jälkeen alettiin kehittää laitteistojen pienempiä yksityiskoh-
tia, kuten ohjuripaloja sekä alavasteita. Luvussa 3 mainittiin myös PE1000-muovin hyö-
dyntämisestä laitteistoissa. Sen hyötyjä niiden toiminnan kannalta ovat materiaali huo-
mioon ottaen poikkeuksellisen hyvä kovuus, koneistettavuus sekä pieni kitkakerroin.



Kuva 9. Taivutuslaitteiston perusrakenne sekä alavasteet.

PE1000:n käyttö mahdollisti myös sen, että valmiiden laitteistojen testauksissa erityisesti kitka ei olisi vaikuttava tekijä. Tämä oli paljon loogisempi valinta verrattuna esimerkiksi alumiinista tehtyyn ohjuripalaan, joka olisi suuremman painonsa lisäksi vaatinut jonkin-
laista laakerointisysteemiä. Tällaisen mittakaavan laitteistoissa kyseinen ratkaisu olisi ol-
lut liian hienovarainen ja kallis.

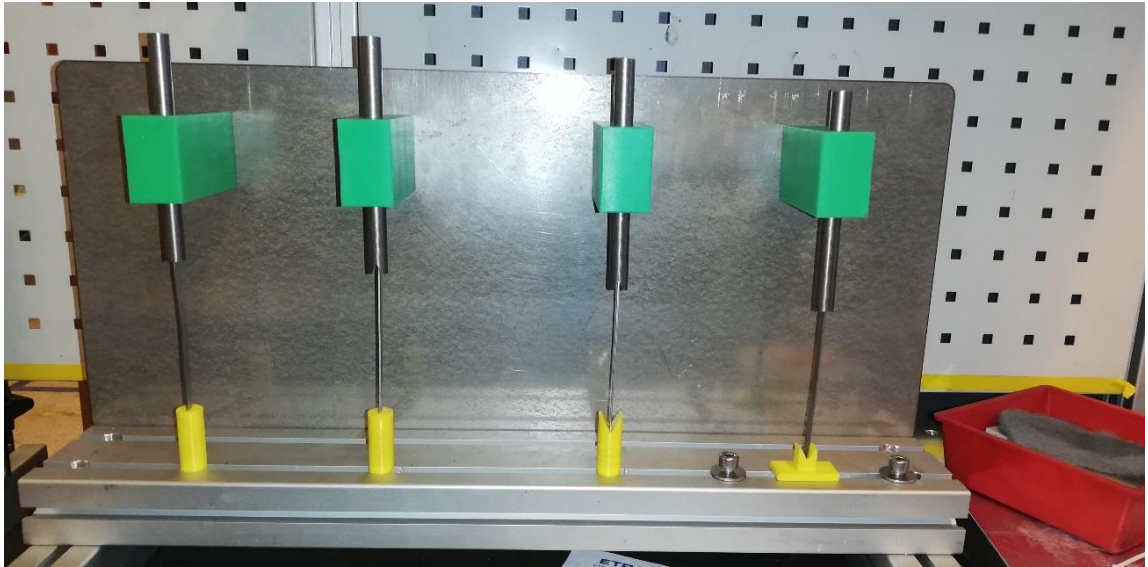
Ainoat työstötapahtumat, joita muovisten ohjuripalojen valmiiksi saattaminen vaatisi oli-
vat 12,5 mm paksun läpireiän sekä M8-kierteellä olevan lukitusreiän poraaminen. Tämä
onnistui ilman suurempia haasteita hyödyntämällä pylväsporakonetta, kierretappeja
sekä työntömittaa reikien kohdistamiseen.



Kuva 10. Nurjahduslaitteiston perusrakenne.

Ohjuripalojen lisäksi oli jo aiemmin mietitty 3D-tulostettujen osien hyödyntämistä laitteistojen osien materiaalina. Ainoa mahdollinen este niiden käytölle olisi ollut niiden rakenteellisen kestävyysriittämättömyys. Tätä tapaa päätettiin kuitenkin testata ennen kuin niitä alettaisiin koneistaa kiinteästä alumiinista. Syy tälle kokeilulle oli jo aiemmin mainittu fakta, että alavasteiden mitoitusten ja muotojen puolesta niiden koneistaminen on haastavaa ja selvästi kalliimpaa kuin tulostaminen. Kuitenkin on huomioitava, että kuten luvussa 3 jo aiemmin mainittiin, tämä ongelma koski ainoastaan nurjahduslaitteistoa. Taitutuslaitteistossa ei tarvita alavasteissa monimutkaisia muotoja ja siksi siihen päätettiin valmistaa alumiiniset alavasteet.

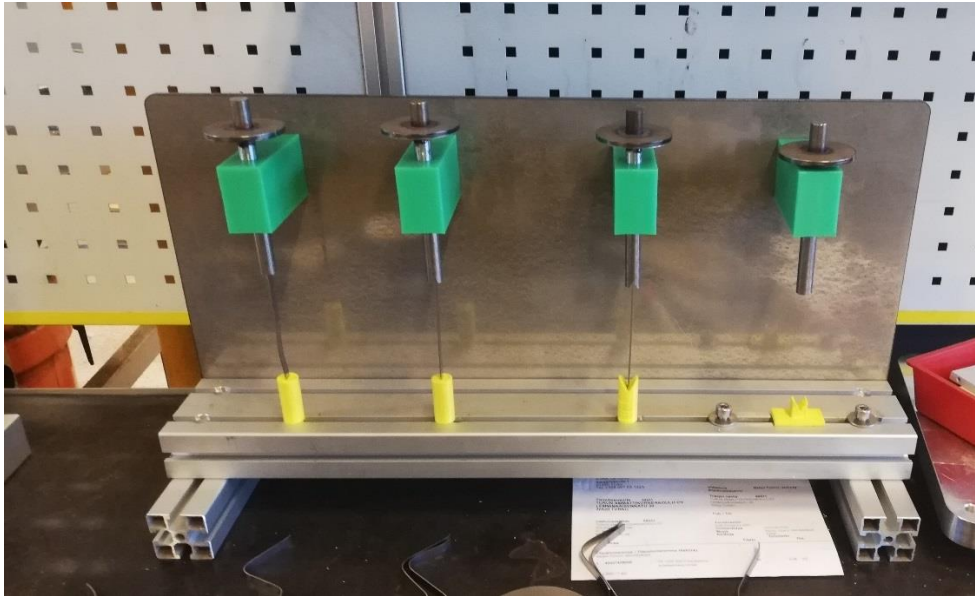
Painotankoihin kohdistettiin noin viidentoista kilon puristusvoima, jotta nähdään, ilmeneekö alavasteissa yhden millin paksuisen testiliuskan kuormituksen aikana jotain kestävyysriittämättömyyteen viittaavaa. Positiiviseksi yllätykseksi tulostetut alavasteet kestivät alustavat rasitustestit ilman minkäänlaisia murtumisen merkkejä. Normaalissa testitilanteessa painoa asetetaan maksimissaan neljän kilon verran, joten voitiin päätellä alavasteiden kestävä normaalin käytön ilman suurta murtumariskiä.



Kuva 11. Alavasteiden sovitus ja konfigurointi nurjahduslaitteistoon.

Alavasteiden onnistuneiden testausten jälkeen alettiin valmistamaan painotankoja, joilla saataisiin kohdistettua haluttu massamäärä suoraan testiliuskoihin. Painotankojen rakenteet olivat muodoiltaan samankaltaisia kuin alavasteet. Niiden materiaalina käytettiin 12 mm paksua S235JR-tankoa, jota oli helposti saatavilla ja jonka oma massa ei ole niin suuri, että se vaikuttaisi merkittävästi testien lopputuloksiin.

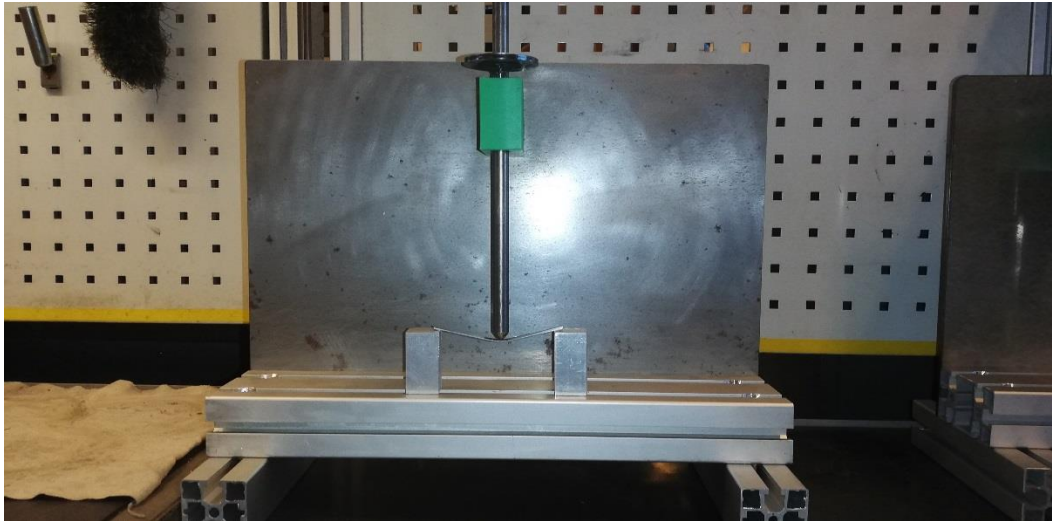
Tankoja tehtiin yhteensä viisi erilaista, joista jokaisella on oma paikkansa testilaitteistoissa. Nurjahduksessa jokaiseen neljään testiin tarvittiin erilaiset koneistukset, jotta niiden avulla saatavat testitulokset näyttäisivät mahdollisimman selkeästi erilaisten tuentojen vaikutukset kappaleen nurjahdukseen. Jokaiseen painotankoon hitsattiin myös kiinni tuentakiekkko, jolla saatiin tankoihin asetettavat punnukset vakaasti tuettua ilman suurta tuennan pettämisen riskiä.



Kuva 12. Viimeistellyt painotangot asennettuna nurjahduslaitteistoon.

Nurjahduslaitteiston tankojen niin sanottujen kuormituspäiden koneistukset menevät suoraan luvussa 2 mainittujen nurjahdustapausten mukaan. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että kahdessa tangossa olisi hieman yli 1 mm paksu ja 9 mm leveä ovaalin muotoinen ura sekä kahdessa muussa tangossa olisi v-mallinen ura.

Taivutuslaitteiston painotanko poikkeaa muista painotangoista siten, että koneistuksen sijaan sen kuormituspäähän hiottiin terävä kärki, jolla saatiin luotua pistemäinen painallus testiliuskaan. Taivutustestin luonteen vuoksi tangon oli myös oltava selkeästi pidempi, jotta saatiin luotua tarpeeksi laaja testausalue.



Kuva 13. Taivutuslaitteiston viimeistelty painotanko asennettuna.

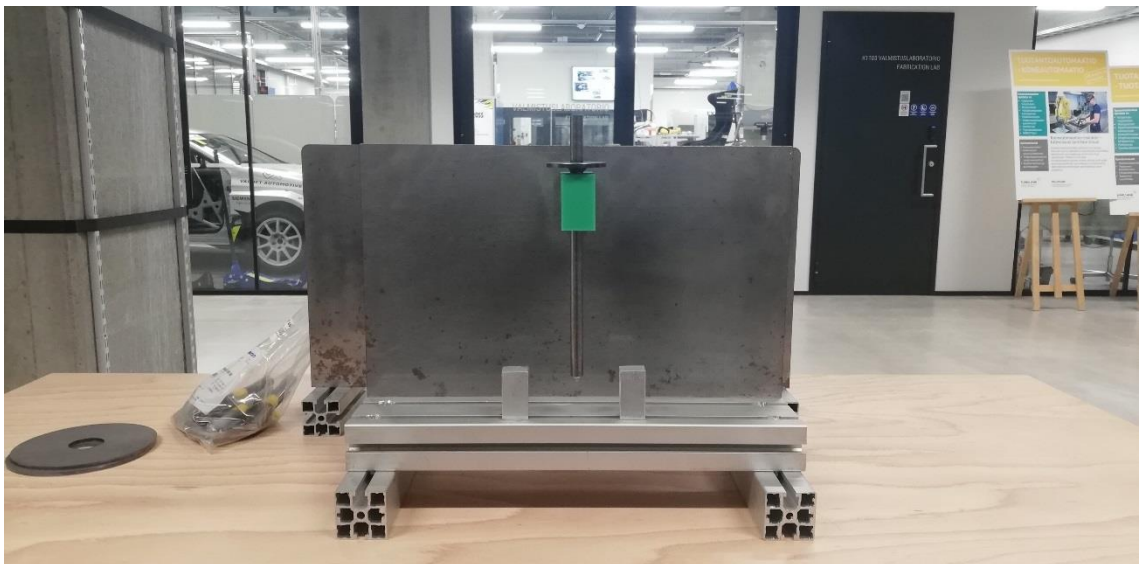
Painotankojen valmistuttua oli vielä yksi asia hoidettavana ennen virallisten testausten aloittamista, joka oli vakioitujen testiliuskojen valmistaminen. Testiliuskoja tarvittiin muutamia erityyppisiä, jotta saataisiin havainnollistettua esimerkiksi materiaalien eri paksuuksien vaikutuksia niiden puristus- ja taivutuskestävyyteen.

Liuskojen materiaalin sekä paksuuden lisäksi pituus oli merkittävä huomio niiden kehityksessä. Osassa testeistä tarvittiin pidempiä liuskoja, jotta ne voitiin suorittaa järkevästi. Tästä syystä testiliuskoja tehtiin 100 mm ja 120 mm pituisina. Tällöin voitiin myös vertailla kappaleen pituuden vaikutusta sen ominaisuuksiin ja saataisiin enemmän testattavia asioita, jolloin laitteistojen opetusarvo nousisi vielä huomattavasti korkeammaksi.

5 LAITTEISTOJEN VIIMEISTELY, TESTAUS JA LUOVUTUS

Laitteistojen valmistuttua ja niiden alustavan hyväksynnän jälkeen oli aika suorittaa viimeistelyprosessi sekä tehdä viimeiset testit ennen niiden luovuttamista. Viimeistelyprosessissa kaikki osat purettiin ja puhdistettiin, jotta voitiin varmistua osien optimaalisesta toimivuudesta testausten aikana. Kaikki kosketuspinnat tarkastettiin ja tarvittaessa hiottiin, jotta välttyttäisiin pieniltäkin ongelmatilanteilta.

Tämän jälkeen laitteistot koottiin takaisin kasaan ja varmistettiin, että kaikki osat olisivat käyttövalmiita ennen testausten aloittamista. Testit käsittivät jokaisella laitteistojen osalla ensiksi kymmenen rasituskoetta, joissa jokaisessa kohdistettiin erilaisia rasituksia iskurasituksesta tasaiseen rasitukseen. Iskurasituksessa painotankoa lyötiin ylhäältä päin kumivasaralla vaihtelevalla, kuitenkin normaalitestejä suuremmalla voimalla, jotta nähtiin, kestävätkö kaikki osat kyseistä rasitusta riittävästi. Tasaisella rasituksella painotankoihin asetettiin eripainoisia kiekkoja ja niiden annettiin vaikuttaa 5 minuuttia per testi. Laitteistot kestivät hyvin rasituskokeet ja missään niistä ei näkynyt silmillä nähtäviä vaurioita.

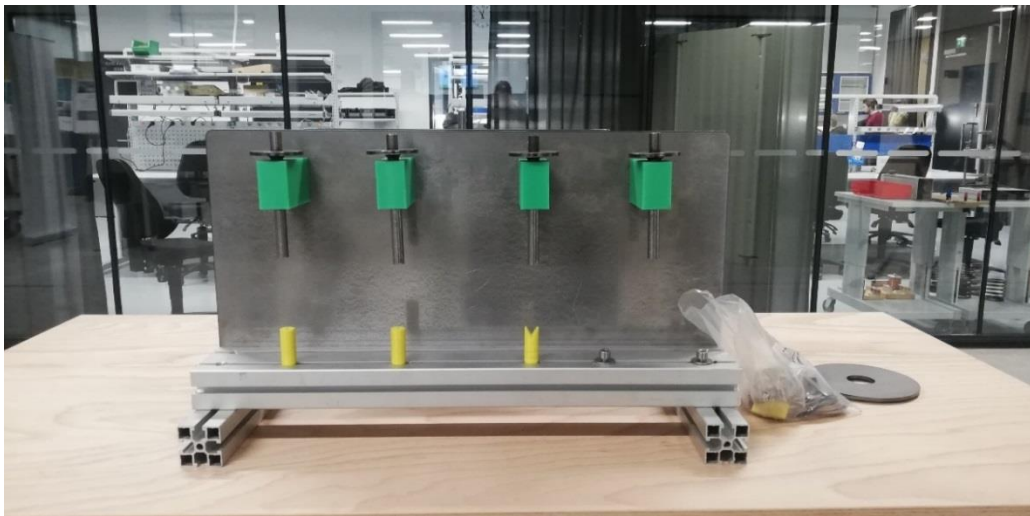


Kuva 14. Valmis Taivutuslaitteisto.

Toisena ja viimeisenä testinä oli lopullista käyttötarkoitusta simuloiva mittauskoe, jossa testattiin, tuottavatko laitteistot tuloksellisesti riittävän selkeitä eroja erilaisilla

materiaaleilla ja massoilla. Kokeessa testilaitteistojen jokaiseen osaan asetettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettu 0,8 mm paksu ja 120 mm pitkä liuska, johon kohdistetaan painotankojen ja -kiekkojen avulla yhteensä 1,5 kilon rasitus. Kokeen suorittamiseksi oli saatava työntömitalla mitattua riittävän suuri eroavaisuus. Taivutuksen määrä todettiin ottamalla painotangon tuentakiekon alapinnan ja ohjuripalan yläpinnan välinen mitta ennen kuorman lisäämistä ja sen jälkeen. Tuloksia mitattaessa saatiin yli 4 mm muutos, joka oli myös selkeästi silmillä havaittavissa. Tämä oli testin suorittamiseksi riittävä tulos.

Nurjahdustapauksissa tapausten väliset erot eivät olleet suuria, koska tuotetun voiman määrä ei ollut riittävän suuri nurjahduksen tuottamiseen. Liuskat kuitenkin saatiin taipumaan riittävästi, jotta eroavaisuudet pystyttiin havaitsemaan ja mittaamaan. Taivutuksessa erot olivat jo selvästi suurempia, koska kappaleen heikoimpaan pisteeseen kohdistettu voima pystyi vaikuttamaan liuskaan vapaasti eikä liuskaa tuettu minkäänlaisella puristavalla voimalla. Tämä mahdollisti taivutuskokeen optimaalisen toiminnan.



Kuva 15. Valmis nurjahduslaitteisto.

Onnistuneiden testausten loppuun saattamisen jälkeen alettiin miettiä laitteistojen lopullista sijoituspaikkaa. Koska laitteistot tulevat opiskelijoiden käyttöön, ne piti sijoittaa paikkaan, johon sekä opiskelijoilla että opettajilla on pääsy. Tämä saatiin ratkaistua sijoittamalla laitteistot EduCityn pohjakerrokseen, jossa ammattikorkeakoululla on useita erilaisia laboratoriotiloja, joissa tehdään käytännön harjoitteita. Laitteistojen sijoittaminen Ammattikorkeakoulun tiloihin mahdollistaa myös vaivattomat ja nopeat kunnossapitotyöt.

6 LOPPUPOHDINTA

Laitteistojen valmistusprosessi onnistui sekä opinnäytetyön tekijän että asiakkaan mielestä mallikkaasti. Projektin käytännön vaiheen alussa kuitenkin oli suurta huolta aikataulussa pysymisestä sekä myös siitä, saadaanko laitteistoja edes valmiiksi. Tämän lisäksi haasteita tuotti suunnittelun kanssa yhteisymmärrykseen pääsy lopullisten konseptien ominaisuuksista sekä mittakaavoista. Kun päästiin aloittamaan itse valmistusprosessi, toiminnasta tuli suoraviivaista ja tehokasta, sillä laitteistojen valmistusvastuu oli vain yhdellä henkilöllä. Tämä mahdollisti myös pienten luovien vapauksien ottamisen, jotta laitteistojen toiminnallisuus, turvallisuus sekä siisteys olisivat vaaditulla tasolla. Valmistusprosessin alkupuolella hyödynnettiin paljon Trial and error-toimintamallia, jossa epäonnistumisista selvitettiin pohjasyitä ja niiden ratkaisun myötä koetettiin uudestaan siihen saakka, että kaikki toimii niin kuin pitäisi. Mitä pidemmälle valmistusprosessi eteni, sitä helpommin sujuivat myös uusien konseptien ja materiaalien testaaminen. Projektin aikana tulleet ongelmat saatiin kuitenkin ratkaistua ilman suurempia vaikeuksia. Selkeät tavoitteet ja visiot helpottivat tämän projektin loppuunsaattamista merkittävästi.

Projektissa pääsi kunnolla näkemään, millaista tuotekehitys on prosessina sekä kuinka paljon laadukas pohjatyö helpottaa itse valmistusta. Sen lisäksi pääsin myös tosissaan haastamaan itseäni sekä testaamaan opittuja taitoja projektissa, jota pidin itselleni tärkeänä. Käytännön opetuksen tärkeys korostuu erityisesti silloin, kun käsiteltävät asiakokonaisuudet ovat haastavia. Laadukkaalla opetuksella mahdollistetaan opiskelijoille vaikeiden kokonaisuuksien sisäistäminen, mikä johtaa ajan kuluessa parempaan ammattitaitoon sekä yleistietämyksen laajenemiseen.

LÄHTEET

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto.

<http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 2012. Lujusoppi. Helsinki: Otatieto Oy

Kolehmainen, K. 2017b. Nurjahtaminen voimayhdistelmänä.

Viitattu 12.12.2021 <https://www.karikolehmainen.com/181>

Mellin, K. 2021. Haastattelu. Turun Koneteknologiakeskus OY:n koneistaja Kari Melliniä haastatteli 2.12.2021 opinnäytetyön tekijä Henri Haltia.

Muovia OY 2021. PE1000-muovin perusominaisuuksista sekä työstämisestä. Viitattu 09.12.2021

https://muovia.com/materiaali/perusmuovit/pe1000/?gclid=CjwKCAiA-9uNBhBTEi-wAN3iINKscCbZ2CQ4iODZvu0HIwdvZhQD2OUqE4CI7mvzdjdSX-lepVPolnxoCqQ0QAvD_BwE

Muoviteollisuus RY. 2021. Muovien Valmistusmenetelmät ja niiden ominaisuuksista. <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/tuotantomenetelmat/>

SFS EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Suunnitteluperiaatteet, riskien arviointi ja niiden pienentäminen.

SFS-EN 1990+A1+AC. Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2006. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

Silvennoinen, S. 2021. Haastattelu. Turun Koneteknologiakeskus OY:n koneistaja Sami Silvennoista haastatteli 18.11.2021 opinnäytetyön tekijä Henri Haltia.

