



Petteri Kurkola

Automaattisen alumiiniprofiiliporalinjan mekaniikan suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

4.3.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Petteri Kurkola
Otsikko:	Automaattisen alumiiniprofiiliporalinjan mekaniikan suunnittelu
Sivumäärä:	41 sivua + 8 liitettä
Aika:	4.3.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Toimitusjohtaja Tommi Jokinen, Da-team Oy Lehtori Pekka Hirvonen, Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tässä insinööriyössä suunniteltiin Da-team Oy:lle tehokkaampi ja vaivattomampi alumiiniprofiilien työstötapa nykyisen manuaalisen menetelmän tilalle.

Työssä valittiin sopivat sekä järkevät komponentit poralinjaan. Näiden komponenttien ympärille suunniteltiin toimiva ja helposti valmistettavissa oleva runko. Työn teoriaosassa esiteltiin ja tutkittiin erilaisia voimansiirron komponenttivaihtoehtoja. Kun voimansiirron toteutustavat olivat selvillä, esiteltiin laitteen suunnittelun eri vaiheita. Vaihe vaiheelta rakennettiin poralinjan 3D-mallia ja keksittiin ratkaisuja kokoonpanolle. Rungon selkeydyttyä etsittiin sopivat komponentit muun muassa poralle ja paineilmasyntereille. Kaikkien komponenttien löydyttyä mallinnettiin poralinja valmiiksi. Poralinjan rakenteen valmistuttua, lisättiin lopuksi tarvittavat kiinnikkeet kuten ruuvit, mutterit, reiät ja kierteet. Insinööriyön lopputuloksena oli suunnitelma mekaniikaltaan toimivasta poralinjasta.

Valmiista 3D-mallista tehtiin Da-team Oy:lle tarvittavista osista ja komponenteista osakuvat tulevaa laitteen rakennusta varten (liitteet 1–7).

Avainsanat: 3D-mallinnus, Solidworks, mekaniikka

Abstract

Author: Petteri Kurkola
Title: Mechanical Design of an Automatic Aluminium Profile Drill Station
Number of Pages: 41 pages + 8 appendices
Date: 4 Mar 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Tommi Jokinen, CEO Da-team Oy
Pekka Hirvonen, Senior Lecturer Metropolia University of Applied Sciences

The objective of this Bachelor's thesis was to design a more efficient and more effortless processing method of aluminum profile for Da-team Oy to replace the current processing method.

The thesis selected suitable and sensible components for the drill station. A frame, that is functional and easy to manufacture, was designed around these selected components. The theory section of the thesis contains presentations and research of different transmission components. Different phases of designing the machine are presented after the transmission components are selected. The 3D-model of the drill station was built phase by phase and solutions for the assembly were discovered. After modeling the frame of the drill station suitable components for the drill and pneumatic cylinders were selected. Once selecting all the components, the final assembly of the drill station was made. After completing the drill station, the required hardware was added. This includes screws, nuts, holes, and threads. The result of this Bachelor's thesis was a design of a mechanically functional drill station.

Part drawings of the 3D-model were made (appendices 1-7) of the required parts and components. These drawings can be used in the future building of the machine.

Keywords: 3D-modeling, Solidworks, mechanics

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yrityksen esittely	1
1.2	Työn tavoitteet	1
2	Valmiiden poralinjojen kartoitus	2
2.1	Hisena CNC -poralinja	2
2.2	Glorious machinery -poralinja	3
3	Alumiinin poraaminen	4
4	Valmistettavuus ja kokoonpantavuus	5
4.1	Valmistettavuus	5
4.2	Kokoonpantavuus	6
5	Konsepti	7
5.1	Pohjatietojen selvitys	7
5.2	DFA ja DFM poralinjan suunnittelussa	8
5.3	Voimansiirron komponentteja	8
5.4	Voimansiirron komponenttien valinta	12
5.5	Lineaarijohteet	13
5.6	Konseptin mallinnus Solidworksilla	13
6	Poralinjan suunnittelu ja mallintaminen	19
6.1	U-rungon muutokset	19
6.2	Lineaarijohteet ja -kelkat	22
6.3	Pora	23
6.4	Välikatsaus	26
6.5	U-rungon kehittäminen	27
6.6	Toinen välikatsaus	31
6.7	Y- ja Z-akselin kiinnityksen parantaminen	31
6.8	Lineaarikelkkojen vaihto	32
6.9	Porattavan aihion lukitusmekanismi	34
6.10	Valmis poralinja	37

7	Lopputulos	38
7.1	Poralinjan hinta-arvio	38
7.2	Tulosten analysointi	38
8	Yhteenveto	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1: Kolmiolevyn osakuva	
	Liite 2: Kolmiolevyjen välilevyn osakuva	
	Liite 3: Lineaarikelkkojen kiinnityslevyn osakuva	
	Liite 4: Lineaarikelkkojen toisen kiinnityslevyn osakuva	
	Liite 5: Poran kiinnityslevyn osakuva	
	Liite 6: Lukitus sylinterien yhdistämiskappaleen osakuva	
	Liite 7: Poralinjan kokoonpanokuva ja osaluettelo	
	Liite 8: Hintataulukko	

Lyhenteet

CNC: *Computerized Numerical Control*. Tietokoneistettu numeerinen ohjaus.

CAD: *Computer-aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.

DFM: *Design for Manufacturability*. Valmistettavuus.

DFA: *Design for Assembly*. Kokoonpantavuus.

1 Johdanto

Tuotantotapoja pyritään aina saamaan entistä tehokkaammiksi ja vaivattomammiksi. Tämä lisää tuotantotehokkuutta, sekä säästää yrityksen aikaa ja pienentää kustannuksia. Etenkin nykypäivänä tekniikan kehittyessä käsin tehtäviä työvaiheita korvataan automatisoiduilla koneilla. Nykytekniikalla automatisoidut koneet kykenevät erittäin haastaviinkin työtehtäviin, ja jopa moninkertaisella nopeudella ihmiseen verrattuna.

1.1 Yrityksen esittely

Tämän insinööriyön toimeksiantajana on Da-team Oy. Da-team Oy on Salossa toimiva automaatioon ja robotiikkaan erikoistunut yritys, ja se on perustettu vuonna 2009. Da-team Oy tekee hyvin laajasti erityyppisiä automatisointiratkaisuja. Pääasiallisia tuotteita, jota Da-team Oy tuottaa, ovat automatisoidut tehtaot tai sen osat. Usein asiakkaat haluavat korvata käsin toimivan tehtaon automatisoidulla koneella tai koneilla, joilla tuotantolinjasto saadaan automaattiseksi.

1.2 Työn tavoitteet

Insinööriyön aihe syntyi Da-team Oy:n kesän 2021 aikaisesta projektista, jonka pääasiallinen runkomateriaali oli alumiiniprofiili. Alumiiniprofiilia käytettiin kokonaisuudessaan useita satoja metrejä. Miltei jokaiseen alumiiniprofiiliin porattiin reikiä, joista jokainen tehtiin käsin pylväsporakoneella. Tämä vei hyvin monta työtuntia, sekä poisti yhden työntekijän merkittäväksi ajaksi muista työtehtävistä. Insinööriyön tavoitteena on siis suunnitella poralinja, joka suoriutuu alumiiniprofiilin työstöstä vaivattomammin manuaaliseen työstötapaan verrattuna. Suunniteltava poralinja tulisi Da-team Oy:n omaan käyttöön osaksi sen työkaluvälineistöä.

2 Valmiiden poralinjojen kartoitus

Valmiita alumiiniprofiilien poralinjoja on myös saatavilla markkinoilla. Ne ovat kuitenkin tarkoitettu suurempaan tuotantoon verrattuna tässä insinööriyössä suunniteltavaan poralinjaan. Markkinoilta jo löytyvät poralinjat ovat suunniteltu tehtaille, jotka ovat keskittyneet suureen alumiiniprofiilin tuotantoon ja prosessointiin. Tässä insinööriyössä suunniteltava poralinja ei kuitenkaan ole tarkoitettu suurtuotantoon, kuten myöhemmin esiteltävät kaupalliset poralinjat. Tämän insinööriyön poralinja on tarkoitettu työkaluksi Da-team Oy:lle helpottamaan laitteiden alumiiniprofiilista koostuvien runkojen valmistuksessa. Samantapaista poralinjaa ei internetistä löytynyt, vaan löytyneet poralinjat ovat nimenomaan suureen tuotantoon, eivätkä vaihtelevaan ja melko vähäiseen käyttöön. Seuraavana esiteltä kaksi markkinoilta löytyvää poralinjaa.

2.1 Hisena CNC -poralinja

Hisena CNC on kiinalainen CNC (Computerized Numerical Control) -laitteita valmistava yritys. Heidän valikoimastaan löytyi alumiiniprofiilin poralinja, joka myös poraa reikiä alumiiniprofiiliin. Hisena CNC:n laitteessa on useampi pora (kuva 1). Tästä käy ilmi, että laite on tarkoitettu paljon suurempaan tuotantoon. Hisena CNC:n tuotesivulla lukee myös, että tuote on tarkoitettu ”jättimäiseen tuotantoon”. Tämä poralinja olisi Da-team Oy:n käyttöön aivan liian järeä ja turha, koska sillä ei ole tarvetta näin suuren kapasiteetin poralinjalle. (1.)



Kuva 1. Hisena CNC:n poralinja (Hisena CNC, 2021)

2.2 Glorious machinery -poralinja

Glorious machinery on myös kiinalainen CNC-laitteiden valmistaja. Sen valikoimasta löytyy myös alumiiniprofiilin poralinja (kuva 2). Erona Hisena CNC:n poralinjaan on porien määrä. Glorious machineryn poralinjassa on vain yksi pora, joka tekee tästä poralinjasta melko samankaltaisen kuin tässä insinööriyössä suunniteltava poralinja. Rakenteeltaan Glorious machineryn poralinja on kuitenkin hieman erilainen. Sen X-akselin liike ei kulje poralinjan ympärillä, vaan ainoastaan sen toisella sivulla. Pora on ikään kuin varren päässä, ja tämä varsi kulkee X-akselilla. Se on myös hyvin paljon järeämpi, ja se painaa huimat 1400 kg. (2.)



Kuva 2. Glorious machineryn poralinja (Glorious machinery, 2021)

3 Alumiinin poraaminen

Alumiinin työstöominaisuudet ovat todella hyvät. Lastuava työstö on helppoa sen pienen tiheydensä vuoksi. Alumiinia työstettäessä voidaan käyttää esimerkiksi teräksen työstöä suurempia työstönopeuksia, koska työstön aikana lämpötila pysyy maltillisena. Työstössä ei saa kuitenkaan käyttää liian pieniä syöttönopeuksia, sillä silloin lastuava työstö voi muuttua hiomiseksi. Hiominen aiheuttaa ylikuumenemisen, joka vahingoittaa työkalua. (3, s. 162–175.)

Poralinjan optimaalisen porausjäljen ja poranterän käyttöiän takaamiseksi on selvitettävä sopivat pyörimisnopeudet poralle. Poralinjaan tulevan poran valinnassa on siis huomioitava, että sen pyörimisnopeudet ovat riittävät alumiinin työstöön.

4 Valmistettavuus ja kokoonpantavuus

Poralinjan hyvän ja yksinkertaisen rakenteen takaamiseksi insinööriyössä tutustuttiin käsitteisiin valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Näiden käsitteiden avulla poralinjan tuleva valmistus ja kokoonpano saataisiin mahdollisimman helpoksi. Myös valmistuskustannukset pysyisivät mahdollisimman alhaisina.

4.1 Valmistettavuus

Valmistettavuus, eli DFM (Design for Manufacturability), tarkoittaa menetelmiä, jotka yksinkertaistavat tuotteen rakenteen valmistamista. Menetelmiin kuuluu myös tuotteen valmistuskustannuksien pitäminen mahdollisimman pieninä. Tarkemmin DFM on tietokantapohjainen systemaattinen tuotekehitysmenetelmä. Sillä on suosituksia, tarkistuslistoja, peruseriaatteita sekä peukalosääntöjä, joiden avulla tuotekehittäjät voivat suunnitella tuotteen helpommin valmistettavaksi. Näitä apuvälineitä käyttämällä tuotteesta saadaan myös toimivampi, luotettavampi, esteettisempi ja helpommin huollettava. DFM:n tärkein tavoite on kuitenkin alentaa valmistuskuluja, joka tapahtuu tuotekehittäjien ja tuotevalmistajien välillä. (5, s. 13.)

Hyvän valmistettavuuden takaamiseksi suunnittelutyössä on hyvä käyttää DFM:n sisältyviä tapoja. Kun suunnittelutyö alkaa, on hyvä olla mahdollisimman paljon pohjatietoa suunniteltavasta tuotteesta. Kun yritetään etsiä ratkaisua, koitetaan etsiä sitä kilpailevilla tavoilla parhaan ratkaisun löytämiseksi. Jos suunnittelussa kohdataan ongelmia, ongelmanratkaisussa on hyvä kääntyä vanhempien, kokeneempien suunnittelijoiden puoleen. Apu kokeneemmilta suunnittelijoilta ehkäisee vanhojen virheiden tekemistä, ja toimii käytännön harjoituksena nuoremmalle suunnittelijalle. Kommunikointi tuotannon ja suunnittelutiimin välillä pitäisi olla avointa ja ripeää. Jos tuotannossa huomataan jokin epäkohta, tulisi siitä kertoa heti suunnittelutiimille. Näin voidaan nopeasti korjata tilanne suunnittelemalla tuotteelle parempi valmistusmenetelmä tai kokonaan uusi ratkaisu tuotannon helpottamiseksi ja ennen kaikkea tuotannon kustannusten pienentämiseksi. (5, s. 23–25.)

4.2 Kokoonpantavuus

Kokoonpantavuus, eli DFA (Design for Assembly), tarkoittaa ominaisuutta, jonka avulla tuotteen kokoonpano on laadukasta ja kustannustehokasta. DFA:n tavoitteena on yksinkertaistaa tuotteen rakennetta ja kokoonpanotyötä. Useimmiten tämä näkyy eri osien toimintojen yhdistämisenä ja tuotteen osien lukumäärän vähentämisenä. Tämä DFM:n tavoin lisää tuotteen toimivuutta ja luotettavuutta, sekä helpottaa sen huollettavuutta. Kokoonpantavuuden keskeisenä menetelmänä on DFM:n kaltaisesti tiivis yhteistyö tuotekehittäjien ja kokoonpanotiimin välillä. Kokoonpantavuutta pidetään yleisesti tärkeämpänä kuin valmistettavuutta, koska kokoonpanoon kuluu enemmän työtä. Kun kokoonpanotyöstä tehdään mahdollisimman yksinkertainen, aikaa kuluu vähemmän, jolloin kulut laskevat. (5, s. 69–70, 6, s. 13.)

DFA:ta voidaan soveltaa olemassa oleviin tuotteisiin ja niiden parantamiseen tekemällä lista tuotteen osista. Nämä osat käydään läpi yksitellen, ja mietitään, onko osa tarpeellinen tuotteen toimivuuden kannalta, vai voiko sen jättää pois rakenteen yksinkertaistamiseksi. Tuotteen toimivuuden kannalta välttämättömät osat pidetään ennallaan. Osia voidaan myös muokata sillä tavoin, että esimerkiksi sen kiinnittämiseen tarvittavia osia vähennetään. Rakenteen yksinkertaistumisen lisäksi tuotteen valmistuskustannukset vähenevät pienemmän osien lukumäärän vuoksi. (7, s. 11–13.)

Uutta tuotetta suunniteltaessa DFA:n mukaan on osista suunniteltava mahdollisimman symmetrisiä. Jos tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, on osista pyrittävä suunnittelemaan mahdollisimman epäsymmetrisiä. Huomioon on myös otettava osien säilöminen. Osista pitäisi suunnitella sellaisia, että niitä varastoidessa päällekkäin pinoissa, ne eivät tarraudu tai jää toisiinsa jumiin. Myös toisiinsa tarttuvia, liukkaita tai hauraita osia tulisi välttää mahdollisuuksien mukaan. Osien tulisi yhdistyä toisiinsa ilman suurta vastusta, tai ilman vastusta ollenkaan. Tätä helpottaa osiin tehdyt viisteet ja pyöritykset. (7, s. 73.)

5 Konsepti

Insinööri työ alkoi konseptin suunnittelulla. Konseptin pohjalta keskustellaan ja mietitään parannuskeinoja sekä muutoksia varsinaiseen laitteeseen. Konseptin luonti alkoi keskustelulla Da-team Oy:n kanssa koskien laitteen perusmittoja sekä muuta rakennetta.

5.1 Pohjatietojen selvitys

Päällimmäisenä aiheena oli laitteen mitat, joihin perustuu laitteeseen asetettavan alumiiniprofiiliahion koko. Laitteeseen mahtuvan profiiliahion maksimi- ja minimileveydet määräytyivät saatavilla olevien profiilimallien mukaan, jotka ovat 25 mm:stä 180 mm:iin. Alustavaksi maksimipituudeksi päätettiin 4000 mm. Alustavat mitat aihiolle päätettiin siis olevan 25–180 x 4000 mm, joiden perusteella laitetta alettiin suunnittelemaan.

Alustavien mittojen selvityksen jälkeen keskusteltiin laitteen rakenteesta. Laitteen liikkuva osa eli porausyksikkö tehtäisiin suorakulmaisesta teräsputkesta ikään kuin U:n muotoiseksi, porattavan profiiliahion ympärillä kulkevaksi asemaksi. Tähän ”U-runkoon” kiinnitettäisiin poran Y- sekä Z-liike.

Da-team Oy:n yleisimmät koot porattaville rei'ille ovat 6 mm ja 8 mm. Näitä pienempiä tai suurempia reikiä ei juurikaan porata. On siis selvitettävä oikeat ja sopivat porausnopeudet näiden poranterien halkaisijoille. Porausnopeudet saadaan selville kaaviosta (4, s. 70), josta löytää myös muiden materiaalien työstönopeuksia. Kaavion mukaan sopiva porausnopeus 6 mm terälle on 5000 kierrosta minuutissa, ja 8 mm terälle 3500 kierrosta minuutissa. Porausnopeus pienenee poranterän halkaisijan kasvaessa. Saatujen tietojen perusteella on valittava pora, joka kykenee vähintään 5000 kierrokseen minuutissa.

5.2 DFA ja DFM poralinjan suunnittelussa

Poralinjaa suunniteltaessa DFA ja DFM näkyi muun muassa sen rakenteen yksinkertaisuudessa. DFA:n menetelmien mukaisesti mietittiin, oliko osa tarpeellinen vai voiko sen korvata yksinkertaisemmalla tavalla. Näin rakenteeseen ei joutunut turhia osia, ainoastaan välttämättömät.

Ongelmatilanteen sattuessa käännyttiin Da-team Oy:n kokeneempien suunnittelijoiden puoleen DFM:n mukaisesti, jolloin saatiin ohjeita ja vinkkejä suunnittelun edistämiseen.

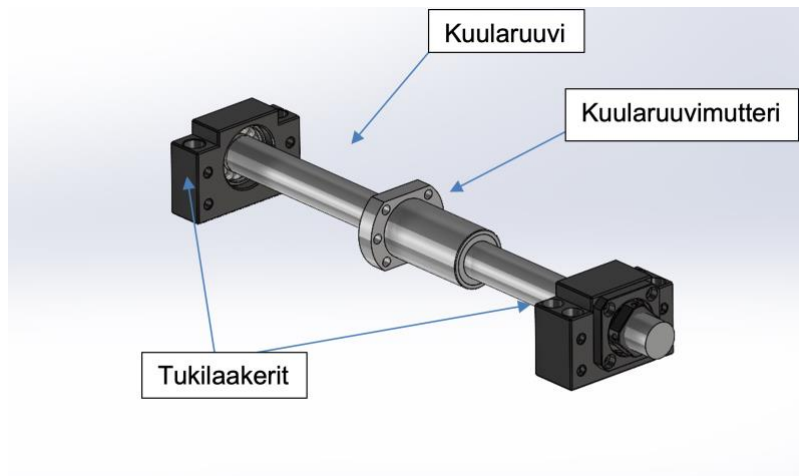
5.3 Voimansiirron komponentteja

Poralinjan X-, Y- ja Z-liikkeiden liikuttamista varten on valittava niille sopivat ja toimivat voimansiirtoratkaisut. Sopivien valintojen tekemiseksi verrataan erityyppisiä voimansiirtoratkaisuja keskenään, ja näin valitaan paras ratkaisu kullekin akselille.

Kuularuuvi

Kuularuuvi (kuva 3) on yksi yleisimmin käytetyistä lineaariliikkeen toteutustavoista. Se on mekaaninen lineaarijohde, joka muuttaa pyörimisliikkeen lineaarisesti liikkeeksi. Kuularuuvi koostuu tangosta, joka on kierteitetty. Tämä

kierre muodostaa uran, jota pitkin kuularuuvimutterin sisältämät kuulat kulkevat.
(8.)



Kuva 3. 3D-malli kuularuuvista

Kuularuuvimutteri on osa, joka liikkuu kuularuuvia pitkin mutterin tavoin. Se sisältää kuulia, jotka kulkevat pitkin kuularuuvin uria laakerin kaltaisesti. Käytetyt toleranssit ovat niin pieniä, että kuularuuvia voidaan käyttää suuriakin tarkkuuksia vaativissa tehtävissä. (8.)

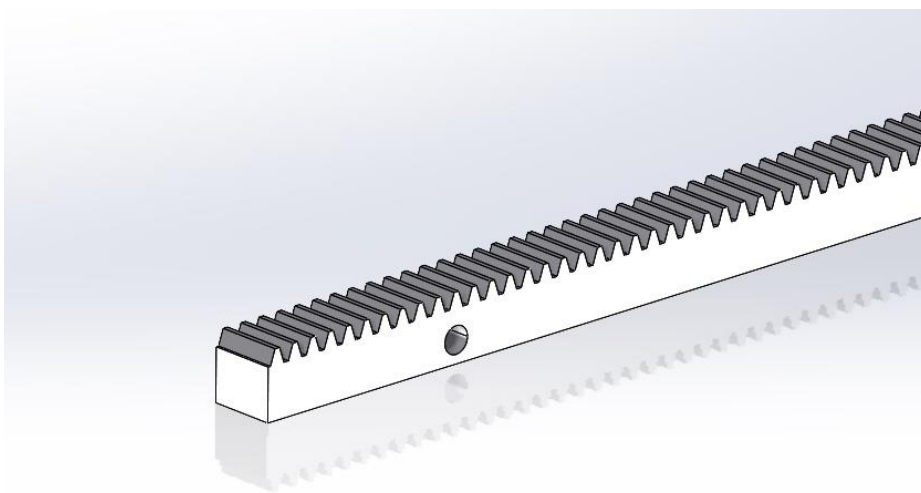
Kuularuuvin voimankesto on erinomainen, ja sitä voidaan käyttää suurtenkin kuormien kanssa. Sitä ei kuitenkaan voida käyttää kovin pitkissä liikkeissä. Kuularuuvin ollessa hyvin pitkä, se alkaa täristä pyöriessään. Tätä ei-toivottua ilmiötä voidaan ehkäistä kasvattamalla kuularuuvin halkaisijaa. Kuitenkin suurten kuularuuvien käyttö voi käyttötarkoituksesta riippuen olla tarpeeton, koska pitkille liikkeille on olemassa järkevämpiäkin toteutustapoja.

Kuularuuvi on tuettu päädyistään tukilaakereilla. Näiden tukilaakereiden avulla tapahtuu myös kuularuuvin kiinnitys laitteeseen. Kuularuuvin toiseen päähän kiinnitetään moottori, joka pyörittää kuularuuvia. Kun kuularuuvimutteri on kiinnitetty liikutettavaan kappaleeseen, se ei pääse pyörimään vapaasti

kuularuuvilla. Tämä saa kuularuuvimutterin liikkumaan lineaarisesti kuularuuvia pitkin.

Hammastanko

Hammastanko (kuva 4) on myös yleisesti käytetty mekanismi lineaariliikkeen toteutuksessa. Se on rakenteeltaan kuularuuvia yksinkertaisempi. Se koostuu ainoastaan kahdesta osasta, itse hammastangosta, ja sen vastakappaleesta eli hammasrattaasta, jota pyöritetään sähkömoottorilla. Hammastankoa liikuttaa hammasratas, jossa on sama hammastus kuin hammastangossa. (9.)



Kuva 4. 3D-malli hammastangosta

Toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Hammastanko kiinnitetään laitteen runkoon ja hammasratas moottoriin. Kun ratas ja moottori kiinnitetään niin, ettei se liiku hammastangon suhteen, rattaan pyöriessä hammastanko liikkuu lineaarisesti. Hammastanko ja ratas voidaan kiinnittää myös toisinpäin, jolloin rattaan pyöriessä ratas ja moottori liikkuvat. Tällöin hammastanko pysyy paikoillaan.

Hammastanko on hyvä ratkaisu, kun tarvitaan todella pitkiä lineaariliikkeitä. Hammastangon pituudella ei ole mitään rajaa, toisin kuin esimerkiksi kuularuuvilla. Hammastangon tarkkuus pysyy samana sen pituudesta huolimatta, ja niistä on helppo koota minkä tahansa pituinen.

Hammashihna

Hammashihna on kolmas hyvin yleinen voimansiirtomekanismi lineaariliikkeissä. Hammashihnan toiminta perustuu kahteen hihnapyörään, joiden ympärillä hihna on (kuva 5). Toista hihnapyörää pyöritetään, jolloin hihna liikkuu. Hihnaan kiinnitetty kelkka liikuttaa haluttua toimilaitetta.



Kuva 5. Hammashihna ja hammaspyörät

Hammashihna on hyvä valinta pitkille lineaariliikkeille, joissa tarvitaan suuria nopeuksia. Sen tarkkuus ei kuitenkaan ole niin hyvä kuin esimerkiksi kuularuuvissa. Tämän aiheuttaa muun muassa hihnan pieni jäykkyys. Hammashihnan huoltotarpeet ovat hyvin pienet verrattuna muihin

mekanismeihin. Se ei esimerkiksi tarvitse ollenkaan rasvausta tai muita huoltotoimenpiteitä, vaan on lähes huoltovapaa. (10.)

5.4 Voimansiirron komponenttien valinta

X-akseli

X-akselin (pitkittäisakselin) voimansiirrossa käytetään hammastankoa. Koska X-akselin liike on melko pitkä (4500 mm), ei siinä olisi järkevää käyttää kuularuuvia, sillä pituutensa vuoksi kuularuuvien halkaisija olisi kasvatettava epäkäytännöllisen isoksi. Parempi ratkaisu pitkään liikkeeseen on hammastanko. Näin voidaan toteuttaa pitkä liike tarkkuudesta tinkimättä. Hammastanko on myös hammashihnaa parempi toteutustapa, koska hammashihnan tarkkuudet eivät ole niin suuret kuin hammastangolla.

Y-akseli

Y-akselin (sivuttaisakselin) voimansiirto toteutetaan kuularuuvilla. Kuularuuvi on erittäin hyvä vaihtoehto tämän liikkeen toteuttamiseen, koska se on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, ja se mahtuu pieneen tilaan. Sen kiinnittäminen on myös helppoa, eikä se vaadi monimutkaisia kiinnikkeitä. Kuularuuvien tarkkuus on myös erinomainen. Y-akselin liikkeen pituus oli oltava noin 400 mm, jotta pora ylittäisi poraamaan 180 mm leveää alumiiniprofiilia sen koko leveydeltä.

Z-akseli

Z-akselin (pystyakselin) liike pyritään toteuttamaan sisäänrakennettuna itse poraan, mikäli sopiva komponentti löytyy. Näin Z-akselin liike ei tarvitsisi erillistä voimansiirtoa. Tämän ansiosta rakenteesta tulisi paljon yksinkertaisempi ja kevyempi. Ellei kyseistä Z-liikkeellä varustettua poraa löydy, liike toteutetaan Y-akselin kaltaisesti kuularuuvilla. Z-liikkeen pituus täytyi olla noin 600 mm, jotta pora pääsisi tarpeeksi alas läpäistäkseen porattavan alumiiniprofiilin, mutta silti noustakseen tarpeeksi ylös.

5.5 Lineaarijohteet

Lineaarijohteet ovat yleinen tapa saada kuormat liikkumaan kevyesti liikerataansa. Edellä läpikäytyt voimansiirtokomponentit eivät yksin riitä laitteen akselien liikkeisiin, vaan ne tarvitsevat rinnalleen lineaarijohteet, joita pitkin ne voimansiirron avulla liikkuvat. Lineaarijohteet toimivat laakerin tavoin. Lineaarijohde itse on uritettu tanko, jossa lineaarikelkka liukuu hyvin pienellä kitkalla. Linearikelkan sisällä on kuulia, jotka kulkevat lineaarijohteen urissa saman tyyppisesti kuin kuulalaakerissa.

Tämän laitteen voimansiirron yhteydessä käytetään lineaarijohteita. Jokainen akseli (X, Y ja Z) liikkuu lineaarijohteita pitkin.

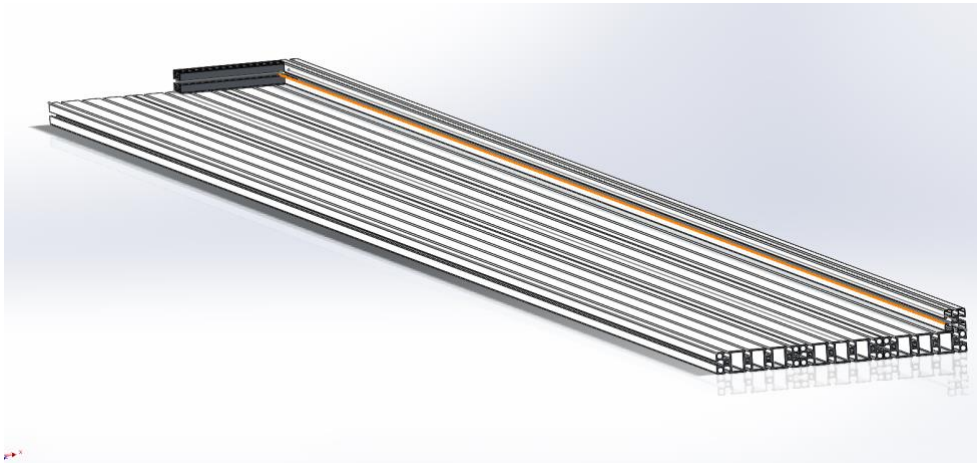
5.6 Konseptin mallinnus Solidworksilla

Edellä mainittujen lähtöselvityksien ja -tietojen perusteella tehtiin ensimmäinen varsinainen konseptimalli 3D-mallintamalla. Tämän 3D-mallin pohjalta tehtiin havaintoja ja mietittiin, onko laitteessa parannettavaa tai lisättävää, vai pitikö rakennetta muuttaa huomattavasti erilaiseksi. 3D-mallinnus tapahtui Solidworks-mallinnusohjelmalla, joka on Da-team Oy:llä käytössä.

Poralinjan pohja

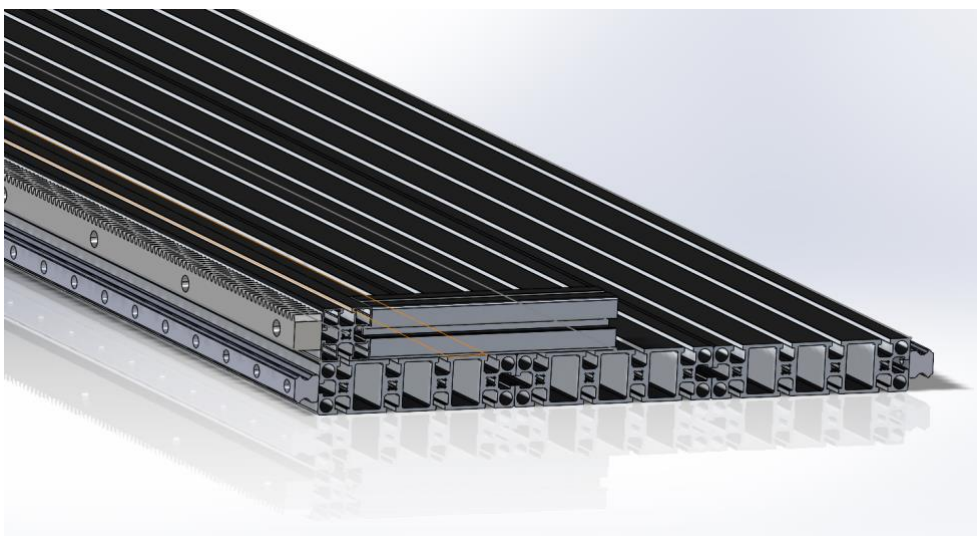
Laitteen ensimmäinen mallinnettava osa oli sen pohjataso (kuva 6), jota vasten profiiliahio asetetaan. Pohjataso koostuu kolmesta 45 x 180 mm alumiiniprofiilista, jotka ovat asetettu vierekkäin muodostaen 540 mm leveän tason. Tason pituus on 4500 mm, sillä siihen on mahdollista 4000 mm pitkä profiiliahio. Tason oikeaan sivuun on asetettu koko sivun pituinen 45 x 45 mm alumiiniprofiili, ja tason toiseen pätyyn 200 mm pituinen alumiiniprofiili. Nämä alumiiniprofiilit toimivat ohjurina porattavalle profiiliahiolle. Ahio työnnetään

ensin käsin lyhyttä alumiiniprofiilia vasten, jonka jälkeen paineilmasylinterit painavat aihion pitkää alumiiniprofiilia vasten.



Kuva 6. 3D-mallinnettu pohjalinjan pohjataso

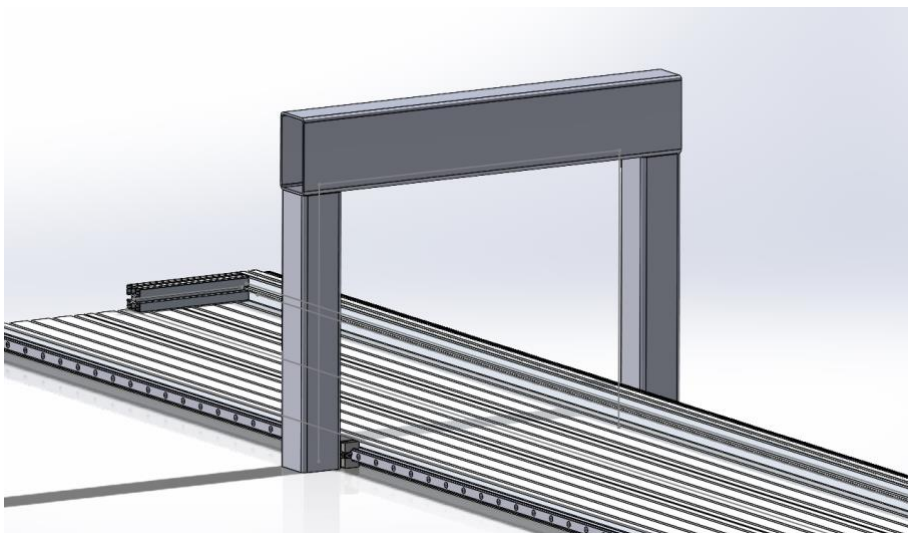
Pohjatason mallintamisen jälkeen lisättiin sen sivuille 25 mm leveät lineaarijohteet (kuva 7). Näitä lineaarijohteita pitkin tulisi kulkemaan aiemmin mainittu U-runko, johon pora on kiinnitetty. Jotta U-runkoa pysyttäisiin myös ajamaan, tarvitaan sille jokin voimansiirto, tässä tapauksessa hammastanko. Hammastanko asetetaan lineaarijohteen yläpuolelle samaan tapaan kuin lineaarijohde.



Kuva 7. Lineaarijohteet ja hammastanko pohjatason sivuilla

U-runko

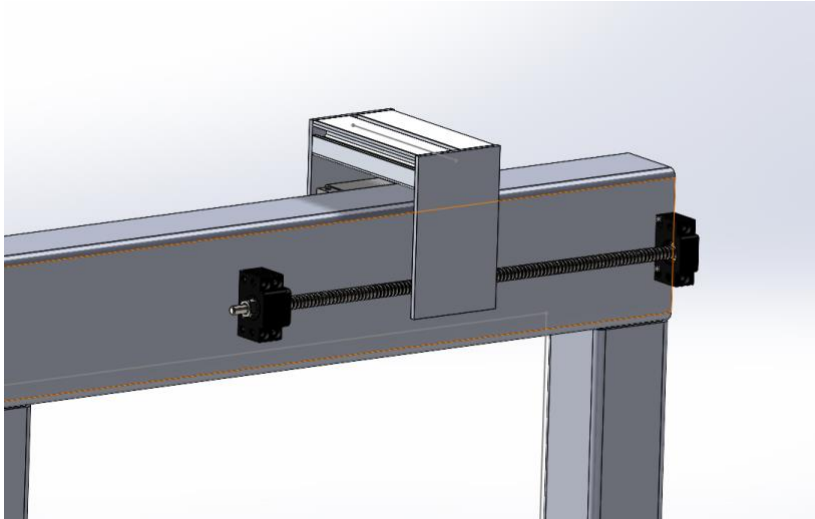
Seuraavaksi malliin lisättiin U-runko (kuva 8). Se on pohjatason ympärillä kulkeva poraa kannatteleva runko. U-runko kulkee pohjatason sivuilla olevia lineaarijohteita pitkin. Siihen on kiinnitetty kaksi lineaarijohdetta, joiden avulla U-runko kiinnittyy lineaarijohteisiin. U-runko koostuu kolmesta teräsputkesta. Pystysuorat palkit ovat 80 x 80 mm teräsputkea ja vaakasuora palkki on 140 x 80 mm teräsputkea.



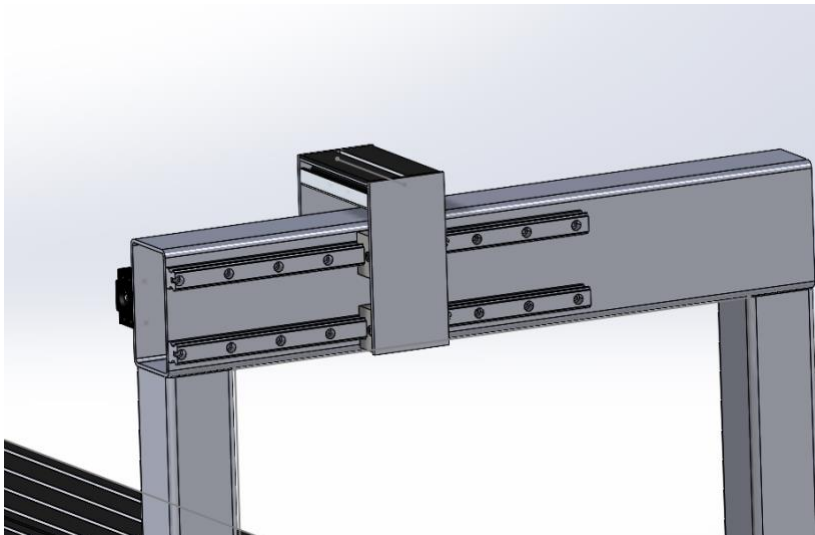
Kuva 8. U-runko

Y-akselin voimansiirto

U-runkoon kiinnitettiin Y-akselin (sivuttaisakselin) voimansiirto, eli kuularuuvi (kuva 9). Kuularuuvi liikuttaa poran kiinnityslevyä. Poran kiinnityslevy on yhteydessä palkin toisella puolella olevaan levyyn, joka puolestaan on kiinnitetty kahteen lineaarikelkkaan. Nämä lineaarikelkat kulkevat kahdessa lineaarijohteessa. (kuva 10). Kuularuuvia pyöritettäessä poran kiinnityslevy liikkuu Y-akselin suuntaisesti ja saadaan tarkasti ajettua haluttuun pisteeseen.



Kuva 9. Y-akselin kuularuuvi

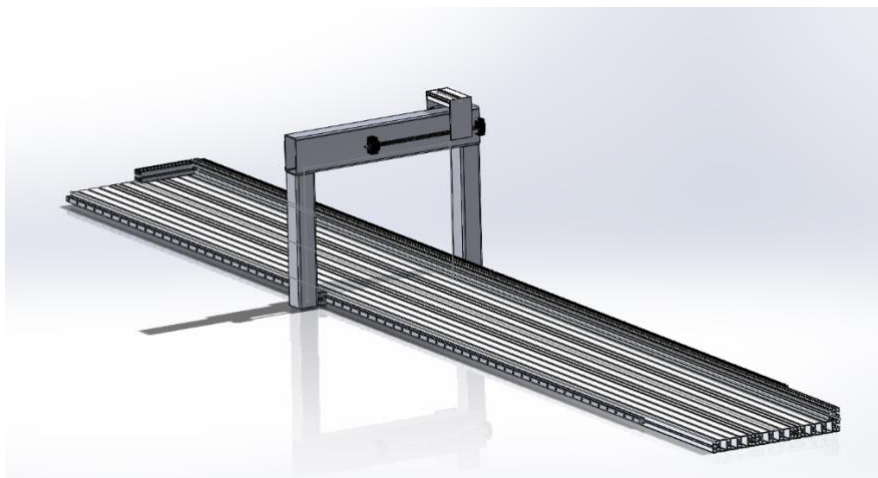


Kuva 10. Y-akselin lineaarijohteet ja -kelkat

Valmis konsepti

Valmiiseen konseptiin (kuva 11) on sisällytetty perusrakenteet, jotka ovat olennaisimmassa osassa valmista poralinjaa. Konseptin tavoitteena oli herättää ajatuksia laitteen toimivuudesta sekä valmistettavuudesta. Tavoitteena oli myös saada kehitysideoita, jolla laitteesta saadaan rakenteeltaan järkevämpi. Konseptin konkreettisen 3D-mallin avulla mahdolliset muutoksien tarpeet sekä

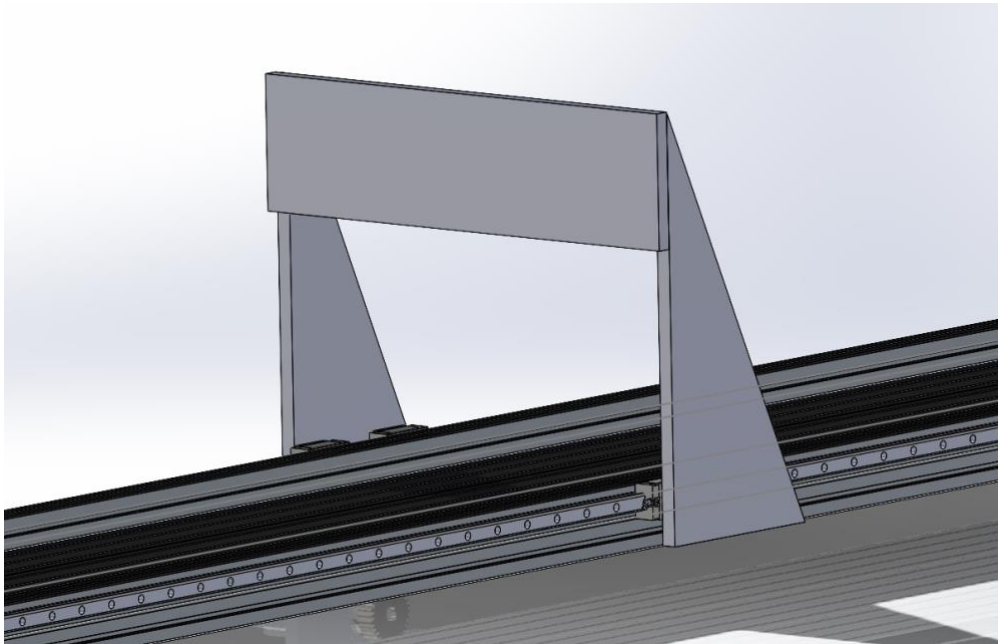
kehitysideat ovat helpompi hahmottaa, eikä niitä tarvitse miettiä vain mielikuvan varassa.



Kuva 11. 3D-malli poralinjan konseptista

Da-team Oy:n kanssa keskusteltiin konseptin mahdollisista muutoksista ja kehitysideoista. Laitteen perusrakenne todettiin hyväksi ja sopivaksi. Ilman parannusehdotuksia ei selvitty, vaan niitä syntyi reilusti. Muutokset kohdistuivat pääosin U-runkoon. Teräsputkista päätettiin luopua kokonaan, sillä niiden käsittely olisi ollut turhan hankalaa. Teräsputket olisi pitänyt yhdistää toisiinsa hitsaamalla ja pienien kokojensa vuoksi niihin on vaikea saada mahtumaan kaikkia tarvittavia komponentteja. Teräsputkien sijaan U-rungossa päätettiin käyttää teräslevyjä leikattuna kolmioiden muotoon (kuva 12). Kolmiolevyt korvaisivat pystysuorat teräsputket. Kolmiolevyjen väliin tulisi suorakaiteen muotoinen teräslevy korvaamaan vaakasuoran teräsputken. Teräslevyjä käyttämällä kokoonpano helpottuu, sillä hitsausta ei tarvita. Levyihin on myös paljon yksinkertaisempi kiinnittää komponentteja. Niiden suuremman pinta-alan vuoksi myös komponenteille on enemmän kiinnitystilaa. Pitkille X-akselin lineaarijohteille voidaan nyt teräslevyjen suuremman pinta-alan vuoksi laittaa kaksi lineaarikelkkaa yhtä lineaarijohdetta kohden. Tämä lisää U-rungon kuormankestävyyttä ja se kestää paremmin poraamisesta aiheutuvan vääntövoiman. Suuremman vaakasuoran välilevyn ansiosta voidaan kuularuuvi

sekä lineaarijohteet asentaa samalle puolelle, mikä yksinkertaistaa rakennetta suuresti.



Kuva 12. Teräsputket korvattuna kolmiolevyillä

U-rungon lisäksi ei muutosehdotuksia juurikaan tullut, lukuun ottamatta pohjatasoon kiinnitettyyn hammastankoon. Hammastanko oli konseptissa asetettu hampaat ylöspäin, joka aiheuttaa ennenaikaista kulumista. Tämän aiheuttaa sen hampaisiin kertyvä lika. Ongelman ehkäisemiseksi käännetään hammastanko ylösalaisin, jolloin hampaat osoittavat alaspäin. Näin hampaiden päälle ei putoa tai kerry likaa, ja sen käyttöikä pitenee.

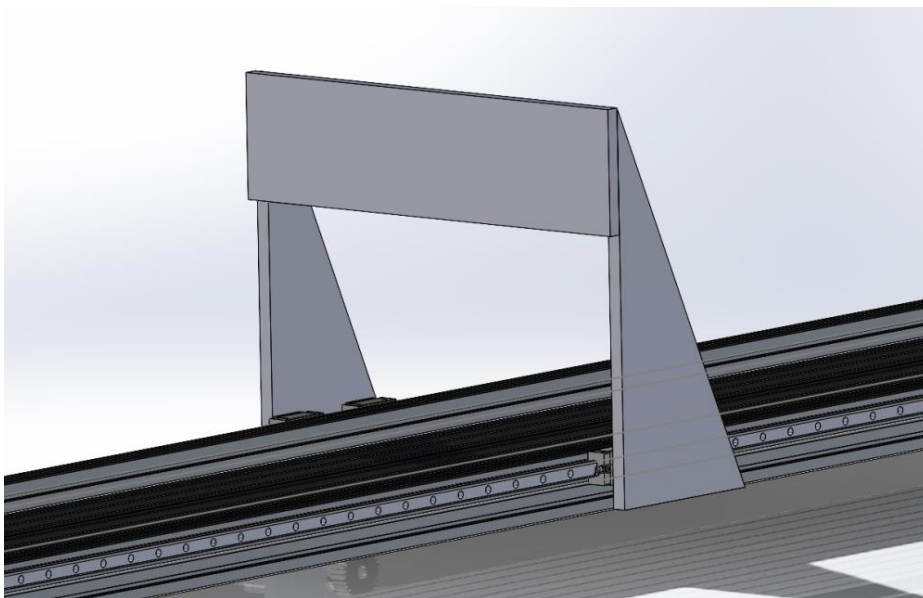
Saatujen ehdotusten ja ideoiden pohjalta aletaan suunnittelemaan varsinaista mallia poralinjasta. Parannellun mallin mallintamisen jälkeen pidetään uusi keskustelu Da-team Oy:n kanssa ja mietitään uudelleen, onko mallissa vielä parannettavaa.

6 Poralinjan suunnittelu ja mallintaminen

Konseptin valmistuttua ja kehitysideoiden synnyttyä alettiin suunnittelemaan ja mallintamaan varsinaista poralinjaa. Pohjana voitiin käyttää konseptin 3D-mallia, josta poistetaan komponentit, jotka päätettiin vaihtaa toimivampiin ratkaisuihin.

6.1 U-rungon muutokset

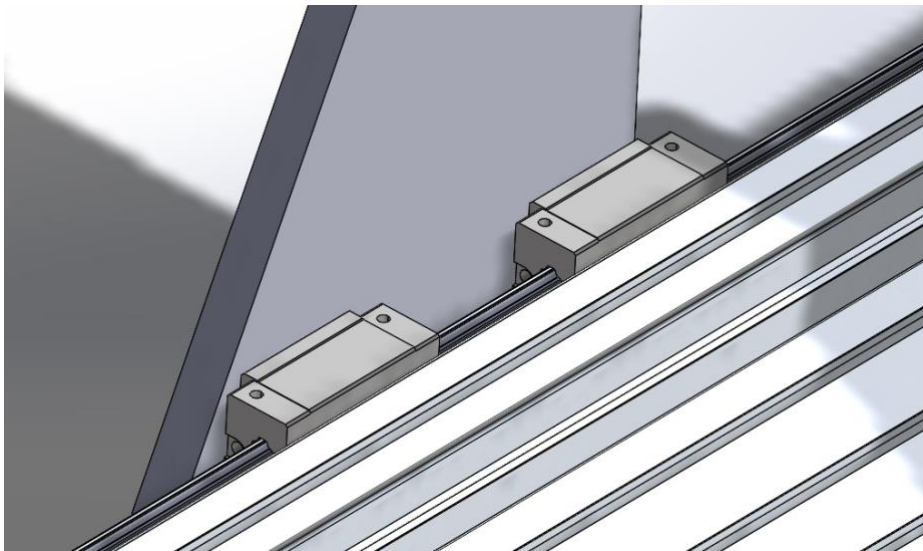
Konseptista syntyneet kehitysideat keskittyivät pääpiirteittäin U-rungon rakenteeseen. Teräsputken sijaan U-runko (kuva 13) päätettiin valmistaa 20 mm paksuisesta teräslevystä yksinkertaisemmat rakenteen ja suuremman pinta-alan vuoksi.



Kuva 13. Uusi teräslevystä tehty U-runko

U-rungon pystysuorat levyt ovat muodoltaan kolmioita, ja niiden väliin asetettiin 20 mm teräslevy vaakasuoraan. Tähän levyyn saadaan kiinnitettyä kuularuuvi sekä lineaarijohteet samalle puolelle, toisin kuin konseptin mallissa. Vaakasuora levy on korkeudeltaan 220 mm ja leveydeltään 690 mm.

Lisääntyneen pinta-alan vuoksi pystypalkeissa on nyt tilaa kaksille lineaarikelkoille (kuva 14), joka tekee U-rungosta vahvemman. Näin se kestää paremmin poraamisesta aiheutuvan vääntövoiman.

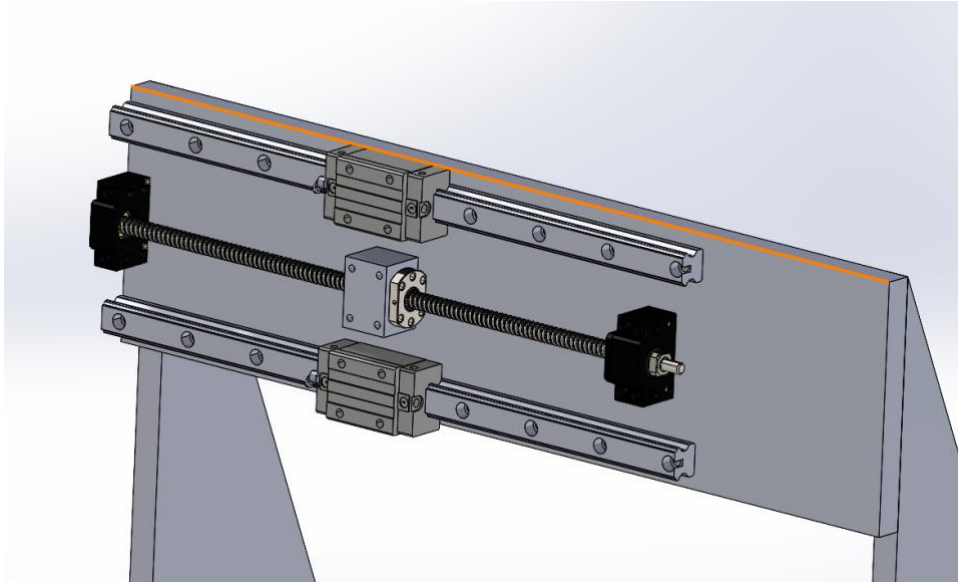


Kuva 14. X-akselin kaksi lineaarikelkkaa

Pystylevyt ovat korkeudeltaan 570 mm ja kannan leveys on 260 mm. U-rungon korkeus on oltava tarpeeksi suuri, jotta pora nousee tarpeeksi ylös 180 mm korkeaa alumiiniprofiilia poratessa. Poratessa pienempää alumiiniprofiilia poran taas on päästävä tarpeeksi alas, jotta poranterä läpäisee alumiiniprofiilin läpikotaisin.

Y-akselin komponentit

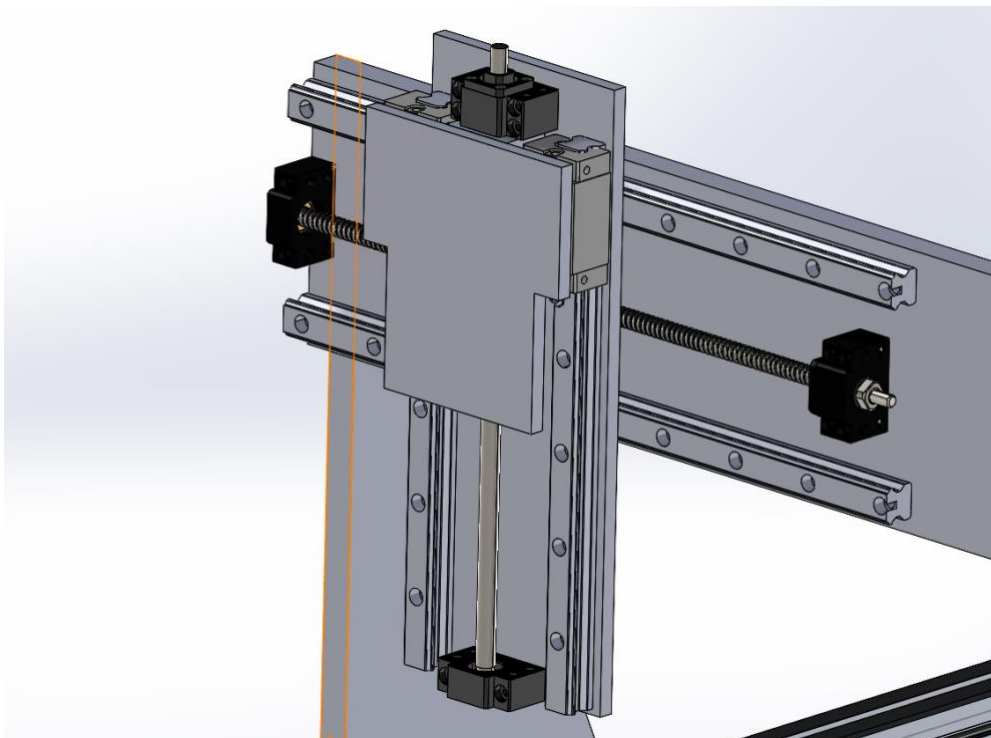
Y-akselin komponentit saatiin teräslevyn suuremman pinta-alan vuoksi siirrettyä samalle puolelle (kuva 15). Tämä yksinkertaistaa rakennetta suuresti konseptin mallista. Lineaarijohteita laitettiin kaksi ja molemmissa on yksi lineaarikelkka. Keskellä olevassa kuularuuvimutterissa on kiinni kuularuuvimutterikotelo, jonka avulla kuularuuvimutteri kiinnitetään liikutettavaan kappaleeseen. Lineaarijohteet sekä kuularuuvi ovat 500 mm pitkiä, jotta pora yltää poraamaan 180 mm leveän alumiiniprofiilin koko leveydeltä.



Kuva 15. Y-akselin lineaarijohteet ja kuularuuvi

Z-akselin komponentit

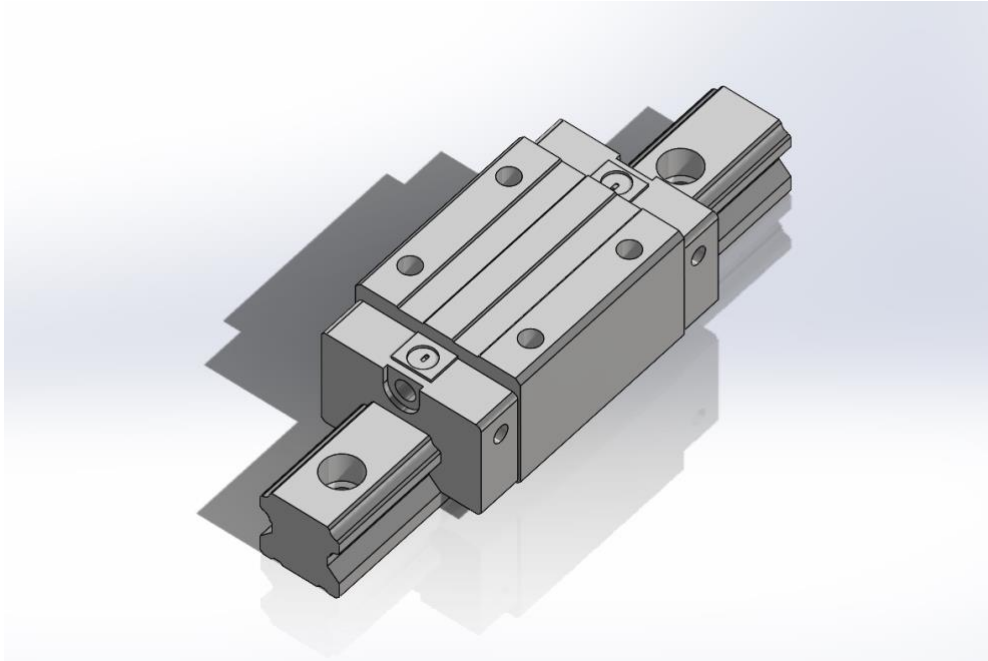
Alun perin Z-akselin liike pyrittiin toteuttamaan poraan sisäänrakennetulla Z-liikkeellä. Sopivaa komponenttia ei kuitenkaan löytynyt, joten se päätettiin toteuttaa Y-akselin tavoin kuularuuvilla. Z-akselin komponentit (kuva 16) kiinnitettiin 10 mm paksuiseen teräslevyyn, joka kiinnitettiin Y-akselin lineaarijohteita pitkin kulkeviin lineaarikelkkoihin. Levyyn kiinnitettiin myös Y-akselin kuularuuvimutteri, jolloin kuularuuvia pyörittämällä saadaan levy liikkumaan. Tähän levyyn kiinnitettiin kaksi 360 mm pitkää lineaarijohdetta ja kaksi lineaarikelkkaa. Lineaarijohteiden väliin asetettiin 420 mm pitkä kuularuuvi, joka liikuttaa poraa Z-akselilla. Lineaarijohteiden sekä kuularuuvien pituudet määriteltiin niin, että pora ylittää tarpeeksi syvälle poratakseen porattavan alumiiniprofiilin läpi asti, ja samalla nousten tarpeeksi ylös 180 mm korkeaa profiilia poratessa. Lineaarikelkkoihin ja kuularuuvimutteriin kiinnitettiin poran kiinnityslevy. Kuularuuvia pyörittäessä tämä levy liikkuu Z-akselin suuntaisesti.



Kuva 16. Z-akselin lineaarijohteet, kuularuuvi ja poran kiinnityslevy

6.2 Lineaarijohteet ja -kelkat

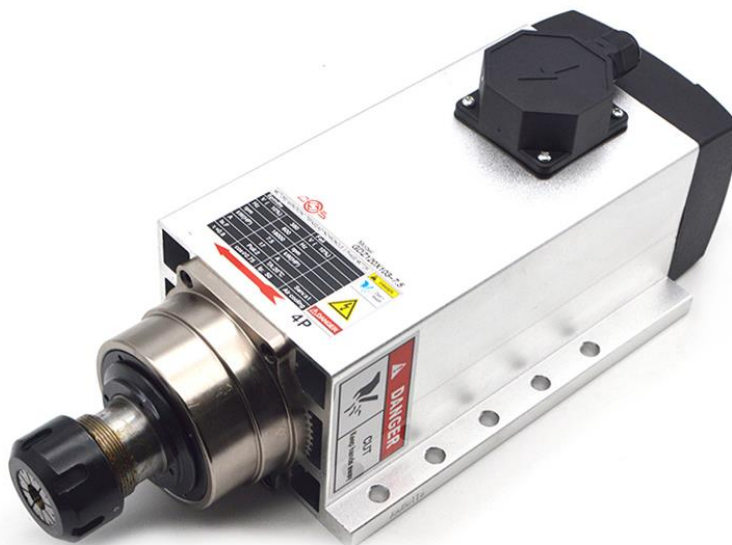
Lineaarijohteet ja -kelkat valittiin Greenlab Oy:n valikoimasta. Jokainen lineaarijohde päätettiin toteutettavaksi 25 mm:n lineaarijohteella. Näitä lineaarijohteita pitkin kulkemaan valittiin HGH25CA -lineaarikelkat (kuva 17). Lineaarijohteiden ja -kelkkojen sisällyttäminen 3D-malliin oli helppoa Greenlab Oy:n sivuilta löytyvien valmiiden CAD (Computer-aided Design) -tiedostojen avulla.



Kuva 17. 3D-malli HG25CA -lineaarikelkasta ja lineaarijohteesta

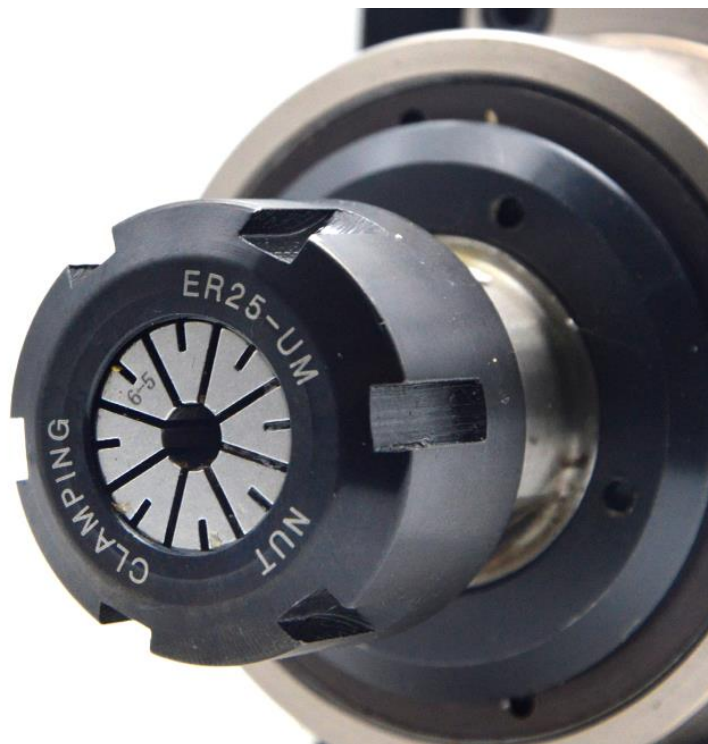
6.3 Pora

Poralaitteeksi valittiin Wavetop Sign GDZ93x82 -pora (kuva 18). Sen teho on 2,2 kilowattia ja se toimii sekä 220 voltin jännitteellä, että 380 voltin jännitteellä (11). Alumiinin porausnopeuksia tarkastellessa todettiin, että poralinjan porausnopeuden on oltava vähintään 5000 kierrosta minuutissa. Tämän poran maksimikierrosnopeus on 18000 kierrosta minuutissa, joten se riittää reilusti kyseiseen käyttötarkoitukseen. Kierrosnopeus siis riittää, vaikka poralinjalla päätettäisiin porata pienempiäkin reikiä, jolloin vaaditut porausnopeudet kasvavat.



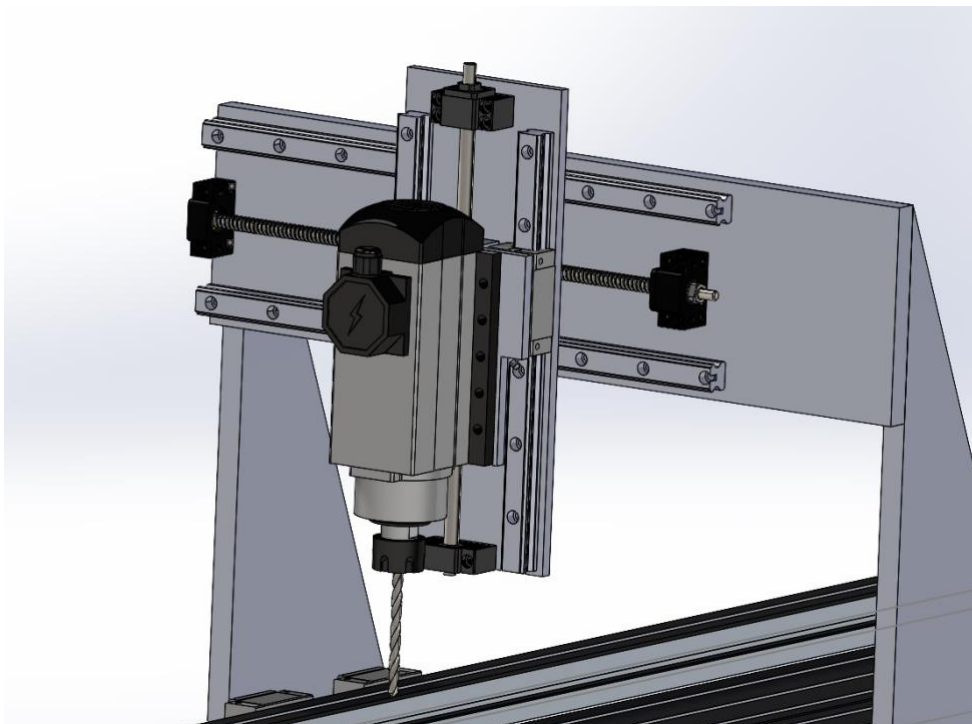
Kuva 18. Wavetop Sign GDZ93x82 -pora

Tämä pora oli hyvä valinta poralinjaan, koska se sisältää itsessään sekä poran moottorin, että istukan. Tämän ansiosta ei muita komponentteja tarvita, kuten esimerkiksi vaihteistoa, jota erillinen moottori pyörittäisi. Porassa oleva istukka sisältää ER25 kiristysholkin (kuva 19). ER-kiristysholkit ovat tarkkuudeltaan erinomaisia, koska se puristaa poranterää useasta kohdasta. ER25 -holkin kanssa voidaan käyttää poranteriä, jotka ovat halkaisijaltaan 1–16 mm. Tämänkin osalta tuote soveltuu poralinjan käyttöön, koska useimmiten käytetyt poranterät ovat 6 mm ja 8 mm.



Kuva 19. ER25 -kiristysholkki

3D-mallissa pora kiinnitetään Z-akselin lineaarikelkkoihin kiinnitettyyn poran kiinnityslevyyn (kuva 20, liite 5). Kuularuuvia pyörittäessä lineaarikelkat liukuvat lineaarijohteita pitkin liikuttaen poraa Z-akselin suuntaisesti.



Kuva 20. Pora 3D-mallissa

6.4 Välikatsaus

U-rungon parantelun jälkeen pidettiin välikatsaus Da-team Oy:n kanssa, ja keskusteltiin poralinjan uudesta rakenteesta. Teräsputkien korvaaminen teräslevyillä todettiin toimivaksi ratkaisuksi. U-rungon pystysuoria kolmiolevyjä tarkastellessa ne kuitenkin todettiin liian kapeiksi kolmion yläkärjestä. Tämän takia se ei välttämättä ole tarpeeksi vahva, jonka takia niitä päätettiin vahvistaa leventämällä niitä.

Toinen muutettava asia oli porausmekanismin siirtäminen poikkilevyn toiselle puolelle, kolmiolevyjen väliin. Tämä muutos vaikuttaisi kolmiolevyjen lineaarikelkkojen kestävyteen. Jos poran sijoitus olisi pidetty ennallaan, poratessa olisi aiheutunut suurempi vääntövoima lineaarikelkkoja vasten. Kun pora sijoitetaan siten, että se on lineaarikelkkojen välissä, eikä ulkopuolella, voima jakaantuu tasaisemmin niiden kesken.

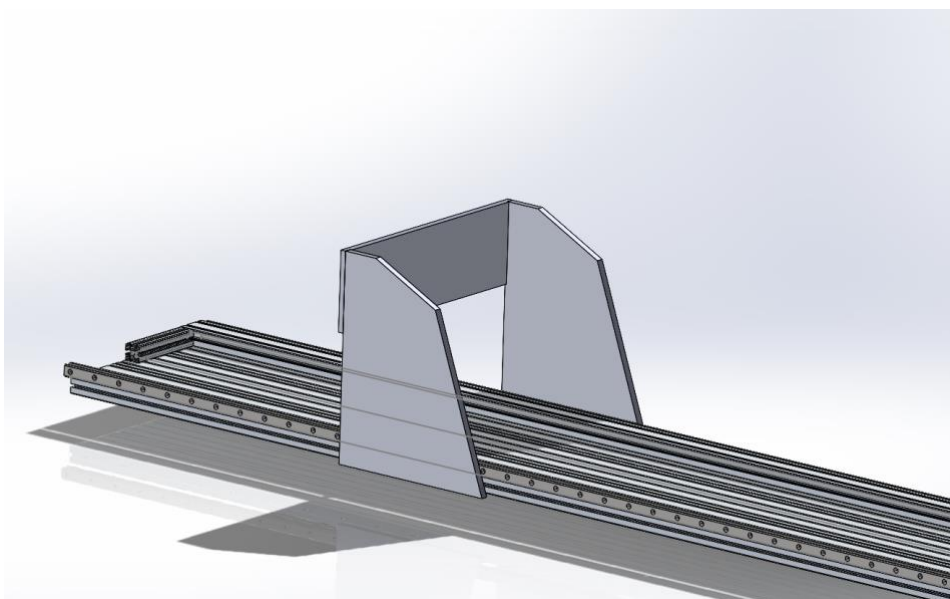
Z-akselin lineaarikelkat ja lineaarijohteet päätettiin myös siirtää toisinpäin. Näin lineaarikelkat pysyisivät paikoillaan ja lineaarijohteet liikkuisivat poran kiinnityslevyn mukana. Tämä vähentää liikkuvien osien määrää.

6.5 U-rungon kehittäminen

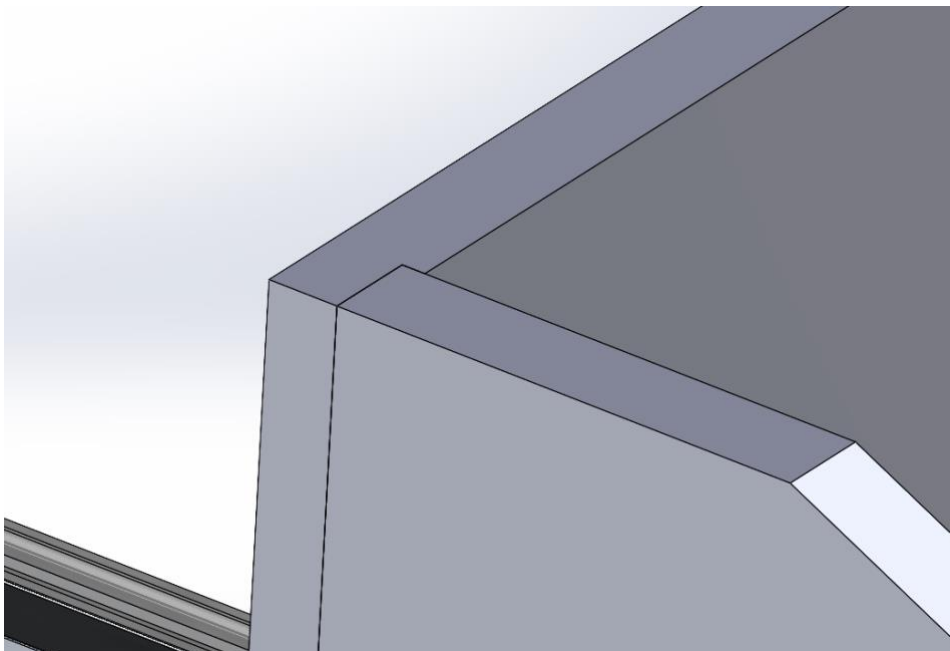
Uudet muutokset U-runkoon keskittyivät sen vahvuuden lisäämiseen. Poralinjaan tuli myös muita pieniä muutoksia ja lisäyksiä.

U-rungon kolmiolevyjien vahvistus

U-rungon kolmiolevyjä (liite 1) päätettiin vahvistaa niiden leveyttä kasvattamalla (kuva 21). Samalla niiden muoto muuttui hieman. Suuremman leveytensä vuoksi levyt ovat paljon vahvemmat ja tukevammat. Kolmiolevyjien välinen poikkilevy (liite 2) pysyi ennallaan, mutta sen reunoihin lisättiin pienet syvennykset (kuva 22), jotta se kiinnittyy varmasti kohtisuoraan kolmiolevyihin nähden. Tällöin levy ei ole ainoastaan kiinnitysruuvien kantojen varassa, vaan pieni syvennys tukee levyä paremmin, ja levy kiinnittyy varmasti suoraan.



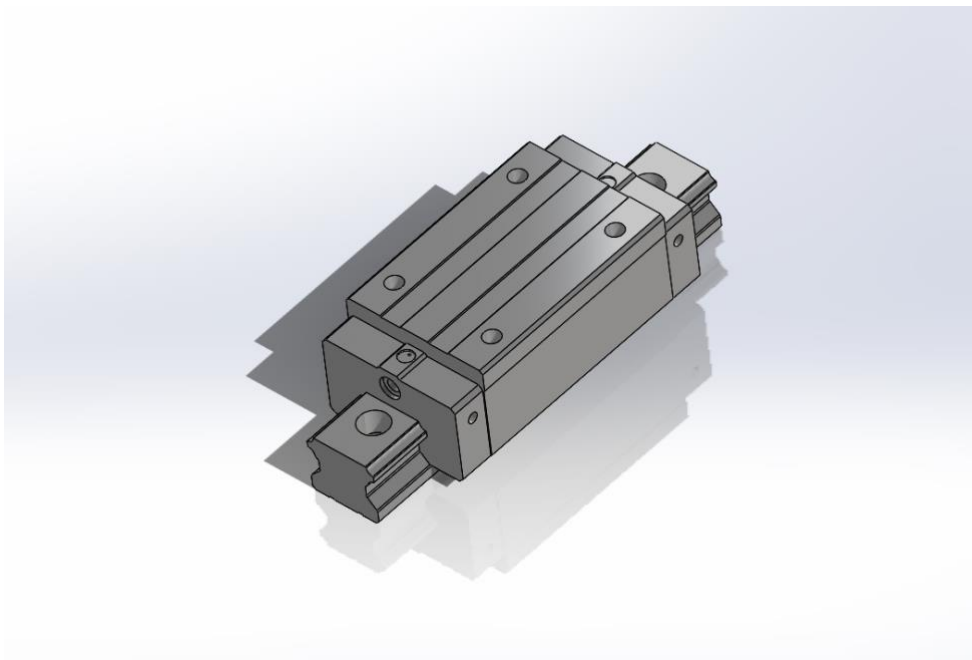
Kuva 21. Vahvistettu leveämpi U-runko



Kuva 22. Upotus poikkilevyssä

X-akselin lineaarijohteet ja -kelkat

X-akselin pitkät lineaarijohteet päätettiin kuorman kestävyuden nojalla vaihtaa 25 mm:n johteista 35 mm:n johteisiin (kuva 23). X-akselin lineaarijohteiden ja -kelkkojen on kannettava koko U-rungon kuorma, joten suurempi johdekoko on tarpeen. Suuremman lineaarijohdekoon vuoksi luonnollisesti vaihtuivat myös lineaarikelkat suurempiin HGH35CA-kelkkoihin.



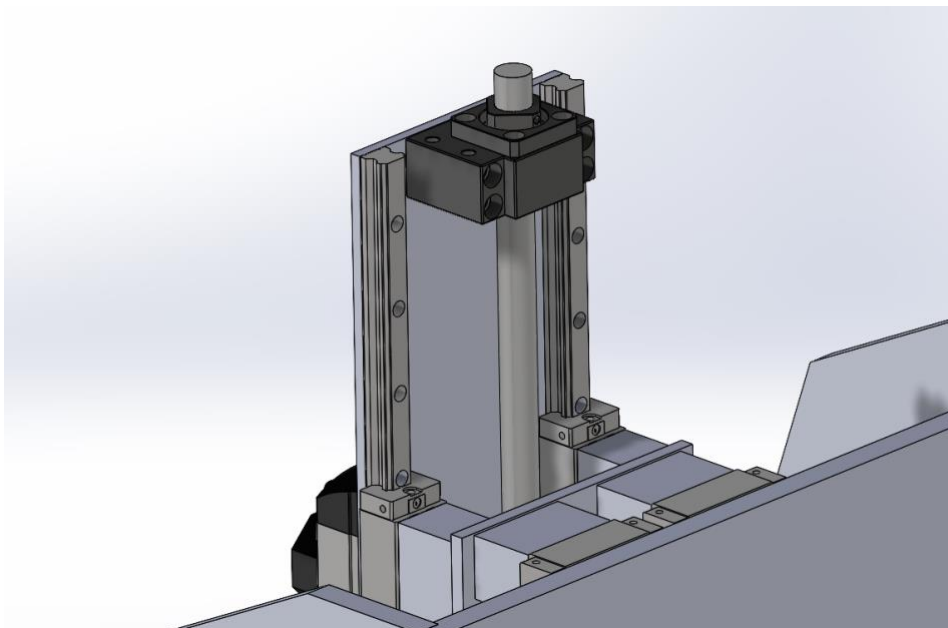
Kuva 23. 3D-malli HG35HA -lineaarikelkasta ja lineaarijohteesta

Kuularuuvit

Y- ja Z-akselin kuularuuvit haettiin Greenlab Oy:n valikoimasta. Kuularuuveiksi valittiin 25 mm kuularuuvit ja niille tukilaakerit. Kuularuuvien vapaisiin päähän laitettiin BF20 -tukilaakerit. Moottorin päihin taas laitettiin BK20 -tukilaakerit. Tukilaakerit löytyivät myös Greenlab Oy:n valikoimasta. Myös kuularuuvimutterit ja kuularuuvimutterin kotelot valittiin Greenlab Oy:lta.

Z-akselin lineaarijohteiden ja -kelkkojen kääntäminen

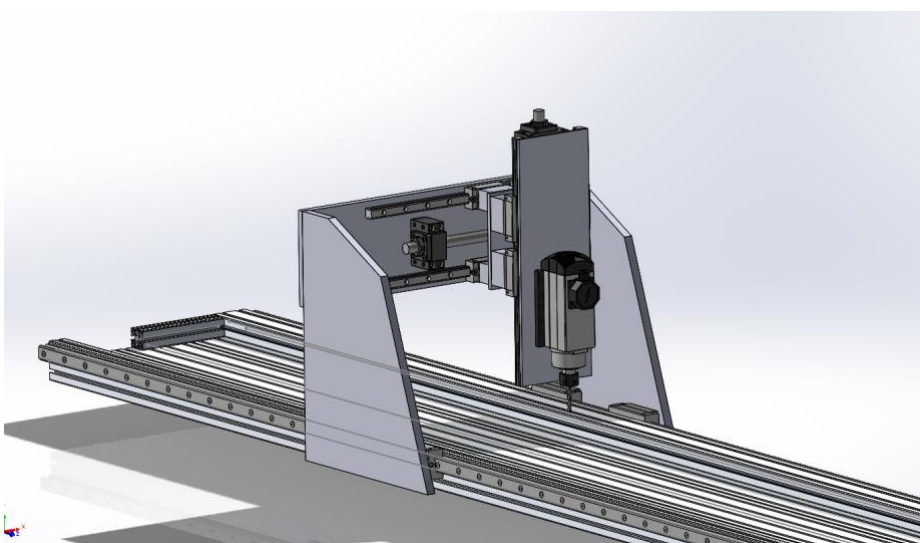
Z-akselin rakenteen yksinkertaistamiseksi sen lineaarijohteet ja lineaarikelkat päätettiin kääntää ympäri (kuva 24). Kääntämisen jälkeen lineaarikelkat pysyvät paikoillaan ja lineaarijohteet liikkuvat.



Kuva 24. Lineaarijohteet ja -kelkat käännettyinä

Poran siirto

Poraamisesta aiheutuvan vääntövoiman vuoksi pora päätettiin siirtää kolmiolevyjen ulkopuolelta niiden väliin (kuva 25). Näin poraamisesta ei aiheudu vääntövoimaa lineaarijohteille ja -kelkoille. Tämä tekee myös U-rungosta kompaktimman, sillä kaikki rakenteet ovat kolmiolevyjen sisäpuolella.



Kuva 25. Pora siirrettynä levyjen väliin

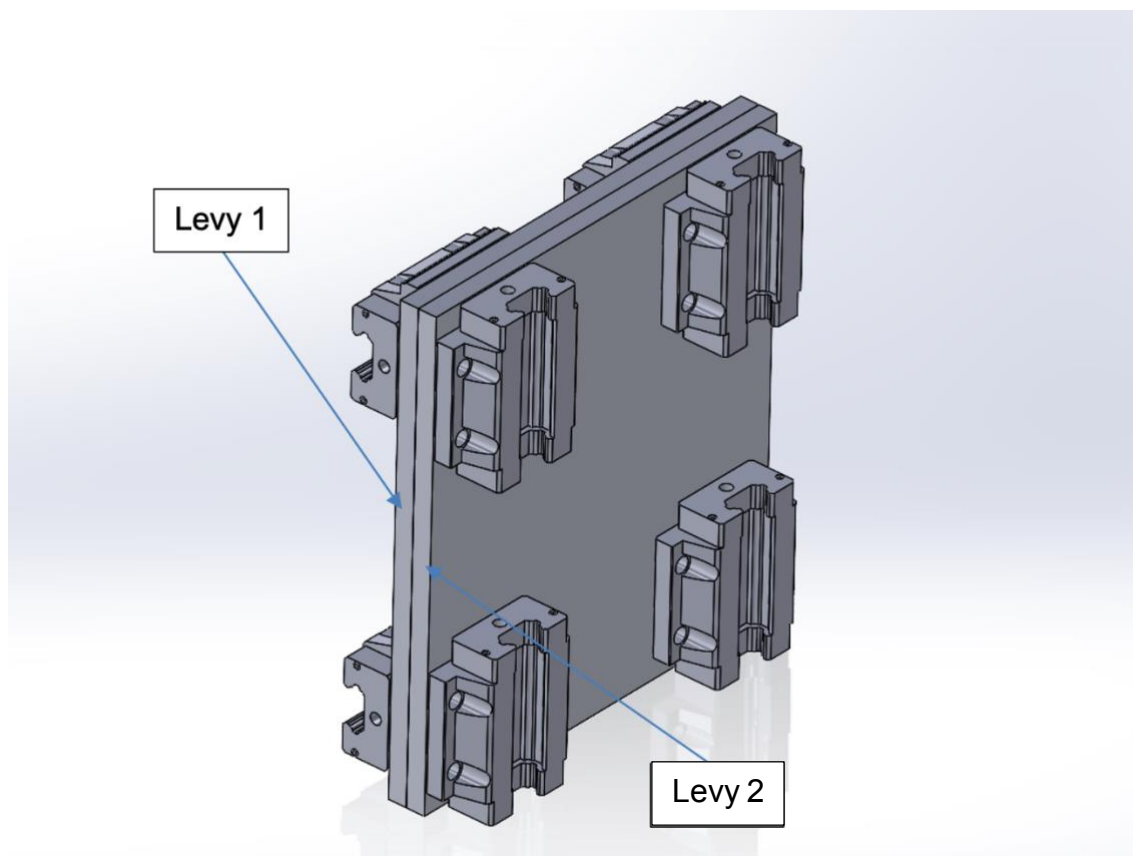
6.6 Toinen välikatsaus

Toisessa välikatsauksessa Da-team Oy:n kanssa keskusteltiin U-rungon rakenteesta. U-runkoa tarkasteltaessa huomattiin, että sen kokoonpaneminen olisi mahdotonta. Levyyn, joka on kiinnitetty Y-akselin lineaarikelkkoihin, ei voitaisi kiinnittää Z-akselin lineaarikelkkoja, koska lineaarikelkat peittäisivät toistensa kiinnitysreiät. Tämä kiinnitysratkaisu täytyisi korvata toimivalla ja toteutettavissa olevalla ratkaisulla. Toinen parannusehdotus koski lineaarikelkkoja. Greenlab Oy:n valikoimasta löytyy leveämpiä lineaarikelkkoja, joiden avulla niiden ruuvikiinnityksestä saataisiin tukevampi.

U-rungon muutosten jälkeen poralinjaan voitaisiin lisätä loput puuttuvat komponentit, kuten porattavan aihion lukitusmekanismi.

6.7 Y- ja Z-akselin kiinnityksen parantaminen

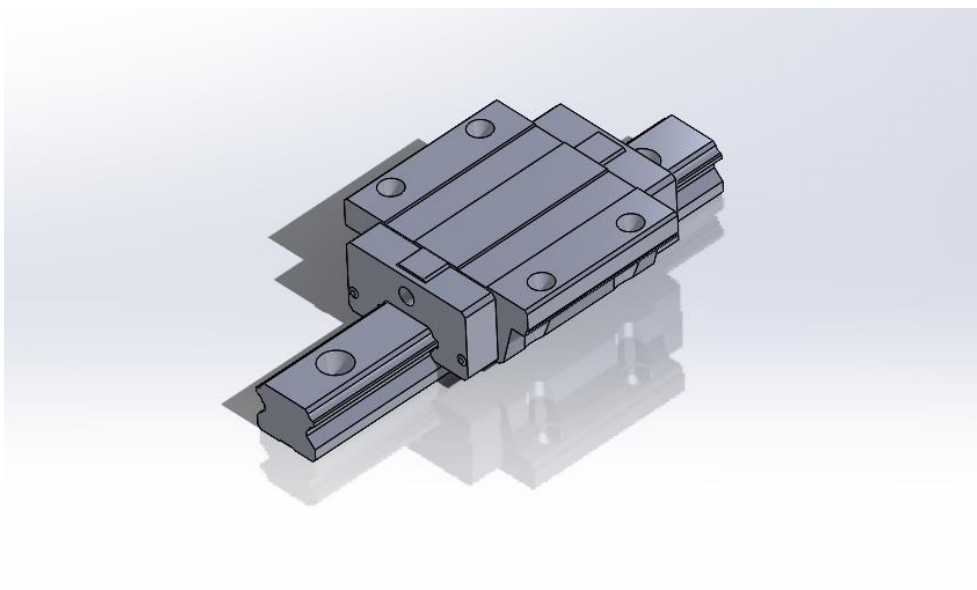
Da-team Oy:n kanssa mahdottomaksi todettu rakenne Y- ja Z-akselin kiinnityksessä päätettiin ratkaista käyttämällä yhden kiinnityslevyn sijaan kahta levyä. Toiseen levyyn (liite 3) kiinnitettäisiin Y-akselin lineaarikelkat ja toiseen levyyn (liite 4) Z-akselin lineaarikelkat. Ensin kiinnitettäisiin lineaarikelkat levyihin, jonka jälkeen levyt kiinnitettäisiin toisiinsa (kuva 26). Tämän rakenteen avulla kokoonpano-ongelmaa ei synny, ja rakenne pysyy hyvin samankaltaisena.



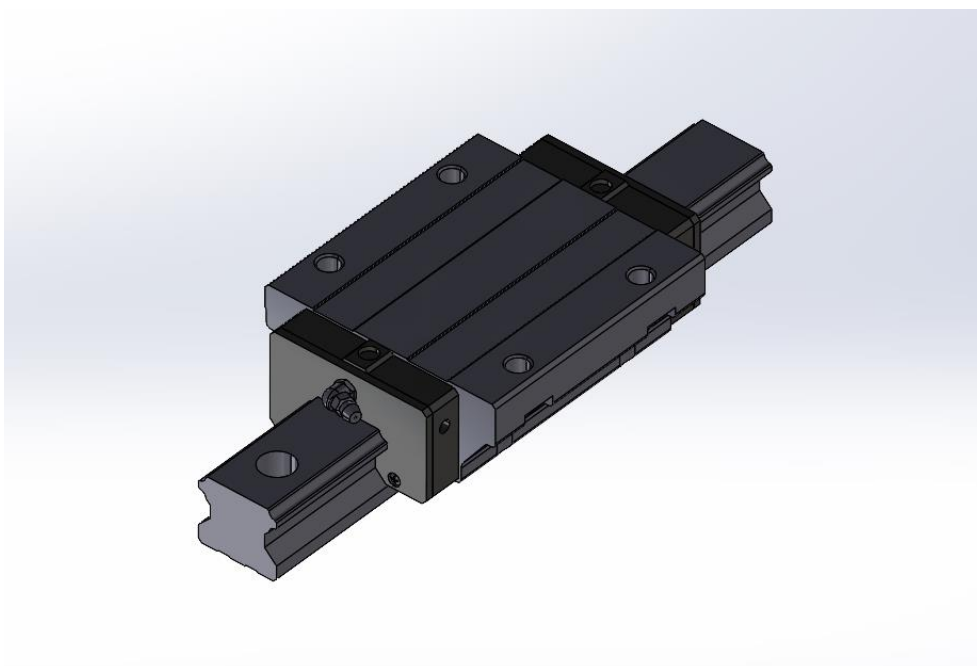
Kuva 26. Lineaarikelkkojen kiinnityslevyt

6.8 Lineaarikelkkojen vaihto

Jokainen lineaarikelkka päätettiin vaihtaa leveämpiin malleihin tukevampien ruuvikiinnityksien vuoksi. Y- ja Z-akselin lineaarikelkat vaihdettiin Greenlab Oy:n EGW25CA -tyypin 25 mm leveämpiin kelkkoihin (kuva 27). X-akselille vaihdettiin HGW35HA -tyypin 30 mm leveämmät kelkat (kuva 28).



Kuva 27. 3D-malli EGW25CA -lineaarikelkasta



Kuva 28. 3D-malli HGW35HA -lineaarikelkasta

6.9 Porattavan aihion lukitusmekanismi

Kun laitteeseen asetetaan haluttu profiiliahio, ja aletaan poraamaan, on ahio lukittava. Muutoin ahio ei pysy porauksen aikana paikoillaan, ja pahimmassa tapauksessa ahio voi jopa irrota aiheuttaen vahinkoa. Aihion lukitsemiseen sopiva ja järkevä menetelmä on käyttää paineilmasylintereitä. Paineilmasynterinin avulla ahio puristetaan suoraa pintaa vasten, joka takaa aihion paikallaan pysymisen sekä suoruuden.

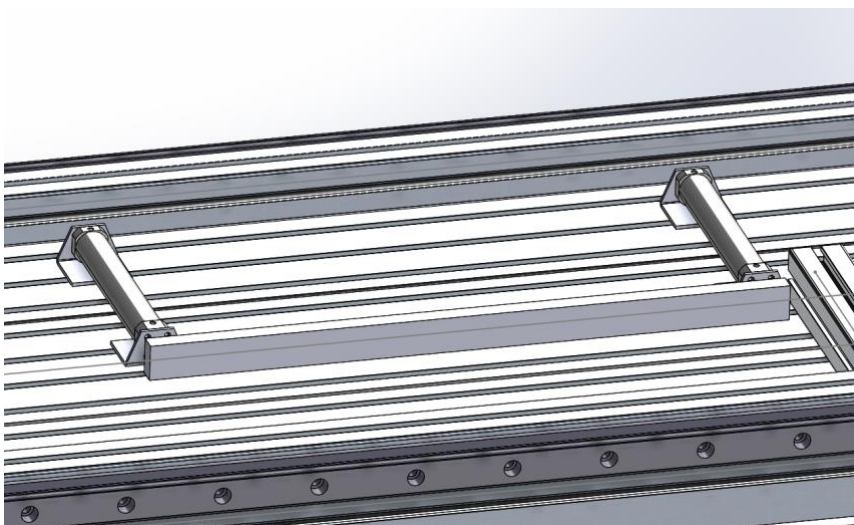
Lukitusmekanismin paineilmasylintereiksi valittiin SMC Automation Oy:n sylinterit. Valittu sylinteri on JCMB (kuva 29). Sylinterin männän halkaisija on 25 mm, ja sen iskun pituus on 150 mm. Sen molempiin päihin valittiin kiinnitysreiät, jotta sen kiinnitys olisi mahdollisimman tukeva. Sylinterin männän päähän valittiin uroskierre, johon kiinnitetään ahiota painava kappale.



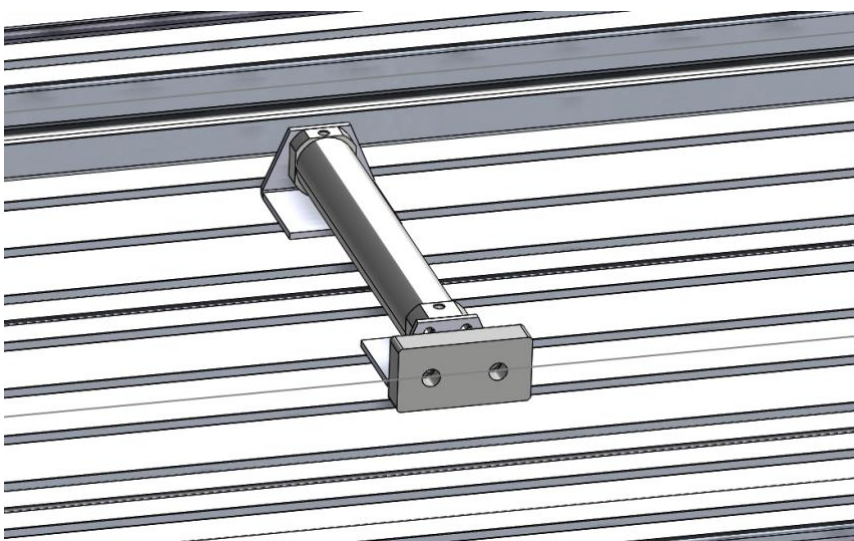
Kuva 29. 3D-malli JCMB-paineilmasynteristä

Poralinjaan kyseisiä paineilmasylintereitä laitettiin viisi. Sylintereistä kaksi ensimmäistä ovat 500 mm:n etäisyydellä toisistaan, ja ne on yhdistetty toisiinsa palkilla (kuva 30, liite 6). Tämä palkki painaa porattavaa ahiota. Kolme viimeistä sylinteriä on asetettu 1000 mm:n välein. Niitä ei ole yhdistetty toisiinsa, vaan

niissä on jokaisessa oma paininosansa (kuva 31). Kaksi ensimmäistä sylinteriä on yhdistetty toisiinsa, jotta lyhyet porattavat alumiiniprofiilit voitaisiin lukita helposti. Ensimmäisillä sylintereillä on yhteinen paininosa, koska poratessa lyhyitä alumiiniprofileita, niiden lukitsemista varten lukitussylintereitä pitäisi mahdollisesti siirtää. Esimerkiksi poratessa alle 500 mm pituista profiilia, vain yksi sylinteri osuisi porattavaan aihioon, eikä kiinnityksestä tulisi tukeva. Mutta koska kaksi ensimmäistä sylinteriä ovat yhdistetty toisiinsa pitkällä paininosalla, jopa alle 500 mm:n aihio saadaan lukittua tukevasti.

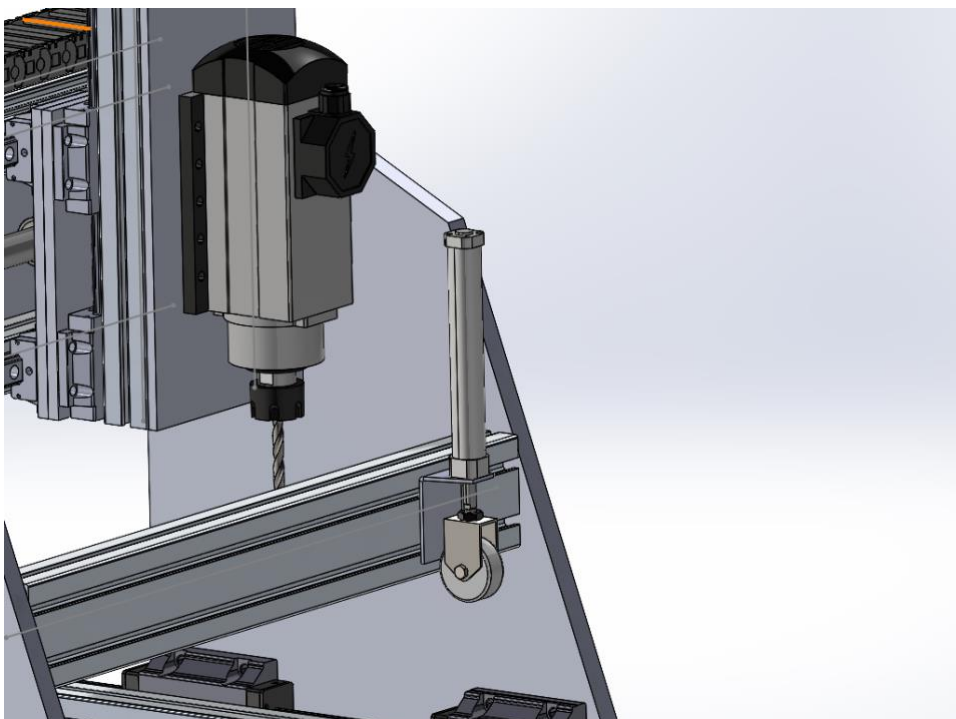


Kuva 30. Yhdistetyt paineilmasylinterit



Kuva 31. Yksittäinen paineilmasylinteri

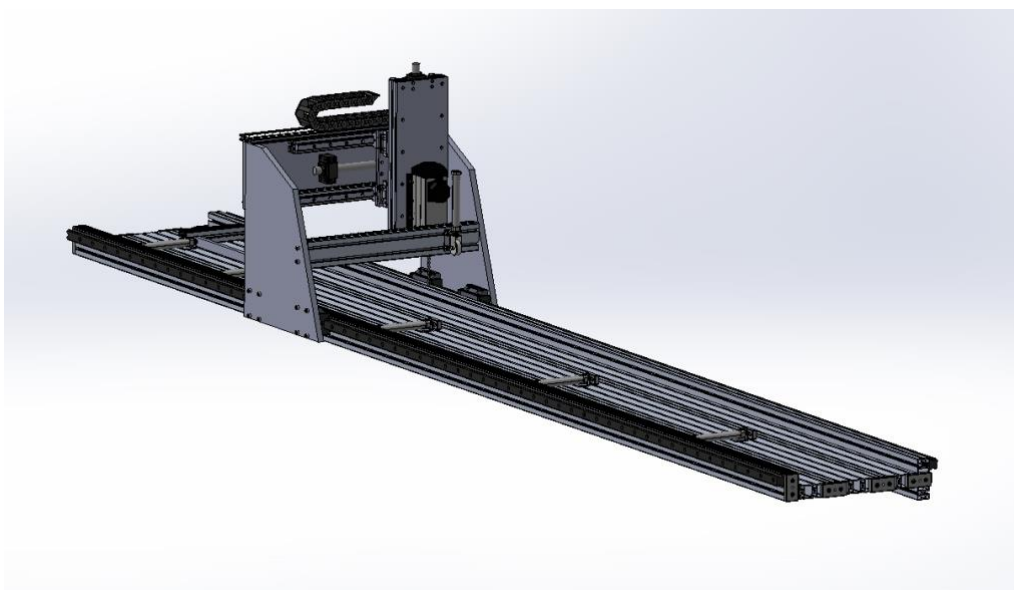
Poraustarkkuuden takaamiseksi on varmistettava myös, että porattava aihio on aivan poralinjan pohjassa kiinni, eikä jäänyt hieman koholle. Tämän takia aihio on lukittava myös pystysuunnassa. Pystylukitus toteutettiin samalla paineilmasylinterillä kuin sivuttaislukituskin. Erona sivuttaislukitukseen on kuitenkin sylinterin päässä oleva pyörä, joka painaa ahiota (kuva 32). Pyörä painaa porattavan aihion pintaa, ja pyörii pitkin ahiota porauksen ajan painaen ahiota aina pohjaa vasten. Tämä takaa sen, että aihio on varmasti täysin kiinni porauksen ajan.



Kuva 32. Pystylukituksen paineilmasylinteri

6.10 Valmis poralinja

Lukitusmekanismin paineilmasylintereiden lisäämisen jälkeen poralinjan rakenne oli valmis. Saatiin valittua sopivat komponentit kuhunkin käyttötarkoitukseen, ja ne saatiin kiinnitettyä asianmukaisesti. Da-team Oy:n kanssa käytiin viimeinen keskustelu mahdollisista muutoksista, missä todettiin, ettei tarvittavia muutoksia enää ole. Poralinjan rakenne todettiin hyväksi, eikä sitä tarvitsisi enää muokata. Seuraava vaihe oli siis 3D-mallin viimeistely, johon kuului ruuvien ja mutterien sekä muiden kiinnikkeiden lisääminen. Mallinnettuihin osiin oli tehtävä reiät ja kierteet ruuveille. Kun kaikki ruuvit ja mutterit oli kiinnitetty paikoilleen, oli poralinja täysin valmis (kuva 33). 3D-mallista uupuvat kuularuuvien sekä hammastangon moottorit. Moottorit puuttuvat, koska Da-team Oy ei ole vielä valinnut poralinjan ohjausjärjestelmää. Ohjausjärjestelmän löydyttyä Da-team Oy valitsee sopivat moottorit poralinjaa varten.



Kuva 33. Poralinjan valmis 3D-malli

Tarvittavista komponenteista tehtiin osakuvat (liitteet 1–7) niiden valmistusta varten. Näistä osakuvista käy ilmi niiden mitat ja mahdollisten reikien mitat sekä sijainnit. Osakuvat luovutettiin Da-team Oy:lle tulevaa poralinjan valmistusta varten.

7 Lopputulos

7.1 Poralinjan hinta-arvio

Poralinjan hinta-arvioksi tuli noin 3500 €. Todellinen hinta tulisi todennäköisesti olemaan hieman korkeampi, kun siihen lasketaan mukaan työn hinta ja pientarvikkeet. Poralinjan eri komponentit ja niiden hinnat on lueteltu taulukkoon (liite 8). Hinta-arvioon on sisällytetty olennaisimpien ja saatavilla olevien komponenttien hinnat.

7.2 Tulosten analysointi

Insinööriyön tuloksena syntyi suunnitelma automaattisen poralinjan mekaniikasta. Poralinjan mekaniikasta saatiin hyvin toimiva, ja sen suunnitteluratkaisut ovat järkeviä. Tulosten takana oli erityisesti hyvä kommunikointi Da-team Oy:n kanssa. Da-team Oy:n kanssa pidetyt välikatsaukset sekä muut keskustelut suunnittelua koskien auttoivat suuresti saamaan poralinjan mekaniikasta juuri halutunlaisen heidän käyttöönsä.

Mahdolliset riskit

Poralinjan mekaniikka suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi, mutta silti siinä on mahdolliset riskitekijänsä. Poralinjassa ei varsinaisesti ole mitään tiettyä heikkoa kohtaa, mutta kriittisimmät kohdat siinä ovat voimansiirron komponentit, erityisesti lineaarijohteet ja kuularuuvit. Riski liittyy niiden voiteluun, sillä niitä on rasvattava säännöllisesti. Jos voitelun laiminlyö, se voi johtaa lineaarijohteiden tai kuularuuvien vahingoittumiseen. Tämä taas lisää välyksiä, joka voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa törmäyksen. Riskien minimoimiseksi on lineaarijohteita sekä kuularuuveja muistettava huoltaa säännöllisesti. X-akselin hammastanko ei vaadi voitelua, mutta sen puhtautta on hyvä seurata säännöllisesti. Siihen kertyvä lika aiheuttaisi myös ennen aikaista kulumista. Kaikkia voimansiirron komponentteja on myös hyvä tarkastella aika ajoin, ettei kulumaa ole jo päässyt tapahtumaan.

Porauksen nopeutuminen

Suunnitellun poralinjan nopeutta verrattiin nykyiseen manuaaliseen työstötapaan kahden metrin alumiiniprofiilin avulla. Kahden metrin pituiseen alumiiniprofiiliin, johon porataan viisi reikää, veisi manuaalisesti työstettynä noin viisi minuuttia. Manuaaliseen työstöön kuuluu mittavasteen siirto oikeaan kohtaan, jonka jälkeen alumiiniprofiili asetetaan pylväsporakoneeseen. Tämän jälkeen poraus suoritetaan, ja siirretään mittavaste seuraavan reiän etäisyydelle, ja alumiiniprofiili siirretään. Toimenpiteet toistetaan, kunnes kaikki reiät on porattu.

Sama työstöprosessi automaattisella poralinjalla suoritettuna kestäisi noin kolme minuuttia. Työstöaika kuitenkin riippuu valituista voimansiirron moottoreista, sekä ohjausjärjestelmästä ja ohjelmasta. Saman kahden metrin alumiiniprofiilin työstöprosessi alkaisi profiiliin asettamisella poralinjalle. Mittavasteita ei ole, kuten manuaalisessa menetelmässä, vaan alumiiniprofiili asetetaan suoraan koneeseen. Koneeseen asettamisen jälkeen profiili lukittuu paineilmasyntereillä, ja porattavien reikien sijainnit asetetaan. Toisin kuin manuaalisessa menetelmässä, alumiiniprofiiliin tarvitsee koskea vain alussa ja lopussa, eikä sitä tarvitse siirtää.

Automaattisen poralinjan suurin ajallinen hyöty tulisi tilanteessa, jolloin identtisiä alumiiniprofiileja porataan useita. Tällöin reikien sijainnit kerrottaisiin vain kerran, ja ne pysyisivät muistissa. Tämän jälkeen ei tarvitsisi kuin asettaa porattavat alumiiniprofiilit koneeseen vuoronsa perään. Tällöin ei menisi kuin sekunteja, kun porattu alumiiniprofiili vaihdettaisiin uuteen porattavaan profiiliin.

Ajallisen hyödyn lisäksi poralinjaa voitaisiin käyttää mahdollisesti myös pieniin koneistustöihin, jos tuleva ohjausjärjestelmä sen mahdollistaa. Poralinjan käyttö eliminoisi myös ihmisen tekemät mittausvirheet, joita manuaalisella työstötavalla voi esiintyä.

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella Da-team Oy:lle uusi ja parempi alumiiniprofiilin työstötapa. Vanha, manuaalinen työstötapa oli hidas ja ennen kaikkea työläs. Tässä insinööriyössä suunnitellun poralinjan avulla alumiiniprofiilin työstö helpottuisi, sekä olisi vaivattomampaa. Insinööriyö alkoi keskustelulla Da-team Oy:n kanssa, missä keskusteltiin laitteen halutusta rakenteesta. Tämän keskustelun pohjalta luotiin konsepti, jota kehiteltiin vaihe vaiheelta lopputulokseen asti.

Konseptin suunnittelu aloitettiin selvittämällä X-, Y- ja Z-akselin voimansiirron komponentit. Erityyppisiä ratkaisuja esiteltiin, joista sopivimmat valittiin. Voimansiirron komponenttien valinnan jälkeen suunniteltiin runko, johon voimansiirto kiinnitetään.

Poralinjan rungon materiaaliksi valittiin alumiiniprofiili. Se todettiin hyväksi materiaaliksi runkoa varten, koska se on kevyttä, mutta vahvaa, ja sen kiinnittämismahdollisuudet ovat loistavat. Sitä on myös saatavilla monissa eri ko'oissa, jonka vuoksi rungosta saatiin juuri sellainen kuin suunniteltiinkin. Rungosta saatiin juuri halutun kokoinen ja sen rakenne on hyvä ja toimiva.

U-rungon muutos teräsputkesta teräslevyihin teki rakenteesta järkevämmän ja helpommin valmistettavan. Teräslevyjen muodostama rakenne on myös paljon tukevampi ja vahvempi. Teräslevyihin saatiin helpommin mahdutettua lineaarikelkat sekä kuularuuvit, koska levyjen pinta-ala on paljon teräsputkea suurempi.

Eri akseleiden voimansiirtomenetelmät todettiin myös toimiviksi ja parhaiksi kyseisille liikkeille. X-akselin hammastanko oli paras mahdollinen menetelmä, koska X-liike on todella pitkä (4500 mm). Y- ja Z-akselien voimansiirrot päätettiin toteuttaa kuularuuveilla ja ne todettiin parhaiksi ratkaisuuksi, koska kuularuuvit moottoreineen vievät hyvin vähän tilaa, ja ne ovat voimankestoltaan hyviä.

Kun runko ja voimansiirto alkoivat hahmottua, alettiin lisäämään muita komponentteja, kuten poraa ja paineilmasyntereitä. Kaikille komponenteille tehtiin tarpeelliset ja sopivat kiinnikkeet. Alun perin suunniteltua Z-liikkeellä varustettua poraa ei löytynyt, joten Z-liike toteutettiin myös kuularuuvien avulla. Paineilmasyntereitä lukitusmekanismiin laitettiin kuusi kappaletta, viisi sivuttaislukitukseen ja yksi pystylukitukseen painamaan porattavaa profiilia pohjaa vasten.

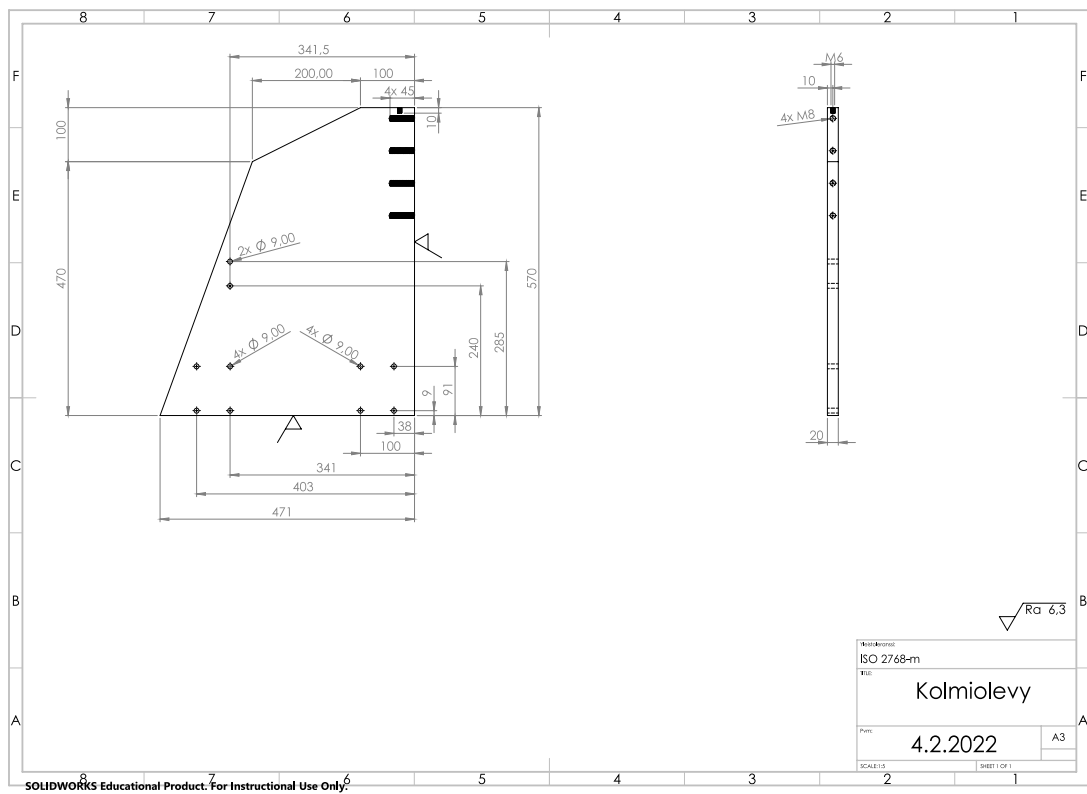
Kaikkien komponenttien löydettyä paikkansa, ja kun poralinja todettiin rakenteeltaan hyväksi, viimeisteltiin poralinjan 3D-malli kiinnitysrei'illä sekä ruuveilla ja muttereilla. Kun 3D-malli saatiin täysin valmiiksi, tehtiin tarvittavista komponenteista osakuvat (liitteet 1–7). Nämä tehtiin niistä komponenteista, jotka täytyisi valmistaa juuri tätä poralinjaa varten. Osakuvista käy ilmi päämitat, sekä mahdollisten reikien ja kierteiden sijainnit.

Automaattisen poralinjan myötä työstöaika vanhaan manuaaliseen työstötapaan verrattuna laskisi. Ajallisen hyödyn lisäksi työstöprosessi yksinkertaistuisi vähentyneiden työvaiheiden myötä. Manuaalisen työstötavan aikaa vievin vaihe, eli mittavasteen siirto reikäkohtaisesti, poistuisi kokonaan, sillä porattavaa alumiiniprofiilia ei tarvitsisi siirtää laisinkaan. Poralinja myös poistaisi mahdolliset ihmisten tekemät mittausvirheet. Lisäksi poralinjaa voitaisiin käyttää mahdollisesti koneistukseen, jos sille valittaisiin sen mahdollistava ohjausjärjestelmä.

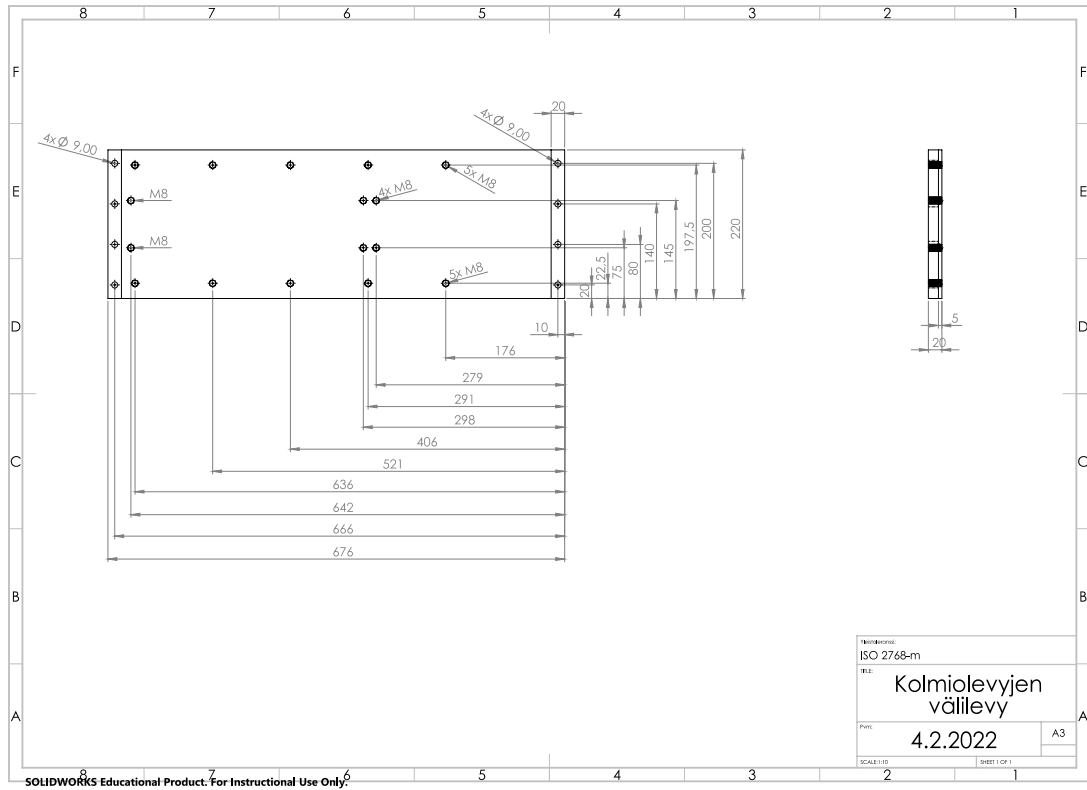
Lähteet

- 1 Aluminum profile processing multi head drilling machine. 2021. Verkkoaineisto. Hisena CNC. <<https://www.win-doormachine.com/aluminum-profile-processing-multi-head-drilling-machine.html>>. Luettu 3.1.2022.
- 2 Aluminum Profile CNC Drilling Milling Machine. 2021. Verkkoaineisto. Glorious machinery.<<http://www.chnmachines.com/product/aluminum-profile-cnc-drilling-milling-machine>>. Luettu 3.1.2022.
- 3 Teknologiateollisuus Ry. 2006. Alumiinit. Helsinki: Teknova Oy.
- 4 Ansaharju, T., Ilomäki, O. & Maaranen, K. 1988. Lastuava työstö. Porvoo: WSOY.
- 5 Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.
- 6 Huhtala, P. & Pulkkinen, A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen. Helsinki: Teknova Oy.
- 7 Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. Boca Raton: CRC Press.
- 8 Ball screw. 2021. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ball_screw>. Päivitetty 31.12.2021. Luettu 4.1.2022.
- 9 Rack and pinion. 2021. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Rack_and_pinion>. Päivitetty 30.10.2021. Luettu 4.1.2022.
- 10 Kuularuuvi vai hammashihna – milloin pitää käyttää mitäkin? 2020. Verkkoaineisto. Rollco Oy. <<https://blog.rollco.fi/kuularuuvi-vai-hammashihna-milloin-pitaa-kayttaa-mitakin>>. Päivitetty 10.6.2020. Luettu 4.1.2022.
- 11 GDZ93x82 CNC Spindle Motor. 2021. Verkkoaineisto. Alibaba. <https://www.alibaba.com/product-detail/GDZ93x82-CNC-Spindle-Motor-1-5kw_62248550672.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.2abb745c8SnMVI>. Luettu 20.1.2022.

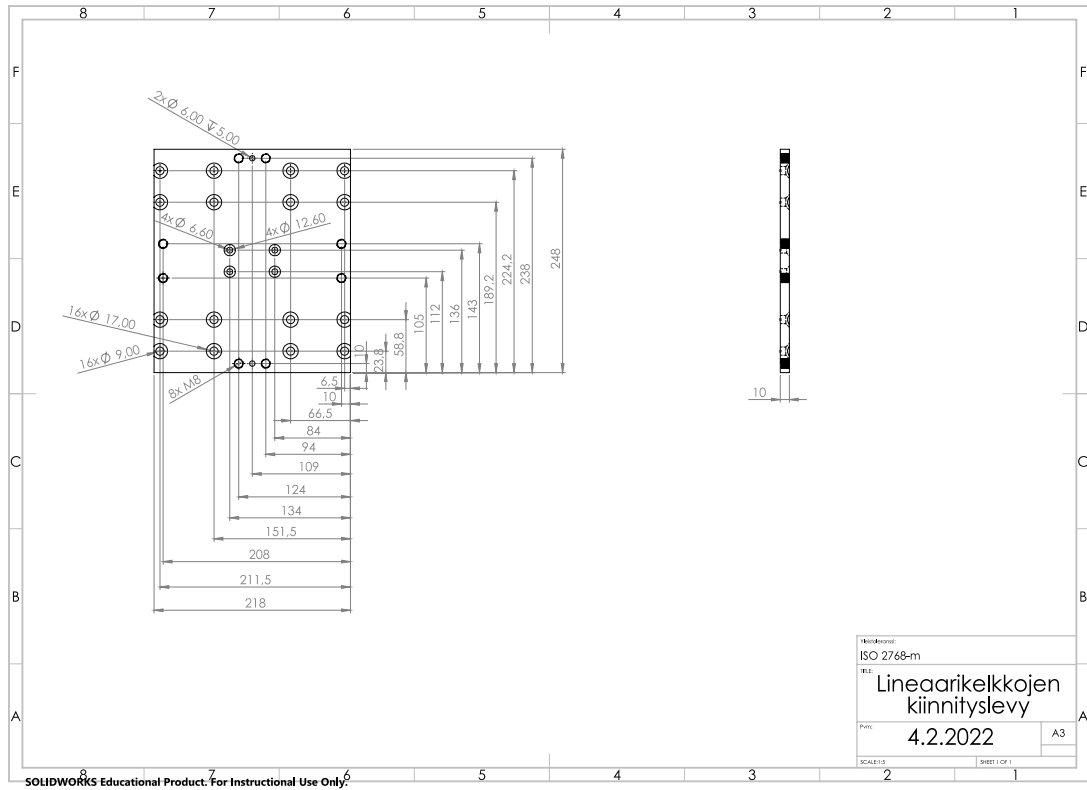
Kolmiolevyn osakuva



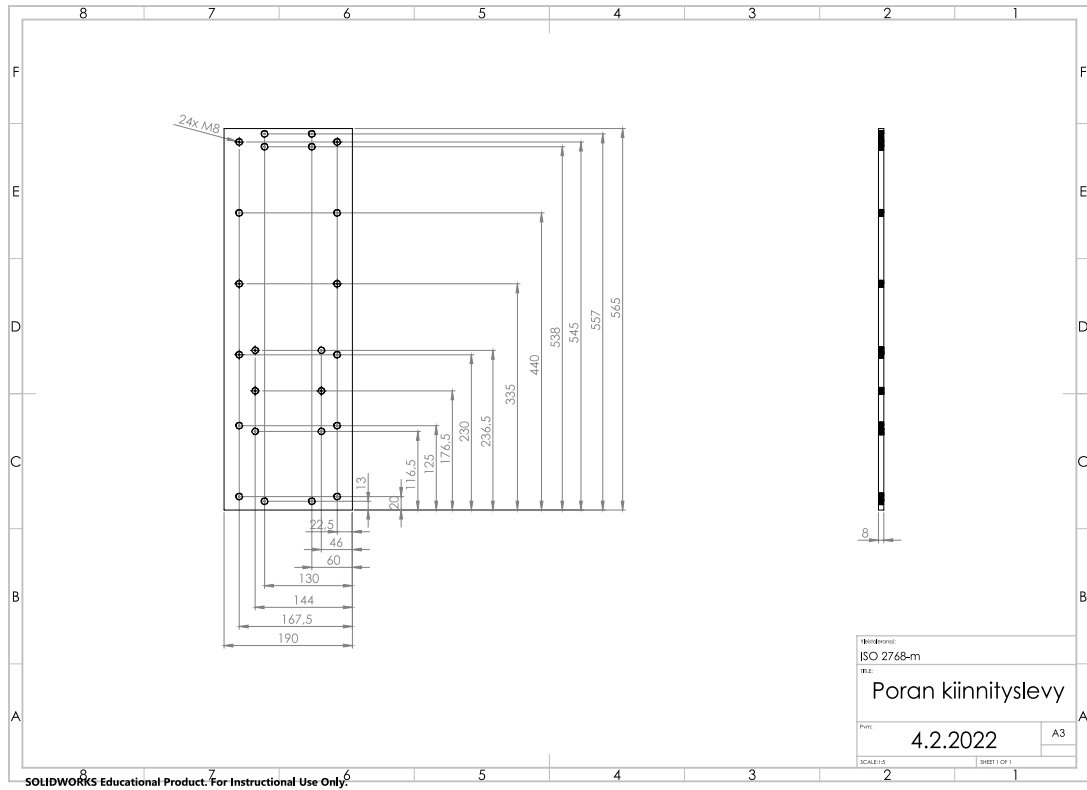
Kolmiolevyjien välilevyn osakuva



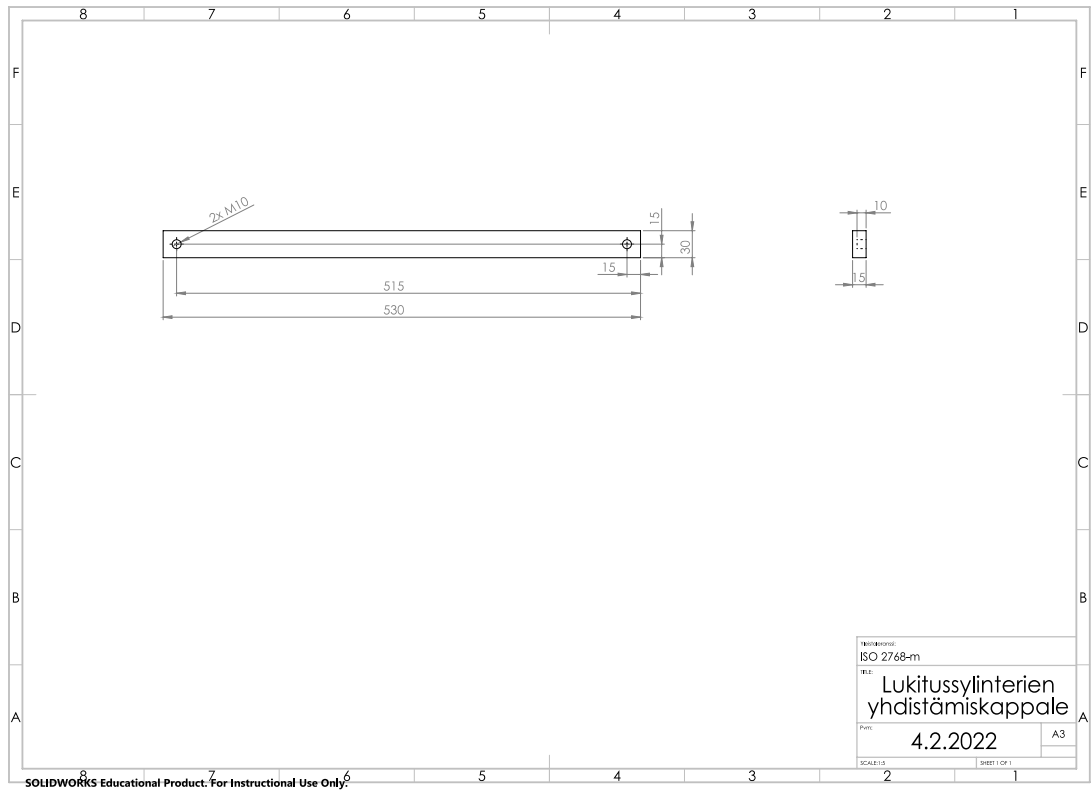
Lineaarikelkkojen kiinnityslevyn osakuva



Poran kiinnityslevyn osakuva



Lukitussylinterien yhdistämiskappaleen osakuva



Poralinjan kokoonpanokuva ja osaluettelo

Nro	Komponentti	Kuvaus	Kpl
1	Pohjataso	Alumiiniprofiili 45 x 180	1
2	Pohjatason vasen laita	Alumiiniprofiili 45 x 45	1
3	Pora	GD73x82	1
4	Käinsiden volleivy	20 mm teräslevy	1
5	Lineaarikelkkojen kiinnityslevy	10 mm teräslevy	1
6	Kolmiolevy	20 mm teräslevy	2
7	Poran kiinnityslevy	8 mm teräslevy	1
8	Kuularuuvi(Y-akseli)	SFU2510	1
9	Kuularuuvimutteri	SFU2510	2
10	Kuularuufterin kotelo	DSG25H	2
11	Kuularuufterin kotelo jalkapala	Alumiini	2
12	Ohjuri, lyhyt	Alumiiniprofiili 45 x 45	1
13	Kuularuuvi(Z-akseli)	SFU2510	1
14	Energiaketju		1
15	Energiaketjun profiili	Alumiiniprofiili 19 x 90	1
16	Kuularuuvi	8x20	2
17	Kuularuuvi	8x20	2
18	Lineaaripohde(Y-akseli)	HGR2SR	2
19	Lineaaripohde(Z-akseli)	Alumiiniprofiili 45 x 45	2
20	Lineaarikelkka	EGW3CA	8
21	Lineaaripohde(Z-akseli)	HGR2SR	2
22	Lineaaripohde(Z-akseli)	Alumiiniprofiili 45 x 45	2
23	Lineaarikelkkojen toinen kiinnityslevy	10 mm teräslevy	1
24	Lerapalkki	6 x I2	2
25	Painnastanko	SRAF1,5-1000J	4
26	Painnasynterin profiili	Alumiiniprofiili 45 x 90	1
27	Pohjatason oikea laita	Alumiiniprofiili 45 x 135	1
28	Lineaaripohde(Y-akseli)	HGR3SR	2
29	Lineaarikelkka	HGW35HA	4
30	Painnasynteri	JCM25_150	6
31	Lukitusynterin kiinnityskappale	3 mm teräslevy	10
32	Kierrelevy	50 x 60	3
33	Lukitusynteriden yhdistämiskappale	Alumiini	1
34	Painnasynterin kiinnityskappale	3 mm teräslevy	1
35	Kierrelevy	45 x 90	8

Poralinjan kokoonpanokuva
4.2.2022

A2

Hintataulukko

Komponentti	Määrä	Hinta (€)
45x180 alumiiniprofiili	13,5 m	70 € / m = 945 €
45x45 alumiiniprofiili	n. 7 m	10,70 € / m = 75 €
45x135 alumiiniprofiili	4,5 m	58 € / m = 261 €
45x90 alumiiniprofiili	n. 1 m	24,95 € / m = 24,95 €
19x90 alumiiniprofiili	n. 1 m	18,15 € / m = 18,15 €
HGR35R-lineaarijohde	9 m	69,75 € / m = 630 €
HGR25R-lineaarijohde	n. 2,2 m	53,55 € / m = 120 €
EGW25CA-lineaarikelkka	8 kpl	33 € / kpl = 264 €
HGW35HA-lineaarikelkka	4 kpl	58,86 € / kpl = 235 €
Teräslevy 20 mm	n. 0,55 m ²	512 € / m ² = n. 260 €
Teräslevy 10 mm	n. 0,1 m ²	244 € / m ² = n. 25 €
Teräslevy 8 mm	n. 0,1 m ²	n. 200 € / m ² = n. 20 €
Kuularuuvi SFU2510	n. 1 m	32,77 € / m = 32,77 €
Kuularuuvimutteri SFU2510	2 kpl	46,57 € / kpl = n. 93 €
Kuularuuvin tukilaakeri BK20	2 kpl	47,60 € / kpl = n. 95 €
Kuularuuvin tukilaakeri BF20	2 kpl	19,66 € / kpl = n. 40 €
Kuularuuvimutterin kotelo DSG25H	2 kpl	14,49 € / kpl = n. 29 €
Pora GDZ93x82	1 kpl	265 €
Kierrelevy 45x90	8 kpl	5,60 € / kpl = n. 45 €
Kierrelevy 30x60	3 kpl	4,90 € / kpl = n. 15 €
		Yhteensä: n. 3500 €