OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Jarno Luttinen

# SÄÄDETTÄVIEN KOKOONPANOPUKKIEN SUUNNITTELU

# SÄÄDETTÄVIEN KOKOONPANOPUKKIEN SUUNNITTELU

Jarno Luttinen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Jarno Luttinen
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Säädettävien kokoonpanopukkien suunnittelu
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Design of Adjustable Workbench System
Työn ohjaaja: Kai Jokinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020
Sivumäärä: 47 + 0 liitettä

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin konepajayritykselle, jolla oli tarve kehittää yrityksessä tehtävän kokoonpanotyön ergonomiaa ja työturvallisuutta. Opinnäytetyössä suunniteltiin korkeudensäätöautomatiikalla varustetut portaattomasti säädettävät kokoonpanopukit, joissa on tallennusmahdollisuus muutamalle yleisimmälle työkorkeudelle. Työssä suunniteltiin kokoonpanopukkijärjestelmä, joka vähentää kokoonpanotyössä tehtäviä nostoja ja siirtoja sekä parantaa työasentoja.

Kokoonpanopukkien suunnittelu koostui sen rakenteellisten ja toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisestä, pukkien toteutustavan ja toimilaitteiden valinnasta ja pukkien mekaniikkasuunnittelusta. Pukkien peruskorkeudeksi määriteltiin 700 mm ja korkeudensäätövaraksi 400 mm. Pukkien minimi kuormituksenkestoksi määriteltiin 3 000 N. Pukkien toteutustavaksi valittiin rakenne, jossa pukin pystyputki korvattiin nostopilarilla. Käyttölaitteita vertailtiin ja valittiin mitoiltaan ja ominaisuuksiltaan sopivimmat vaihtoehdot. Pukit mallinnettiin tietokoneavusteisesti SolidWorks-suunnitteluohjelman avulla. Kokoonpanopukkien osista ja kokoonpanoista tehtiin rakennepiirustukset, jotka toimitettiin tilaajalle hyväksyttäviksi.

Työn tuloksina saatiin tuotespesifikaation vaatimukset täyttävän kokoonpanopukkijärjestelmän valmistuspiirustukset. Piirustusten perusteella kokoonpanopukit on mahdollista toteuttaa käytännössä.

---

Asiasanat: kokoonpanotyö, ergonomia, työhyvinvointi, tuottavuus, automaatio

# ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty konepajateollisuudessa toimivalle yritykselle. Haluan osoittaa kiitokseni opinnäytetyöaiheen löytymisessä avustaneelle suunnitteluinsinööri Mikko Piipolle ja työtä valvoneelle toimitusjohtaja Janne Liedekselle. Lisäksi haluan kiittää työn ohjannutta yliopettaja Kai Jokista saamastani avusta ja palautteesta.

Oulussa 28.04.2020

Jarno Luttinen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 3
ALKULAUSE 4
SISÄLLYS 5
SANASTO 7
1 JOHDANTO 8
2 KOKOONPANOTYÖ, TYÖTURVALLISUUS JA ERGONOMIA 9
2.1 Työturvallisuus 9
2.2 Ergonomia 10
3 KÄYTTÖENERGIAN VALINTA 12
3.1 Pneumatiikka 12
3.2 Hydrauliikka 13
3.3 Sähköenergia 14
4 TOTEUTUSVAIHTOEHDON VALINTA 16
4.1 Teleskooppirakenne 17
4.2 Nostopilarirakenne 20
5 SUUNNITTELU 24
5.1 Vaatimusmäärittely 24
5.2 Valitun toteutusvaihtoehdon rungon ositus ja toiminnalliset komponentit 25
5.2.1 Jalkaosa 26
5.2.2 Nostopilari 26
5.2.3 Yläputki 26
5.3 Käyttölaitteiden valinta 27
5.3.1 Nostopilari 27
5.3.2 Ohjausyksikkö 28
5.3.3 HSU-käsiohjain 30
5.3.4 Konekenkä 31
5.3.5 Siirtopyörät 32
5.3.6 Naarmunsuojaus 33
5.3.7 Yläpään liitoksen tiiviste 34
5.4 Mekaniikkasuunnittelu 35

5.4.1 Jalkaosan mekaniikkasuunnittelu 35
5.4.2 Yläputken mekaniikkasuunnittelu 36
5.4.3 Pääkokoonpanojen mekaniikkasuunnittelu 37
5.5 Valmistuspiirustukset 40
6 YHTEENVETO 43
LÄHTEET 45

## SANASTO

2D = 2 dimensional, kaksiulotteinen

3D = 3 dimensional, kolmiulotteinen

AC = vaihtovirta

AutoCad = 2D-suunnitteluohjelmisto

CAD = computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu

DC = tasavirta

DWG = drawing interchange format, tiedonsiirtoformaatti CAD -ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon

EPDM = ethylene prophylene diene monomer, eteeni-propeenikumi

kN = kilonewton

KPa = kilopascal

N = newton

Nm = newtonmetri

PLC = programmable logic controller, ohjelmoitava logiikkaohjain

S355 = teräksen lujuusluokka S355

SolidWorks = 3D-suunnitteluohjelmisto

V = voltti

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan korkeussäädettävät kokoonpanopukit, jotka parantavat niiden päällä tehtävän kokoonpanotyön ergonomiaa, työturvallisuutta ja työntekijän työssäjaksamista ja näin lisäävät työn tuottavuutta ja vähentävät sairauspoissaoloja. Opinnäytetyö tehdään konepajateollisuudessa toimivalle yritykselle, josta löytyi tarve kehittää nykyisin käytössä olevien kokoonpanopukkien rakennetta. Konepajatyö on raskasta, ja työn tekeminen ergonomisesti mahdollisimman hyvästä asennosta on etu sekä työntekijälle että yritykselle.

Tämä työ sisältää kokoonpanopukkien mahdollisten toteutusvaihtoehtojen selvitystyön, selvitystyön perusteella valitun vaihtoehdon pohjalta toteutetun kokoonpanopukin käyttölaitteiden valinnan ja mekaniikkasuunnittelun. Työ toteutetaan konepajalta saatujen spesifikaatioiden mukaisesti. Työn spesifioinnissa käytiin lisäksi suullisia keskusteluja konepajan työntekijöiden kanssa, jotta työkorkeudet ja käytettävyys saataisiin työhön sopiviksi ja kokoonpanopukeista olisi mahdollisimman suuri hyöty käytännön työtä tehdessä.

Nykytilanteessa yrityksellä on käytössä rakenneteräsputkesta hitsaamalla valmistettuja kokoonpanopukkeja, joissa on yksi kiinteä työkorkeus, sekä pukkeja, joihin saadaan saranoituja jalkoja käsin kääntämällä kaksi eri työkorkeutta. Saranoitujen pukkien korkeussäätö on mahdollista vain silloin, kun pukkien päällä ei ole niitä kuormittavaa työkappaletta.

Opinnäytetyössä spesifioitujen työkorkeuksien puitteissa suunnitellaan kokoonpanopukit, joissa on portaaton korkeussäätö. Korkeussäätöä ohjataan käsiohjaimella, johon on mahdollisuus tallentaa muistiin muutamia yleisimpiä työkorkeuksia. Lisäksi pukkien korkeussäätö on mahdollista tehdä työkappale pukin päällä, mikä parantaa ergonomisten etujen lisäksi työn läpimenoaikaa.

# 2 KOKOONPANOTYÖ, TYÖTURVALLISUUS JA ERGONOMIA

Kokoonpanotyö on itsevalmistettujen tai muualta hankittujen osien sekä standardikomponenttien ja -tarvikkeiden liittämistä toisiinsa joko toimivaksi tuotteeksi tai tuotteen osaksi. Kokoonpanotyö on usein käsityötä ja on säilyttänyt käsityövaltaisuutensa, vaikka valmistusteollisuus on viime vuosikymmeninä yhä suuremmissa määrin koneistunut. Kokoonpanotyön osuus tuotteeseen käytettävästä kokonaistyöajasta on useiden tutkimusten mukaan melko suuri, usein 20 - 40 prosenttia. (1, s. 111.)

Kone- ja metalliteollisuudessa työskentelevän kokoonpanotyöntekijän tehtävänä on koota erilaisia metallituotteita sarjatyönä. Kokoaminen suoritetaan piirustusten perusteella. Kokoonpanija liittää tuotteet toisiinsa yleensä ruuvaamalla, hitsaamalla tai puristusliitoksella. Kokoonpanijan tyypillinen työpiste konepajaympäristössä on hallissa, jossa hän työskentelee yhdessä muiden kokoonpanijoiden kanssa. Tiimityötä tehdään yleisesti. (2.)

## 2.1 Työturvallisuus

Työhön liittyvää fyysistä rasitusta aiheuttavat esimerkiksi työkappaleen nostot ja siirrot käsin sekä hankalat ja staattiset työasennot. Kuormitus on haitallista silloin, kun se aiheuttaa työntekijälle väsymystä ja hidastaa elimistön palautumista rasitustilan jälkeen. Haitallista fyysistä rasitusta pystytään vähentämään, kun työnantaja suunnittelee työn ja työpisteen siten, että työtä tekevän ihmisen ominaisuuksista aiheutuvat rajoitukset huomioidaan työpisteen mitoituksessa. (3.)

Konepajoissa tehtävä kokoonpanotyö on raskasta ja sisältää paljon työkappaleen nostoja ja siirtoja, joista osa pystytään tekemään nosturilla, mutta osa tehdään edelleen käsin. Käsin tehtävät nostot ja siirrot saattavat aiheutua esimerkiksi työpisteen sijainnista tai työkappaleen hankalasta geometriasta. Käsin tehtävien nostojen aiheuttama rasitus lisää tuki- ja liikuntaelinsairauksien vaaraa ja voi aiheuttaa lisäksi hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittumista. Taakkojen nostot

ja siirrot aiheuttavat myös tapaturmia työpaikalla. Raskas fyysinen työ on usein syynä siihen, että ihminen joutuu siirtymään ennenaikaisesti eläkkeelle. (3.)

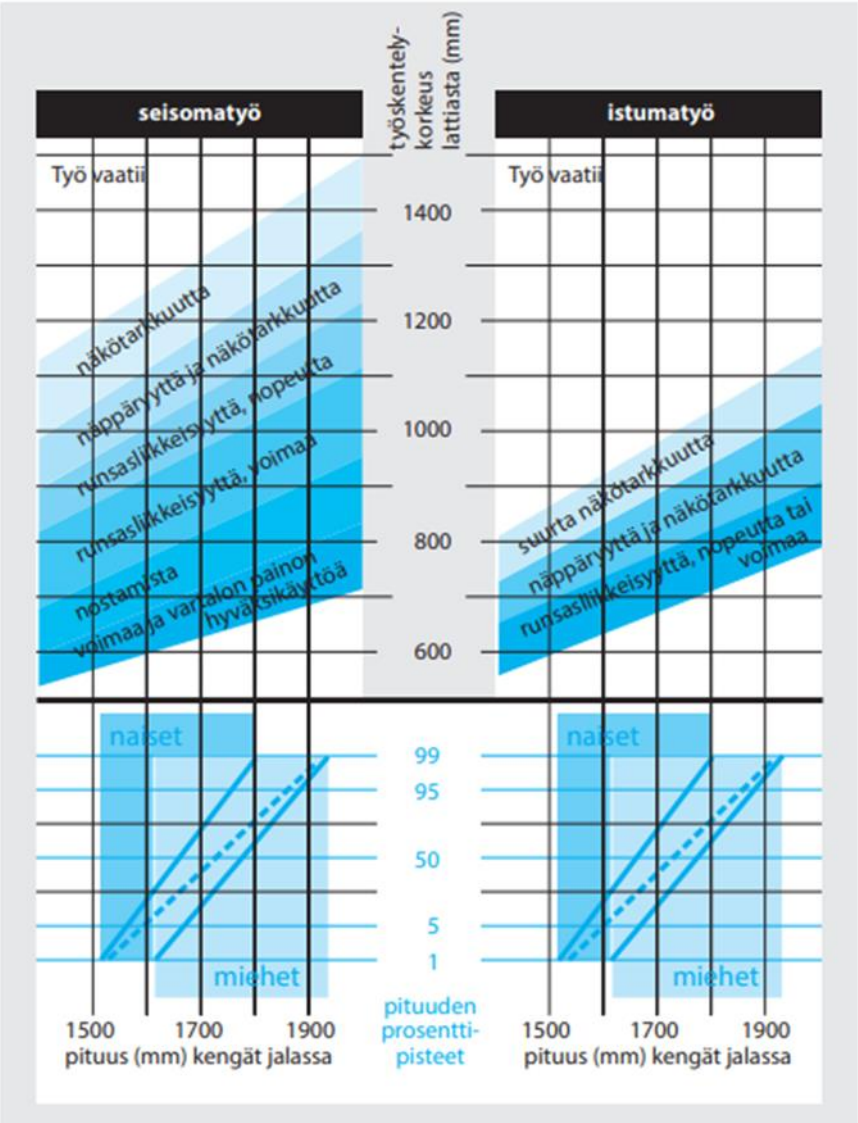
## 2.2 Ergonomia

Ergonomia ja käytettävyys ovat laajasti ja moniulotteisesti määriteltäviä käsitteitä. Lyhyesti sanottuna ergonomian tieteenalan kohteena on ihmisen sekä toimintajärjestelmän muiden osien vuorovaikutuksien ymmärtäminen. (4, s 15.) Tässä opinnäytetyössä toimintajärjestelmään kuuluu kokoonpanotyötä tekevän ihmisen lisäksi kaksi kokoonpanopukkia, joiden päällä kokoonpanotyötä tehdään, sekä kokoonpanon osat, joita kokoonpanemalla saadaan aikaiseksi lopputuote, joka voi olla esimerkiksi lasitettu alumiinirunkoinen ovirakenne.

Toimivaksi suunniteltu työtila vaikuttaa huomattavasti työntekijän terveyteen, hyvinvointiin ja työsuoritukseen. Työtilojen suunnitteleminen on muutosprosessi, jossa sekä työtiloja että toimintaa kehitetään yhtäaikaisesti. (5.) Korkeussäädettävät kokoonpanopukit on mitoitettu työntekijöiltä suullisen haastattelun perusteella saadun kokemusperäisen tiedon perusteella niin, että työskentelykorkeus 700 - 1 100 mm on säädettävissä mahdollisimman ergonomiseksi kokoonpanotyön eri vaiheissa.

Työkorkeudet saadaan lisättyä kokoonpanopukkien käsiohjaimen muistiin niin, että ennalta muistipaikkaan tallennettuun työkorkeuteen päästään ohjaimen nappia painamalla. Tämä vähentää työssä käsin tehtävien nostojen määrää, koska työkappaletta ei tarvitse nostaa pois pukin päältä pukkien työkorkeuden muuttamisen ajaksi.

Nostojen lisäksi korkeussäädettävät kokoonpanopukit vähentävät työn aiheuttamaa fyysistä kuormitusta, koska työvaiheet voidaan suorittaa mahdollisimman vähän kuormittavista työasennoista. Lisäksi korkeussäädön ollessa portaaton voi työpisteellä työskennellä eripituisia henkilöitä ergonomisesti. Kuvassa 1 esitetään työkohteen korkeuden suosituksia tehtävän työn ja työntekijän koon mukaan.




*KUVA 1. Työkohteen korkeuden suosituksia tehtävän vaatimusten ja työntekijän koon mukaan (6, s. 154)*

# 3 KÄYTTÖENERGIAN VALINTA

Yksi kokoonpanopukkien suunnittelun lähtökohdista oli käyttöenergian valinta. Pukkien vaatimuksia määriteltäessä sovittiin, että pukkien tulisi kestää 3 000 N korkeussuuntainen staattinen kuormitus. Tämä kuormitus asettaa tiettyjä rajoituksia käyttöenergialähteen valinnalle.

Pukkeihin kohdistuvaa vaakasuuntainen kuormitus arvioitiin suuruudeltaan suhteellisen pieneksi, mutta hankalaksi määritellä tarkasti niin, että lopputulos olisi todellisuutta vastaava. Kuormituksen kuitenkin jäätyä suhteellisen pieneksi päädyttiin siihen, että pukkeihin kohdistuvat vääntömomentit jätetään vähemmälle huomiolle suunnittelussa kuitenkin niin, että rakenteesta suunnitellaan mahdollisimman hyvin tällaisia kuormituksia kestävä ratkaisu.

## 3.1 Pneumatiikka

Pneumatiikka tarkoittaa paineilman käyttöön perustuvaa tekniikkaa. Pneumatiikan voidaan soveltaa laaja-alaisesti erilaisissa käyttökohteissa. Paineilmajärjestelmät ovat usein toteutukseltaan yksinkertaisia ja hankintahinnaltaan kohtuullisen edullisia. (7, s. 8.) Koneautomaatiossa pneumatiikkaa käytetään esimerkiksi lineaari- ja rotaatioliikkeiden toteuttamisessa. Paineilman käytön laajuutta kuvaa hyvin arvio, jonka mukaan jopa 5 % teollisuusmaiden käyttämästä sähkötehosta kulutetaan pneumatiikan tuottamiseen. (7, s. 7.)

Paineilman käyttöä rajoittaa turvallisuussyistä alhaisena pidettävä käyttöpaine 400 - 1 000 KPa, kokoonpuristuvuudesta johtuva epätarkkuus, sekä pneumatiikkajärjestelmien alhainen hyötysuhde. (8, s. 47.) Pneumatiikkajärjestelmät soveltuvat hyvin kevyiden kappaleiden käsittelyyn ja nopeiden liikkeiden toteuttamiseen. Lisäksi hydrauliikkaan verrattuna pneumaattisen järjestelmä etuja ovat palotuvallisuus, siisteys, sekä helppo huolto ja ylläpito. Pneumatiikka ei sovellu merkittävään tehonsiirtoon tai jäykkiä väliasentoja vaativiin sovelluksiin. (7, s. 9.)

Yrityksessä, johon kokoonpanopukkeja suunniteltiin, on valmiina pneumatiikkajärjestelmä, jota olisi voinut hyödyntää projektissa. Kokoonpanopukeilla liikutetaan kuitenkin suurehkoja kuormia, jotka täytyy saada pysäytettyä jäykästi väliasentoihin. Tämän lisäksi toiveena oli järjestelmä, joka mahdollistaa työkorkeuksien tallentamisen muistiin. Todettiin, että kyseiset toiminnot sisältävän järjestelmän toteuttaminen pneumatiikalla on sekä hankalaa että epäkäytännöllistä. Päätettiin, ettei pneumaattista järjestelmää hyödynnetä projektissa.

### 3.2 Hydrauliikka

Hydrauliikka on yleisnimitys nesteiden ja kaasujen hydrostatiikan ja hydrodynamiikan teknisille sovelluksille. Hydrostatiikassa tarkastellaan relatiivisessa tai absoluuttisessa levossa olevia kaasuja tai nesteitä. Hydrodynamiikassa tarkastellaan liikkeessä olevia kaasuja tai nesteitä. (9, s. 3.) Hydrauliset järjestelmät siirtävät mekaanisesti tuotetun energian hydrauliseksi tehoksi. Mekaaninen teho siis siirretään hydrauliseksi paineeksi ja tilavuusvirraksi. Mekaaninen energia tuotetaan usein joko sähkö- tai polttomoottorilla. Työkohteessa olevat toimilaitteet muuttavat hydraulisen tehon takaisin mekaaniseksi energiaksi. (8, s. 170.)

Hydrauliikalla saadaan tuotettua suuria voimia ja momentteja suhteellisen pienillä ja keveillä komponenteilla. Lineaariliike on helppo toteuttaa hydrauliikalla. Sähköhydraulisten toimilaitteiden käyttö mahdollistaa sähköisen ohjauksen liittämisen hydrauliikkaan. (9, s. 3.) Hydrauliikkaa käytetään monissa teollisuuden sovelluksissa esimerkiksi puristimet ja työstökoneiden työliikkeet ja liikkuvan kaluston kaivurit ja nostimet ovat usein hydrauliikalla toteutettuja. Hydrauliikan haittapuolia ovat se, että ainakin pieniä öljyvuotoja esiintyy lähes aina, mikä tekee siitä soveltumattoman tiloihin, joissa vaaditaan puhtautta. Lisäksi hydrauliikan hyötysuhde ei ole kovin hyvä ja hydrauliikassa käytettävät nesteet ovat palavia ja ympäristöä likaavia. Hydrauliikkajärjestelmän pitkä kestoikä ja käyttövarmuus edellyttävät jatkuvia huoltotoimenpiteitä, että järjestelmä pysyy puhtaana. (8, s. 171.)

Kokoonpanopukkien toteuttaminen hydraulisesti esimerkiksi hydraulisilla sylintereillä ja sähköisellä sylinterien ohjauksella olisi todennäköisesti ollut mahdollista. Tämä olisi kuitenkin käyttölaitteiden lisäksi vaatinut koko hydraulijärjestelmän

hankkimista, koska sellaista ei valmiiksi yritykseltä löytynyt. Lisäksi mahdolliset öljyvuodot todettiin erittäin haitallisiksi tilassa, jossa käsitellään maalattuja kokoonpanonosia. Näiden seikkojen lisäksi järjestelmän jatkuva huollontarve ja korkea hankintahinta olivat syitä, miksi päätettiin, ettei järjestelmää toteuteta hydrauliikalla.

### 3.3 Sähköenergia

Kansainvälinen SI-yksikköjärjestelmä on maailman yleisin mittausjärjestelmä. Yksi SI-järjestelmän perussuureista on sähkövirta, joka merkitään tunnuksella I. Sähkövirran yksikkö on ampeeri, jonka tunnus on A. Jos sähkövirran suunta ja suuruus pysyvät samoina, on kyseessä tasavirta. Tasavirran tunnuksena käytetään kirjainyhdistelmää DC. Vaihtovirta on sähkövirtaa, jonka suunta vaihtuu riippuen ajasta ja muutos on tyypillisesti sinimuotoista. Vaihtovirran merkintänä käytetään kirjainyhdistelmää AC. (10.) Tasavirtaa käytetään esimerkiksi akkukäyttöisissä sovelluksissa esimerkkeinä auton akku ja akkuporakone. Vaihtovirtaa käytetään esimerkiksi oikosulkumoottoreiden voimanlähteenä.

Sähkölaitteiden etuna hydraulisiin ja pneumaattisiin laitteisiin verrattuna on energian säästö. Lineaarimoottorit kykenevät entistä suurempiin kuormiin ja aktuaattoreilla saadaan tuotettua hydrauliikan tapaan suuria voimia. Korkeavääntömomenttiset planeettavaihteiset sähkömoottorit pystytään rakentamaan ulkomittojensa puolesta vastaamaan perinteisiä sylintereitä. Sähköisesti toimivilla laitteilla on parempi hyötysuhde kuin paineilmalla ja hydrauliikalla. Kun liikettä ei tarvita, sähköisen laitteen sähkönkulutus on lähes nolla, kun esimerkiksi hydraulikoneikko käy myös niissä tilanteissa, kun öljynpainetta ei tarvita. (11.) Jatkuvan liikkeen hallinta on helpompi toteuttaa sähköllä kuin pneumatiikalla. Ilman joustavuus tuottaa pneumaattisille laitteille vaikeuksia, kun taas sähköisissä laitteissa paikkatieto saadaan suoraan takaisinkytkennän avulla. Hydrauliikalla liikkeen hallitseminen onnistuu, mutta on hankalampaa kuin sähköllä. (11.)

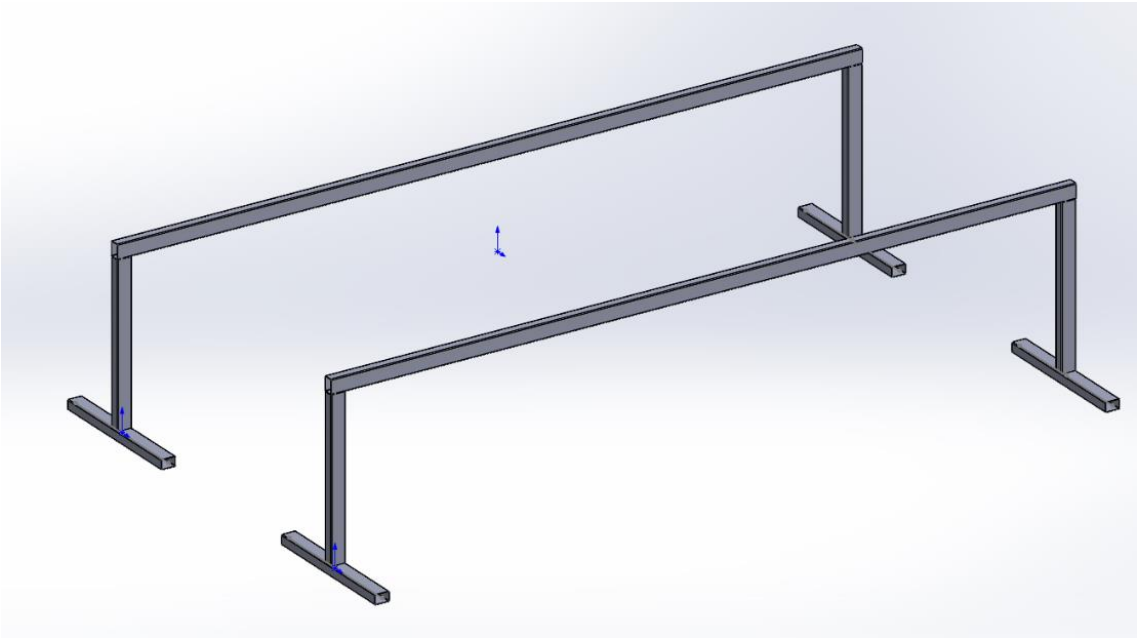
Sähköenergian hyödyntäminen tuo kustannussäästöjä, koska sähkön tuottamiseen ei tarvita sähköliittymän lisäksi erillistä järjestelmää kuten pneumatiikassa ja hydrauliikassa. Sähkökäyttöisissä projektiin sopivissa käyttölaitteissa on lisäksi

parempi hyötysuhde kuin muissa vaihtoehdoissa ja käyttölaitteiden valikoima on laajempi. On myös olemassa valmiita sähkökäyttöisiä sovelluksia, jotka soveltuvat projektiin ja mahdollistavat projektin toteuttamisen ilman erillistä tietokoneella ohjattavaa automaatiojärjestelmää ja ohjelmakoodia. Sähköenergisten käyttölaitteiden hinnat arvioitiin myös tarpeeksi kustannustehokkaiksi. Todettiin että sähköenergia sopii hyvin projektin toteuttamiseen ja päätettiin, että kokoonpanopukkien käyttölaitteiden energialähteeksi valitaan sähköenergia.

# 4 TOTEUTUSVAIHTOEHDON VALINTA

Kokoonpanopukkien suunnittelun toinen peruslähtökohta oli valita pukkien rakenteen ja pukkien synkronoidun korkeussäädön toteutus. Kokoonpanopukit ovat perinteisesti rakenteeltaan yksinkertaisia hitsaamalla valmistettuja, eikä niissä ole korkeussäätömahdollisuutta. Toteutusta mietittäessä pyrittiin myös mahdollisimman yksinkertaiseen, turvalliseen ja käytännölliseen rakenteeseen. Kokoonpanopukkien käyttöenergiaksi valittiin sähköenergia. Käyttöenergian valinta rajasi mahdollisia toteutusvaihtoehtoja huomattavasti.

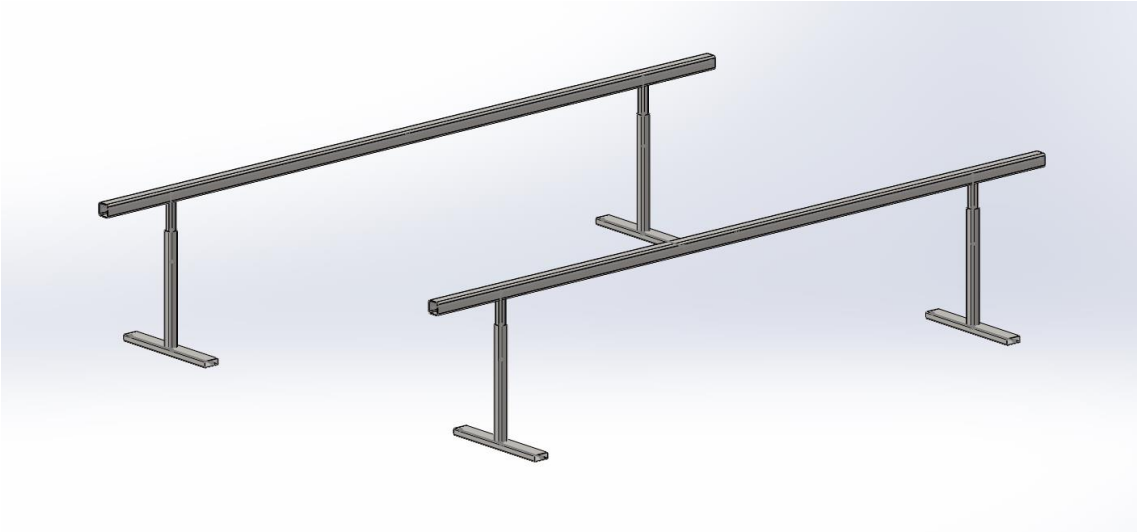
Valittiin kaksi sähköenergiaa hyödyntävää vaihtoehtoa kokoonpanopukkien toteutukselle. Toteutusvaihtoehtoja verrattiin toisiinsa ja valittiin parempi vaihtoehto, jonka perusteella korkeussäädettävät kokoonpanopukit suunniteltiin. Kuva 2 havainnollistaa perinteisen teräsputkesta hitsaamalla valmistetun kokoonpanopukin rakennetta.



*KUVA 2. Perinteiset teräsputkesta hitsaamalla valmistetut kokoonpanopukit, joissa ei ole korkeudensäätömahdollisuutta*

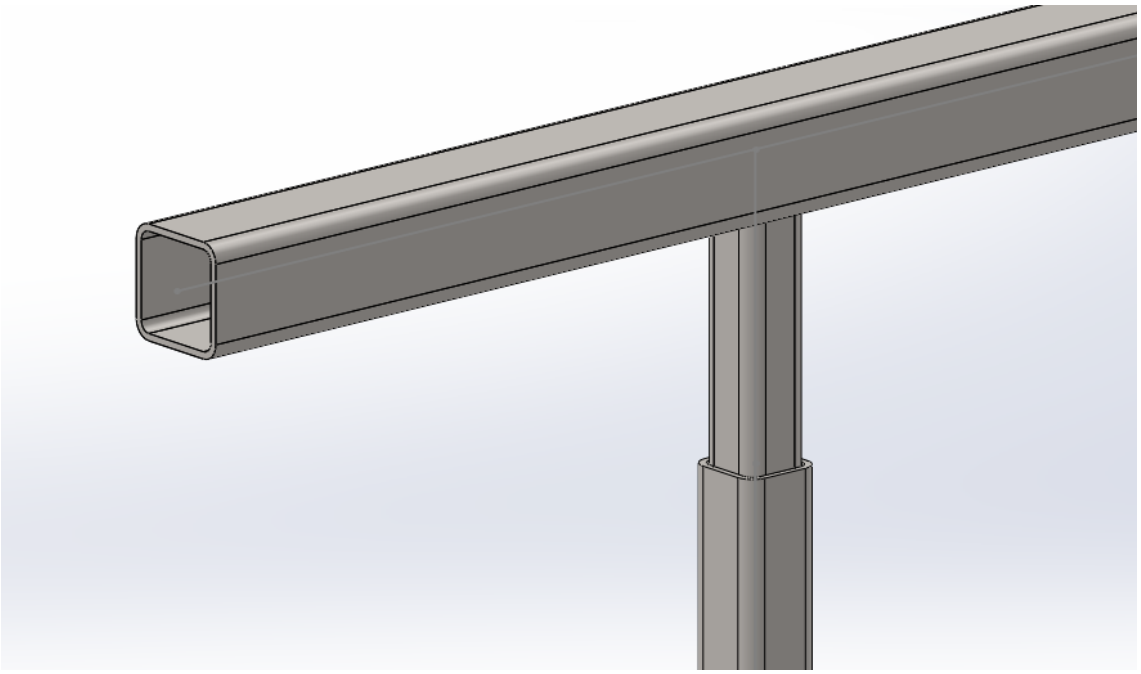
## 4.1 Teleskooppirakenne

Teleskooppirakenne on variaatio perinteisestä kokoonpanopukista, sillä erotuksella että pystyputken ja vaakaputken liitosta ei ole hitsattu vaan pystyputki on toteutettu teleskooppirakenteella. Teleskooppirakenteiset kokoonpanopukit on esitetty kuvassa 3.



*KUVA 3. Teleskooppirakenteiset kokoonpanopukit*

Teleskooppirakenteessa pukin vaakaputkeen on hitsattu kiinni putki, joka sopii kokoonpanopukin pystyputken sisään, ja näin pukkiin saadaan aikaiseksi rakenne, jossa pukin korkeutta voidaan säätää. Kuva 4 havainnollistaa sisäkkäin olevien pystyputkien muodostaman rakenteen lähempää katsottuna.



*KUVA 4. Vaakaputkeen hitsattu putki, joka sopii kokoonpanopukin pystyputken sisään*

Teleskooppirakenteisessa versiossa korkeussäätö voitaisiin toteuttaa esimerkiksi neljällä pulssiantureilla varustetuilla servomoottorilla, joilla liikutetaan liikeruuvikäyttöä, joka nostaa tai laskee teleskooppirakenteen sisempää putkea. Moottorien ohjauksen parantamiseksi tarvitaan myös neljä taajuusmuuttajaa. Korkeussäädön lisäksi järjestelmään tulisi suunnitella johderatkaisu, joka ottaisi vastaan pukkiin kohdistuvan vääntömomentin. Vääntömomentti syntyy, kun pukkien päällä tehdään kokoonpanotyötä, esimerkiksi ruuvataan tai porataan.

Korkeussäädön ohjaus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi Movi-PLC-liike- ja logiikkaohjaimen avulla, joka ohjaa taajuusmuuttajia niin että moottoreilla saadaan aikaan synkronoitu liike. Taajuusmuuttajaan on myös saatavissa niihin suoraan liitettäviä tahdistuskortteja, joiden ansiosta synkronointi saadaan suoritettua ilman erillistä ohjauskoodia, ja näin voidaan säästää kuluissa merkittävästi.

Synkronointi tahdistuskortilla voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kulmasynkronoinnin avulla. Kulmasynkronoinnissa saadaan yksi tai useampi slavelaite käymään oi-

kein tahdistettuna masterlaitteeseen nähden. Onnistuneeseen kulmasynkronoinnin toteutukseen vaaditaan se, että moottorien akseleiden asento ja pyörimisnopeus tiedetään jatkuvasti. Tämä paikannus voidaan suorittaa esimerkiksi pulssianturien avulla. Pulssianturit lähettävät akselin pyörähtäessä tietyn astemäärän verran pulssin laskuriin. Kun tiedetään masterlaitteen ja slavelaitteen moottorien pulssiluvut, voidaan niiden erotuksesta laskea kulmaero akselien välillä. Kulmaeron ollessa nolla akselit ovat samassa kulmassa eli ne ovat kulmasynkronoituneita. (12, s. 6.)

Tahdistuskortti toimii kulmasynkronoinnissa niin, että masterkäytön ja slavekäytön pulssiantureilta tuodaan kortille pulsseja, joita kortin laskuri laskee jatkuvasti. Nämä laskurien tulokset kerrotaan käyttöjen vaihdekertoimilla. Master- ja slavelaitteiden matkatietojen ero tallennetaan kortin differentiaalilaskuriin. Master- ja slavelaitteiden kulmaeron minimoimiseksi laskuri laskee nopeudeksi korjausarvon. Todellinen slavelaitteen korjausarvo saadaan kertomalla nykyinen kulmaero vahvistusparametrillä. Vahvistusparametrin asettaminen oikeaksi on tärkeää, sillä vahvistusparametrillä on suuri merkitys käyttöjen synkronoitumisen ohjauksessa. Jos arvo on liian suuri slavelaite värähtelee epätoivotulla tavalla kulmaeron molemmin puolin. Jos arvo on liian pieni, slavelaite ei saa kurottua masterlaitteen vaihe-eroa kiinni siirtymävaiheissa. (12, s. 6.)

Teleskooppirakenteisen kokoonpanopukki edellä kuvatulla toteutuksella vaatisi tietokonekäyttöisen järjestelmän käyttöliittymineen ja lisäksi työkorkeuksien tallentaminen muistiin pitäisi toteuttaa tähän järjestelmään erikseen. Erillisellä tietokoneella ohjattu kokoonpanopukki ei ole järkevä vaihtoehto tähän käyttötarkoitukseen.

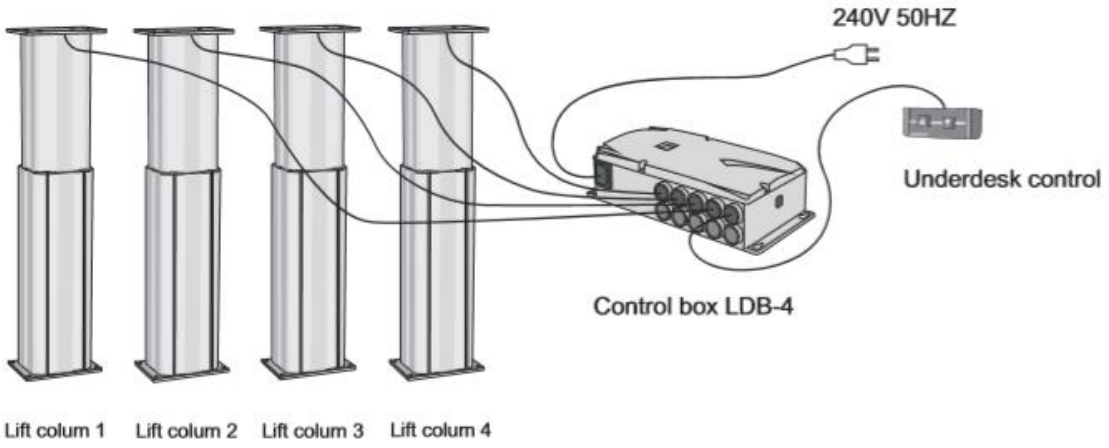
Korkeudensäätöjärjestelmän toteutus on monimutkainen ja todennäköisesti sisältää paljon hienosäätöä ennen kuin järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla. Lineaarijohteiden suunnittelu toimiviksi kyseisessä rakenteessa on haastavaa, jos ne suunnitellaan pystyputkirakenteen sisälle. Rakenteen ulkopuoliset johteet eivät ole hyvä ratkaisu, sillä ne vaikeuttavat työskentelyä pukin päällä.

Itsetoteutettu teleskooppirakenne ei myöskään ole yhtä kustannustehokas vaihtoehto kuin nostopilarirakenne. Todettiin, ettei teleskooppirakennetta valita kokoonpanopukkien toteutusvaihtoehdoksi.

### 4.2 Nostopilarirakenne

Lineaariliikkeen toteutukseen on olemassa myös valmiita ratkaisuja. Yksi niistä on nostopilari, jota käytetään kokoonpanopukin pystyputken tilalla tässä toteutusvaihtoehdossa. Nostopilarissa on pienikokoinen ohjausyksikkö. Ohjauksiköitä voi olla järjestelmässä useampia riippuen ohjauksen tyypistä. Ohjausyksikkö ei vaadi erillistä tietokonetta järjestelmän ohjaamiseen, mutta sitä voidaan tarvittaessa ohjata myös automaatio-ohjelmistoilla.

Ohjausyksikköön on valmiiksi ohjelmoitu neljän nostopilarin synkronoidun liikkeen ohjaus, eikä erillistä ohjauskoodia tarvita. Järjestelmää ohjataan yksinkertaisella muistiohjelmoitavalla ohjaimella, joka voi olla joko kiinteästi integroitu rakenteeseen tai käytönaikana kädessä pidettävä malli. Kuvassa 6 on esitettynä neljän Dewert-Okin nostopilarin, ohjausyksikön ja ohjaimen kytkennän periaate.




*KUVA 5. Neljä nostopilaria kytkettynä ohjausyksikköön sekä korkeuden säätöön käytettävä muistiohjelmoitava ohjain (13, s. 16)*

Nostopilarin rungon materiaali on yleisimmin alumiinia, ja se toimii myös teleskooppiperiaatteella, eli rungon perusosat ovat sisäkkäin. Rungon kahdesta perusosasta, jotka ovat alumiiniprofiileita, sisempi on liikkuva ja sen liike on toteutettu karamoottorilla. Lisäksi rakenteeseen kuuluu sitä jäykistävät johteet, jotka on sijoitettu putken sisälle. Johteiden valmistusmateriaali on nostopilarin käyttötarkoituksen mukaan yleensä joko metallia tai muovia.

Kevytrakenteisempia nostopilareita käytetään esimerkiksi työpöytien tai tv-tasojen korkeuden säätämiseen. Raskaammat teollisuuskäyttöön suunnitellut nostopilarit kestävät suuria kuormituksia, sekä kohtuullisen suuria vääntömomentteja ja niitä käytetään muun muassa teollisuuden kokoonpanoasemissa. Yleisimmät iskunpituudet, jotka nostopilarilla saadaan aikaiseksi löytyvät väliltä 300 - 500 mm ja nostovoimaa pilareilla saadaan tuotettua 1 500 N - 10 000 N.

Nostopilarin asennuskorkeus vaihtelee hieman valmistajakohtaisesti, mutta useimmiten asennuskorkeus lasketaan niin että pilarin iskunpituuteen lisätään lineaariliikkeen tuottavan käyttölaitteen pituus. Oletetaan, että nostopilarin lineaariliikkeen tuottaa 172 mm pituudeltaan oleva karamoottori. Esimerkkitapauksessa 400 mm:n nostoliikkeen aikaansaavan nostopilarin asennuskorkeus olisi näin laskettuna 572 mm. Liikenopeus riippuu nostokapasiteetista. Suuren nostokapasiteetin nostopilareissa on hitaampi liikenopeus, kun taas pienemmän nostokapasiteetin pilareissa nopeus on suurempi. Yleisimmät nostonopeudet teollisen käytön nostopilareilla ovat välillä 5 - 20 mm/s.

Nostopilarit kestävät vääntökuormitusta kohtuullisen hyvin. Vääntökuormituksen keston ollessa yleisimmin välillä 400 Nm - 1 500 Nm. Kuvassa 6 on nostopilarien valintataulukko, joka esittää Dewert-Okin-nostopilarien mallikohtaiset tekniset ominaisuudet.

| | Type | Force [N] | Installation length [mm] | Stroke [mm] | Speed [mm/sec.] | Actuator | Plug | Cable length [mm] | Color | USD | Article number |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| STANDARD | LP 192 | 3000 | 472 | 300 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 3000 | 572 | 400 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 3000 | 672 | 500 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 472 | 300 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 572 | 400 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 672 | 500 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | N | 1.41.000.???.10 |
| OPTION | LP 192 | 3000 | 472 | 300 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 3000 | 572 | 400 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 3000 | 672 | 500 | 11* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 472 | 300 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 572 | 400 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |
| | LP 192 | 6000 | 672 | 500 | 6* | Omegadrive | 8-pin straight | 1200 | aluminium light anodized | Y | 1.41.000.???.10 |

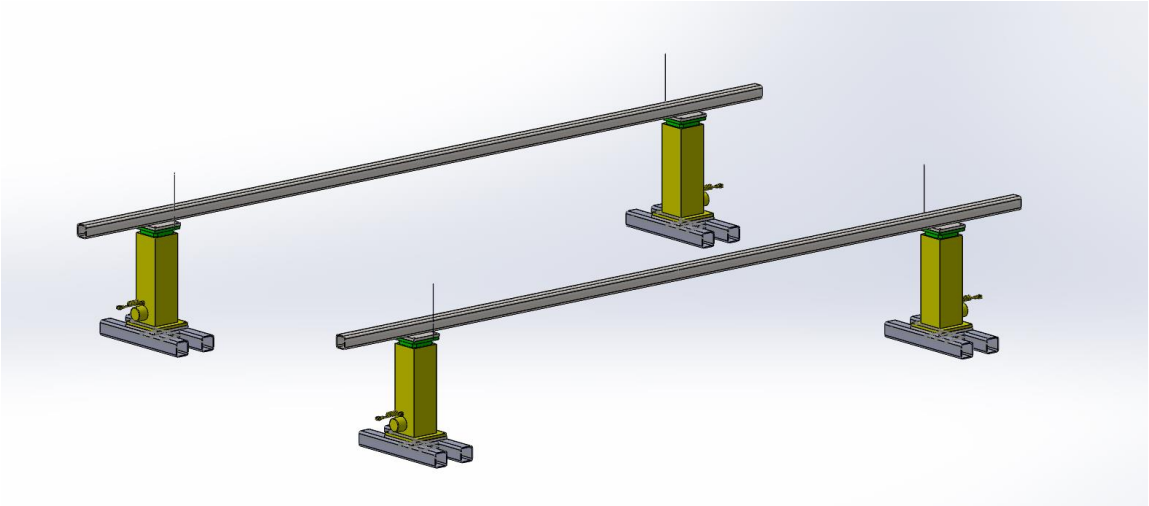
* without load ( 24V DC)

*KUVA 6. Nostopilarien valintataulukko (13, s. 2)*

Nostopilari soveltuu hyvin käytettäväksi sovelluksiin, joissa tarvitaan portaatonta korkeudensäätöä ja pysäyttämistä jäykkiin väliasentoihin. Pilarin yleisimmät iskunpituudet, nostovoima ja taivutusmomentin kesto ovat riittävällä tasolla, että nostopilaria voidaan hyödyntää kokoonpanopukkien suunnittelussa. Parhaiten toimivaksi havaittiin rakenne, jossa kokoonpanopukin pystyputket korvataan nostopilareilla.

Nostopilarien normaali asennus tapahtuu niin, että ne asennetaan kiinteästi kiinni lattiaan esimerkiksi lyöntiankkureilla kiinnittämällä. Tässä työssä suunniteltavienpukkien täytyy kuitenkin olla siirrettävissä työpisteiden välillä, joten kiinteä asennus ei ole mahdollista.

Päätettiin suunnitella rakenne, jossa nostopilari on liitetty erilliseen teräsputkista hitsaamalla valmistettuun ”jalkaan”, johon se kiinnitetään ruuviliitoksella. Näin kokoonpanopukkeja ei ole kiinnitetty kiinteästi lattiaan ja niitä on mahdollisuus tarvittaessa siirtää. Nostopilarin yläputken liittäminen kokoonpanopukin pystyputkeen toteutetaan ruuviliitoksella. Kuvassa 7 havainnollistetaan nostopilareilla toteutettujen kokoonpanopukkien rakenne.



*KUVA 7. Havainnekuva nostopilareilla toteutetusta kokoonpanopukeista*

# 5 SUUNNITTELU

## 5.1 Vaatimusmäärittely

Kokoonpanopukkien esisuunnittelu aloitettiin määrittelemällä pukkien toiminnalliset ja rakenteelliset vaatimukset. Vaatimukset määriteltiin yhteistyössä työn tilanneen yrityksen toimitusjohtajan ja kokoonpanopukkien loppukäyttäjinä olevien työntekijöiden kanssa, jotta kokoonpanopukeista saatiin toiminnallisuudeltaan mahdollisimman hyvin käytännössä toimiva toteutus.

Vaatimuksista tehtiin vaatimuslista, jossa on listattuna tilaajan vaatimukset ja toivomukset tuotteen ominaisuuksille. Kuvassa 8 on lista kokoonpanopukille esitetyistä vaatimuksista ja toivomuksista. Kokoonpanopukkien tulee vastata asetettuja vaatimuksia.

**Tuoteen vaatimuslista**

KV = Kiinteä vaatimus
VV = Vähimmäisvaatimus
T = Toivomus

| KV, VV, T | Vaatimus |
|---|---|
| | **1. Geometria** |
| KV | Noudattettava sovittuja valmistusmittoja |
| | **2. Voimat** |
| KV | Pukkien kestettävä niille määritelty rasitus |
| | **3.Energia** |
| T | Sähköenergia |
| | **4. Aine/Materiaalit** |
| KV | Naarmunsuojaus kokoonpanotilanteessa |
| T | Puhdistettavuus paineilmalla |
| | **5. Turvallisuus** |
| KV | Käyttöohjeet |
| | **6.Ergonomia** |
| KV | Työntekijän ergonomia huomioitava |
| | **7. Valmistus** |
| KV | Materiaalin hitsattavuuden oltava hyvä |
| T | Mahdollisimman yksinkertainen rakenne |
| | **8. Asennus** |
| T | Pukit siirrettävissä työpisteiden välillä |
| | **9. Käyttö** |
| T | Automaattinen korkeussäätö |
| | **10.Kunnossapito** |
| KV | Mahdollisimman huoltovapaa rakenne |
| KV | Naarmunsuojaustiivisteen vaihdettavuus |
| | **11. Kustannukset** |
| KV | Mahdollisimman pienet valmistuskustannukset |
| | **12. Määräajat** |
| KV | Projekti valmis 31.05.2020 mennessä |

*KUVA 8. Vaatimuslista*

Vaatimuslistan tekemisen jälkeen tehtiin tuotespesifikaatio, jossa määritellään tuotteen rakennetta, ominaisuuksia ja mittoja tarkemmin. Sekä vaatimuslista että tuotespesifikaatio käytiin vielä läpi erillisessä palaverissa, jossa tilaaja ne tarkasti ja hyväksyi. Kuvassa 9 on tuotespesifikaatio, joka esittää kokoonpanopukeille asetetut rakenteelliset vaatimukset, mittavaatimukset sekä muita suunnitteluprojektissa huomioitavia asioita.

**Tuoteen alustava spesifikaatio** **versio** **1.0**

| Ominaisuus | Yksikkö | Arvo | Huom. |
|---|---|---|---|
| Kokoonpanopukin runkomateriaali | | Teräs | Hitsattavuus |
| Kuormankantokyky (max.) | kg | 300 | |
| Kokoonpanopukin peruskorkeus | mm | 700 | |
| Kokoonpanopukkien pituus | mm | 4500 | |
| Kokoonpanopukin korkeussäätöalue | mm | Peruskorkeus + 400mm | |
| Käyttölämpötila | celsiusaste | 16-24 | |
| Naarmuiltasuojaus kokoonpantaville tuotteille | | Kumitiiviste | Pukin päällä |
| Pukkien pintakäsittely | | Hiekkapuhallus ja maalaus | |
| Säätomekanismin käyttövoima | watti | Sähkö | |
| Pukkien siirrettävyys | | Nosto liinoilla tai siirtopyörät | |
| Valmistuskustannukset (max.) | euro | Ei määritelty | Rakenteensta riippuvainen |

*KUVA 9. Tuotespesifikaatio*

## 5.2 Valitun toteutusvaihtoehdon rungon ositus ja toiminnalliset komponentit

Kokoonpanopukkien toteutusvaihtoehdoksi valittiin nostopilarirakenne, jossa kokoonpanopukin pystyputket on toteutettu nostopilareilla. Esisuunnittelua jatkettiin jakamalla toteutusvaihto rungon osiin sekä rungon osien toiminnallisiin komponentteihin. Päätettiin jakaa kokoonpanopukin runko kolmeen osaan. Ensimmäinen osa on jalkaosa, jonka varassa pukki seisoo maata vasten. Toinen rungon osa on nostopilari, jolla aikaansaadaan pystysuora lineaariliike. Kolmas osa on yläputki, jonka päällä kokoonpanotyö tehdään.

Toiminnallisia osia kokoonpanopukissa ovat ohjausyksikkö, käsiohjain, konekengät, siirtopyörät, yläpään liitoksen tiiviste ja naarmunsuojaustiiviste. Ohjausyksikkö ohjaa nostopilarien lineaariliikettä. Käsiohjain ohjaa nostopilareita ja siihen saadaan ohjelmoitua työkorkeudet muistiin. Konekengillä pukit saadaan säädettyä suoraan linjaan toisiinsa nähden, mikäli lattiassa on epätasaisuuksia. Ruuvaamalla konekengät yläasentoon laskeutuu pukki siirtopyörien päälle ja sitä on mahdollista siirtää työpisteiden välillä. Yläpään liitoksen tiivisteen tarkoitus on vähentää kokoonpanopukin nostovaiheessa mahdollisia noston synkronoinnista johtuvia nostopilariin kohdistuvia ei toivottuja jännityksiä. Naarmunsuojatiivisteellä suojataan työkappaleiden maalipintaa naarmuuntumiselta kokoonpanotyön aikana.

### 5.2.1 Jalkaosa

Kokoonpanopukin jalkaosa on kokoonpanopukin maata vasten oleva osa, jonka varassa pukki pysyy pystyssä. Jalkaosan täytyy olla tarpeeksi tukeva, että pukki on vakaa ja sen päällä on turvallista ja miellyttävää työskennellä. Tuotteen spesifikaatiossa päätettiin, että pukin runko-osat valmistetaan teräksestä. Jalkaosaan liittyvät toiminnallisista komponenteista ohjausyksikkö, konekengät ja siirtorenkaat. Jalkaosa ja nostopilari liitetään toisiinsa ruuviliitoksella.

### 5.2.2 Nostopilari

Nostopilari on ostovalmis komponentti, jolla lineaariliike saadaan toteutettua. Nostopilari on rakenteeltaan alumiiniprofiilia ja lineaariliikkeen se tuottaa useimmiten karamoottorilla. Nostopilarin sisällä on lineaarijohteet, jotka on valmistettu joko muovista tai teräksestä käyttötarkoituksen mukaan. Johteilla on tarkoitus parantaa nostopilarin vääntömomentinkestoa sekä ohjata sen osien liikettä. Nostopilari liitetään jalkaosaan ja yläputkeen kiinnityslevyjen läpi ruuviliitoksella.

### 5.2.3 Yläputki

Kokoonpanopukin yläputki on pukin ylin osa, jonka päälle työkappale lasketaan ja jonka päällä työtä tehdään. Yläputki valmistetaan tuotespesifikaation mukaisesti teräksestä. Yläputki sisältää putkiosan, joka kannattelee työkappaletta sekä

kaksi kiinnityslevyä, joista se kiinnitetään nostopilariin. Yläputken päälle asennetaan naarmunsuojatiiviste.

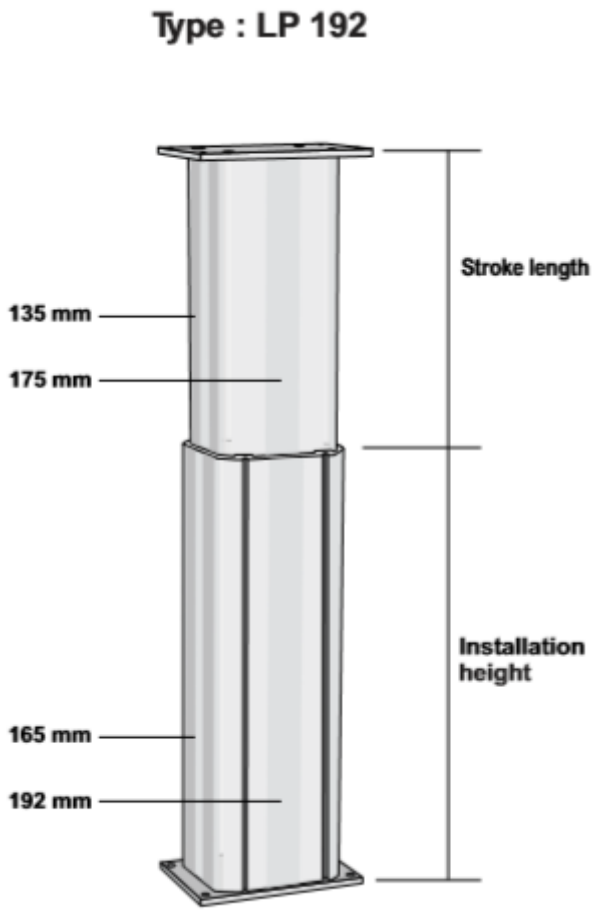
### 5.3 Käyttölaitteiden valinta

Esisuunnittelun viimeisessä vaiheessa valittiin käyttölaitteet, joiden pohjalta kokoonpanopukkien mekaniikkasuunnittelu toteutettiin. Käyttölaitteista valittiin niille asetettujen vaatimusten perusteella projektiin sopivia vaihtoehtoja ja näiden vaihtoehtojen toiminnallisuudet sekä hinnat selvitettiin toimittajilta. Tämän selvitystyön perusteella valittiin kokoonpanopukkien käyttölaitteet. Tässä kappaleessa esitellään valitut käyttölaitteet.

#### 5.3.1 Nostopilari

Nostopilariksi valittiin Dewert-Okin LP 192 -nostopilari. Tuotespesifikaatiossa kokoonpanopukin peruskorkeudeksi oli määritelty 700 mm ja korkeudensäätövaraksi 400 mm, sekä minimi kuormankantokyvyksi noin 3 000 N. Projektiin valitun nostopilarin asennuskorkeus on 572 mm, nostokapasiteetti 5 500 N, iskunpituus 400 mm ja staattinen vääntömomentin kesto noston ääriasennossa 1 000 Nm. (13, s. 2.)

Pilareita järjestelmässä on neljä, ja niiden yhteenlaskettu nostokapasiteetti arvioidulla 60 % hyötysuhteella on 13,46 kN, joka tarkoittaa sitä, että systeemin varmuuskerroin tuotespesifikaatiossa sovittuun 3 000 N maksiminostoon nähden on noin 3,8. Valintaperusteita nostopilarin valinnalle olivat pilarin riittävän suuri nostokapasiteetti ja vääntömomentin kesto, projektiin sopiva asennuskorkeus, iskunpituus, ohjausjärjestelmä ja nostopilarin hankintahinta. Kuva 10 havainnollistaa Dewert-Okin LP 192 -nostopilarin rakennetta ja äärimittoja.



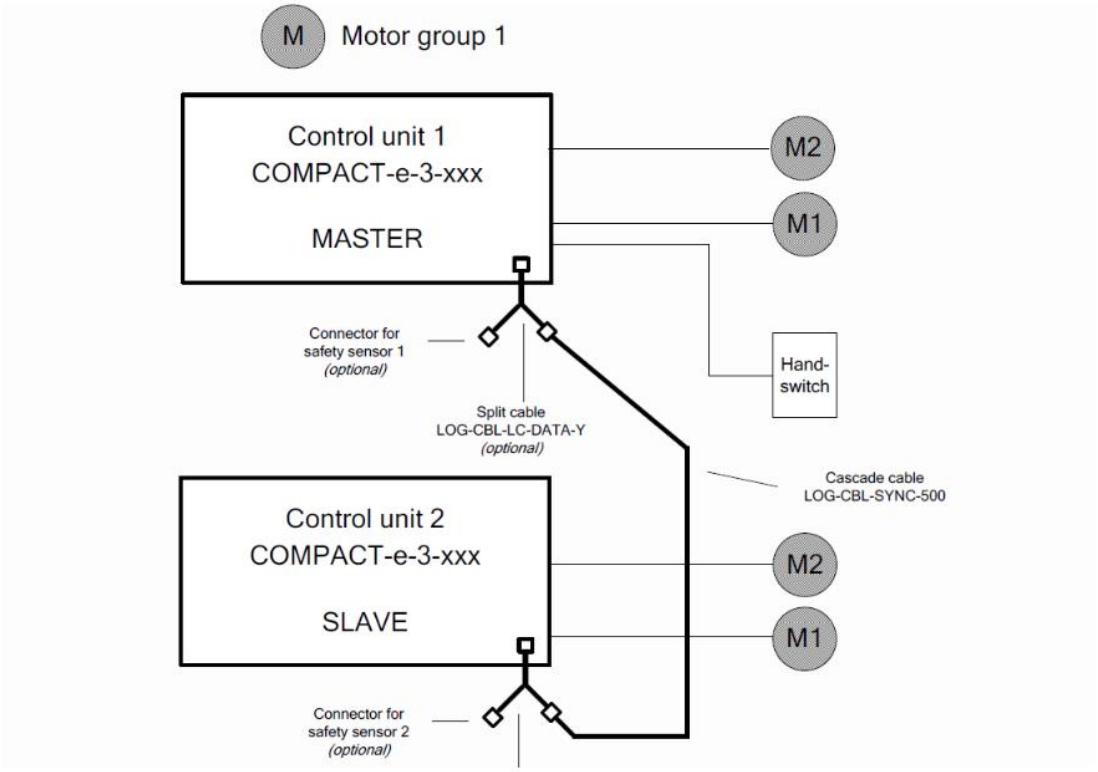

*KUVA 10. Dewert-Okin LP 192 -nostopilari (13, s. 2)*

### 5.3.2 Ohjausyksikkö

Ohjausyksiköksi valittiin Logicdata Compact eco -ohjausyksikkö. Ohjausyksiköitä on järjestelmässä kaksi kappaletta ja ne yhdistetään toisiinsa välikaapelin avulla. Ohjaus on tyypiltään parallel 2+2, joka tarkoittaa, että moottoriryhmät on kytketty rinnakkain.

Molemmissa moottoriryhmissä on kaksi moottoria ja molemmilla moottoriryhmillä on oma ohjausyksikkö. Ensimmäinen ohjausyksiköistä on dominoiva master-ohjausyksikkö, johon käsiohjain on kytketty. Toinen ohjausyksiköistä on slave-yksikkö, jonka ohjaama liike seuraa master-yksikön liikettä. Kuvassa 11 Logicdata

Compact eco -ohjausyksiköiden kytkentäkaavio, josta selviää parallel 2+2-ohjauksen kytkennän periaate.




*KUVA 11. Parallel 2+2-ohjauksen kytkentäkaavio (14, s. 17)*

Ohjausyksikön kotelointi on rakenteeltaan muovia ja ohjausyksikkö kiinnitetään runkoon ruuvikiinnityksellä. Ohjausyksikössä on liitäntämahdollisuudet kolmelle moottorille, käsiohjaimelle, virtajohdolle, maakaapelille, sekä ohjausyksiköt yhdistävälle välikaapelille ja mahdollisille turva-anturoinneille. Kuvassa 12 esitetään Logicdata Compact eco -ohjausyksikön kotelon rakenne ja liitäntämahdollisuudet.

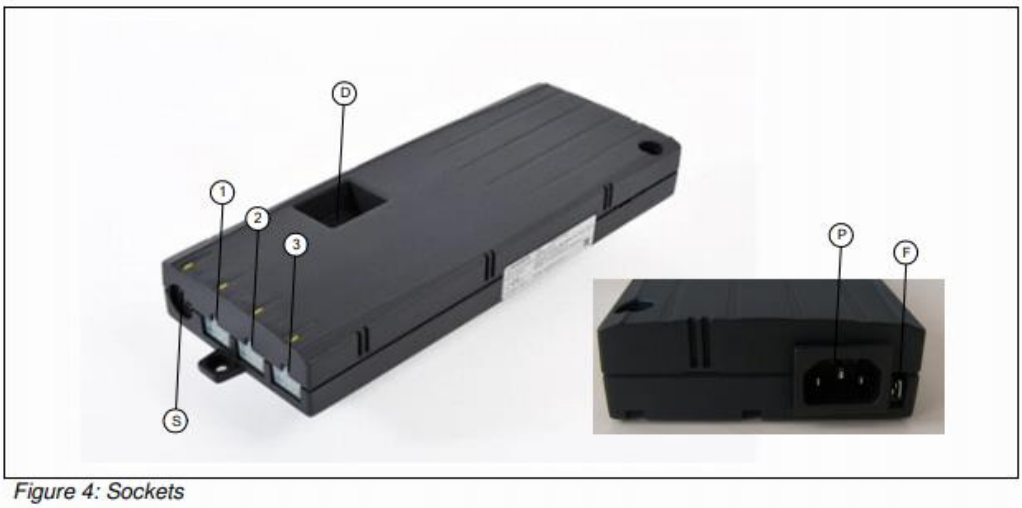


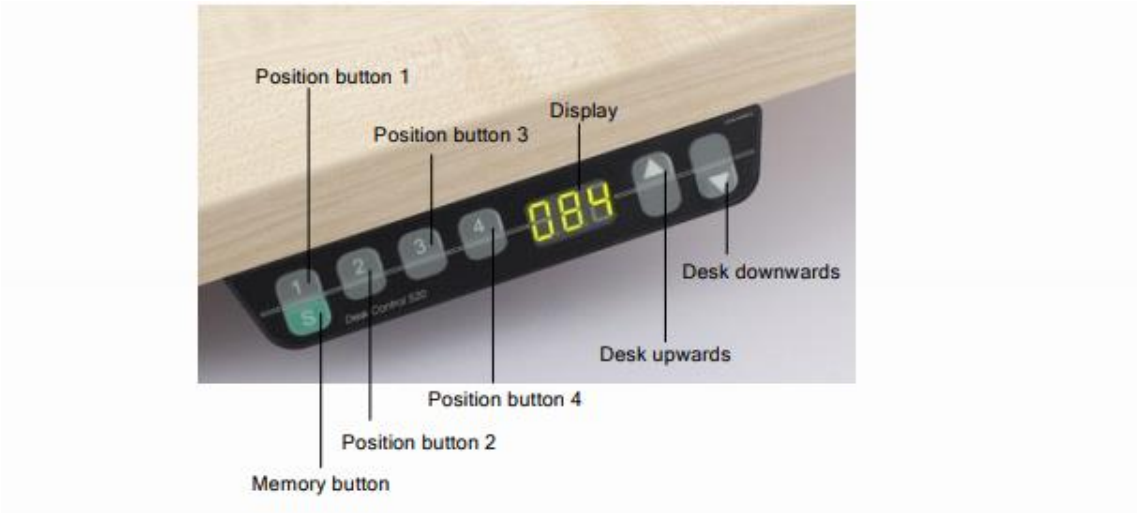

*Figure 4: Sockets*

① Motor socket 1 (M1)
② Motor socket 2 (M2)
③ Motor socket 3 (M3)
S Handswitch socket (HS)
P Mains socket
F Functional earth, cable lug for earthing the desk frame (6,3x0,8mm lug)
D Logic Connector DATA for sensors and cascading

*KUVA 12. Logicdata Compact eco -ohjausyksikön liitännät (15, s. 13)*

### 5.3.3 HSU-käsiohjain

Järjestelmän käsiohjaimeksi valittiin Logicdata HSU -käsiohjain. Käsiohjaimella ohjataan kokoonpanopukkien nosto- ja laskuliikettä. Käsiohjaimessa on neljä muistipaikkaa, joihin voidaan ohjelmoida yleisimmät työkorkeudet. Käsiohjaimen kotelo on rakenteeltaan muovia ja kotelossa on pieni näyttö ja toimintopainikkeet. Kotelo kiinnitetään runkoon ruuvikiinnityksellä ja käsiohjain yhdistetään liitoskaapelilla master-ohjausyksikköön. Kuvassa 13 havainnollistetaan Logicdata HSU -käsiohjaimen kotelon rakenne, sekä käsiohjaimen toimintapainikkeet ja niiden sijainti.




*KUVA 13. HSU-käsiohjain (16, s. 4)*

### 5.3.4 Konekenkä

Konekengiksi järjestelmään valittiin Sunnex OSM 10331 NO. 1 -konekenkä. Konekengillä säädetään kokoonpanopukit suoraan linjaan toisiinsa nähden, mikäli lattiassa on epätasaisuuksia. Konekenkien toinen tehtävä on vaimentaa tärinää. Konekenkä on rakenteeltaan teräsrunkoinen, ja siinä on paksu kuminen vaimennuselementti. Korkeutta säädetään M12-oikaisupultilla. Valitun konekengän kumiosan halkaisija on 80 mm ja kuormituksenkesto yhdelle kengälle on 500 kg. (17.)

Valintaperusteita konekenkien valinnalle olivat halkaisijaltaan tarpeeksi suuri kumiosa, jotta kokoonpanopukit pysyvät vakaina niiden päällä työskennellessä, sekä konekengän riittävä kuormituksenkesto ja oikaisupultin tarkoitukseen sopiva rakennepituus. Kuvassa 14 on esitettynä konekengän rakenne.

*KUVA 14. Sunnex OSM 10331 NO.1 -konekenkä (17)*

### 5.3.5 Siirtopyörät

Siirtopyöriksi valittiin Blickle LKPA-GSPO 50K -kääntöpyörät. Siirtopyörillä kokoonpanopukit voidaan tarvittaessa siirtää eri työpisteelle. Pyörän runko-osa on puristettua terästä ja sen kääntökehässä on kaksinkertainen kuulalaakerointi. Kuulien suojaus on toteutettu kiinnityslevyn ja kuulalevyn muotoilulla. Kääntökehä on muokkauslujitettu pitkäikäiseksi, herkkäliikkeiseksi ja lähes välyksettömäksi. Pyörän akseli on toteutettu pultilla. Pyörä-osa on valupolyamidia ja pyörässä on alhainen vierintä- ja kääntövastus. Pyörän rakennekorkeus on 73 mm ja pyörän halkaisija 50 mm. Kuormituksenkesto yhdelle pyörälle on 150 kg. (18.)

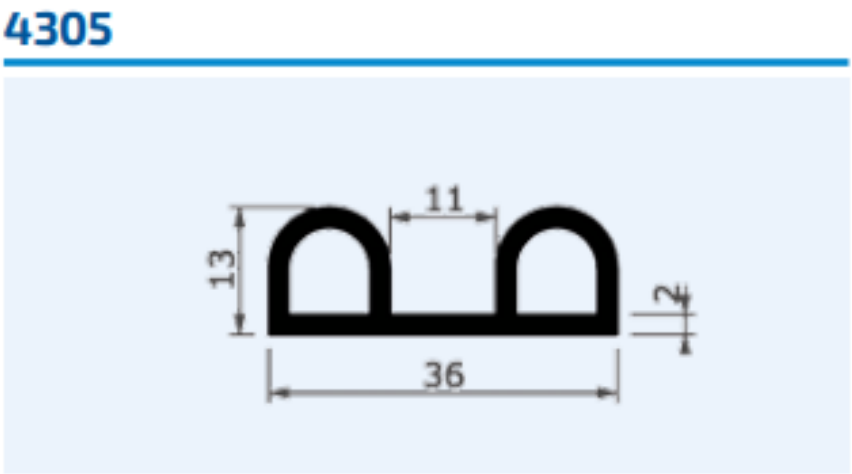
Valintaperusteita siirtopyörälle olivat sen rakennekorkeus, mahdollisuus pyörän kääntymiseen siirron aikana ja riittävä kuormituksenkesto. Kuva 15 havainnollistaa kääntöpyörän kokoonpanoa ja rakennetta.

*KUVA 15. Blickle LKPA-GSPO 50K -kääntöpyörä (18)*

### 5.3.6 Naarmunsuojaus

Naarmunsuojaus toteutetaan OT-Kumi 4305 -kumitiivisteellä. Tiivisteen tarkoitus on suojata kokoonpantavia maalattuja työkappaleita maalipinnan naarmuuntumiselta. Tiiviste asennetaan kokoonpanopukin päälle. Tiiviste on profiililtaan tupla-p-tiiviste ja sen leveys on 36 mm. Tiivisteen korkeus on 13 mm. (19, s. 14.)

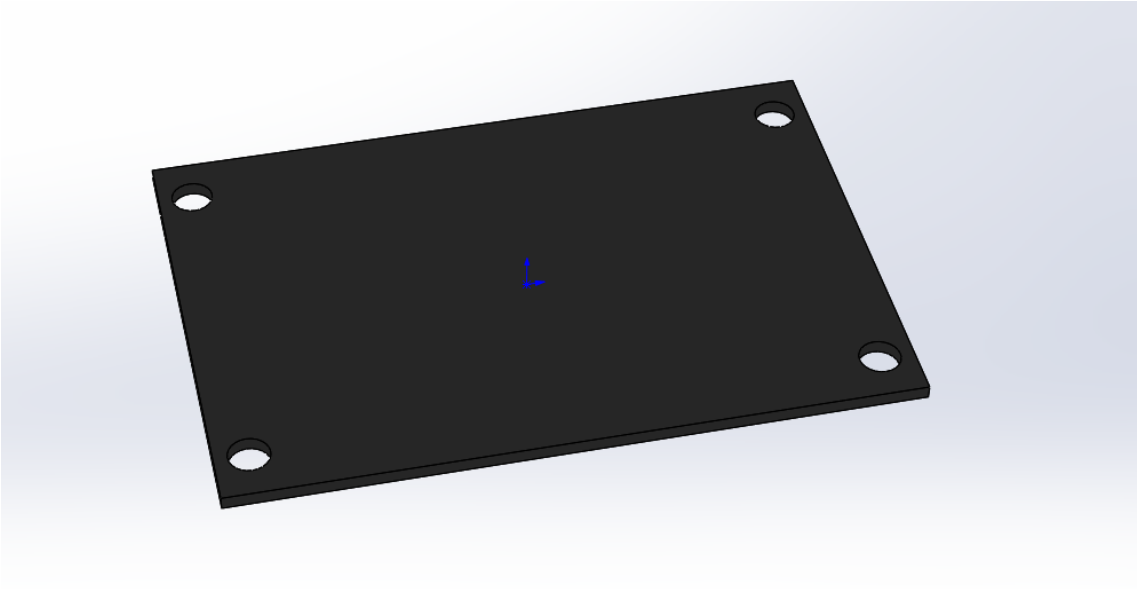
Tiivisteen valintaperusteet olivat sen puhdistettavuus paineilmalla, järkevä tiivisteprofiili ja tiivisteen projektiin sopivat ulkomitat. Kuvassa 16 on esitettynä naarmunsuojaustiivisteen profiili ja mittatiedot tiivisteen päästä kuvattuna.




*KUVA 16. OT-Kumi 4305 -tiivisteen päätyprofiili (19, s. 14)*

### 5.3.7 Yläpään liitoksen tiiviste

Nostopilarin yläpään kiinnityslevyn ja yläputken kiinnityslevyn väliin asennetaan 5 mm paksu EPDM-kumitiivistematto, joka tekee liitoksesta joustavan ja vähentää liitokseen nostovaiheessa mahdollisesti kohdistuvia ei toivottuja jännityksiä. Kuvassa 17 esitettynä yläpään liitoksen tiiviste, johon on työstetty pulttien läpivientien kohdalle reiät.



*KUVA 17. Yläpään liitoksen tiiviste*

## 5.4 Mekaniikkasuunnittelu

Kokoonpanopukkien mekaniikkasuunnittelu toteutettiin 3D CAD -suunnitteluohjelmisto SolidWorksilla. SolidWorks on parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Ohjelmistoa käytetään erilaisten laitteiden ja koneiden sekä yksittäisten osien suunnittelussa. SolidWorksia valmistaa ranskalainen Dassault Systemes. (20.)

Kokoonpanopukkien mekaniikkasuunnitteluvaiheessa suunniteltiin tuotespesifikaatiossa asetettujen äärimittojen ja kuormitusvaatimusten puitteissa kokoonpanopukin rungon osista jalkaosa ja yläputki. Lisäksi mallinnettiin mittakuvien perusteella konekenkä ja tiivisteet. Nostopilarin, ohjausyksikön, käsiohjaimen ja kääntörenkaiden 3D-mallit olivat saatavissa valmistajan kautta, eikä niitä tarvinnut mallintaa itse.

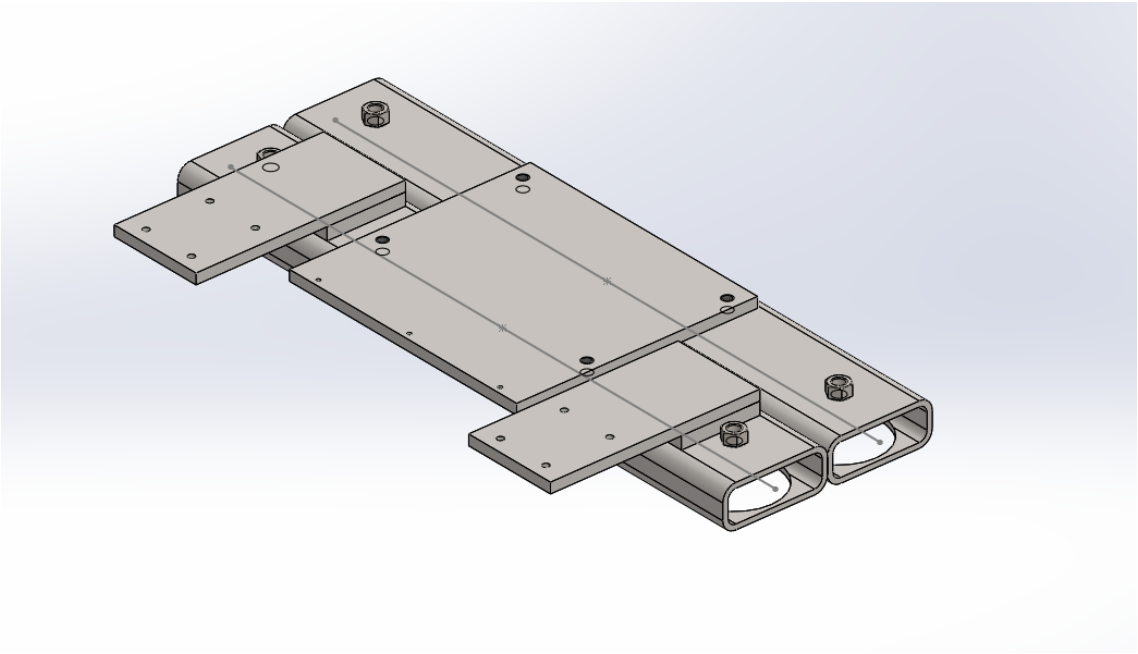
Kokoonpanon osien suunnittelun ja mallinnuksen jälkeen suunniteltiin osista jalkaosan ja yläputken alikokoonpanot. Tämän jälkeen suunniteltiin pukkien pääkokoonpanot, eli master- ja slave-kokoonpanot. Master- ja slave-kokoonpanojen eroina ovat ohjausyksikön kiinnike ja ohjausyksikön asennussuunta. Lisäksi master-kokoonpanossa on käsiohjain, jota slave-ohjausyksikössä ei ole.

### 5.4.1 Jalkaosan mekaniikkasuunnittelu

Kokoonpanopukin rakenneosat oli tuotespesifikaatiossa määritelty valmistettaviksi teräksestä. Toivomuksena oli myös hyvä hitsattavuus. Jalkaosan materiaalina käytettiin näistä syistä S355-rakenneterästä, joka on ominaisuuksiltaan sopivaa ja helposti hitsattavaa, sekä hinnaltaan kohtuullisen edullista terästä. Jalkaosassa käytettiin materiaaleina 40 x 100 x 5 mm:n rakenneteräsputkea sekä 10 mm:n teräslevyä S355-teräksestä. Jalkaosa on kaksiosainen. Osat ovat muuten samanlaisia, mutta toisen osan pilarinkiinnityslevyä on pidennetty, että ohjausyksikkö voidaan sijoittaa levyn päälle. Kaikki jalkaosan teräsosien liitokset toteutettiin hitsausliitoksina. Jalan suunnittelussa päälähtökohtana oli tukevuus sen ollessa maata vasten. Lisäksi jalan tulee kestää siihen kohdistuva kuormitus.

Jalkaosa suunniteltiin sellaiseksi, että konekengät uppoavat osin jalkarakenteen sisälle. Nostopilari kiinnitetään jalkaan ruuviliitoksella. Nostopilarin kiinnityskohtiin jalkaosan molempiin päihin lisättiin 10 mm paksu teräslevy, jolla saadaan lisää ainevahvuutta kohtaan, johon pulttiliitoksen sisäkierrereiät tulevat. Jalkaosan toisen päädyn kiinnityslevyä levennettiin niin, että ohjausyksikkö voidaan kiinnittää pukin kokoonpanovaiheessa sen päälle.

Jalkaosaan suunniteltiin myös konekenkien kiinnityskohdat. Kiinnityskohtiin suunniteltiin M12-kierrereiät konekenkien kiinnitystä varten ja reikien päälle hitsattavaksi M12-mutterit, jotta korkeussäätöön saadaan lisää kierrepituutta. Myös siirtopyörien kiinnikkeet kuuluvat jalkaosan rakenteeseen. Siirtopyörien kiinnikkeet toteutettiin 10 mm:n teräslevyllä, johon pyörät liitetään M6-ruuviliitoksella levyn läpi. Kuvasta 18 on nähtävissä jalkaosan rakenteen osat.

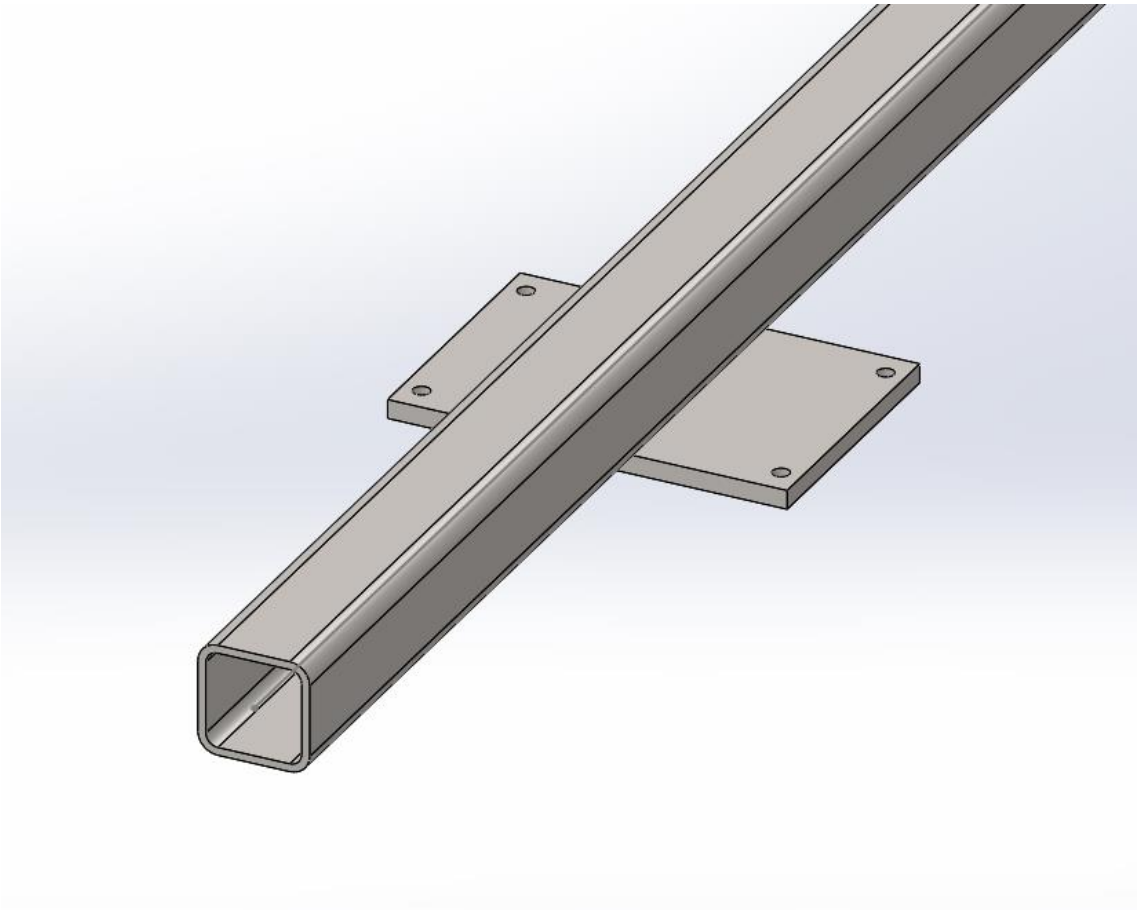


*KUVA 18. Jalkaosan rakenne pukin ohjausyksikön puoleisesta päästä katsottuna*

### 5.4.2 Yläputken mekaniikkasuunnittelu

Kokoonpanopukin yläputki suunniteltiin S355-teräksestä. Rakenneosina käytettiin 70 x 70 x 5 mm:n teräsputkea ja 12 mm:n teräslevyä. Teräsputki on koko kokoonpanopukin pituinen eli 4 500 mm pitkä. Putkeen on liitetty 12 mm paksut

kiinnityslevyt nostopilarin yläpään pulttikiinnitystä varten. Osat liitetään toisiinsa hitsausliitoksella. Kuvassa 19 esitetään yläputken liittyminen kiinnityslevyyn.



*KUVA 19. Yläputken rakenne putken toisesta päästä kuvattuna*

### 5.4.3 Pääkokoonpanojen mekaniikkasuunnittelu

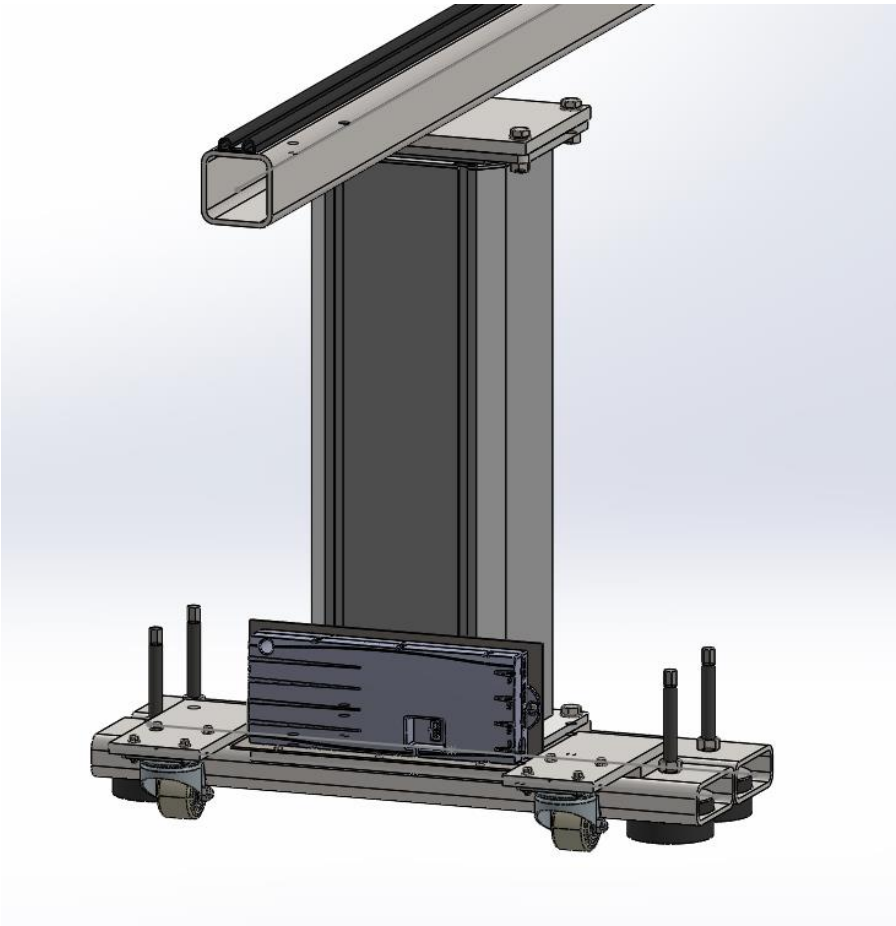
Kokoonpanopukkien pääkokoonpanot suunniteltiin toteutettaviksi ruuviliitoksilla. Pääkokoonpanoja on kaksi erilaista. Master-kokoonpano sisältää käsiohjaimen, jota ei ole slave-kokoonpanossa. Lisäksi ohjausyksikön kiinnitys ja ohjausyksikön asennussuunta ovat kokoonpanoissa erilaisia.

Peruskokoonpano on siis molemmissa pukeissa samanlainen. Molemmissa kokoonpanoissa pukin jalkaosa liitetään nostopilarin alapäähän kiinnityslevyn läpi neljällä M10-ruuvilla, jotka kiristetään jalkaosissa oleviin kierrereikiin. Nostopilarin

yläpään kiinnityslevy liitetään yläputken kiinnityslevyyn neljällä M10-ruuvilla. Tähän liitokseen asennetaan ennen ruuvien asennusta yläpään liitoksen tiiviste.

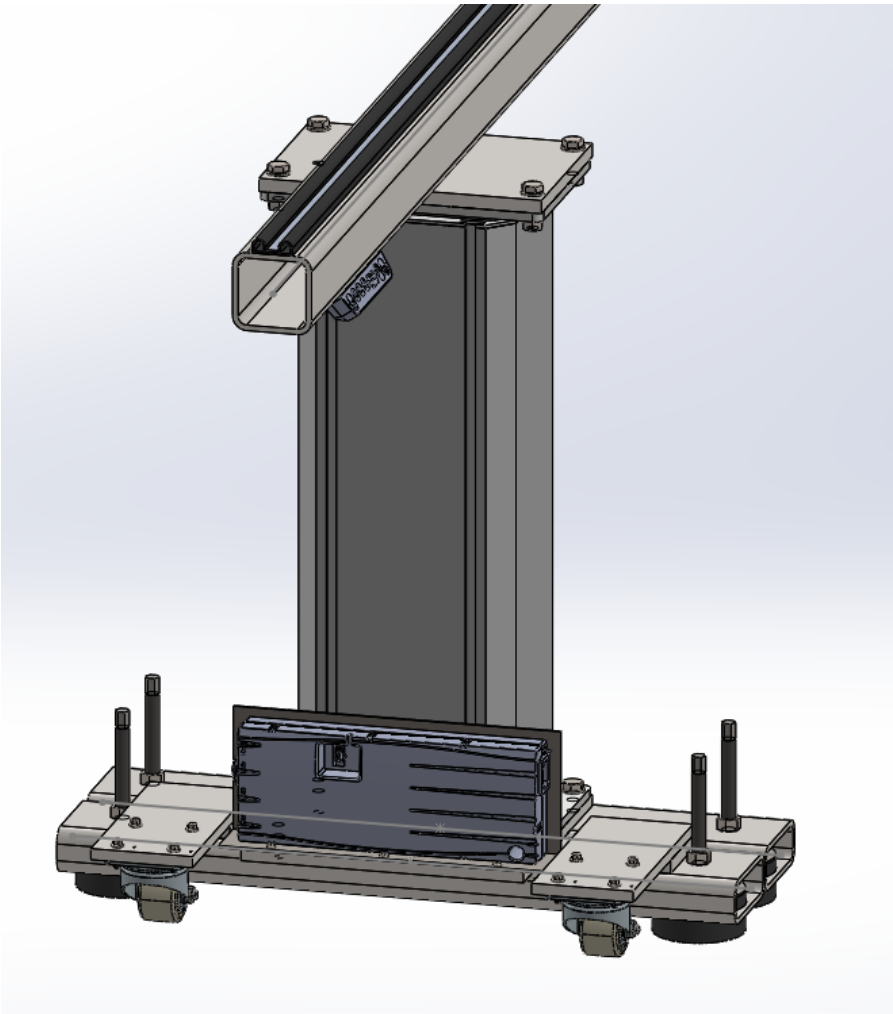
Siirtopyörät kiinnitetään kiinnikeisiinsä neljällä M6-ruuvilla. Kahdeksan kappaletta konekenkiä asennetaan niille määritetyille paikoille ruuvaamalla ne jalkaosan kierrereikiin. Ohjausyksikön asennuspelti ruuvataan kolmella 4,2 x 8 mm:n ruuvilla kiinni jalkaosan kiinnityslevyssä oleviin reikiin. Ohjausyksikkö ruuvataan kiinni asennuspeltiin kahdella 4,2 x 8 mm:n ruuvilla.

Pukin päälle asennetaan naarmunsuojatiiviste, joka kiinnitetään pukin päälle peltisoiron läpi 4,2 x 8 mm:n ruuveilla 400 mm:n ruuvijaolla. Kuva 20 havainnollistaa slave -kokoonpanon eri osien liitoksien ja tiivisteiden asennuksen suunnittelun. Lisäksi kuvasta nähdään slave-ohjausyksikön asennussuunta.



*KUVA 20. Slave-pääkokoonpanon pukin ohjausyksikön puoleinen pääty kokoonpantuna*

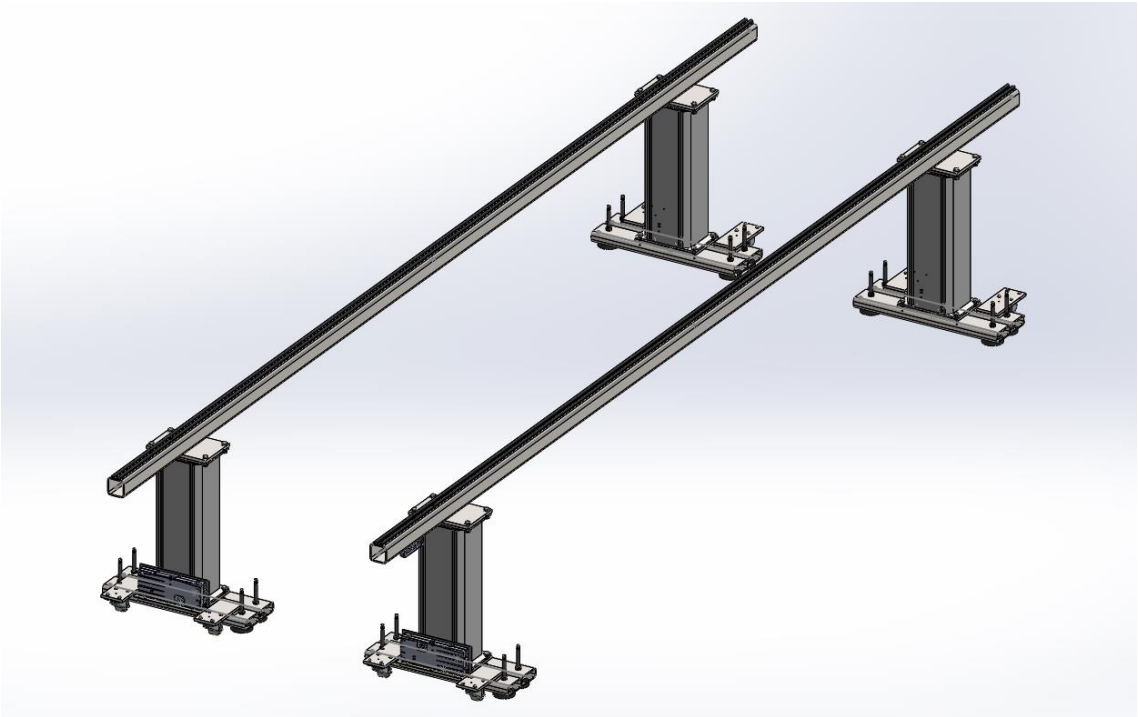
Master-pääkokoonpanossa käsiohjaimen kiinnitys suunniteltiin kolmella 4,2 mm:n ruuvilla yläputken alle. Ohjausyksikön asennuspelti on eri kätinen kuin slave-kokoonpanossa eli ohjausyksikön kiinnitysreiät ovat eri kohdissa, koska ohjausyksikön kiinnitys asennuspeltiin suunniteltiin tehtävän peilikuvana slave-kokoonpanon ohjausyksikköön nähden. Ohjausyksiköt asennetaan peilikuvina toisiinsa nähden siksi, että niiden väliin asennetaan liitoskaapeli, joka yhdistää ohjausyksiköt toisiinsa. Kuva 21 havainnollistaa master-kokoonpanon eroja slave-kokoonpanoon nähden.



*KUVA 21. Master-kokoonpanon ohjausyksikön puoleinen pääty kokoonpantuna*

Kokoonpanopukkien master-kokoonpano ja slave-kokoonpano yhdistämällä saadaan aikaiseksi järjestelmä, jolla saadaan toteutettua molempien kokoonpanopukkien synkronoitu korkeussäätö ja työkorkeuksien tallennusmahdollisuus.

Kuvassa 22 esitetään molemmat suunnittelun pääkokoonpanot samassa kuvassa.



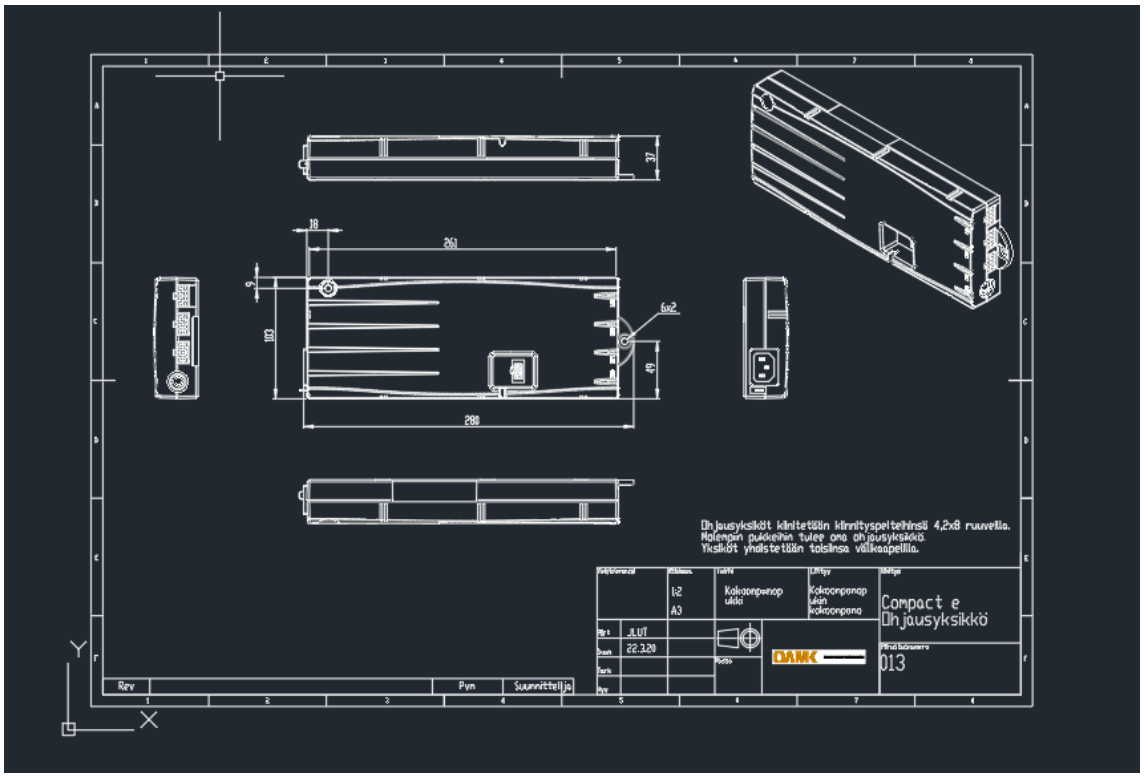
*KUVA 22. Säädettävät kokoonpanopukit*

### 5.5 Valmistuspiirustukset

Opinnäytetyön suunnitteluosuuden viimeinen vaihe oli suunnitella SolidWorks-ohjelmalla mallinnetuista kokoonpanon osista ja kokoonpanoista valmistuspiirustukset, joiden mukaan säädettävät kokoonpanopukit voidaan valmistaa. Piirustukset tehtiin jokaisesta yksittäisestä osasta, sekä osien kokoonpanoista. Työn tilaajan toivomuksesta valmistuspiirustukset käännettiin ja toimitettiin tilaajan hyväksyttäväksi AutoCad-suunnitteluohjelman ymmärtämässä DWG-tiedostomuodossa.

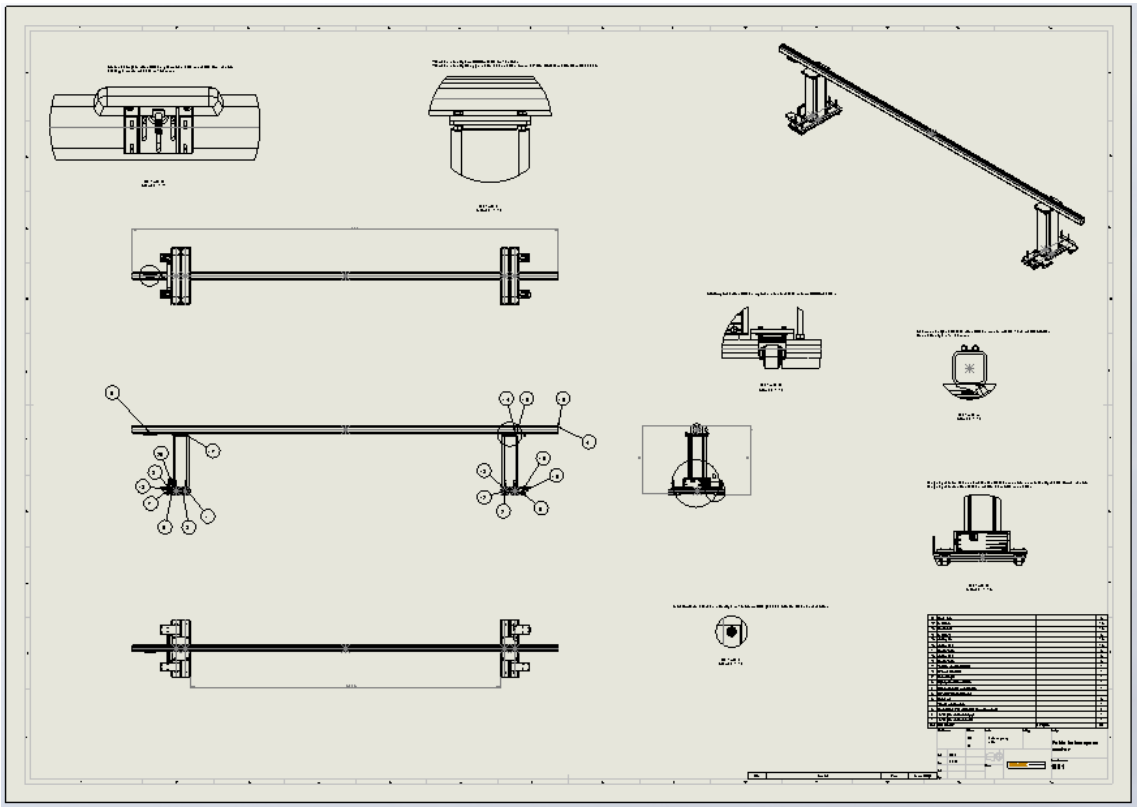
Piirustukset sisältävät kuvat suunnitelluista osista, sekä niiden kokoonpanoista. Osapiirustuksesta löytyy osan mitta- ja valmistusmateriaalitiedot, sekä otsikkoalue, joka sisältää tiedot siitä mihin tuotteeseen ja kokoonpanoon osa kuuluu, osan nimen, osanumeron, sekä suunnittelijan nimen ja suunnittelupäivämäärän.

Kuvassa 23 nähdään osapiirustus kuvattuna digitaalisessa DWG-tiedostomuodossa AutoCad-suunnitteluohjelmassa. Näkymästä voidaan ohjelman avulla tulostaa paperinen osapiirustus.




*KUVA 23. Ohjausyksikön osapiirustus dgw-tiedostomuotoisena AutoCad-suunnitteluohjelmassa*

Kokoonpanopiirustukset sisältävät otsikkoalueen perustietojen lisäksi kokoonpanon kannalta tärkeät mitat, osaluettelon ja detaljikuvia, jotka selventävät esimerkiksi osien liitoksien toteuttamista käytännössä. Kuva 24 havainnollistaa kokoonpanopiirustuksen rakennetta SolidWorks-suunnitteluohjelmassa. Myös tästä näkymästä voidaan ohjelman avulla tulostaa paperinen kokoonpanokuva.



*KUVA 24. Master-kokoonpanon kokoonpanopiirustus SolidWorks-ohjelmassa*

# 6 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin korkeussäädettävät kokoonpanopukit konepajalla tehtävän kokoonpanotyön tarpeisiin. Työ rajattiin sisältämään pukkien toteutustavan vallinnan, käyttölaitteiden valinnan sekä mekaniikkasuunnittelun. Pukkien tarkoitus on parantaa niiden päällä tehtävän kokoonpanotyön ergonomiaa sekä nopeuttaa työn läpimenoaikaa.

Työ aloitettiin tekemällä vaatimuslista ja tuotespesifikaatio, joissa selvitettiin kokoonpanopukkien vaatimat spesifikaatiot. Tuotteen vaatimukset tarkistettiin aloituspalaverissa. Työ aikataulutettiin ja siitä tehtiin projektisuunnitelma. Kokoonpanopukkien energialähteitä vertailtiin ja valittiin näistä työhön sopivin vaihtoehto.

Energialähteen valinnan jälkeen mietittiin pukkien toteutusvaihtoehtoja ja valittiin näistä sopivin vaihtoehto. Valittu toteutusvaihto hyväksytettiin työn tilaajalla. Toteutusvaihtoehto jaettiin osatoimintoihin. Valittuun toteutusvaihtoehtoon osatoimintoineen etsittiin ja vertailtiin käyttölaitteita. Käyttölaitteet valittiin ja valinnat hyväksytettiin työn tilaajalla.

Seuraavaksi suunniteltiin ja mallinnettiin kokoonpanopukkien itsevalmistettavat osat ja ostokomponentit. Mallinnukseen käytettiin SolidWorks-suunnitteluohjelmaa. Mallinnusvaiheen valmistuttua pukkien osista ja kokoonpanoista tehtiin rakennepiirustukset. Piirustukset hyväksytettiin tilaajalla ja todettiin, että projekti on saatu valmiiksi ja voidaan lopettaa.

Opinnäytetyössä suunniteltiin kokoonpanopukit portaattomalla ja synkronoidulla nostotoiminnolla. Tilaajan toiveena oli myös muistitoiminto muutamalle yleisimmälle työkorkeudelle. Työn tuloksena saatiin suunniteltua nämä toiminnalliset sekä spesifioidut tekniset vaatimukset täyttävä kokoonpanopukkijärjestelmä ja järjestelmän osa- ja kokoonpanopiirustukset. Näiden piirustusten perusteella on mahdollista valmistaa korkeussäädettävä kokoonpanopukkijärjestelmä.

Järjestelmä mahdollistaa eripituisten henkilöiden työskentelyn samalla työpisteellä mahdollisimman optimaalisista työasennoista. Se myös vähentää pukin

päällä tehtäviä työkappaleen nostoja, koska pukin korkeutta voidaan säätää työkappaleen ollessa pukin päällä eikä työkappaletta tarvitse nostaa pois pukin päältä noston ajaksi.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Käyttölaitteiden yhteensovittaminen spesifioitujen mittojen ja toivottujen toiminnallisten ominaisuuksien aikaansaamiseksi kokoonpanopukkeihin osoittautui haasteelliseksi. Myös tarpeeksi yksityiskohtaisen tuotetiedon löytäminen käyttölaitteista oli vaikeaa ja tiedon etsimiseen jouduttiin käyttämään paljon aikaa. Näistä haasteista kuitenkin selvittiin ja saatiin suunnitelma ja valmistuspiirustukset, joita työn tilaajalla on mahdollisuus hyödyntää säädettävien kokoonpanopukkien valmistuksessa.

# LÄHTEET


1. Lapinleimu, Ilkka – Kauppinen, Veijo – Torvinen, Seppo 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY

2. Kokoonpanija, kone- ja metalliteollisuus. 2020. Ammattinetti. TE-palvelut. KEHA-keskus. Saatavissa: http://www.ammattinetti.fi/ammatit/detail/526_ammatti Hakupäivä: 18.12.2019.

3. Työolot, fyysinen kuormitus. 2015-2019. Työsuojeluvirasto. Saatavissa: https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus Hakupäivä: 18.12.2019

4. Väyrynen, Seppo – Nevala, Nina – Päivinen, Minna 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Teknologiainfo Teknova Oy

5. Työympäristö, työtilojen suunnittelu. 2020. Työsuojelulaitos. Saatavissa: https://www.ttl.fi/tyoymparisto/tyotilojen-suunnittelu/ Hakupäivä: 12.01.2020.

6. Launis, Martti – Lehtelä, Jouni 2011. Työergonomia. Työterveyslaitos. Saatavissa: http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136841/978-952-261-059-1_Ergonomia.pdf?sequence=1&isAllowed=y Hakupäivä: 12.01.2020.

7. Ellman, Asko – Hautanen, Juhani – Järvinen, Kari – Simpura, Antti 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Oy Edita Ab

8. Keinänen, Toimi – Kärkkäinen, Pentti 2005. Automaatiojärjestelmien hydrauliikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

9. Fonselius, Jaakko 1999. Hydrauliikka. Helsinki: Oy Edita Ab

10. Ylinen, Timo 2011. Sähkötermit tutuiksi. Sähköala.fi Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/koti/muut_artikkelit/fi_FI/sahkotermit_tutuiksi/ Hakupäivä: 02.02.2020.

11. Lehtinen, Lauri 2010. Sähkö säästää verrattuna pneumatiikkaan. Tekniikka & talous 01.10.2010. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/sahko-

saastaa-verrattuna-pneumatiikkaan/a5d3438d-3f5e-37f8-bc63-66da858f3984 Hakupäivä: 02.02.2020.

12. Movidrive MDX61B Synchronous Operation Card DRS11B. 2007. Sew-eurodrive. Saatavissa: https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11671815.pdf Hakupäivä: 02.02.2020.

13. Documentation MPI / lifting columns industry, Lifting column LP 192. Rev.1.0. 2009. OKIN Motion Technologies GmbH. Saatavissa: https://www.movetec.fi/images/pdf/lift_column_lp.pdf Hakupäivä: 12.02.2020.

14. User manual. Cascading of motor control units. Compact eco. Document Rev.1. Logicdata. Saatavissa: https://www.logicdata.net/wp-content/uploads/2017/05/Manual_Kaskadierung_COMPACT-eco_English_Rev1.pdf Hakupäivä: 12.02.2020.

15. User manual. Control height adjustable desk. Document Rev.3. 2012. Logicdata. Saatavissa: https://www.logicdata.net/wp-content/uploads/2017/05/Manual_Compact_FW_1.7.6_or_Higher_English_Rev3.pdf Hakupäivä: 16.02.2020.

16. User manual. Cable handswitch installation below the desktop. Document Rev.3. 2011. Logicdata. Saatavissa: https://www.easymoov.fr/download/site-principal/document/baumeister/boitiers_et_accessoires/hsu_usermanual_english_rev3.pdf Hakupäivä: 16.02.2020.

17. Lisälaitteet ja varusteet, koneenaluskengät. 2020. Machinery Oy. Saatavissa: https://machinet.fi/lisalaitteet-ja-varusteet/koneenaluskengat/osm-10331-no-1 Hakupäivä: 22.02.2020.

18. Kompaktipyörät, nostopyörät. 2020. Blickle Oy. Saatavissa: https://www.blickle.fi/tuote/LKPA-GSPO-50K-754794 Hakupäivä 22.02.2020.

19. Tuotekuvasto, teräsovitiivisteet. 2020. OT-Kumi Oy. Saatavissa: https://ot-kumi.com/wp-content/uploads/tuotekuvasto.pdf Hakupäivä 01.03.2020.

20. Tietoja SolidWorksista. 2020. Dassault Systemes. Saatavissa: https://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm Hakupäivä: 01.03.2020.