



# WMP-laitteen suunnittelu

Sakari Pirinen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2023

Autotekniikka  
Työkonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Autotekniikka  
Työkonetekniikka

PIRINEN, SAKARI:  
WMP-laitteen suunnittelu

Opinnäytetyö 33 sivua  
Toukokuu 2023

---

Opinnäytetyössä käsitellään PEMA WMP -jäykisteenasennusportaalin suunnitteluprosessia. Työn taustana oli tarve suunnitella Pemamek Oy:n asiakkaan telakkalinjaan laite, jolla levykenttään asennetaan kuormaa kannattelevat jäykisteet.

Työssä esitellään rakenteita, joita laitteella tullaan valmistamaan ja automatisoimaan telakkalinjastoa. Lisäksi paneudutaan laitteen suunnitteluprosessiin aloittaen laitteelle määrätyistä vaateista ja lähtötiedoista, minkä jälkeen käsitellään laitteen suunnittelua. Laite suunnitellaan käyttäen Solidworks 2021 -ohjelmistoa.

Työn lopputuloksena on suunniteltu laite, joka voidaan valmistaa ja lähettää tehdastestien jälkeen asiakkaan telakkalinjastolle linjaston muiden laitteiden kanssa. Valmistuttuaan laitteella tullaan tuottamaan levyrakenteita laivanrakennukseen osana tuotantolinjaa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Vehicle Engineering  
Industrial vehicles

PIRINEN, SAKARI:  
Designing of a Web Mounting Portal

Bachelor's thesis 33 pages  
May 2023

---

The topic of this thesis is to cover the design process of PEMA Web Mounting Portal. The objective of the thesis was to design a shipbuilding machine for Pemamek Oy's customers production line. The machine is used to install webs to panels used in shipbuilding.

The thesis starts with an introduction of the panel structure that will be produced with the production line and the automatized production line itself. Following that the thesis goes into the design process starting from the specifications of the machine and devolves to the designing itself. The machine is designed using Solidworks 2021.

The result of this thesis is to have a machine that is designed, can be produced, and sent to the customer with other machines of the production line after initial testing at the factory.

---

Key words: mechanical engineering, shipbuilding, 3D-modeling

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TELAKKATEOLLISUUDEN PANEELITUOTANTO.....	7
	2.1 Laivojen levyrakenne .....	7
	2.2 Automatisoitu paneelilinjasto.....	10
	2.2.1 Linjaston laitteet.....	11
	2.2.2 Automatisoinnin hyödyt .....	12
	2.3 WMP-laitteen toiminta .....	13
3	LAITTEEN SUUNNITTELU.....	16
	3.1 Vaatimukset laitteelle .....	17
	3.2 Käyttö ja liikeradat.....	18
	3.3 Kelkka .....	22
	3.3.1 Kelkan rakenne.....	22
	3.3.2 Hydraulikka .....	23
	3.4 Portaali.....	24
	3.5 Laitteen varustus.....	26
	3.5.1 Hitsausvarustus .....	26
	3.5.2 Energiansiirtoketjut .....	28
	3.6 Liitokset.....	30
	3.7 Mitoitusperiaatteet.....	31
	3.8 Koneenpiirustukset.....	32
4	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	34

**LYHENTEET JA TERMIT**

Pema	Pemamek Oy
WMP	Web Mounting Portal
Web	kuormaa kantava poikittaistuki
CAD	Computer Aided Design
FEM	Finite Element Method
RHS	Retangular Hollow Section

## 1 JOHDANTO

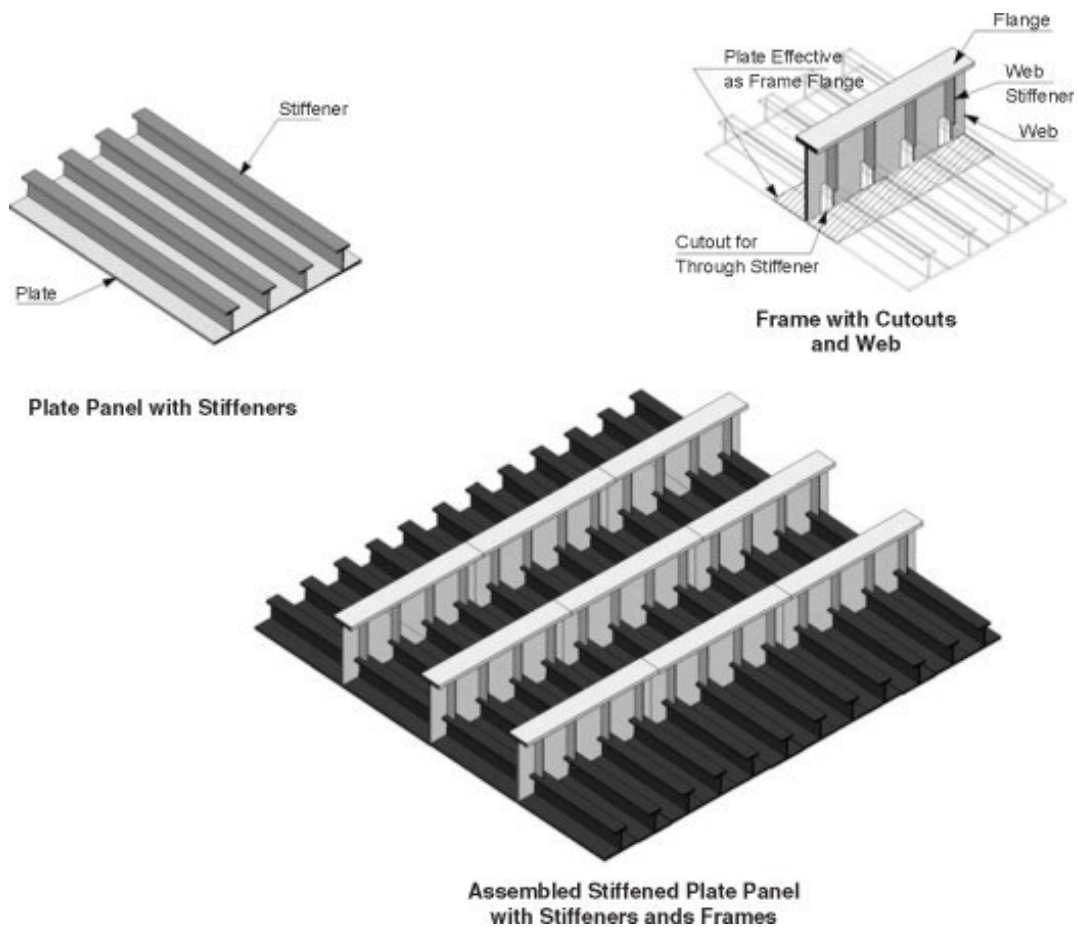
Opinnäytetyön tilaajana toimi Pemamek Oy. Pemamek on vuonna 1970 perustettu suomalainen hitsausautomaatioon erikoistunut yritys. Pemamek suunnittelee ja valmistaa laitteita muun muassa telakka-, energia- ja konepajateollisuuteen, ja sen liikevaihto oli vuonna 2022 noin 65 miljoonaa euroa (Asiakastieto 2022). Pemamekin asiakaskunta on hyvin globaalia, ja yrityksen tuotannosta noin 90 % lähteekin vientiin. Pemamekin päätoimisto ja tuotantotilat ovat Loimaalla, mutta yrityksellä on toimistot myös Tampereella ja Turussa. Näiden lisäksi Pemalla on myyntitoimistoja useammassa Euroopan maassa sekä Yhdysvalloissa. Pemamek Oy työllistää tällä hetkellä noin 300 työntekijää. (Pemamek 2023.)

Opinnäytetyön aiheena on WMP eli Web Mounting Portal -laitteen suunnittelun läpikäynti. Laite on osa tuotantolinjastoa, jolla tuotetaan teräsrakenteita telakateollisuuteen. Laitetta käytetään levyjen kuormaa kantavien poikkitukien (web) sijoittamiseen pohjalevyille. WMP:llä poikkituki tuodaan paikalleen magneettisten nostopisteiden avulla, jonka jälkeen se painetaan hitsauskohdasta hydraulisylin-teillä levyä vasten, jotta näiden väliin ei jää ilmarakoa. Tämän jälkeen laitteen nostureilla hitsauslaitteisto siirretään lähelle hitsauspaikkaa, jolla hitsaaja heftaa palkin levykenttään. Linjaston myöhemmässä vaiheessa webien hitsaus viimeistellään robotilla. Laitteen 3D-suunnittelu toteutetaan Solidworks 2021-mallinnus-ohjelmistolla.

## 2 TELAKKATEOLLISUUDEN PANEELITUOTANTO

### 2.1 Laivojen levyrakente

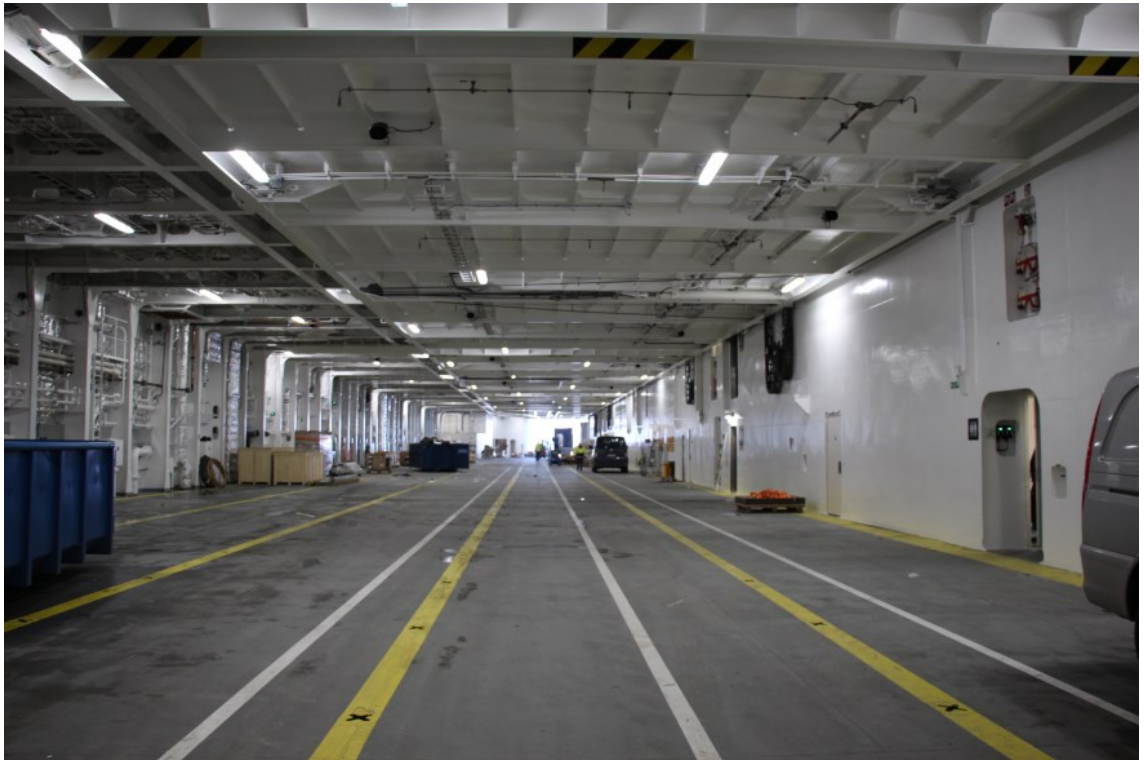
Ymmärtääkseen suunniteltavan laitteen toiminnan, on hyvä tutustua myös siihen, mitä sillä tehdään. Luvun 2.1 tarkoitus onkin tutustuttaa lukija laivan paneelirakenteeseen. Paneelilinjalla valmistettava levyrakente on esitetty kuvassa 1, jossa korkeammat T-profiilit ovat WMP-laitteella asennettavia jäykisteitä.



KUVA 1. Laivan levyrakente. (Chakrabarti 2005. Sivu 577.)

Korkeiden T-profiilien pääomainen tarkoitus levyssä on kantaa kuormaa, kun taas matalampien jäykisteiden tarkoitus on estää levyn taipuminen kuorman alaisena. Yhdessä T-profiilien ja jäykisteiden avulla saadaan levystä jäykempi ja kevyempi verrattuna korkeampaan levypaksuuteen. (Chakrabarti 2005). Kun paneelissa käytetään useampaan suuntaan meneviä jäykisteitä, estää se myös paneelin "aaltoilun" kun levyä kuormitetaan.

Kuvassa 1 esitetyn levyrakenteen voi käytännössä huomata esimerkiksi ajaessa autolautan autokannelle, jossa vastaava levyrakenne näkyy kannen katossa. Tästä esimerkkinä on kuva 2 Viking Glory -alukselta. Samaa levyrakennetta löytyy lähes kaikkialta laivasta, mutta autokansi on harvoja paikkoja missä sen laivan matkustajana pystyy näkemään ilman että sitä olisi peitetty.



KUVA 2. Vastaava levyrakenne Viking Glory -autolautalla. (Eskelinen 2022.)

Levyrakenteen käytön laajuus voidaan havaita kuvasta 3, jossa näkyy Silversea Cruises -varustamon "Silver Spirit" nimiseen alukseen valmistettu pidennys. Rakennetta voidaan huomata olevan käytetty aluksen jokaisen kannen välisissä levyissä.

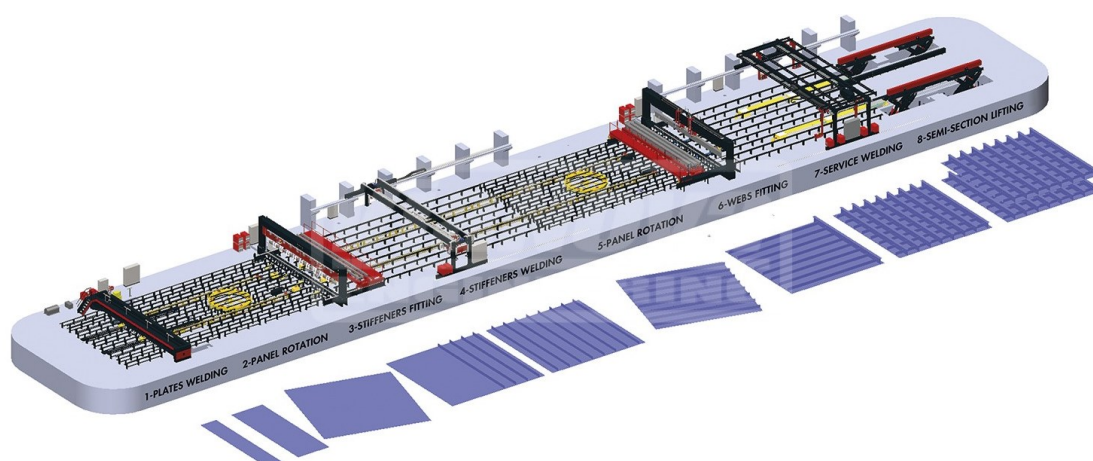




KUVA 3. Silver Spirit -alukseen valmistettu jatko-osa. (Thakkar 2019.)

## 2.2 Automatisoitu paneelilinjasto

Automatisoitu paneelilinjasto laivanrakennuksessa koostuu useammasta eri laitteesta, kuten kuvasta 4 voidaan todeta. Laitteita on moneen eri tarkoitukseen, kuten levykenttien hitsaamiseen, levyjen leikkaukseen ja koneistukseen, jäykisteiden asennukseen sekä paneelien kääntöön. Levylinjastojen automatisointi tuomaa etuja perinteiseen linjastoon verrattuna. Yhtenä etuna automatisoinnissa laivanrakennuksessa on Vianovaplantsin mukaan laadun stabilointi. Se saavutetaan pitkälti vaihtamalla hitsaajaksi ja leikkaajaksi ihmisen tilalle robotti. Robotin avulla leikkaus- ja hitsisaumojen suoruus voidaan varmistaa, ja ihmisen aiheuttamat häiriöt tuotannossa vähenevät. (Vianovaplants 2022)



KUVA 4. Automatisoitu levylinjasto. (Via Nova Plants 2018)

Suurin etu automaattisesta paneelien tuotantolinjasta on kuitenkin tehokkuuden nousu. Pemamek Oy:n paneelilinjastoa käyttävän BAE Systems Australian (2023) mukaan perinteisillä toimintatavoilla kaksi työntekijää pystyi tekemään neljä 13 metristä profiilia päivässä, kun automatisoitujen työkalujen avulla samoja profiileja voidaan valmistaa viisitoista päivässä. Kyseisellä tuotantolinjalla on siis saavutettu 375 % tehokkuuden nousu.

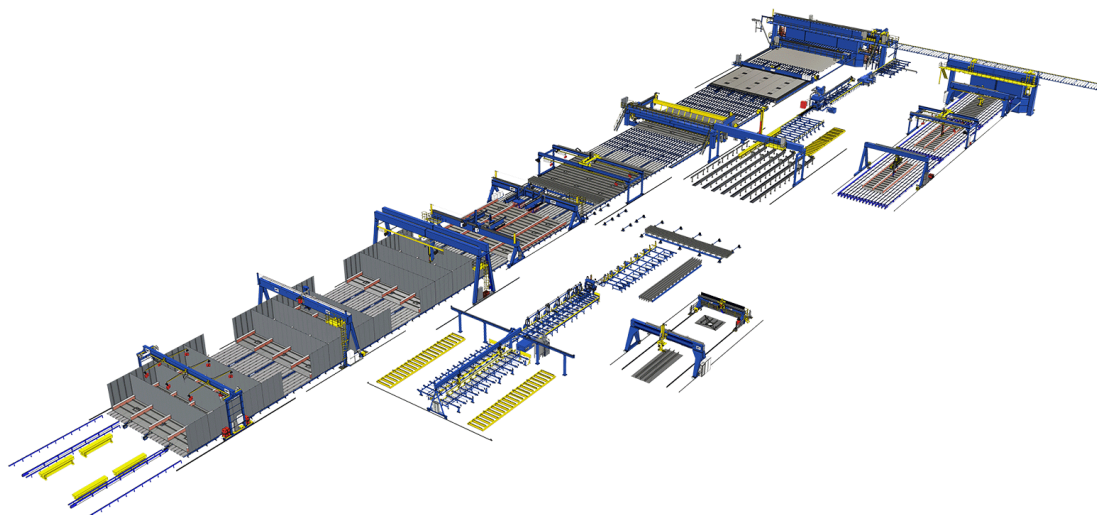
## 2.2.1 Linjaston laitteet

Automatisoitujen paneelilinjojen laitteet vaihtelevat erittäin paljon asiakkaan vaatimusten ja valmistettavien paneelien mukaan. Tyypillisesti linjasto alkaa peruslevyjen käsittelyllä, johon voi liittyä esimerkiksi koneistuksia. Tämän jälkeen levyistä hitsataan yhtenäisiä levykenttiä ja varsinkin suurempien ainevahvuuksien kanssa tässä vaiheessa levy myös käännetään ympäri ja hitsataan myös toiselta puolelta. Yleensä joko tässä tai ennen hitsausta levyjä myös polttoleikataan, koska tässä vaiheessa levyille pääsy on helppoa.

Kun levykentät ovat valmiit, voidaan niille alkaa kasaamaan erilaisia jäykisteitä. Ensin kenttään hitsataan matalammat profiilit, joiden suurin tarkoitus on jäykistää levyä. Niiden lisäys kenttään tapahtuu yhdellä laitteella, joka ottaa jäykisteen kasetilta, kohdistaa ne levykentälle ja hitsaa jäykisteet automaattisesti. Seuraava laite on tämän työn aiheena oleva jäykisteen asennusportaali, eli WMP, jolla korkeammat kuormaa kantavat jäykisteet, webit, heftataan levyyn paikalleen. WMP-laitetta käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.3.

Seuraavana ja viimeisenä paneelilinjan laitteena on hitsausrobotti, jolla profiilit sekä muut tarvittavat saumat hitsataan loppuun. Tärkeä kokonaisuus linjaston toimivuuteen on myös kappaleita kuljettavat kuljettimet, joilla työkappale saadaan ilman sen erillistä nostelua laitteelta laitteelle. Linjastojen päälle asennetaan yleensä myös siltanosturit erilaisten nostotöiden suorittamista varten.

Näiden laitteiden lisäksi asiakkaan tarpeiden mukaan linjastossa voi olla myös muita laitteita tai linjaston lisänä voi olla apulinjastoja esimerkiksi T-palkkien, profiilien tai mikropaneelien valmistukseen. Nämä linjastot näyttävät pitkälti samoilta kuin päälinjastot, mutta ovat kooltaan huomattavasti pienempiä. Kuvassa 5 päälinja on vasemmalla oleva suurin linjasto, ja sen oikealla puolella olevat linjastot ovat ns. apulinjastoja eri tarkoituksiin.



KUVA 5. Paneelilinjasto apulinjastoineen. (Pemamek 2021)

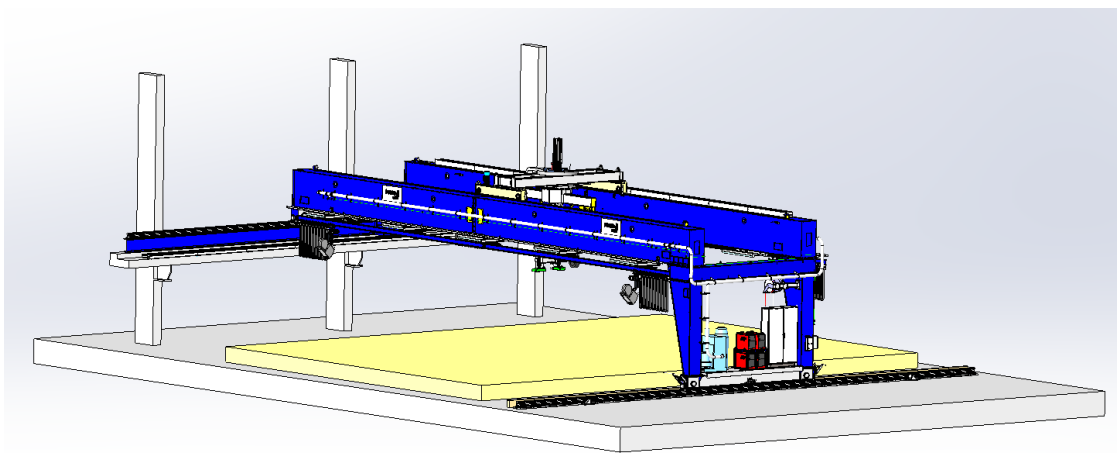
## 2.2.2 Automatisoinnin hyödyt

Automaatio ja mekanisointi on ollut kasvava trendi varsinkin kehittyneen valmistuksen saralla vuosikymmenien ajan. Mekanisoinnilla tarkoitetaan työntekijän avustamista koneiden avulla. Automaatiolla taas pyritään saamaan työntekijästä operaattori, joka valvoo laitetta sen käyttämisen sijaan. (Anzolin 2021.)

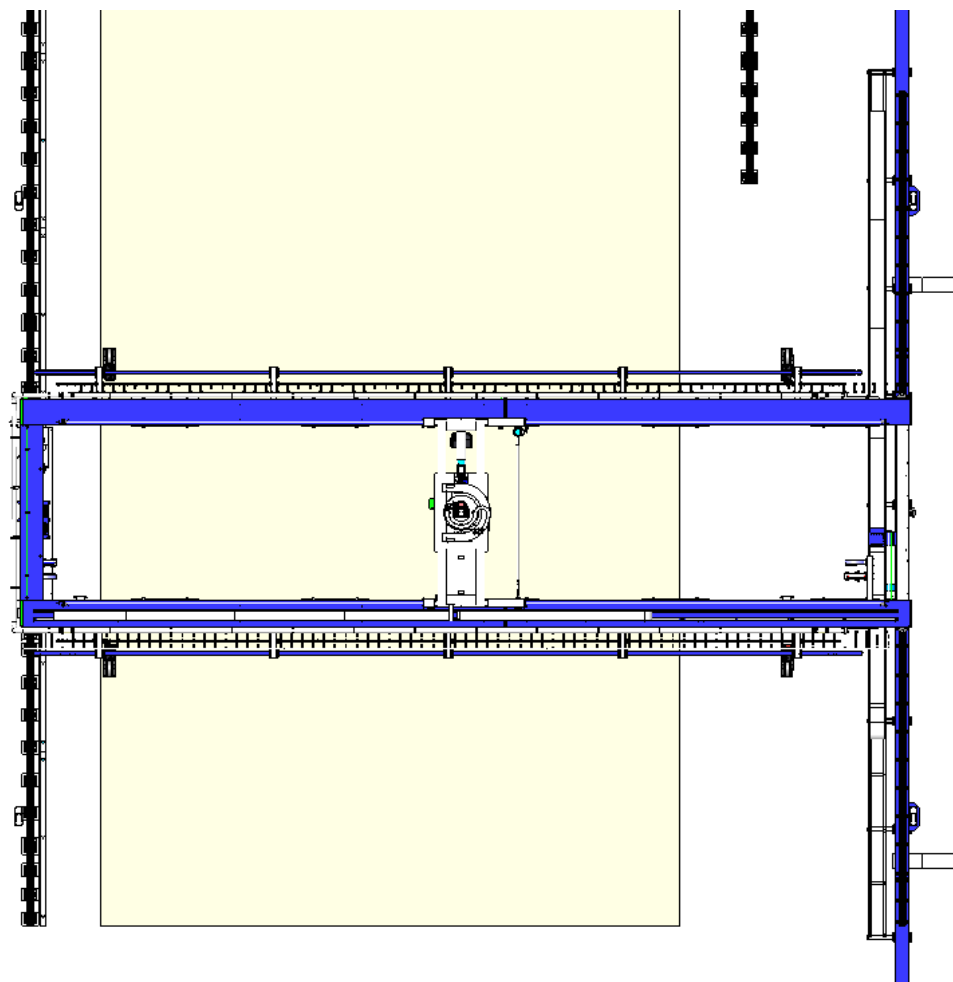
Suunniteltua laitetta voidaan pitää ennemminkin mekanisoiduna laitteena kuin automatisoituna, sillä laitteessa ei ole mitään automatisoituja toimintoja. Automaatio on kuitenkin suunnitelmassa selvästi esillä, sillä linjaston muut laitteet kuuluvat automaation puolelle.

### 2.3 WMP-laitteen toiminta

Kuvista 6 ja 7 voidaan havainnollistaa laitteen käyttöä ja toimintaa. Portaali nähdään kuvassa väritettynä sinisenä. Kuljetin, jolla työkappale tuodaan laitteelle, on esitetty mallissa keltaisena laatikkona. Lintuperspektiivistä otetussa kuvassa kuljettimen oikealle puolelle on jätetty vapaata lattiatilaa, johon kiinnitettävät profiilit tuodaan kasetilla. Kelkan liikerata yltää kuljettimen päällä reunasta reunaan sekä vapaalle lattiatilalle, josta sillä noudetaan profiilit painimeen kiinnitetyillä magneeteilla ja tuodaan kuljettimella olevalle työkappaleelle.

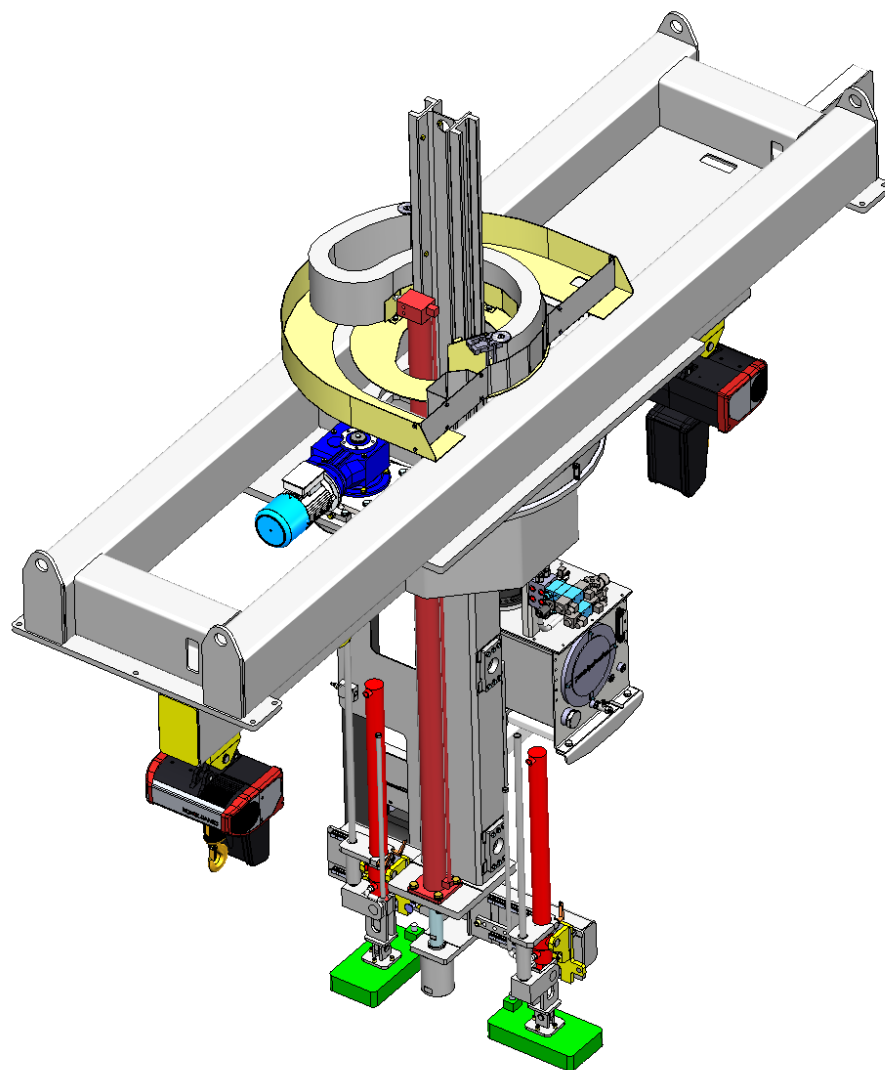


KUVA 6. Valmiiksi suunniteltu laite.



KUVA 7. Valmiiksi suunniteltu laite lintuperspektiivistä.

WMP-laitetta käytetään kiinnittämään laivanrakennuksessa käytettäviin levypaneeleihin korkeampia jäykisteitä. Prosessi alkaa ajamalla työkappale edelliseltä laitteelta kuljettimilla laitteen työalueelle ja tuomalla kasetilla jäykisteet työkappaleen kohdalle vapaalle lattiatilalle. Seuraavaksi kuvassa 8 tarkemmin esitetyllä kelkalla ajetaan kasetin päälle ja sen ketjunosturien magneettitarraimilla nostetaan jäykisteprofiili paneelin päälle sille tarkoitetulle paikalle.



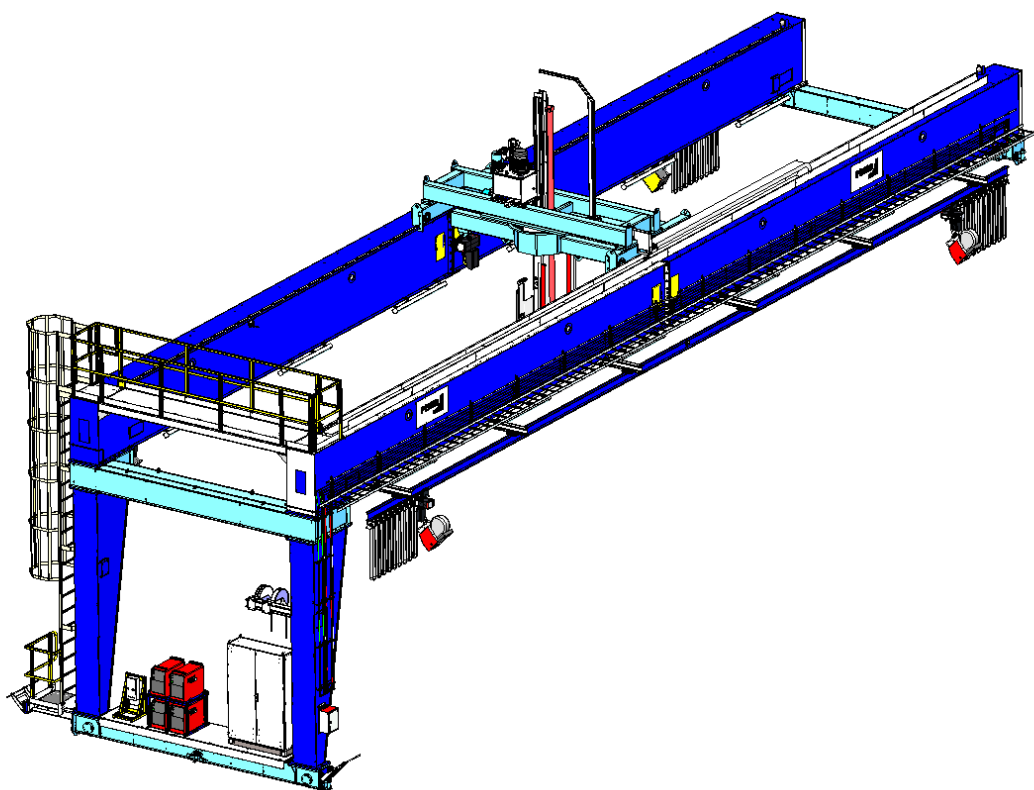
KUVA 8. WMP-laitteen kelkka.

Kun profiili on asetettu oikealle paikalle, voidaan painin laskea profiilin päälle ja painimen kuvassa 8 vihreällä merkatuilla kestopagneeteilla tarrata levykentästä kiinni. Magneetteja nostamalla saadaan jäykisteen ja levyn välinen rako vedettyä kiinni, jonka jälkeen jäykisteet voidaan heftata kiinni levyyn.

Vapaa lattiatila on myös tarpeellinen huoltoja varten. Aiemmin toteutetuissa portaaleissa painimen hydraulikoneikko on sijoittunut kelkan päälle, jolloin sen huoltoon on tarvittu huoltotasoa pääkannattimien päälle. Siirtämällä koneikko alemmas painimen RHS-profiiliin, voidaan huoltotaso jättää kokonaan pois ja huolto suorittaa vapaalta lattiatilalta henkilönostinta apuna käyttäen.

### 3 LAITTEEN SUUNNITTELU

Laitetta lähdetään suunnittelemaan aiemmin valmistetun portaalin pohjalta. Koska kyseisiä laitteita on suunniteltu useita aiemmin, koitetaan vanhoista malleista hyödyntää komponentteja aina kun mahdollista. Suunnittelun lähtötiedoissa annettiinkin muutamia WMP-laitteita, joista tullaan käyttämään osia joko suoraan tai pohjana uusille komponenteille. Jotkin laitteen osat ovat ns. vakio-osia, jotka pyritään pitämään eri projektien välillä samoina. Nämä osat on esitetty kuvassa 9 korostamalla ne vaaleansinisellä värillä.



KUVA 9. Laitteen vakio-osat.

Laiteen suurimmat osakokoonpanot ovat portaali eli runko ja kelkka. Näiden lisäksi laitteessa on useita eri komponentteja, kuten nostimia ja hitsausvarustelua. Lopuksi laitteesta tehdään ns. lay-out malli, josta voidaan havainnollistaa esimerkiksi perustukset ja kiskovarustukset. Lay-out malli on myös tärkeä apu suunnittelijalle, koska sen perustella voidaan todentaa mallin toimivuus esimerkiksi työpään ja energiaketjujen osalta.

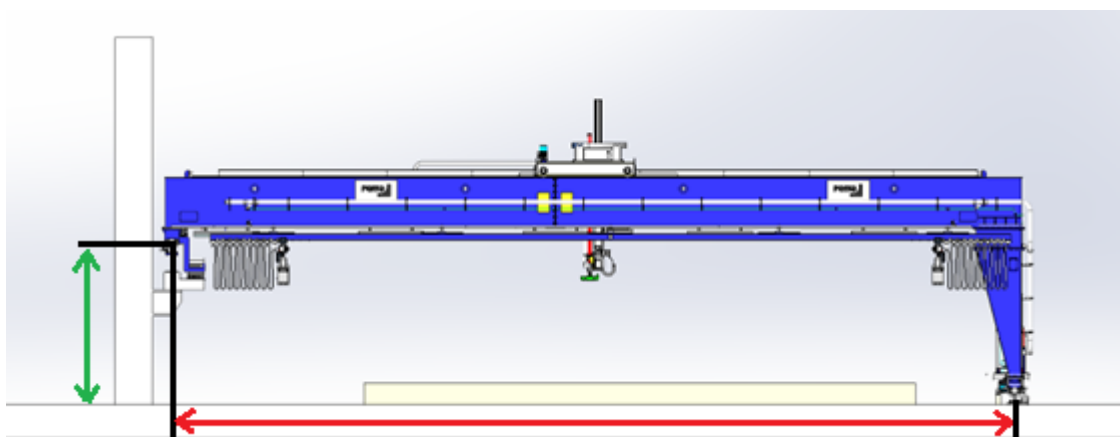


Seuraavissa kappaleissa tullaan purkamaan laitteen suunnittelu osiin, joissa painudutaan tarkemmin sen eri komponentteihin ja mitä näiltä vaaditaan.

### 3.1 Vaatimukset laitteelle

Suurin osa laitteen fyysisistä vaatimuksista tulee tiloista, johon laite tulee käyttöön ja muista asiakkaan vaatimuksista. Nämä selviävät laitteen myynnin aikana tehdystä spesifikaatiosta. Osin vaatimukset tulevat myös siitä, että jotkin laitteen osista pidetään projektien välillä vakioina, eli niihin ei tehdä projektikohtaisia muutoksia. Lisäksi vaatimuksina laitteelle on, että se täyttää kaikki sille vaaditut standardit ja normit, kuten konedirektiivin. Laitteen ja koko linjan spesifikaatio käydään läpi ennen suunnittelun aloitusta, jotta kaikki projektiin osallistuvat saavat laitteista ja projektista tietoa.

Asiakkaalta tulevia vaatimuksia on esimerkiksi raideväli ja -korkeus, sekä laitteen suurin sallittu korkeus, joiden perusteella selviää laitteen rungon perusmitat. Näistä tiedosta voidaan myös päätellä, tuleeko laitteesta täysportaali, puoliportaali vai siltamallinen laite. Näiden ero on kiskojen sijainnissa vaakapalkkeihin nähden. Kuten kuvasta 10 voidaan havaita, on tämä laite malliltaan puoliportaali, eli toisen puolen kisko on lattian tasassa ja toisen korotettuna. Siltamallisissa kummatkin kiskot ovat korotettuina ja täysportaalissa kummatkin kiskot lattian tasolla.



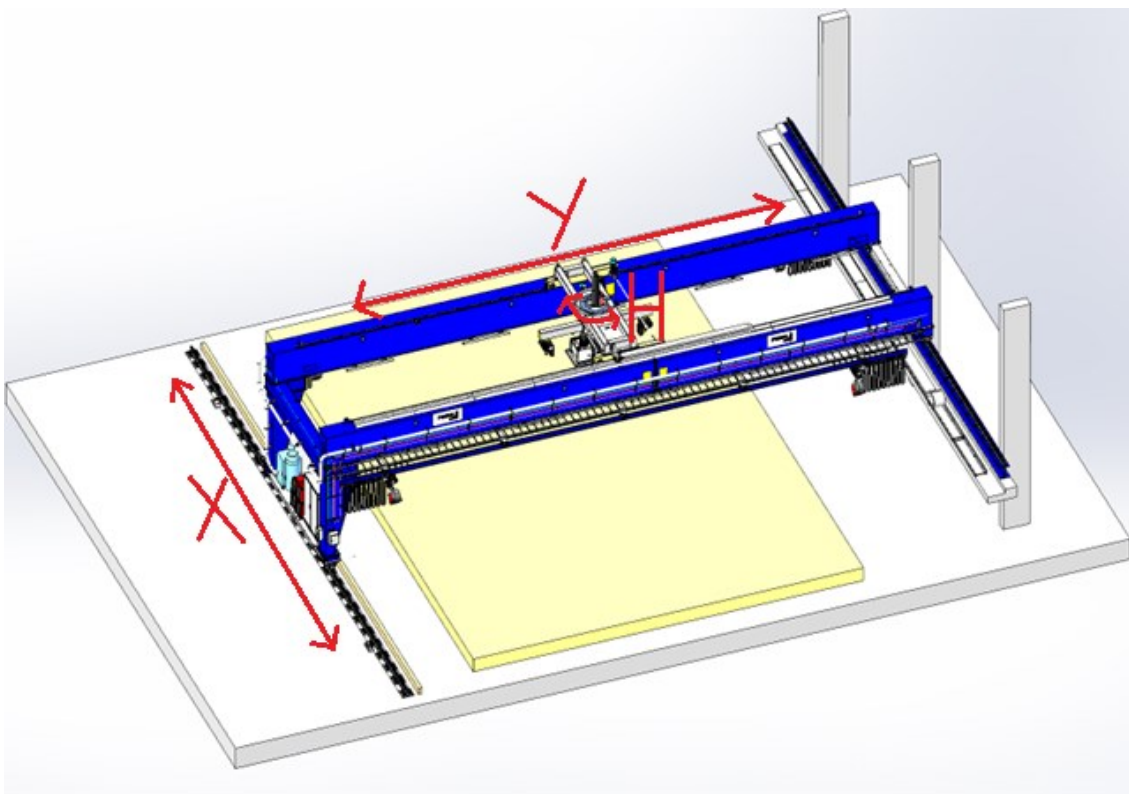
KUVA 10. Raideleveys ja -korkeus havainnollistettuna.

Yksi tärkeimmistä seikoista laiteita suunniteltaessa on miettiä, miten se tullaan valmistamaan. Peman laitteiden suuret teräsrakenteet valmistetaan yleisesti levyrakenteina, joihin koneistetaan tarvittavat kiinnityspinnat ja -piirteet, koska suuria teräsrakenteita on harvemmin järkeä alkaa koneistamaan tangosta kuten pienempiä komponentteja. Pienempiä runkoja ja muita telineitä voidaan myös suunnitella markkinoilta valmiiksi saatavista RHS-profiileista.

Koska profiilin suurin jäyhyysmomenttiin vaikuttava materiaali on sen ulkokehällä, on onttojen profiilien yksi hyvä puoli myös kestävyys suhteeseen painoon. Lisäksi onttoihin rakenteisiin menee myös huomattavasti vähemmän materiaalia kuin täysiin, joka vähentää kustannuksia huomattavasti. (Mechanical Education 2023.)

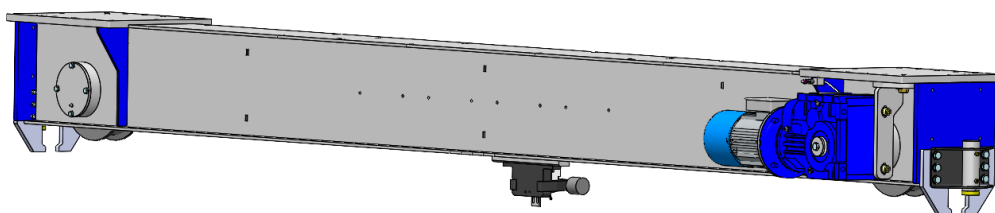
### **3.2 Käyttö ja liikeradat**

Laitteen toiminnan havainnollistamiseksi on hyvä käydä ensin läpi laitteen liikeradat ja mitä niillä haetaan laitteen käytettävyyteen. Liikeratoja laitteella on kolme; x ja y kiskoliikkeet sekä työpään pyörytys. X-liikkeellä koko portaali liikkuu linjan pitkäisraiteiden varassa linjaa pitkin. Y-liikkeellä kelkka liikkuu portaalin päällä olevien raiteiden varassa sivuttaisliikkeenä, jolla esimerkiksi tarvittavat profiilit haetaan linjan vierellä olevalta profiilikasetilta. Pyörytys- eli helikopteriliikkeen avulla profiilit saadaan asetettua niille tarkoitettuun kulmaan. Laitteen liikeradat on esitetty kuvassa 11, jossa pyörytysliike on merkattu kirjaimella H.



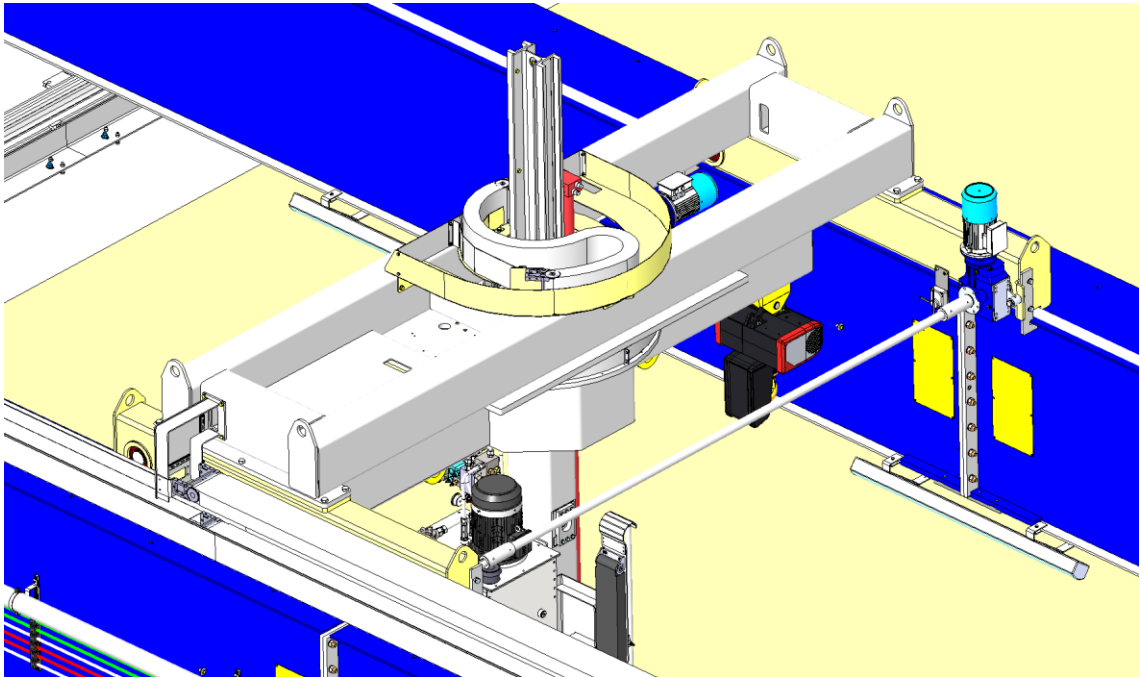
KUVA 11. Liikeradat.

Käyttöinä laitteessa käytetään sähkökäyttöisiä vaihdemoottoripaketteja. Moottorit mitoitetaan laitekohtaisesti tarkoitukseen sopivaksi laitevaatimusten ja esisuunnittelussa saatujen arvojen mukaisesti. Tässä WMP-laitteessa käyttömoottoreita on X-liikkeellä yhteensä kaksi ja Y-liikkeellä sekä helikopteriliikkeellä kummallakin yksi. Tärkeimmät tiedot vaihdemoottorien mitoitukseen ovat liikuteltavien osien massat, välityssuhteet, sekä vaaditut nopeudet ja kiihtyvyydet. X-liikkeen pyöräpalkin rakenne nähdään kuvasta 12.



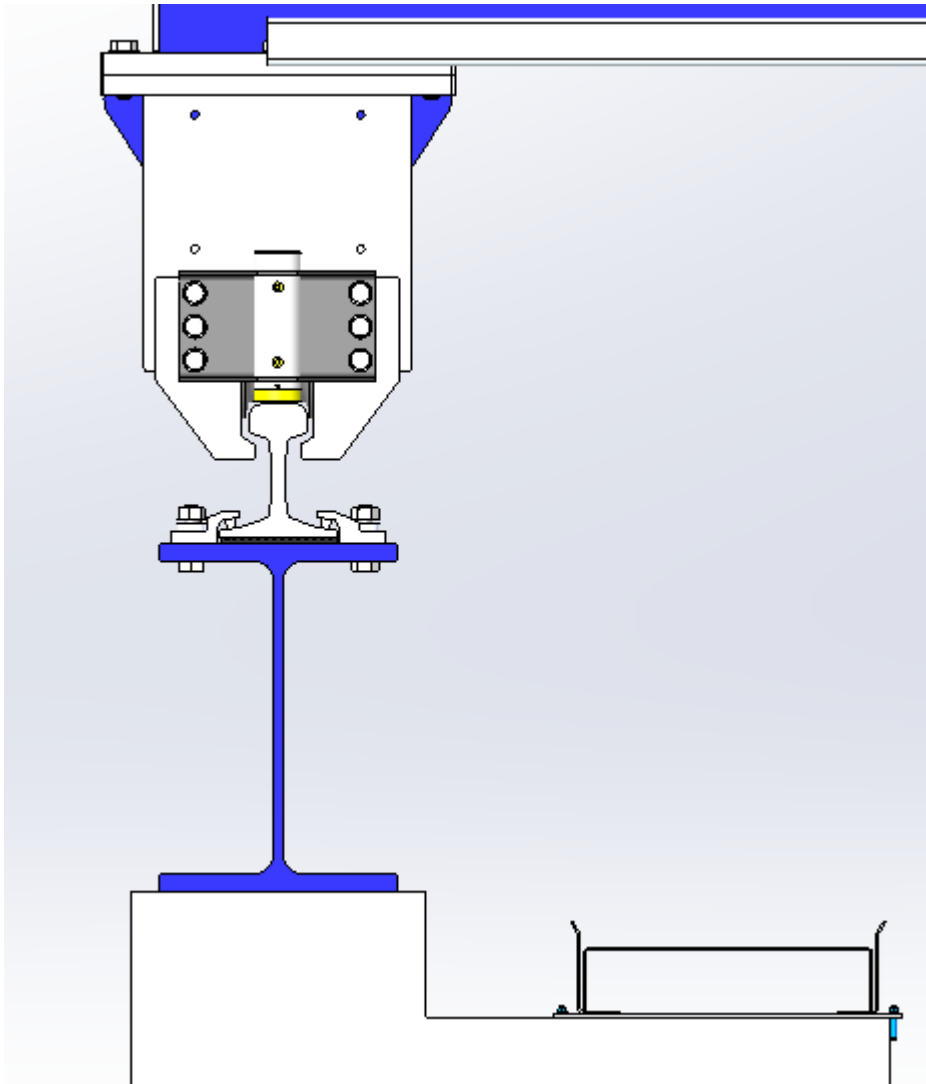
KUVA 12. Pyöräpalkki vaihdemoottoreineen.

Voimansiirrot on toteutettu X-liikkeen osalta kytkemällä vaihdemoottori kiskopyörään, Y-liikkeellä vaihde on kytketty kelkan molemmilla puolilla yhteen kiskopyörään ja helikopteriliikkeellä pyöritys tapahtuu kuulakääntökehän välityksellä. Kuvassa 13 nähdään toteutus kelkan voimansiirrosta, jossa kauemman puolinen kiskopyörä on yhdistetty vaihdemoottoriin akselilla.



KUVA 13. Kelkan voimansiirron toteutus.

Kiskona linjalla X-liikkeelle käytetään UIC60-profiilin kiskoa. Koska laitteella painetaan profiilia levyä kohti, tulee siitä nostava voima portaalille. Jotta kelkka tai portaali ei pääse siirtymään kiskoiltaan, on niiden kiskovaunut sidottu kiskoon käyttämällä varmistuskoukkuja. X-liikkeen kiskovaunun varmistuskoukun rakenne on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Pyöräpalkki kiskolla.

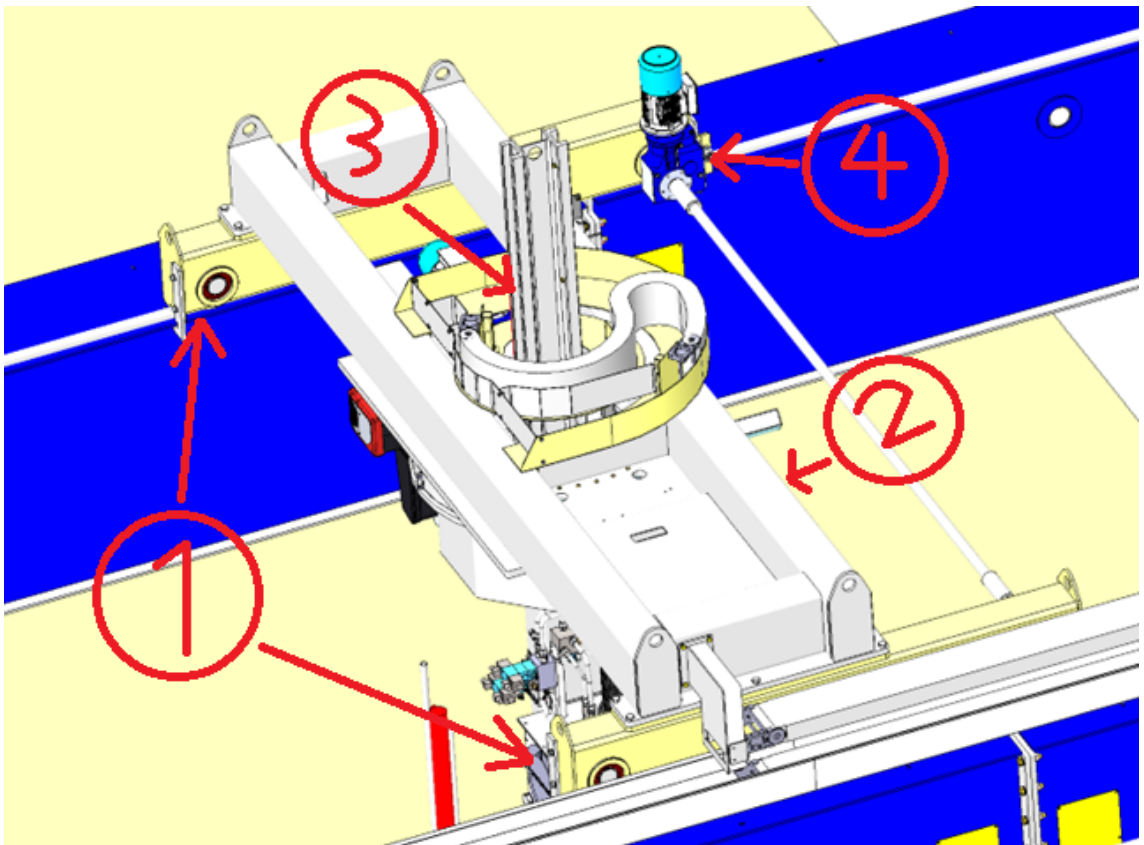
Liikeratojen ääriasennot on määritetty rajakytkimillä, joiden tiedon avulla laitteen ohjelmisto suunnitellaan rajoittamaan käytöt suunnitellulle alueelle. Koska osaksi samaa työaluetta käyttää myös linjaston hitsausrobotti, laitteen toiseen pystypalkkiin kiinnitetään etäisyysanturi, jolla haistellaan laitteiden välistä etäisyyttä ja estetään niiden yhteentörmäys.

### 3.3 Kelkka

Kelkka on osa portaalia, joka tuottaa laitteelle sivuttais- eli y-liikkeen. Kelkka sisältää myös laitteen työpään eli painimen ja siihen liittyviä komponentteja, sekä mahdollistaa painimen pyörimisen.

#### 3.3.1 Kelkan rakenne

Kelkan pääosakokoonpanot ovat esitelty kuvassa 15; kiskovaunut (1), kelkan runko (2), painin (3) ja vaihdemoottori (4). Kelkka liikkuu kahden raiteen päällä, jotka ovat rungon pitkittäispalkkien päällä. Nämä voidaan havaita valkeina raitoina, joiden päällä kiskovaunut liikkuu pääkannattimien päällä.



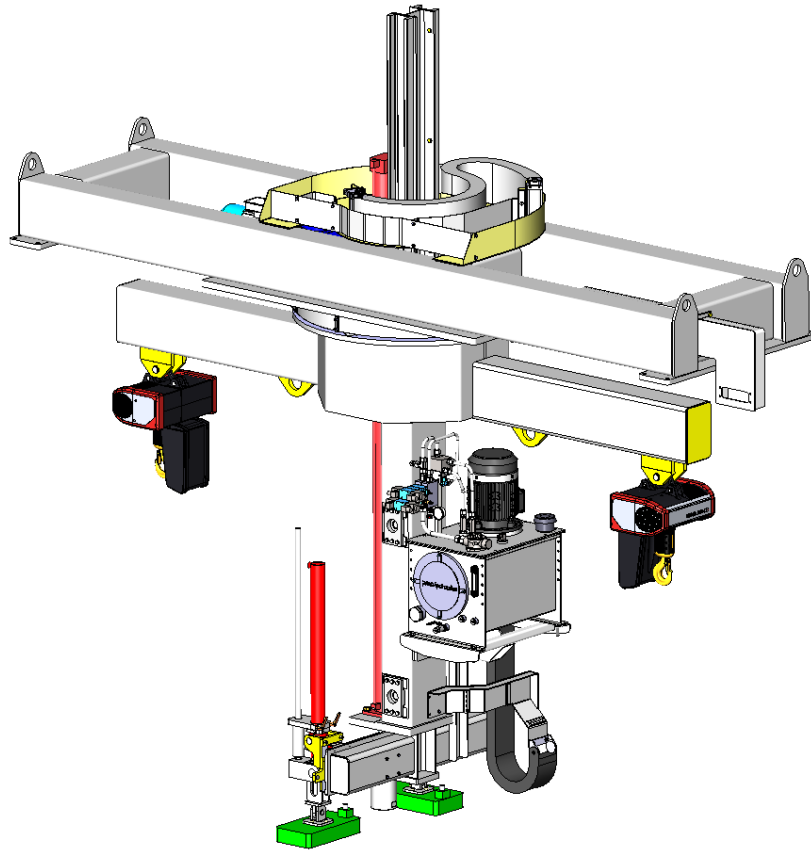
KUVA 15. Kelkan pääkomponentit.

Kelkka koostuu pitkälti vakiona pidettävistä komponenteista. Siihen tehdyt muutokset ovatkin pelkästään painimen RHS-putken mitan muuttaminen, jolla iskun

pituus saadaan sovitettua oikeaksi pääkannattimen korkeudelle. Toinen tähän projektille suunniteltu kohde on kuvassa 15 näkyvä pyöriksen e-ketju, jota käsitellään enemmän kappaleessa 3.5.2.

### **3.3.2 Hydraulikka**

Hydraulikka pidetään tässä WMP-laitteessa pitkälti vakiona. Yksi mietinnän alla oleva asia oli hydraulikkakoneikon sijoitus. Aiemmissa WMP-laitteissa koneikko on ollut kelkan päällä, mutta välillä se on ollut myös kelkan alla. Lopulta päädyttiin käyttää tässä laitteessa alla olevaa koneikkoa, koska silloin ei tarvita hoitotasoa portaalin päälle. Tämä helpottaa lutkuttamista, sillä painin pyörä verrattuna muuhun portaaliin. Tässä ratkaisussa huonona puolena on se, että huoltojen ajaksi tarvitaan henkilönostinta, mutta nostimella kuitenkin pääsee helposti koneikkoon käsiksi jäykistekasetille varatulta paikalta. Koneikon lopullinen sijoitus näkyy kuvasta 16. Kuvasta 16 nähdään myös loput laitteen hydraulikkakomponentit, joita on painimen suurempi hydraulisylinteri sekä kaksi pienempää sylinteriä magneeteille.

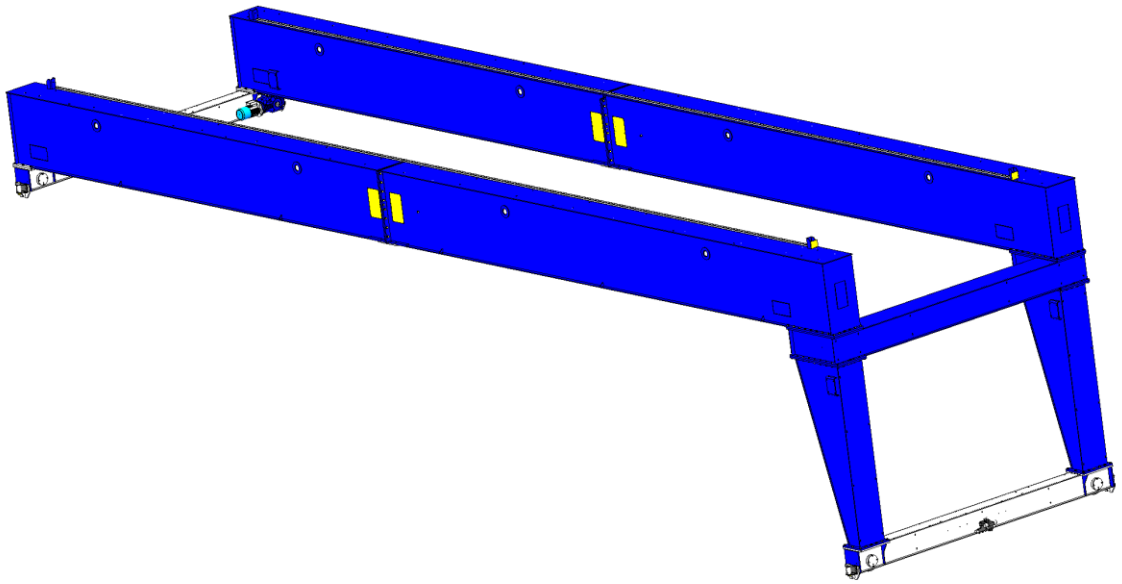


KUVA 16. Kelkka painimineen.

### 3.4 Portaali

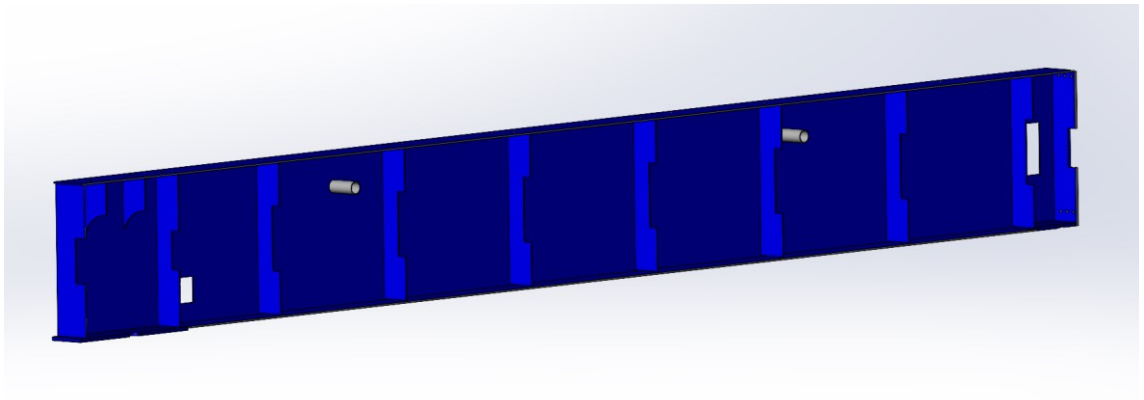
Portaali eli laitteen runko on merkittävin teräsrakenne laitteessa ja suurin osa laitteen massasta tuleekin rungosta. Paljas portaali on esitetty kuvassa 17, josta sen rakenne voidaan havainnollistaa. Rungon tarkoitus on kannatella paininta eli laitteen työpäätä työalueen päällä, mahdollistaa linjan suuntainen X-liikerata kisko-vaunujen avulla ja mahdollistaa kelkan Y-liike, koska kelkan liikkeen kiskot ovat sijoitettu rungon pääkannattimien päälle. Portaali myös toimii kiinnityskohtana erilaisille varusteille, joita laitetta käyttäessä tarvitaan.





KUVA 17. Portaali.

Portaalin suuret teräsrakenteet, eli pääkannattimet, jalat ja kiskovaunut on valmistettu levyrakenteina hitsaamalla polttoleikatuista teräslevyistä profiileja. Yhden pääkannattimen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 18, josta nähdään kannattimen levyrakennetta.



KUVA 18. Pääkannattimen poikkileikkaus

Koska myös pohjalla ollut laite oli myös puoliportaali, suurin muutos tämän laitteen runkoon on muuttaa mitat vastaamaan spesifikaatiosta saatuihin tietoihin. Suunnittelussa lyhennetään pääkannattimista vain kahta, jonka vuoksi toisissa palkeissa voidaan käyttää aiemmin suunniteltuja komponentteja. Lyhentäessä

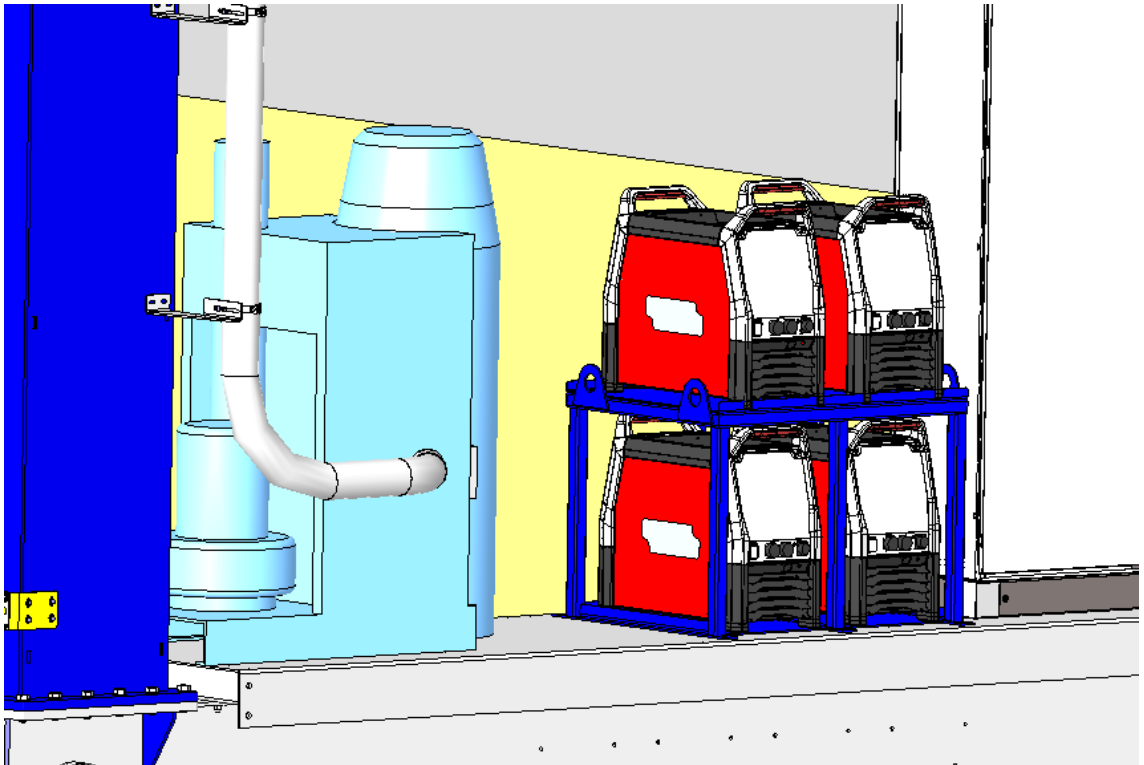
palkkeja tulee ottaa huomioon jäykisteiden määrä ja niiden välit. Pidempien palkkien rakenteelta poistetaan huoltotasolle tarvittavat kiinnityspiirteet ja jäykisteet, sillä niitä ei tarvita. Pääkannattimista täytyy myös tarkistaa portaalin reunoille tulevien nosturikiskojen kiinnitykseen tarvittavat pultiliitokset sekä jäykistelevyt.

Portaalin pystyjalkojen kanssa tilanne on sama kuin pääkannattimilla. Suurin muutos on näiden korkeuden muutos, mutta muuten jalat pidetään vakiona. Koska liitospinnat pysyvät samoina, myös jalkojen sivulevyjen ylä- ja alमितat pidetään samana. Tämän takia voidaan jaloissa käyttää samoja jäykisteitä kuin pohjamallissa, kunhan niiden paikat katsotaan sopiviksi.

### **3.5 Laitteen varustus**

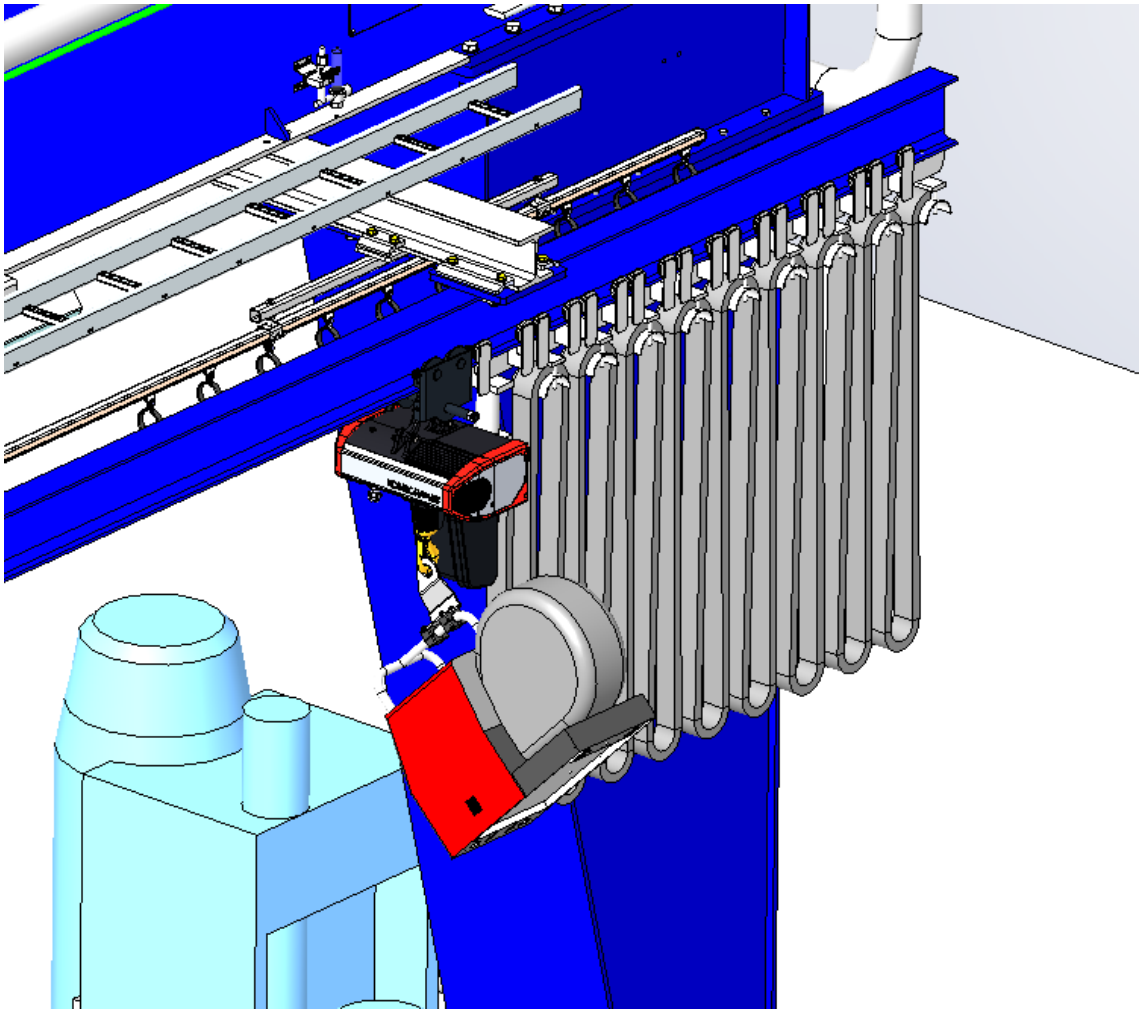
#### **3.5.1 Hitsausvarustus**

Portaalin varustukseen kuuluu laitteita, jotka eivät ole välttämättömiä sen toiminnalle, mutta ovat tärkeitä laitteella suoritettaviin työtehtäviin. Varustukseen kuuluu muun muassa hitsausvirtalähteitä, langansyöttölaitteita ja niiden nostimet, savunpoistojärjestelmä, sekä paineilmojen ja leikkauskaasujen syöttöpisteet. Kuvassa 19 on esitetty hitsausvirtalähteiden ja savukaasun poistoimuri pyöräpalkin päällä.



KUVA 19. Hitsausvirtalähteet ja savunpoistomuri pyöräpalkin päällä.

Kuvassa 20 nähdään hitsauslangansyöttölaitteiden sijainti. Lankurit roikkuvat portaalin kummallakin kyljellä olevien kiskojen ketjunostimista. Nostureiden kiskojen rinnalla kulkee myös helmikisko, josta savunpoiston letkut vedetään hitsauspolttimen lähelle. Nosturikiskojen päällä kulkee myös teline kaapelien siistiä vetämistä varten.



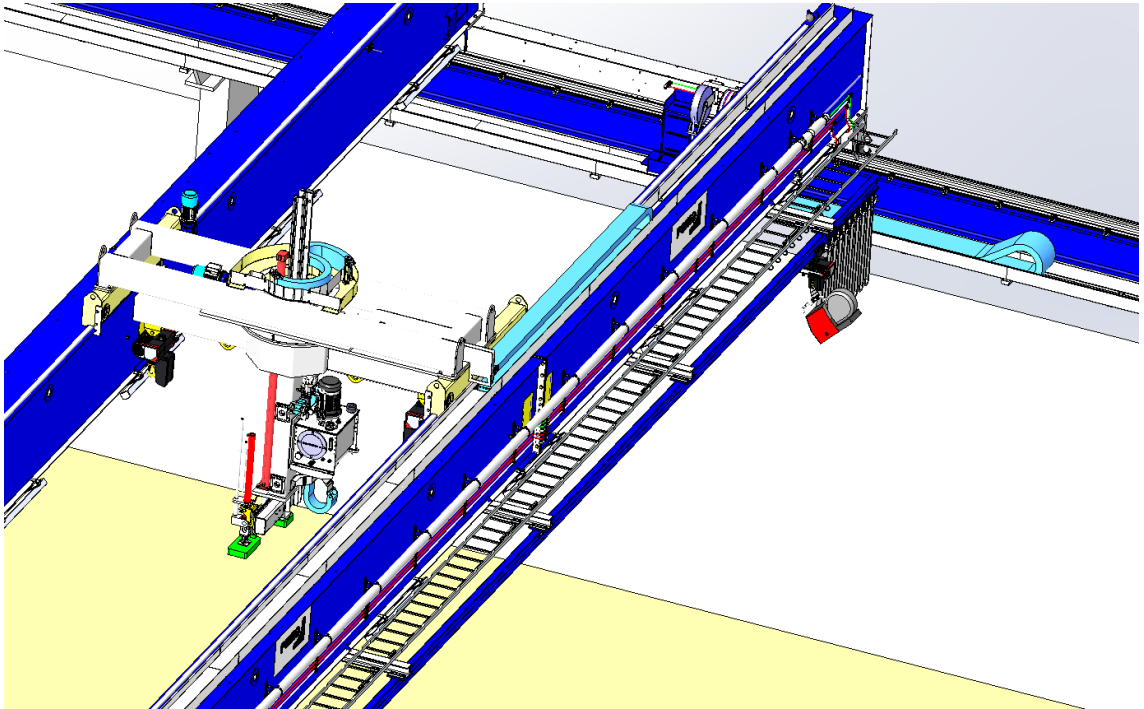
KUVA 20. Langansyöttölaite nosturikiskolla.

### 3.5.2 Energiansiirtoketjut

Koska laitteen toimintaan ja sillä tehtävään työhön tarvitaan paljon kaapeleita ja erilaisia letkuja, käytetään niiden siistiin pakointiin ja liikkeen toiminnan varmistamiseen energiansiirtoketjuja eli e-ketjuja. E-ketjut ovat nivelketjuja, joiden sisällä on ontto tila kaapeleille ja letkuille, jonka ansiosta sen sisälle asennetut vedot varmistetaan liikkumaan lineaarisen liikkeen mukaisesti. Ketjut myös suojaavat kaapeleita ja letkuja ulkoisilta vauriotekijöiltä, jotka voisivat muuten vaurioittaa niitä. Tämän takia ketjun sisältämien komponenttien käyttöikä pitenee ja vähentää huoltoon vaadittavia seisokkeja. (igus GmbH 2023a.)

Tässä laitteessa ketjuja käytetään jokaisella laitteen liikkeellä. Suurin ketju on linjan suuntaisella X-liikkeellä, jolla koneelle tuodaan kaikki sen tarvitsemat kaapelit ja letkuviedot. Seuraavaksi isoimmat ketjut ovat kelkan Y-liikkeellä ja painimen

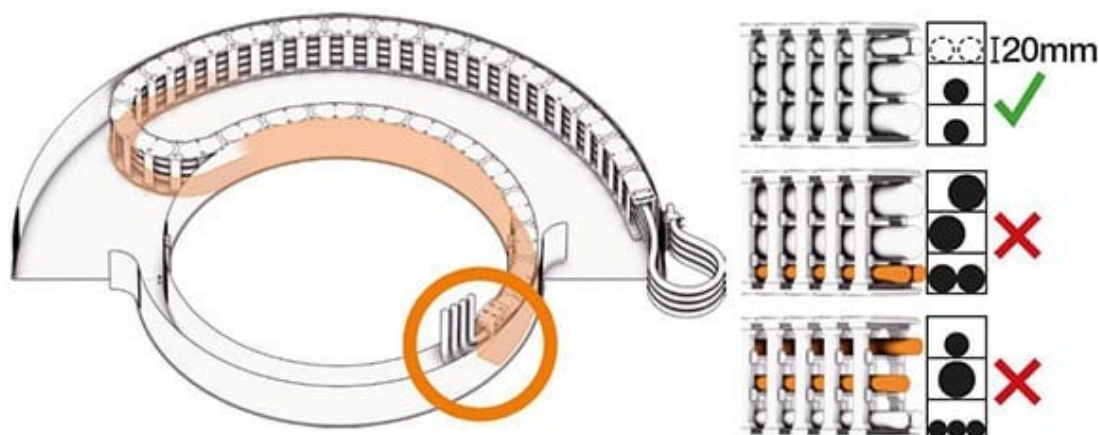
helikopteriliikkeellä. Pienin ketju tarvitaan painimen pystyliikkeelle, jossa kulkee kestopagneettien kaapelit ja niiden sylinterien letkut, sekä tarvittavia anturoin-  
teja. Kuvassa 21 laitteen energiaketjut ovat korostettu vaaleansinisellä värillä.



KUVA 21. Laitteen energiaketjut.

Helikopteriliikkeen pyörivä e-ketju oli täysin uutta tälle laitteelle. Sen suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että tulevaisuuden WMP-laitteissa hydraulikkakoneikko saattaa siirtyä kelkan päälle, joten ketju täytyy mitoittaa sen varalta, että siinä mahtuu kulkemaan hydraulikkaletkut.

Vaakatasossa olevan ketjun kanssa tulee myös huomioida, että sen sisällä olevat kaapelierottimet ovat kiinteitä eikä kelluvia ja niitä tulee olla tarpeeksi, jotta kaapelit ja letkut eivät pääse kasaantumaan ketjun pohjalle. Kuvassa 22 on esitetty tämä pyörivän ketjun suunnitteluohjeessa.



KUVA 22. Kaapelien veto pyörityksen e-ketjussa. (igus GmbH 2023b.)

### 3.6 Liitokset

Liitoksina laitteen rakenteella käytetään pääosin hitsausta ja pultiliitoksia. Alikoonpanot ovat pitkälti hitsattuja kokonaisuuksia, jotka liitetään pultiliitoksilla suuremmiksi kokoonpanoiksi. Yksi mekaniikkasuunnittelun tärkeistä asioista on mitoittaa liitokset tarkoitukseen sopivaksi, sillä ylimitoitettut liitokset nostavat niin kokoonpanoon ja valmistukseen käytettyä aikaa ja kustannuksia, mutta liian pienet liitokset voivat aiheuttaa vaaran laitetta kootessa ja käyttäessä.

Koska tämä kyseinen laite perustui vastaavaan, mutta suurempikokoiseen laitteeseen, joten oletettiin heti alussa liitoksien mitoitus riittävän tämänkin laitteen rakenteeseen. Osa liitoksista kuitenkin tarkastettiin portaalin mitoitus tarkoitettulla laskupohjalla, jolla myös vaihdemoottorien toimivuus tarkastettiin.

Uusien kokoonpanojen ja rakenteiden yhteydessä tulee niiden toimivuutta tarkastella ennen niiden lähettämistä tuotantoon. Tähän voidaan käyttää perinteistä lujuuslaskentaa esimerkiksi Excelin avulla, mutta yleensä kokoonpanojen osalta se on nopeampaa ja helpompaa suorittaa FEM-laskennan avulla. Pemamek Oy:llä mekaniikkasuunnittelussa on käytössä Solidworksin FEM-paketti, jonka käyttö on nopeaa, sillä Solidworks on myös käytössä 3D-suunnittelussa, joten kokoonpanoja tai osia tarvitse siirtää toiseen ohjelmistoon.

### 3.7 Mitoitusperiaatteet

Mitoitus on yleensä suurin rajoittava tekijä suunnitellessa, sillä suuri osa lopullisista ratkaisuisista tulee mitoitus pohjalta. Esimerkiksi teräsrakenteiden ja ruuvi- tai hitsiliitosten kestävyys on hyvä tarkastaa laskennallisesti ennen suunnittelun lyömistä lukkoon.

Pemamek Oy:llä on ruuviliitosten mitoituksen apuna VDI 2230 -mitoitukseen perustuva laskuri, johon voidaan syöttää liitoksen pulttijako, siihen kohdistuvat voimat ja väännöt. Laskuriin syötetään myös tiedot ruuveista. Näistä tiedoista laskurista saadaan selville mitoituksen riittävyys sekä esimerkiksi liitoksen aiheuttamat pintapaineet ja vaaditut kiristysmomentit.

VDI 2230 on saksalaisen VDI-insinööriyhdistyksen kehittämä standardi, joka ohjeistaa systemaattiseen ruuviliitosten mitoittamiseen. Siinä laskentavaiheet on jaettu osiin, jotta lopputulos on helposti luettavissa ja johdonmukainen. Standardi on ollut käytössä yli 40 vuotta, jona aikana sitä on päivitetty ja täydennetty. VDI 2230 -standardia pidetään suosituksena ruuviliitosten mitoittamiseen. (Pulkinen 2015).

VDI 2230 ei kuitenkaan ota huomioon väsymisrasitusta ja syklejä, joten siinä suositellaankin käyttämään kriittisiin liitoksiin FEM-laskentaa eli elementtimenetelmän mukaista laskentaa (Pulkinen 2015). Solidworksin FEM-paketissa ruuviliitoksia voidaan tarkastella mallintamatta ruuveja käyttämällä sen ”bolt connectors”

-työkalua. Tällä tavalla voidaan myös määrittää ruuvien esikiristys ja muita tarvittavia arvoja, jotta tuloksista tulisi mahdollisimman realistiset. Tätä työkalua käyttämällä voidaan simulaatiosta tulostaa ruuviliitoksen tulokset ja arvioida riittääkö valittu ruuvi kyseisessä applikaatiossa.

Laitteen pääkannattimien, vaihdemoottorien ja hydraulikkojen mitoitus tarkastetaan laitteelle pohjana olleen portaalin mitoituspohjalla. Koska mitoituspohjan tulokset ovat hyväksyttävät eikä tässä projektissa ei luoda uusia kriittisiä osia, ei laitteen mitoituksia tulla käymään tarkemmin läpi.

### **3.8 Koneenpiirustukset**

Laitteen 3D-suunnittelun päämääräinen lopputulos on saada sen osista tuotettua koneenpiirustukset. Piirustukset ovat perusta, jonka pohjalta laitetta ja sen osia aletaan valmistamaan. Niinpä niissä täytyy olla merkattuna kaikki kuvan osan tai kokoonpanon mitat, hitsausmerkit, toleranssit ja koneistusmerkinnät. Piirustuksiin tulee myös varmistaa, että osalle syötetyt materiaalit ovat oikeat.

Kun uuden osan mallinnus aloitetaan vanhan mallin pohjalta, tekee PDM-järjestelmä valmiiksi uudelle mallille myös piirustuksen, joka nopeuttaa lopullista piirtämistä suhteellisen paljon. PDM-järjestelmän avulla voidaan myös automatisoida polttoleikkaamiseen tarvittavien DXF-muotoisten kuvien muuntaminen.



#### 4 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työn tuloksena oli tarkoitus saada valmiiksi suunniteltu jäykisteen asennusportaali Pemamek Oy:n asiakkaalle toimitettavalle automatisoidulle telakkalinjastolle. Laite suunniteltiin linjaston spesifikaation ja edellisten WMP-laitteiden pohjalta. Opinnäytetyö koostuu Pemamek Oy:n esittelystä, perehdytyksestä laitteen käyttötärpeelle ja mitä sillä tullaan tekemään ja laitteen suunnittelun läpikäynnistä.

Suunnittelun läpikäynti raportiksi oli erittäin opettava prosessi. Opinnäytetyön takia aiheeseen täytyi perehtyä tarkemmin kuin välttämättä pelkän suunnittelun takia olisi joutunut, joka toi paljon lisää tarpeellista taustatietoa myös suunnitteluun.

Vaikka laitteelle tuli muutamia muutoksia suunnitteluprosessin aikana kuten huoltotason pois jääminen ja pyöriksen e-keijun lisääminen, onnistui suunnittelu kuitenkin hyvin ja se saatiin lähetettyä tuotantoon alkuperäisessä aikataulussa. Suunnittelun pohjalta voidaankin todeta, että laite on ainakin teoreettisesti toimiva. Laitetta ei ole kuitenkaan vielä valmistettu tai testattu, joten niiden yhteydessä voi tulla esille jotain seikkoja, joita suunnittelun aikana ei ole huomioitu.

Pitkän suunnittelutyön aikana tuli hyvin ilmi, miten hyödyllistä omasta tekemisestä on pitää mahdollisimman tarkkaa seuranta. Muistiinpanoista voi nopeasti tarkastaa, mitä työstä on vielä tekemättä ja miksi joihinkin päätöksiin on suunnittelussa päädytty. Lisäksi pitkään kestävä suunnittelun aikana yleensä joutuu välissä hoitamaan muita asioita, joten palaaminen laitteen suunnitteluun on paljon helpompaa, kun kertaa ensin mihin on jäänyt.

## LÄHTEET

Anzolin, G. 2021. Automation and its Employment Effects. Seville: European Commission.

Asiakastieto. 2022. Pemamek Oy taloustiedot. Viitattu 24.3.2023.

<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/pemamek-oy/05350851/taloustiedot>

Bae Systems Australia. 2023. Did you know that each Hunter frigate requires more than 1,000 steel profiles? Viitattu 21.3.2023. <https://twitter.com/BAESystemsAus/status/1634350983353446401?cxt=HHwWgsC9ke3jsK4tAAAA>

Chakrabarti, S. 2005. Handbook of Offshore Engineering. Amsterdam: Elsevier Science.

Eskelinen, U. 2022. Viking Glory-alukselle on lisätty tuntuvasti rahtikapasiteettia. Viitattu 28.5.2023. <https://skal.fi/viking-glory-alukselle-lisatty-tuntuvasti-rahtikapasiteettia/>

igus GmbH. 2023a. Energy chains wiki. Viitattu 30.5.2023.

<https://www.igus.com.au/info/energy-chains-why-you-should-use-them>

igus GmbH. 2023b. Tips for the best possible rotating energy supply. Viitattu 30.5.2023. <https://content.communication.igus.net/en/rotating-energy-supply-designtips>

Mechanical Education. 2023. Hollow Shaft vs Solid shaft – Difference? Viitattu 30.5.2023. <https://www.mechanicaleducation.com/hollow-shaft-vs-solid-shaft-difference/>

Pemamek Oy. 2021. Shipbuilding. Viitattu 27.5.2023. <https://pemamek.com/welding-solutions/shipbuilding/>

Pemamek Oy. 2023. Tietoa yrityksestä. Viitattu 20.3.2023. <https://pemamek.com/fi/yritys/>

Pulkkinen, K. 2015. Pyörivien koneiden ruuviliitosten mitoitus ja mitoitusohjelman laadinta standardien mukaisesti. Diplomityö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201504212756>

Thakkar, E. 2019. Cruise Ship Cut in Half and Lengthened with New Section. Viitattu 31.5.2023. <https://www.cruisehive.com/cruise-ship-cut-in-half-and-lengthened-with-new-section/23333>

Via Nova Plants. 2018. Panel line. Viitattu 21.3.2023 <https://www.vianovaplants.com/turnkey-plants/production/panel-line/>

Wärtsilä. 2017. Encyclopedia of Marine and Energy Technology. Web frame. Viitattu 24.3.2023 <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/web-frame>