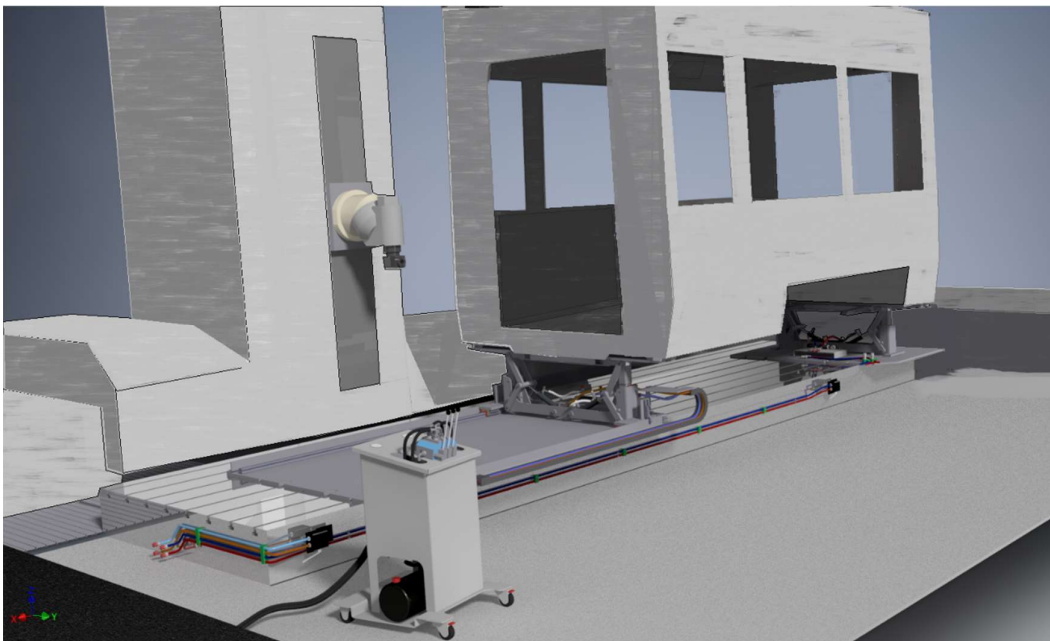


Jarmo Heikkinen

Raitiovaunukorin porausjigin suunnittelu pitkäjyrsinkoneelle



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2021



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Heikkinen Jarmo

Työn nimi: Raitiovaunukorin porausjigin suunnitteleminen pitkäjyrsinkoneelle

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: Autodesk Inventor, mallinnus, Suunnittelu, työmenetelmät, työturvallisuus

Työn tavoitteena oli suunnitella Škoda Transtech Oy:lle porausjigi raitiovaunun koreille, jotta tuotantokapasiteettia saadaan kasvatettua entisestään, yrityksen nykytarpeisiin ja tulevaisuuteen. Tulevaisuuden näkymiä varten jigin tuli olla modulaarinen ja laajalla käyttömahdollisuudella, mutta ennen kaikkea myös helpokäyttöinen ja turvallinen.

Jigi suunniteltiin pääasiallisesti Autodesk Inventor 3D -suunnitteluohjelmaa käyttäen, mallintaen ensin työkohteesta tarkan virtuaaliympäristön helpottamaan vaiheittaista suunnittelua. Työympäristössä oli helppo tehdä erinäisiä hahmotelmia ja mallinnuksia, sillä niiden toimivuutta ja turvallisuutta pystyi huomioimaan reaaliaikaisesti.

Jigisuunnittelu aloitettiin konseptista ja hahmotelmasta, jossa haettiin toiminnot, tilantarve ja rakenne. Alustavassa mallissa taas ratkaistiin ja toteutettiin hahmotelman kuvaamat tarpeet ja mekanismit. Viimeisenä vaiheena oli taas alustavan mallinteen optimoiminen valmistuskelpoiseksi ja turvalliseksi kokoonpanoksi. Suunnittelussa pohjana toimi aikaisempi kokemus valmistustekniikasta ja 3D-suunnittelusta, mutta hydraulikkaan jouduttiin syventymään tarkemmin teoriapohjalta lähtien, turvallisen kokoonpanon suunnittelemiseksi.

Rakenteelle myös suoritettiin eurooppalaisen konedirektiivin sekä kansainvälisten standardien vaatimat FEM-analyysit, jotta rakenne saatiin riittävän lujaksi pitkäaikaiseenkin käyttöön. Turvallisuuden vuoksi jigi kuitenkin tulitisiin koeponnistamaan useammalla kokeella ainakin kaksinkertaisella maksimityökuormalla, jotta turvallinen käyttöönotto ja mahdolliset lisäohjeistukset saadaan tehtyä.

Abstract

Author(s): Heikkinen Jarmo

Title of the Publication: Designing Tram Chassis Drilling Jig for Travelling Column Milling Machine

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Autodesk Inventor, designing, modeling, work safety, work methods

This thesis was commissioned by Škoda Transtech Oy to design a drilling jig for tram chassis, so the production capacity would increase from its current state, to meet the demands of today and the future. Regarding the company's future operations, the jig needs to be modular and with a wide variety of capabilities, but most of all with ease of use and safety in mind.

The jig was mainly designed using with Autodesk Inventor 3D designing program, firstly modelling an accurate virtual environment for facilitating the process. It was easy to work and sketch different builds in the environment, with real time insight for security and usability.

Jig planning began with concept and sketch, where the actions, size and build were determined. The preliminary assembly was made from the base of the needed action, and the build that would accommodate it. In the last stage of designing, the build and the mechanism were optimized from the manufacturability and work safety standpoint. The designing process was based on previous knowledge about manufacturing techniques and 3D design, but the hydraulics needed to be delved into more closely from the theory basis, to achieve a safe assembly.

FEM-analysis was performed for the structure according to the European machine directive and international standards, so that the needed structural strength was achieved, for long-term use. Because of the safety precautions, the complete assembly will be tested, with double the amounts of maximal workload, to ensure safety of the build and possible needed additions to the instructions.

Alkusanat

Tämä insinööri työ on tehty Škoda Transtech Oy:lle Otanmäessä, työnä oli allekirjoittaneella suunnitella porausjigi tuotannon apuvälineeksi.

Kiitän Škoda Transtech Oy:tä insinööri työn tekemahdollisuudesta, laajasta ja mielenkiintoisesta työstä. Kiitän erityisesti opinnäytetyöni valvojaa Zoran Vukotaa, esimiestäni Antti Karppista työni aktiivisesta seurannasta ja ideoista kokonaisuudessa, ja Kajaanin ammattikorkeakoulun tuntiopettajaa Petteri Laitista ohjastamisesta.

Haluan myös kiittää kaikkia työtovereitani, jotka ovat auttaneet joissakin kiperissä ongelmissa tai käytännön asioissa, joita joissakin osioissa tuli vastaan.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yritys	2
3	Lainsäädännön huomiointi	3
4	Lähtökohta ja konsepti	4
4.1	Kohteen ympäristö	5
4.2	Ideointi	5
4.3	Ongelmanratkonta ja hahmottelu	7
4.4	Säädettävä nostin.....	9
5	Alustava suunnittelu.....	10
5.1	Mekanismi.....	10
5.2	Toiminnot.....	11
5.2.1	Lineaarilaakerit.....	12
5.2.2	Säädettävän nostimen toteutus.....	12
6	Suunnittelu	14
6.1	Rakenne.....	15
6.2	Hydrauliikka.....	18
6.3	FEM analyysi.....	22
6.4	Optimointi	23
7	Jigiä koskeva lainsäädäntö ja turvallisuus	26
7.1	Riskinarviointi.....	27
7.1.1	Koneen raja-arvot	27
7.1.2	Tunnistettavat vaarat ja riskit	28
7.1.3	Riskien merkitys	28
7.2	Tekninen dokumentointi.....	30
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	32
	Liitteet	

Käsiteluettelo

FEM	Finite element method (elementtimenetelmä)
Inventor	Autodesk Inventor, 3D-CAD-ohjelmisto
Jigi	Tuotannon apuväline
Kori	Korirakenne (Runko)
shimmi	Säätöön tarkoitettu levy

1 Johdanto

Työssä on Škoda Transtech Oy:ltä saatu toimeksianto suunnitella raitiovaunukoreille porausjigi pitkäjyrsinkoneelle. Jigin pääasiallinen tarkoitus on lisätä tuotantokapasiteettia entisestä ja mahdollisesti jopa paremmalla läpimenoajalla. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon tuotannonapuvälineille tai jigille ominaiset avainsanat, joita ovat työn helpottaminen, työtavan yhdenmukais-taminen, ergonomia ja työturvallisuus.

Ramchanderin [1, s. 1019] mukaan tuotteiden yhdenmukaisella työstötavalla siihen suunnitel-lussa jigissä päästään toistotarkkuuteen ja tasaiseen laatuun, joka laskee läpimenoaikaa ja laa-duntarkkailukuluja.

Porausjigin suunnitteleminen toteutetaan koneensuunnitteluoppeja hyväksikäyttäen, etene-mällä vaiheittain tarvittavien prosessien läpi. Jigin suunnittelulle määräytyi vaatimuksia tuotan-nollisten vaatimusten lisäksi työsuojelulain ja koneturvallisuuden puolelta, jotka täytyi ottaa huo-mioon ympäristössä, toiminnoissa, rakenteessa ja dokumentoinnissa.

Insinööriyössä käydään läpi kaikki vaiheet, joita projektissa oli ja siihen liittyviä ongelmanratkai-suja ideaprosesseineen. Jigistä muodostetaan kaikki vaadittavat dokumentoinnit tuotannon ja ko-koonpanon kuvista aina jigin käyttöohjeeseen saakka. Työssä tulee ilmi hyvin erilaisten kehitysten sidonnaisuudet toisiinsa. Kun asioita muutetaan toiminnassa tai yksittäisessä osassakin, muutok-set täytyi ajatella kokonaiskuvassa.

2 Yritys

Škoda Transtech on suomalainen kiskokalustotoimittaja ja konepajatuotteiden sopimusvalmistaja. Kiskokaluston osalta Škoda Transtech on erikoistunut kaksikerroksisten matkustajavaunujen ja matalalattiaraitiovaunujen valmistamiseen. Konepajatuotteiden osalta yritys on keskittynyt keskiraskaisiin hitsattuihin metallirakenteisiin sekä niiden pintakäsittelyyn, varustelemiseen ja testaamiseen käyttövalmiiksi tuotteiksi saakka. [2]

Yritys teki vuonna 2019 liikevaihtoa 114,2 milj.€, joista 92,4 milj.€ tuli kiskokaluston puolelta. Yrityksen tuotanto siis on pääpainotteisesti kiskokalustoa ja tuottaakin tällä hetkellä projekteina toteutettavia raitiovaunuja ja junavaunuja. Yritys valmistaa raitiovaunuja Tampereen ratikalle, Helsinkiin Raidejokerille ja RNV:lle Saksaan. [2]

Škoda Transtech Oy:n Otanmäen tehtaalla on laaja CNC-ohjattu konekanta erinäisiin porauksiin ja koneistuksiin, aina NC-ohjatusta 0,8 x 0,5 x 0,5 m työstöalueella olevasta porauskeskuksesta suurimpaan alumiinintyöstöön tarkoitettuun 38 x 5,1 x 1,2 m työstöalueella olevaan portaaliijyr-sinkoneeseen. [2]

3 Lainsäädännön huomiointi

Koneensuunnittelussa tulee huomioida erittäin tarkkaan Suomessa säädellyt työsuojelulait, standardit ja EU-alueen vastaavat konedirektiivit, sillä laite tulee työntekijöiden käyttöön tuotannossa. Standardien ja säännöksiä noudattamisella varmistetaan käyttäjäturvallinen laite, jonka käyttö on ergonomista, selkeää, minimaalisella riskillä väärinkäytölle tai tapaturmalle.

Suomen työturvallisuuslaissa kerrotaan, että työnantajan suunnitellessa työympäristön rakenteita, työtiloja, työ- tai tuotantomenetelmiä taikka työssä käytettäviä koneita ja työvälineitä on työnantajan huolehdittava, että suunnittelussa otetaan huomioon vaikutukset työturvallisuuteen ja terveyteen. [3, 12§.]

Työnantajan vastuulle jää selvitystyö laitteen turvallisuudesta ja työympäristövaikutusten tutkimisesta, ja ellei työnantajalla ole riittävää asiantuntemusta, on työnantajan käytettävä ulkopuolista asiantuntijaa. Teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta on säädetty myös tarkentava laki, jossa ”tarkoituksena on varmistaa, että kone, työväline tai muu tekninen laite on vaatimusten mukainen, eikä aiheuta valmistajan tarkoittamassa käytössä tapaturman vaaraa eikä terveyden haittaa- Lain tarkoituksena on myös varmistaa, että asianmukaisesti suunniteltu, valmistettu ja varustettu laite voidaan esteettä luovuttaa markkinoille tai käyttöön” [4, 1§].

Jigin tullessa vain yrityksen omaan (valmistajan) käyttöön ei sitä katsota markkinoille saatettavaksi, ja täten ei tarvitse virallista CE-merkintää vaatimuksenmukaisuustodistuksineen [5, s. 19].

Vaikkakin kone ei tarvitse virallista CE-merkintää, on laitteen rakennetta ja toimintaa suunniteltava turvallisesta näkökulmasta, jotta laite täyttää edellä mainitun lainsäädännön.

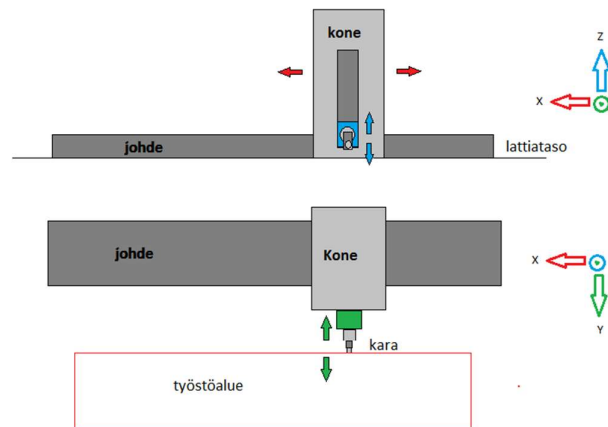
4 Lähtökohta ja konsepti

Jigien tarkoitus on lisätä toistotarkkuutta valmistuksessa ja parantaa yhdenmukaisella työtavalla läpimenoaika. Käyttötarkoituksensa vuoksi koneistusjigit ovat yleensä kiinteitä perusrakenteeltaan, jotta työkappale saadaan paikoitettua varmimmin ilman asennusvirheen mahdollisuutta.

Jigin tulee olla myös koneistuksessa tukeva rakenteeltaan, jotta työkappale ei pääse liikkumaan alkuperäisestä asennostaan koneistuksen aikana.

Konseptin lähtötietoina oli, että pitäisi suunnitella rakenteeltaan jigi, jonka avulla pitäisi pystyä poraamaan kolmea erimittaista korityyppiä, joissa pituus erot olisivat noin kaksi metriä pisimmän ja lyhyimmän välillä. Tuotteissa on myös yläreunassa toisistaan poikkeavat reikävälit, joista korkeimmat sijaitsevat lähellä koneen liikevarojen ylärajaa ja tuotetta pitäisi pystyä myös poraamaan alapuolelta.

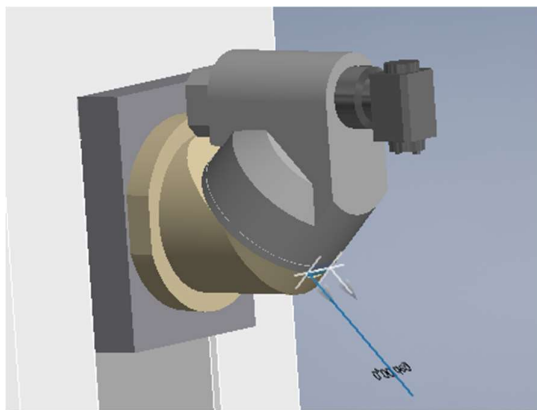
Jigi tulisi pitkäjyrsinkoneelle (kuva 1), koska siinä riittäisi x-suuntainen työvara hyvin pisimmälle tuotteelle. Ainoastaan z- ja y-liikkeet tulisivat ongelmalliseksi alustavalla arviolla, jotka pitää todentaa paikan päällä mittaamalla ja ympäristönmallinnuksella tuotteen kanssa.



Kuva 1. Pitkäjyrsinkoneen liikesuunnat ja periaate.

4.1 Kohteen ympäristö

Jigin suunnittelua ennen kohteen ympäristö täytyi kartoittaa ja mallintaa, jotta pääsisin käsitykseen minkälaiset raja-arvot tai mitat jigissä saisi olla. Käyttökohteesta oli olemassa jo yksinkertaistettu 3D-malli, jonka pohjalta täytyi luoda tarkennettu malli ulottuvuuksiltaan ja liikkeiltään (kuva 2), mutta kohteen työpöydän paikoitus ja aikaisemmassa osiossa mainitut (Y-Z) liikevarat täytyi käydä paikan päällä mittaamassa fyysisesti. Mittausten jälkeen ympäristöstä saatiin muodostettua virtuaalinen työympäristö Inventoriin, jossa pystytään katsomaan tuotteiden paikoitusta ja itse jigin sijaintia.



Kuva 2. Liikeakseleiden mallinnus.

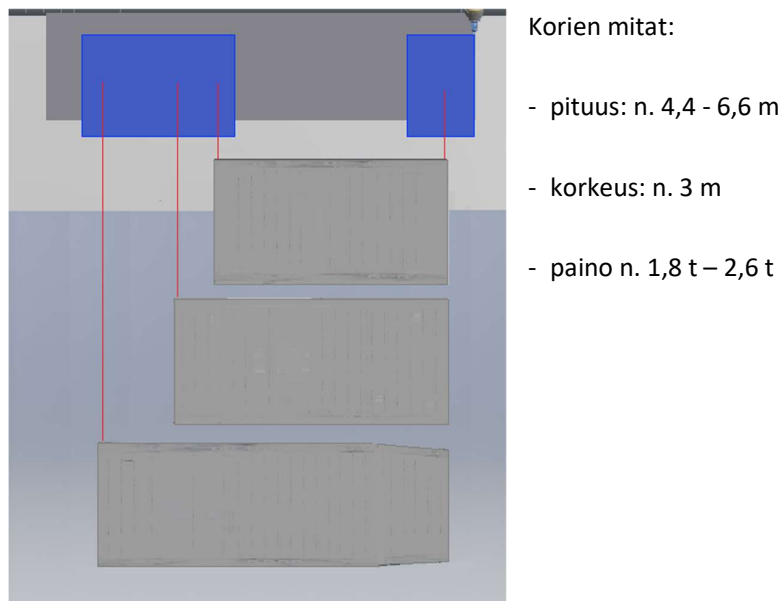
4.2 Ideointi

Alustavan arvion jälkeen jigille muodostui pohjavaatimukset, joiden pohjalta pystyin aloittamaan rakenteen vaatimusten ja toimintatavan ideoinnin. Aloitin ideoinnin tuotteiden keskinäisellä tarkkailulla ympäristössä ja liikevarojen vertailuilla eri työvaiheisiin, joita kyseinen tuote vaatii. Toisella työstökoneella kori voidaan paikoittaa suoraan pukkien päälle ja poraus voidaan toteuttaa kahdella asetuksella kerran kääntäen välissä. Työvaiheiden välinen kääntö kuitenkin vaatii työkappaleen uudelleen vaaituksen ja paikoituksen, josta muodostuu koneelle seisokkiaikaa.

Suunniteltavassa jigissä aiempaa vastaava yhden korkeuden paikoitusta ei voida toteuttaa, sillä alapuolisen porauksen vaatima tila nostaa työkappaletta liikaa työstökoneen liikevaroihin nähden. Tällöin ylimmät reiät olisivat ulottumattomissa. Jigissä siis täytyisi olla kaksi korkeusasetusta ja mahdollisuus kolmelle erimittaiselle tuotteelle.

Työkappaleita ei saa laskea painonsa vuoksi muista kuin niihin suunnitelluista tukipisteistä oman painonsa varaan, mahdollisten vaurioiden ehkäisemiseksi. Tukipisteiden paikat määrittävät siis jigiin tehtävät paikoituspisteet (kuva 3), jotka tulisi olla ainakin y- ja z- suunnassa linjassaan. Tuotteen ollessa hitsattu levyrakenne vaaitus pitäisi olla mahdollista neljästä nurkasta poraustarkkuuden varmistamiseksi.

Kappaleen poraus molemmin puolin vaatii kappaleen kääntämisen z-akselin ympäri. Tämän jälkeinen x- ja y-suuntainen paikoitus olisi hyvä tapahtua jigin toimesta, vähentäen asetusaikaa.



Korien mitat:

- pituus: n. 4,4 - 6,6 m
- korkeus: n. 3 m
- paino n. 1,8 t – 2,6 t

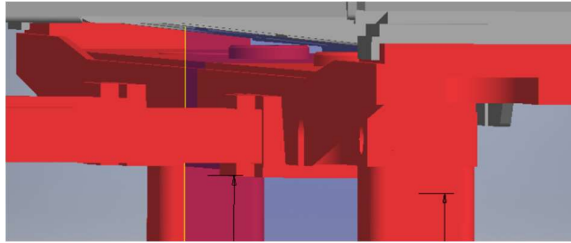
Kuva 3. Erimittaiset työkappaleet ja niiden paikoitusalue

Jigin huomioon otettavat asiat:

- kaksi korkeusasetusta kolmelle pituudelle
- paikoitustarkkuus eri vaiheiden välillä
- korin vaaitus
- mahdollisuus kattavaan korin tukemiseen värähtelyn minimoinniksi
- yhdenmukainen tukipiste molemmin puolin (kääntö)
- helppo käytettävyys
- työturvallisuus

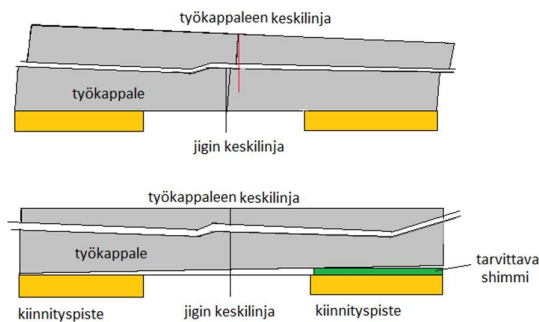
4.3 Ongelmanratkonta ja hahmottelu

Rakenteen ehtojen pohjalta piti aloittaa hahmottelu aiemmin mallinnettua ympäristöä hyväksikäyttäen. Täten mahdolliset epäkohdat ja turvallisuusseikat olivat havaittavissa helposti. Ensimmäisenä täytyi tutkia tuotteiden kiinnityspisteiden alueet, jotta sain selvitettyä sen tilantarpeet ja äärimitat (kuva 4).



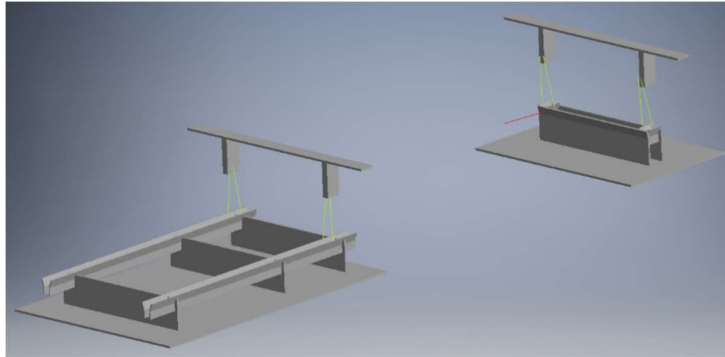
Kuva 4. Rakenteen väistöjen tarkkailu

Merkittävimmät rakenteen koon määrittäjät olivat kiinnityspisteiden muodot eri tuotteissa (kuva 4) ja työstökoneen tilantarve poraukselle ja turvalliselle työskentelylle. Yhdenmukaisuuden vuoksi kiinnityskappaleen muodot pitäisi katsoa eniten tilaa vievän tuotteen osalta. Korien kiinnityspisteissä on kierrereiät, jotka määrittävät kiinnityspisteet vastaavasti myös jigille. Aiemmissa vaatimuksissa mainitut vaatitus, yhdenmukaisuus ja paikoitustarkkuus mahdollistettaisiin koriin kiristettävällä kiinnityskappaleella, joka olisi kiinni korissa eri työvaiheiden välillä ja irrotettaisiin vasta tuotteen valmistuttua. Kiinnityskappaleen ja tuotteen väli voitaisiin shimittää ohuita shimilevyjä hyväksikäyttäen, jotta työkappale saataisiin vaaitettua vaakatasolla. Tällöin kappaleen pitäisi pysyä pystysuorassa käännönkin jälkeen (kuvassa 5).



Kuva 5. Havainnekuva vaaituksesta

Kiinnityskappale täytyi suunnitella jigirunkoon paikoittuvaksi, sillä käännön välissä työkappale jouduttaisiin muuten paikoittamaan jigiiin manuaalisesti liikuttelemalla. Tämän ominaisuuden pohjalta rupesin suunnittelemaan jigiiä, jossa mahdollistuisi kolmen erimittaisen työkappaleen paikoittaminen. Ensimmäisenä ajatuksena olikin korin mukana nousevat pukit, jotka paikoittuisivat niille suunnitelluille sijoilleen (kuva 6).



Kuva 6. Ensimmäinen jigii protomalli

Ensimmäisen protomallinteen etuna on sen yksinkertaisuus ja jyrkyys, jossa paikoitus x-y suunnassa tapahtuisi eräänlaisia ohjainpoteroita hyväksikäyttäen. Tarkka paikoitus olisi vain mahdollista jonkinmoisia kiristysruuveja hyväksikäyttämällä, koska poteroissa pitäisi olla toimintavälis työkappaleen asettamista varten nostamalla/laskemalla. Seuraavaksi rakenteeseen täytyi miettiä toinen asento korkeussuunnassa, joka saavutettaisiin jigiiissä itsessään olevalla mekanismilla.

Korkeussuuntaisen liikkeen mekanismi tulisi olla riittävän voimakas raskaimmallekin tuotteelle ja riittävän matalarakenteinen jigiiin äärimittoihin nähden. Jigi on myös kahdessa osassa suurien äärimittojensa vuoksi (X-suunnassa), jolloin käyttövoima pitää johtaa niille sähköjohtoa tai hydraulikkaletkua hyväksikäyttäen.

Rakenteen nostoliikkeessä käytettävä mekanismi olisi ollut hyvä toteuttaa sähköisillä nostotolpilla, jotka ovat ohjelmoitavissa eri korkeuksille. Näin olisi saatu mahdollisesti myös shimmitys poistettua asetuksesta. Sähkötolppia verratessa ja niiden liikevaroja tutkiessa sopivan kokoista ei löytynyt juuri tähän käyttötarkoitukseen, sillä niiden äärimitat nousivat liian suuriksi tarvittavan nostokyvyn vuoksi (2,6 t). Tolppien lisäksi tarkastelin johderuuvien käyttöä rakenteessa, mutta senkin sijoittaminen koitui ongelmalliseksi johderuuvien vaatiman tilan vuoksi, jonka vuoksi luovuin sähkön käyttämisestä käyttövoimana.

Rakenteen joustamattomuuden vuoksi paikoituskohtiin täytyisi saada pukkikohtainen nostomekanismi, mikä toisi rakenteelle kohtuuttomasti hintaa. Seuraavaksi suunnittelin, kuinka ilmi tulleet ongelmat saataisiin ratkaistua ja korit saataisiin nostettua päistään ilmaan kahdella nostimella. Päädyin seuraavassa jigirakenteessa säädettävään kelkkaan, jossa olisi jonkinlainen nostomekanismi.

Kiinteärakenteinen jigirunko olisi ollut erittäin turvallinen, sillä se olisi ehkäissyt korin putoamisen, vaikka pukki olisi nyrjähtänyt alta törmäyksen tai särkymisen vuoksi. Työturvallisuus tulee ottaa huomioon säädettävän kelkan rakenteessa ja varmuuskertoimessa, jotta riskit saadaan minimoitua.

4.4 Säädettävä nostin

Säädettävä kelkka täytyy suunnitella aikaisemmin tutkittujen mittojen mukaan, eikä se saa tulla tielle päädyistä tai pohjasta porattaessa. Kelkan rakenne täytyy olla jyrkempi, mutta nostinkokoonpanon pitää olla käsin siirrettävissä jigin käytettävyyttä ajatellen. Kelkka liikkuisi laakeroitujen pyörien tai laakerien varassa jonkinlaisilla kiskoilla, missä täytyy ottaa huomioon lastujen ja lian vaikutus liikkuvuuteen.

Nostin täytyy olla kiinnitettävissä pohjalevyyn, jotta jigi toimii tarkoituksensa mukaisesti, tukien työkappaletta työstön aikana. Jigikelkan paikat täytyy suunnitella joko portaittain säädettäviksi tai portaattomiksi, mikä olisi parempi mahdollisia tulevaisuuden käyttötarkoituksia varten.

Hydrauliikan täytyy olla tavoiteltavissa jokaisen nostopisteen kohdalta, jossa täytyy ottaa myös huomioon koneistusympäristön vaikutukset ja koneistuslastut. Lika ja koneistuslastut voivat aiheuttaa käyttövarmuusongelmia hydraulikkaliittimille, mutta myös rikkoutumisia letkuille, koska koneistuslastut ovat erittäin teräviä ja letkuja liikutellaan jossain määrin.

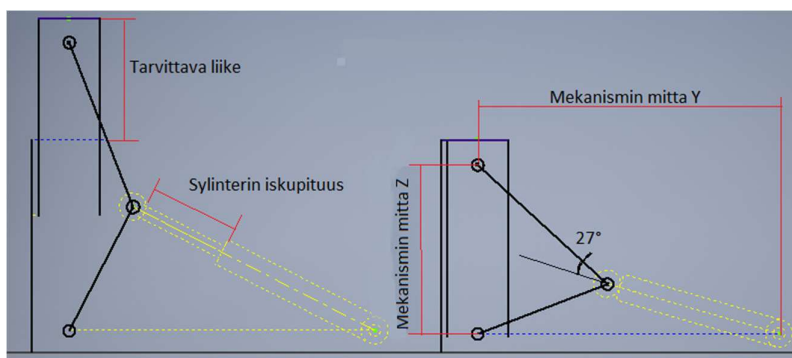
Hahmotteluvaiheen jälkeen aloitin alustavan rakenteen suunnittelun, jossa jigin ongelmia saataisiin ratkaistua ja lisää mahdollisia ongelmakohtia löydettyä.

5 Alustava suunnittelu

Hahmotteluvaiheen jälkeen aloitin jigin suunnittelun kahdella nostinpukilla, jotka nostaisivat korin alapuolista porausta varten. Nostimien mitat olisivat käytännössä samat kuin hahmotelmassa, mutta sisältäen liikemekanismin ja kaikki sivuittais- ja pystysuunnassa paikoittavat elimet. Tämän vuoksi tärkeätä oli hahmottaa kakkien toimintojen vaatima tila, jotta tiedettäisiin, voiko jigiä valmistaa omalla nostomekanismilla.

5.1 Mekanismi

Mekanismissa täytyisi olla ainakin 200 mm pystyliike n. 350 mm korkeasta rakenteesta, jonka vuoksi päädyin teleskooppiseen rakenteeseen (kuva 7). Tutkin ajoneuvon nostoon tarkoitettuja rakenteita ja mekanismeista, joista moni oli toteutettu saksimekanismilla. Tämä mekanismi sopisi parhaiten rajattuun tilaan, joka aikaisemmalla mitoituksella ja tuotteiden vertailulla on määritetty.



Kuva 7. Nivelmekanismin suunnittelua

Mekanismista mallinnettiin yksinkertaistettu mallinne sopivanlaista standardisylinteriä apuna käyttäen, tällöin oli nähtävissä nivelmekanismin aiheuttamat vipuvoimat rakenteeseen ja sen mukaiset tarkkailtavat kohteet varsinaiseen nostimeen. Nivelmekanismin lähtökulman tuottama voima Z-suunnassa voidaan laskea kaavalla [6, s. 189]:

Männän halkaisija= 40 mm

paine= 210 bar = 21 Mpa

F_z = Voima ylöspäin

F_{syt} = Sylinterin tuottama voima

$\sin \alpha = 27^\circ$

$$F_{syt} = \pi \times 20mm^2 \times 21Mpa = 26390 \text{ N}$$

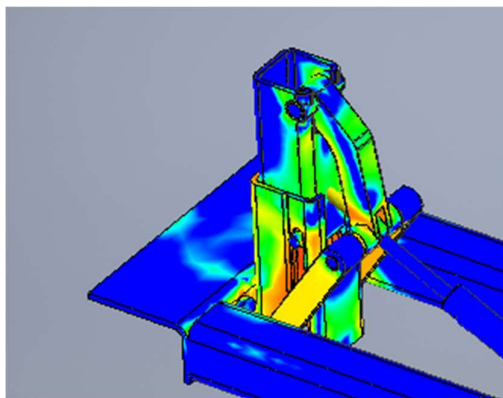
$$26390N \times \sin 27^\circ = 11981 \text{ N}$$

Nivelmekanismin laskelmista on nähtävissä, että se toimii hieman epäedullisesti potentiaalinsa nähden, mutta antaen kuitenkin nostimelle noin 23960N nostovoiman, joka taas kahden nostimen ansiosta nousee 47920N (4885kg) asti. Nostokapasiteetin ollessa yli halutun 2,6t, jigissä pystyitiin etenemään lineaariliikkeen mahdollistavien johteiden tai rakenteiden suunnitteluun.

5.2 Toiminnot

Nivelmekanismin koko antoi jigin rakenteelle vaatimukset pystylineaariliikkeen mahdollistavan laakeroinnin suuruudesta, niin mittojen kuin kuormakapasiteetin puolesta. Tässä vaiheessa tuli myös ajatella huollettavuutta ja varaosien saatavuutta, joka saavutettaisiin standardiosia käyttämällä.

Nivelmekanismin tilan tarve määritteli ylijäävän osuuden rakenteeseen leveysuunnassa, johon laakerin tulisi mahtua. Laakeroinnissa tulee huomioida nostossa tapahtuva sylinterivoima ulospäin ja vääntävä voima sisäänpäin. Tämä testattiin aiemmin lasketulla sylinterivoimalla, jotta rasitusvaikutukset voitiin ottaa huomioon (kuva 8).



Kuva 8. Alustavaa kuormitusanalyysiä

5.2.1 Lineaarilaakerit

Perinteisen muotoiset lineaarilaakerit ovat pyöröholkkeja, joiden sisällä on pituussuunnassa kuularivistöjä. Ne ovat rakenteeltaan ideaaleja monisuuntaisille kuormituksille, sillä pyöröholkki kestää samanarvoisen kuorman joka suunnalta ja laakerille tehtävä johdepinta olisi myös edullisen muotoinen valmistaa tarkasti, sillä sorvilla pystytään valmistamaan esimerkiksi halkaisijaltaan 60 mm akseli h6-toleranssiin suhteellisen helposti (-0,019/+0 mm). Laakerivalmistajien vertailussa kuitenkin havaittiin, etteivät laakerit kestäneet dynaamista kuormitusta haluttua määrää ja vaadittavien laakereiden koko olisi kasvanut liian suureksi rakenteeseen [7]

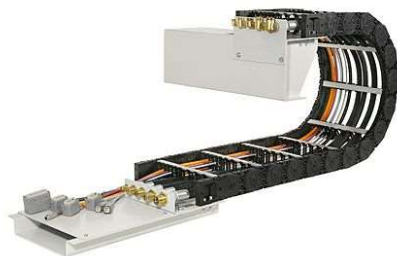
Muista lineaarilaakerityypeistä tarkasteluun tulivat kuulajohteet, jotka ovat malliltaan kelkkamaisia ja liukuvat hiottuja johdekiskoja pitkin. Näille laakereille ominaista on matala ja tukeva rakenne, ja aiempiin laakereihin nähden kiertymää ei tarvitsisi huomioida rakenteessa. Kuulajohteiden kuorman kestävyys oli helposti sylinterin tuottaman voiman alueella ja ainoastaan laakerin kiertomomentti tulisi ottaa huomioon rakenteessa.

Laakereista löytyi helposti valmistajan sivuilta 3D-mallit, joita pystyi sijoittelemaan alustavaan kokoonpanoon (Hiwin). Alustavaa kokoonpanoa muodostaessa laakereita oli kahdella puolen molempia tolppia, jotta sylinterivoima analyysissä havaitut rasitukset saataisiin kompensoitua.

5.2.2 Säädetävän nostimen toteutus

Kuulajohteita pystyi myös hyödyntämään jigin säädetävässä päässä, johon tulisi portaattomasti säädetävä nostokelkka, joka kiristettäisiin korin pituuden mukaan paikalleen puristinruuveilla. Kuulajohteet mahdollistavat tarkan paikoittamisen poikittaissuunnassa ja liikkuva nostinkelkka mahdollistaa kiinnityskappaleiden tarkemman soviteen, koska korin pituuden hitsaustoleranssia ei tarvitse ottaa huomioon. Yrityksen varastosta löytyivät sopivan kokoluokan kuulajohteet, joita pystyisi hyödyntämään jigin valmistukseen.

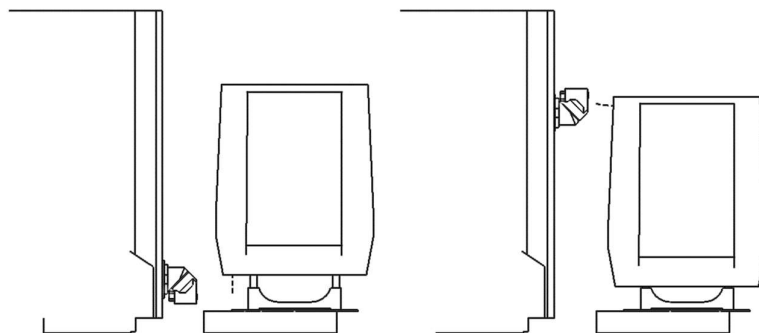
Nostimen hydraulikkalinjat täytyisi kulkea myös kelkan mukana, jolloin järkevimmiä ratkaisuksi muodostui energiansiirtoketjun käyttäminen (kuva 9). Tällöin letkut pysyisivät turvallisesti ja siististi paikallaan. Kelkkaa siirrettäisiin käsin, joten käyttövarmuusongelmia ei pitäisi ilmetä letkujen hankautumisesta. Ainoastaan koneistuslastuilta suojaaminen ja riittävän taivutussäteen saavuttaminen pitäisi huomioida.



Kuva 9. Energiansiirtoketju (cable carrier, CC)

Hydrauliikan suunnitteleminen tulee myös ottaa huomioon rakenteen avoimuudessa, jotta sylinterit voivat liikkua vapaasti ja turvallisesti työvaiheiden välillä. Myös hydrauliikan komponenttien kartoittaminen ja sijoittelu ovat tärkeää, koska näin saadaan arviota jigien mekanismin hinnasta ja varustelukustannuksista.

Rakennetta täytyi verrata virtuaaliympäristössä työstökoneen liikerajoihin, jotta porauksen vaatimat ulottumat tavoitettaisiin (kuva 10). Alustavan mallinteen perusteella liikeratoihin jäi vielä hyvin varoja turvalliseen työskentelyyn ja jatkokäyttömahdollisuuksia ajatellen.



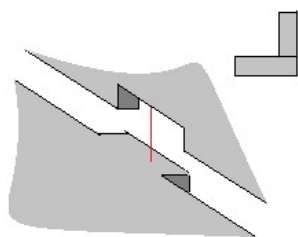
Kuva 10. Liikeratojen tarkastelu

Alustavassa suunnittelussa saatiin kartoitettua, kuinka jigillä saadaan tavoitettua sille ominaiset vaatimukset, jotka käytiin hahmotelussa läpi. Jigin suunnittelussa voidaan siirtyä toimintatavan varmistuttua itse rakenteen ja aiemmin hahmoteltujen ominaisuuksien yhteen saattamiseen.

6 Suunnittelu

Suunnittelussa keskityin jigin käytettävyyteen ja huollettavuuteen, osien valmistettavuuden suunnittelussa pystyin hyödyntämään käytännön tietämystä valmistustekniikasta. Rakenteen suunnittelussa tulisi hyödyntää mahdollisimman paljon symmetrisiä osia ja polttoleikkeitä ilman jatkokyövaiheita. [8, s. 14.]

Nostinrungon osat olisi hyvä suunnitella laserilla poltettavaksi, sillä osiin voi suunnitella kokoonpanoa helpottavia tarkkoja muotoja, koska ne joudutaan hitsaamaan ilman kokoonpanojigiä (kuva 11). Hitsaaminen tulee ottaa huomioon myös rakenteen kutistumien ja vääntymisien osalta, sillä rakenne tulee olemaan kompakti kooltaan liikkuvalla mekanismilla. Tämän vuoksi hitsattavien osien ja saumojen määrä tulisi minimoida.



Kuva 11. Lovetut osat kokoonpanoa varten

Suunnittelu toteutetaan pääasiallisesti Autodesk Inventorissa, jossa suunniteltua kokoonpanoa voidaan tarkastella ”reaaliaikaisesti” ympäristössään. Tällöin nähdään toiminnan mahdolliset ongelmat tai huomioon otettavat turvallisuuseikat. Nostomekanismin liike saadaan simuloitua oikeanlaisia sidoksia hyväksikäyttäen, jättäen kokoonpanoille liikevapaudet niveliin.

Kokoonpanon ollessa pääpiirteittäin valmiina se pilkotaan useampaan alikokoonpanoon, josta muodostetaan kokoonpanorakenne dokumentointia ja valmistuksen seurantajärjestelmää varten. Kokoonpanorakenne on hyvä tehdä paperille, jotta kokoonpanojen ja nimikkeiden määrässä pysyy ajan tasalla.

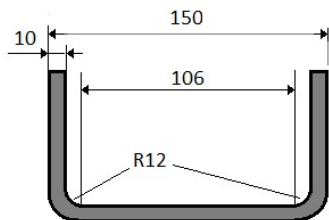
Alikokoonpanot myös helpottavat työvaiheiden suunnittelua ja toleranssiketjutusta, sillä tarkat koneistukset ja poraukset voidaan toteuttaa näissä viimeisenä vaiheena, vähentäen yhteensopimattomuuden riskiä.

6.1 Rakenne

Aloitin rakenteen suunnittelun toiminnallisten osien sijoittamisella alustaville sijoilleen kokoonpanon ympäristöön. Kokorajoitusten vuoksi aloitin mallintamisen mittojen ulkorajoilta sisäänpäin ensin asettaen lineaarilaakeroinnin pohjalevyille, ja siitä edeten vapaisiin suuntiin. Ensimmäisenä tuli suunnitella nostomekanismikokoonpano, joka tulisi olemaan pääpiirteittäin samanlainen molemmissa päissä osanvalmistamisen helpottamiseksi. Mekanismin suunnittelussa lähtötietoina olivat:

- vähintään 2-kertainen varmuuskerroin
- hydraulikkasyliinterit
- teräsrakenne
- riittävät lineaarilaakerit nostolle
- toiminnot

Mekanismin osien suunnittelussa aloitin laakereiden pinnasta mallintaen karkean runkoprofiilin tassujen päälle, jonka mitat muodostuivat alustavan mallinteen toimintamittojen pohjalta. Runkoprofiilin materiaali tulisi olemaan S355 terästä, jolla päästään nyrkkisäännöltään noin aineenvahvuuden vastaaviin R-arvoihin taivutuksissa. Esimerkkinä 10 mm teräspeltiä taivuttaessa R12 särmästyökalulla 150 mm leveästä U-profiilista jää suoraa pintaa n. 106 mm hyötykäyttöön (kuva 12). Osien suunnittelua auttoi paljon tuotannon särmästyökalujen tunteminen ja oma tietämys särmäyksestä.



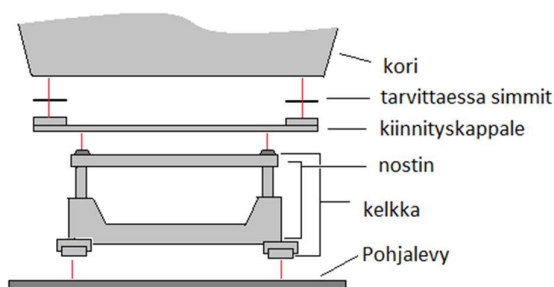
Kuva 12. Särmäyksen huomioonottaminen

Alustavan mallinteen analyysissä havaittu sisäänpäin vääntävä voima täytyi ottaa huomioon tolpan laakeroinnissa (kuva 8), joka toisi mekanismin sijoittamiselle merkittävän muutoksen alkupe- räisestä.

Linearijohteen paikka täytyi asettaa rungon puolelle kiinteäksi ja laakerit liikkusivat tolpan mukana. Runko piti suunnitella tällöin valmistettavuuden vuoksi kahdesta erilaisesta osasta, joka muodostuisi kahdesta jyrkistä U-profiilista ja sivulevyistä. Nostoliikkeen laakeroinnin ollessa paikallaan pystyttiin suunnittelemaan tukevoittavaa rakennetta, jotta laakereihin kohdistuvat voimat saataisiin huomioitua. Laakerin tuenta täytyi suunnitella sylinterin liikerataa tutkimalla, sillä nostimen sisäpuoleinen tila on rajattua joka suuntaan. Tuennan mallinnuksen jälkeen kohteeseen pystyttiin hahmottelemaan uudentyyppinen nivelmekanismi.

Nivelmekanismi koostuisi 20 mm paksuista latoista, joissa olisi liukulaakeriholkit molemmissa päissä. Nämä joutuisivat väistämään rungon keskilinjassa olevaa tukielementtiä ja sivulevyjä.

Uudistetun nivelmekanismin mukaan kokoonpanoon voitiin tehdä nostotolppien siduskappale ja tukiholkit nivelakseleille. Jigin nostimessa oli nyt tarvittava pystyliike, ja seuraavaksi täytyisi miettiä kiinnityskappaleiden paikoitus (kuva 13).

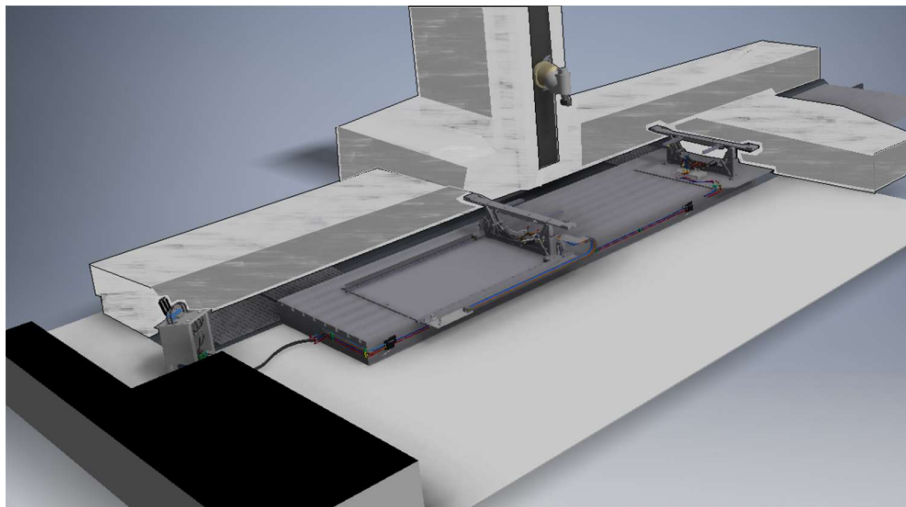


Kuva 13. Toiminnan kuvaus jigistä

Kiinnityskappaleiden paikoittaminen tulisi tapahtua nostimeen, jotta korin käännön jälkeinen asettelu jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Kappaleissa tuli ottaa huomioon jo aiemmin hahmoteltu kiinnitystapa koriin, jotta ruuvien kiristämiseksi on tilaa ja niihin on helppo saavutettavuus.

Päädyin kohdistusmekanismeissa kahteen kartiosovitteeseen, jotka vastaisivat toisiaan molemmissa nostimissa ja kiinnityskappaleissa. Kartioholkit olisivat edullisia valmistettavia sorvilla ja kartiotappien muodot voisi koneistaa kokoonpanon hitsauksen jälkeen sopivaa tasojyrsintä käyttäen. Nostimen vaatima korkeussuuntainen tila ja koneistettavan tuotteen pohjan muodot määrittäisivät kiinnityskappaleen geometriat.

Jigikokoonaisuuden tarkastelu mahdollisti tarkan osien mitoittamisen toiminnan kannalta, Kiinnityskappaleen, nivelmekanismin ja tolpan sijoituksen mukaan pystyttiin runkoon suunnittelemaan korkeuslukitustappien paikat saavutettaville paikoille (kuva 14).



Kuva 14. Jigikokoonpano ympäristössään

Liikuteltavaan kelkkaan täytyi suunnitella energiaketjunkiinnikkeet ja liikkeen lukitusmekanismien paikat, jotta aiemmin suunnitellut ominaisuudet saavutettaisiin. Ennen energiasiirtoketjun suunnittelua oli valittava riittävän kokoinen mekanismi, joka lukitsisi kelkan, kun työkappale on asetettu oikealle kohdalleen. Apunani tässä oli Halderin standardiosakuvasto [9], josta valitsin kappaleen kiinnitykseen suunnitellut nokkakiristimet. Nokkakiristimet tulisivat runkoon pystyasentoon, jotta ne olisivat helppoa asennossa käytettävyyden kannalta. Tämän asennon vuoksi vastakappaleenkin tulisi olla pystyasentoinen pohjalevyssä. Nokkakiristimen puristusvoima olisi 15 kN, joten molemmilta puolin kelkkaa kiristettynä sen ei pitäisi liikkua edes työstökoneen törmäyksessä, koska maksimityöntövoima on noin 2 kN joka liikeakselilla.

Kiinnittimistä löytyi 3D-mallit Halderin sivuilta, ja suunnittelin niille kokoonpanossa kiinnitysosat ja pohjalevyyn sopivan korkuisen L-profiilin, johon nokkakiristin puristettaisiin. Tällä rakenteella kelkalle saadaan portaaton säätömahdollisuus pituussuunnassa.

Energiansiirtoketjun maksimitaivutussäde ja asennuskorkeus saatiin tarkastettua nokkakiinnittimien ollessa paikallaan, jotta jigin helppo käytettävyys ei kärsisi liian ahtaasta konfiguraatiosta. Ennen kiinnityselementtien lopullista paikoitusta tuli kuitenkin selvittää hydraulikan mitoitus systeemissä.

6.2 Hydrauliiikka

Hydrauliikan suunnittelu tuli aloittaa määrittelemällä systeemiltä halutut toiminnot, ominaisuudet, ympäristö, turvallisuusseikat ja jatkokäyttömahdollisuudet työstökoneella. Systeemille muodostui koneenkäyttäjien ja kunnossapidon asiantuntijoiden kanssa keskusteltua keskeiset vaatimukset:

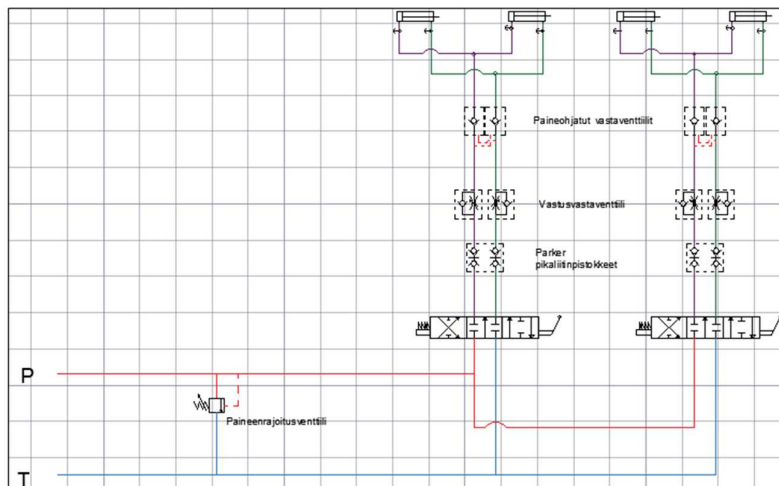
- turvallinen
- helppokäyttöinen
- huollettavuus
- asetusten säädettävyys

Aloitin suunnittelun hydrauliikkajärjestelmien tutkimisella ja kaaviokuvan piirtämisellä. Suoritin hahmottelun AutoCAD:llä, koska se on erittäin helppokäyttöinen yksinkertaisten kaaviokuvien luontiin (kuva 15). Alustavat tiedot olivat, että kori pitäisi saada nousemaan tasaisesti ylöspäin, mutta korien pituussuuntainen painopiste ei ole keskellä. Tämän vuoksi systeemiin piti kehittää nostinkohtaisen korjausliikkeen mahdollisuus.

Kunnossapidon hydrauliiikkaosavarastosta löytyi 3-karainen käsisuuntaventtiili, jonka pohjalta systeemiä voisi ohjata yhteensä kuudesta linjasta. Yhdellä vivulla toteutettaisiin molempien päiden nosto, ja kaksi muuta olisivat päätykohtaista nostoa varten.

Systeemin turvallisuutta ajatellen sen liikkeet olisi hyvä toteuttaa ohjauspaineella toimivilla vastaventtiileillä, koska hydrauliikkajärjestelmissä on aina letkurikon riski ja sen aiheuttamat vaarat täytyisi minimoida. Liikkeenopeus täytyy myös olla säädettävissä, ja tämä onnistuu vastusvastaventtiilejä käyttämällä. Nämä komponentit tuovat myös lisäturvaa, koska ne rajoittavat hydrauliikkajärjestelmän virtausnopeutta, jos letku rikkoutuu.

Hydrauliikkakoneikko piti mitoittaa järjestelmän vaatiman kuorman ja liikenopeuden mukaan, ja siinä täytyi olla riittävä öljykapasiteetti järjestelmään nähden kuumentumisen ehkäisemiseksi. Tämä ei välttämättä kyllä tule ongelmaksi, koska systeemin käyttöaajuus on vähäinen.

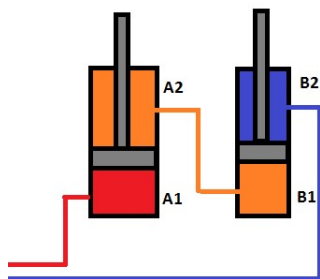


Kuva 15. Hydrauliikkakaaviohahmotelma

Hydrauliikkajärjestelmää ohjattaisiin työstökoneen päädyistä käsin, jonkinmoiselta ohjauspulpetilta. Ohjaimen sijoituspaikka olisi turvallinen, sillä se ei olisi työstökoneen liikeratojen lähellä, eikä litistymisvaaraa olisi nosturillakaan työskennellessä. Ohjaimen sijainti pitäisi olla kuitenkin siirrettävissä hieman sivummalle, jotta korin nostotapahtumaa pääsisi tarkkailemaan visuaalisesti molempiin nostimiin. Hydrauliikkalinjat täytyi suunnitella alueella kulkemista ajatellen ja raskaiden tavaroiden liikuttelun aiheuttaman turvallisuusriskin varalta. Päähydrauliikkalinjat tulisi johtaa kahdella lyhyemmällä ja kahdella pitemmällä putkella työstöpöydän päihin. Näin järjestelmälle saadaan käyttövoima johdettua nostimien läheisyyteen ja sijoituksilla saadaan paras kattavuus koko pöydän pituudelle.

Hydrauliikkakaaviohahmotelmaa tarkastellessa epäkohdaksi muodostui, hydrauliikkavirtauksen jakaminen tasaisesti ja nostinkohtaisen paineen tarkkailu linjoista. Virtauksen jakamista tapahtuisi linjan alkupäässä ja nostimien luona sylintereille, joissa jokaiseen neljään linjaan pitäisi saada samanveroinen virtaus ja paine, tasaisen liikkeen vaatimuksesta.

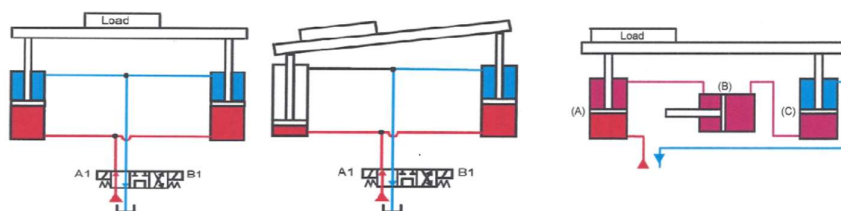
Markkinoilta löytyy esimerkkejä synkronoidusta nostoliikkeestä, jota on toteutettu esimerkiksi autonostimissa. Näiden ristikkäinen synkronointi on toteutettu työ- ja apusylinterillä, joissa A-sylinterin varrenpuoleinen kammio on sama tilavuudeltaan kuin B-sylinterin männänpuoleinen kammio. Tämän systeemin etuja on samanmittainen iskupituus kahdella sylinterillä minimaalisella osien määrällä, mutta vaatii työsylintereille erikoismitoilla olevat apusylinterit, joissa on sama pituus kompensoidulla halkaisijalla (kuva 16).



Kuva 16. Synkronoidut sylinterit

Järjestelmän huoltovarmuuden osalta standardimittaiset sylinterit olisivat helpommin hankittavissa varaosina, mutta samankokoisten sylinterien synkronoinnissa tulee ongelmaksi nesteen tiilavuuden ja työn fysiikan lait. Kuorman ollessa toissapuoleinen tai hydraulikkakomponenttien erilaisuus rakennelmassa voi aiheuttaa epätasaista liikettä suoralla virtauksen jakamisella.

Internetistä löytyi kattava artikkeli sylinterijärjestelmien synkronoinnista, jossa oli monta esimerkkiä erilaisista ratkaisuista ja niihin liittyvistä mahdollisista ongelmista [10]. Artikkelin avasi juuri aiemmin mainittuja epävakautteen liittyviä ongelmia ja esitti tasapainotukseen, kuvassa 17 oikealla, esiintyvän nerokkaan kolmen sylinterin ratkaisun, jolla muodostetaan pakko-ohjaus kahden sylinterin välille, kolmatta samankokoista sylinteriä käyttäen. Järjestelmän etuna on standardiosien käyttämättömyys ja pienempi komponenttimäärä virtausta aktiivisesti säätäviin järjestelmiin verrattuna.



Kuva 17. Synkronoimaton ja synkronoitu systeemi [10, Fig. 22-2,-3 ja -12]

Järjestelmän toimivuuden ja toistotarkkuuden mittaamisen vuoksi se täytyi testata käytännössä mahdollisten ongelmakohtien löytämiseksi. Testipenkkiin kiinnitettyjä sylintereitä ei voinut sopivien komponenttien puuttuessa ja testiympäristön vuoksi kunnolla ilmata, jonka vuoksi järjestelmään jäänyt ilma aiheutti viivettä ja kokoonpuristuvuutta. Järjestelmästä ei ilmaa kokonaan saanut pois, mutta testi antoi hyviä tuloksia. Kenttäolosuhteissa tehdyllä ilmauksella, parhaillaan järjestelmällä saatiin 2-3 mm toistotarkkuus työsylinterien iskunpituuksissa. Toimivuuden todennettuani valitsin kyseisen systeemin jigiin käytettäväksi.

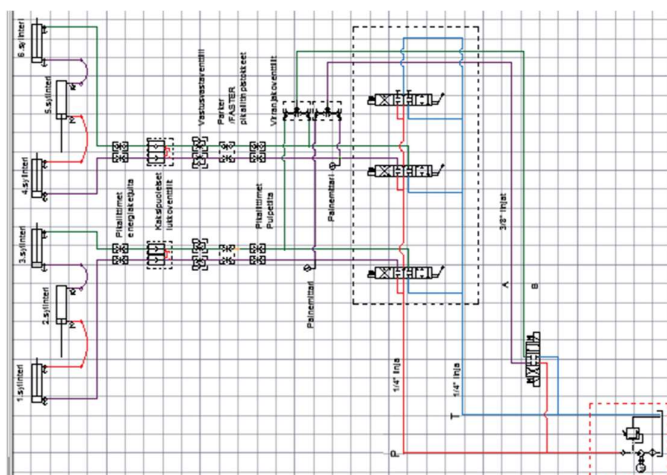
Hydrauliikkajärjestelmän toimintatavan varmistuttua täytyi valita vielä systeemiin sopiva koneikko, joka nostaisi järjestelmän järkevällä liikenopeudella. Koneikko olisi hyvä olla 230 V jännitteellä toimiva sähkön saatavuuden vuoksi, sillä työkohteen ympäristössä ei ole lähettyvillä 380 V pistorasiaa, jonka asentaminen taas vaatisi erillisiä sähkötöitä. Ohjaimen ympäristöön ei myöskään mahdu suurta yksikköä, joten päädyin järjestelmässä minikoneikoihin, joita olisi saatavilla juuri 230 V jännitteellä. Nostimien teoreettinen liikenopeus saatiin laskemalla:

- sylinterin tilavuus = 0,19 l
- koneikon tuotto = 6l /min = 0,1 l/s
- liikematka jigissä = 200 mm = 0,2 m

$$\frac{0,19 \text{ l} \times 2}{0,1 \text{ l/s}} = 3,8 \text{ s} \Rightarrow \text{nopeus} = \frac{0,2 \text{ m}}{3,8 \text{ s}} = 0,053 \text{ m/s}$$

Koneikon kauko-ohjainmahdollisuus tuli esiin mukana toimitettavan 4/3-sähkösuuntaventtiilin kanssa, koska sähkötyöt tulisivat tehtaan omien sähköasentajien kautta. Koneikkoon voisi asentaa langallisen ohjainkapulan, jolla pystyisi ohjaamaan koneikon venttiiliä.

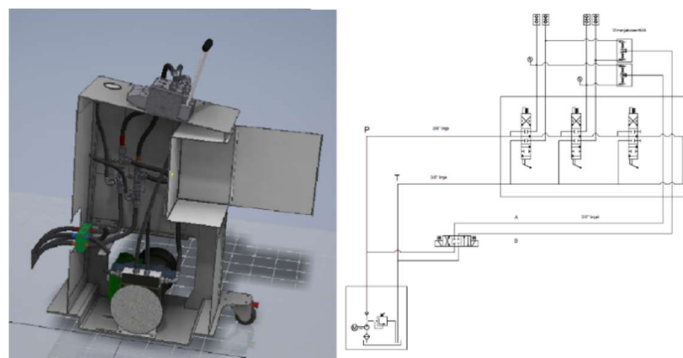
Tämän pohjalta mallinsin alkuperäisen jigin ja minikoneikon hydrauliikkakaavion mukaisen suunnitelman, jossa nostinkohtainen ohjaus suoritetaan käsisuuntaventtiilillä tarvittaessa, mutta pääasiallinen käyttö tapahtuisi langallisella ohjaimella (kuva 18). Näin käyttäjä pääsee seuraamaan nostoa turvallisen matkan päästä kahta painiketta käyttämällä, nostaen tai laskien.



Kuva 18. Jigin hydrauliikkakaavio minikoneikolla

Koneikon valinnan jälkeen tuli selväksi jigien liikenopeus ja komponenttien tarvittava määrä, joita lopulliseen kokoonpanoon tulisi. Komponenttien kokonaismäärä kaikkineen nippoineen oli 136 kpl ja letkuasetelmia 37 kpl.

Ohjaimen kokoonpano tulisi olemaan sähkökaapin ja koneikon vuoksi hieman ahdas, mutta rakenne pystytään aukaisemaan kolmelta sivulta kokoonpanoa tai huoltoa varten (kuva 19).



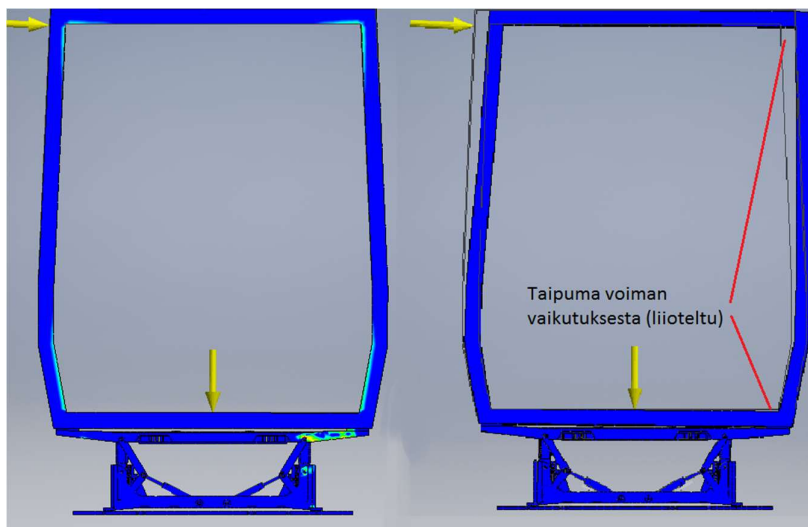
Kuva 19. Ohjaimen läpileikkaus ja erillinen kaavio

6.3 FEM-analyysi

Suoritin Inventorissa rakenteelle kuormitusanalyyssejä, erilaisissa liike- ja kuormitustilanteissa. Jigiin kohdistuisi voimia työkappaleen painosta, porauksesta ja nostosylintereistä, ja näistä suurin on nostosylinterien aiheuttama voima rakenteessa. Nostosylinterin aiheuttamaa voimaa tarkasteltiin 21 MPa:n voimalla nivelmekanismiin, kun nostimen päällä on kaksinkertainen massa rasikaimpaan työkappaleeseen nähden. Analyysin rakentaminen oli suuresta sidoksien määrästä johtuen erittäin hidasta, ja analyysin ajaminen kesti noin 20 minuuttia keskimäärin.

Pyrin simuloimaan rakenteen, kuten ne ovat itse jigissäkin, eli liukuvat elementit määriteltiin liukuviksi ja hitsatut kiinteiksi. Analyysissä muodostui monia erittäin suuria jännityspisteitä, jotka taas johtuivat karkeasta laskentaverkosta. Liian karkea laskentaverkko laskee laajemman alueen jännityksen kollektiivisesti yhteen laskentapisteeseen.

Kun jännitykset saatiin kiinnityksillä ja laskentaverkon paikallisilla tarkennuksilla korjattua mahdollisimman todenmukaisiksi, aloin tutkia jigien törmäysturvallisuutta pahimmalla skenaariolla, jossa kara törmäisi 1,5-kertaisella voimalla maksimisöttövoimaan nähden, ylimpiä reikiä poratessa (kuva 20).



Kuva 20. Kuormituksen tarkkailua törmäyksessä

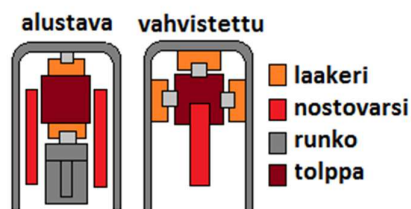
Törmäystesti osoitti jigin rakenteen kestävän sivuttaissuuntaisen törmäyksen hyvin, mutta laakeroinnin sivuttaismomentin kesto päätyyn törmätessä piti tarkkailla kriittisemmin.

Analysointi tulisi suorittaa optimoidulle tuotteelle muutosten jälkeen uudelleen. Analyysin perusteella rakenteeseen ei tulisi merkittäviä muutoksia rungon osalta, mutta lineaarilaakeroinnin uudistukset voivat muuttaa nivelmekanismeja. Mekanismin pääosat on hyvin mitoitettu poraustyön ja nostoliikkeen tuottamalle voimalle, ainoastaan nivellyksen liukulaakerien materiaalia täytyi muuttaa, asennuksen helpottamiseksi ja kestävyden vuoksi.

6.4 Optimointi

Lähdin optimoimaan rakennetta uuden laakeroinnin suunnittelulla. Laakeriasettelussa tuli ottaa huomioon sylinterivoimien lisäksi sivuttainen törmäysturvallisuus. Optimoinnissa keskityin pääasiassa nostomekanismiin, koska muut jigin osat olivat jo tarkoituksensa mukaisia. Nivelmekanismi täytyi muuttaa alkuperäisellä yhdellä ylävarrella toimivaksi, sillä rungon sivuille tulisi molemmille puolin aiemman mitoituksen laakerit ja päätyihin kaksi kertaa suuremmat laakerit (kuva 21). Rakenteeseen tulisi myös kolmiotuen kelkan toiselle rungonsivulle, jotta siihen saadaan lisäturvallisuutta ja vakautta.

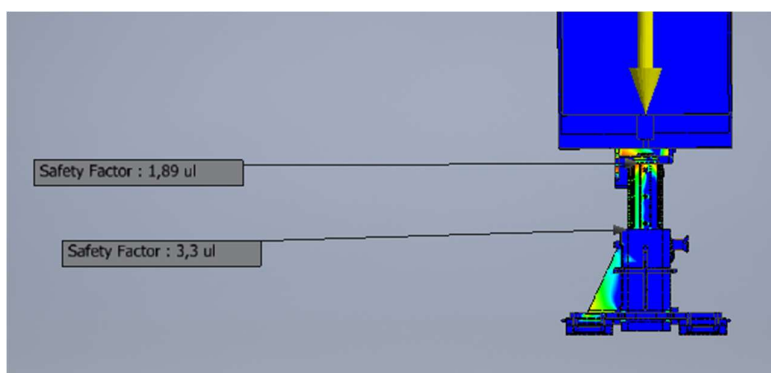
Vaikka rakenteessa otettiin aiemminkin valmistettavuus huomioon, osien määrä väheni, kun osien toimintoja yhdistettiin toisiinsa.



Kuva 21. Havainnekuva nivelmekanismien asetelmasta

Kuten kuvassa 21 nähdään, laakereiden asetelma yksinkertaisti kokoonpanoa merkittävästi. Johdin/laakereiden kokoonpanojen kääntäminen rakenteessa toi mahdollisuuden tehdä nostotolpat yksistä koneistetuista kappaleista ja pystyin suunnittelemaan nostolaakereille koneistettavat laakeripinnat, tarvittavineen säätövaroineen. Laakereiden pesät olisivat huomattavasti helpommin koneistettavissa uudessa rungossa, sillä ne olisivat enimmillään vain n. 120 mm syvyydessä. Runko koneistettaisiin kokoonpanohitsauksen ja oikaisun jälkeen. Tällä tavalla varmistetaan yhteensopivuus muiden alikokoonpanojen kanssa, joita rakenteeseen tulee.

Mekanismin muutoksen jälkeen suoritin sille samat törmäysanalyysit kuin aiemmin, ja tällä kertaa voimat olivat hallittavissa myös päädyn suunnasta. Kuvassa 22 on nähtävissä jännitys jakauma oikealta puolelta tulevaan törmäykseen ja varmuuskertoimet. Analyysissä toki käytettiin 1,5-kertaista voimaa koneeseen nähden, joten todellinen varmuuskerroin on vielä suurempi.

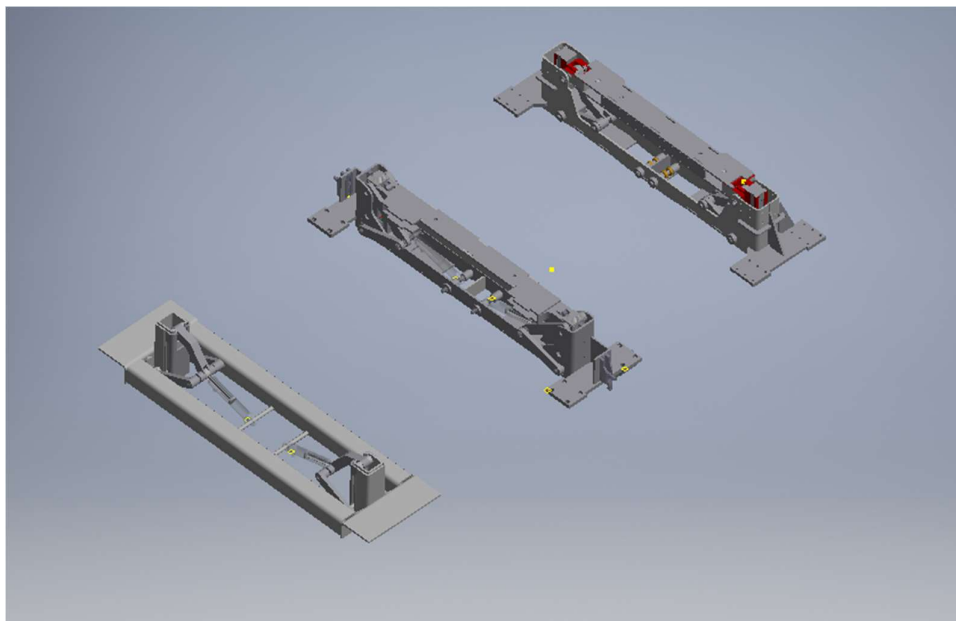


Kuva 22. Törmäysanalyysi optimoinnissa

Analyyseistä on nähtävissä, että rungon varmuuskerroin jäykisteiden ja tukien asettamisen jälkeen on erinomainen, ja pienin varmuuskerroin havaittiin nostimessa sijaitsevan laakerijohteen

nurkassa. Laakerijohteeseen kohdistuva voima voidaan ottaa huomioon johteen asennussyvydessä pystysuunnassa, jotta sen kiinnitysruuveihin ei kohdistu yllättävää leikkautumismomenttia kiinnityskappaleesta. Kaikkiaan rakenne on hyvin turvallinen, sillä se on mitoitettu liikemekanismin tuottaman voiman perusteella ja näin itse liikemekanismi on saatu heikoimmaksi lenkiksi. Rakenteen ei pitäisi pettää normaalissa käytössä, sillä laite ei jaksaisi nostaa niin paljoa kuin kestää, ja toisekseen on erittäin turvallinen matalan painopisteen ansioista, vaikka ylikuormaa lastattaisiin.

Kuvassa 23 on nähtävissä jigin nostimen kehitysaskleet, joista hahmotelmassa on nähtävissä haeskeltuja ominaisuuksia, kun taas alustavassa mallissa (keskellä) on toteutettu niitä. Optimointivaiheessa ominaisuudet on paranneltu valmistettavuuden ja turvallisuuden kannalta.



Kuva 23. Nostimen kehitys hahmotelmasta optimointiin

Optimoidun rakenteen mallintamisen jälkeen laitteen turvallisuusnäkökohdat tulisi käydä vielä kertaalleen koostetusti läpi, jonka jälkeen jigin osien valmistus-, hitsaus-, koneistus-, alikokoonpano- ja varustelukuvien laatiminen pystyittäisiin aloittamaan.

7 Jigiä koskeva lainsäädäntö ja turvallisuus

Optimoidun rakenteen analyysin jälkeen pääsin tutkimaan jigin turvallisuutta erilaisten riskien ja toiminnallisten asioiden kannalta. Riskikartoituksessa suurena apuna oli turvallisen rakenteen lähtökohtainen suunnittelu, koska näin sain mahdollisimman monta vaaranpaikkaa otettua huomioon.

Laitteen käyttöympäristö tulee olemaan pitkäjyrsinkoneen työalueella, jossa ei saa liikkua työstön aikana. Tämän vuoksi työturvallisuutta katsottiin lähinnä työstökoneen ja sen käyttäjän kannalta. Suurimpana riskinpaikkana näin nostomekanismin, sillä mekanismin korkeussuuntainen lukitseminen vaatisi käyttäjän asettaman lukitustapin. Suunnittelin käytettäväksi jousikuormitteisia tappeja, jotka olisivat helposti asetettavissa ilman litistymisvaaraa mekanismista. Helppo asennettavuus antaa turvallisuuden lisäksi jigille käytettävyyttä.

Jigin nostaminen itsessään tapahtuisi turvallisen matkan päästä käsiohjainta käyttäen ja ei täten muodosta välitöntä vaaraa koneenkäyttäjälle, virheliikkeestäkään. Jigin rakenne on sen verran leveä kiinnityskappaleiden ja nostimien osalta, että kappaleen kaatuminen kyljelleen onnistuisi vain jigin tuhoutuessa täysin toispuolisesti, mikä taas on liki mahdotonta. Jigin teleskooppirakenteen vuoksi sortuminen tapahtuisi todennäköisesti alaspäin, varsin hallitusti, mutta seuraamukseksi voi olla vakavimmillaan litistyminen, jos raaja tai koneenkäyttäjä on jostain syystä sinne kuuluttomalla alueella.

Jigin teoreettinen liikenopeus on 0,053 m/s, mutta mitä luultavimmin tulee olemaan paljon hitaampi kuorman ja hydraulikkajärjestelmän jarrituksen takia.

Koska jigin nopeus alittaa 0,15 m/s nostoliikkeessä, hallintalaitteet ovat ulkopuolella ja jigi nousee maan päällä vain noin 0,4 m korkeudesta 0,6 m korkeuteen, ei jigiin tarvitse soveltaa mitään erityistä hissilakia [11]. Jigiin sovelletaan [12] EU 2006/42/EY-konedirektiivin vaatimuksia ja sitä tarkentavaa SFS-EN 12100-standardia [13], suorittamalla riskien arvioinnin ja siihen sisältyvät tutkimukset, joita jigin suunnittelun aikana on toteutettu.

Jigistä täytyy myös laatia käyttöohjeet koneen käyttäjille, jotta koneen väärinkäytöksiltä ja tästä koituvilta vaaroilta vältyttäisiin. Käyttöohjeisiin tulee kuvaus laitteen käytöstä ja huomioitavista asioista työskenneltäessä. Ohjeissa on myös mahdollisesti kuvaukset eri vikatilanteiden poistamiseksi.

7.1 Riskin arviointi

EU:n konedirektiivissä sanotaan, että koneen valmistaja tai tämän valtuutetun edustajan on varmistettava, että koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Kone on sen jälkeen suunniteltava ja rakennettava ottaen huomioon riskin arvioinnin tulokset [12, liite 1]. Riskien arvioinnissa koneen valmistajan on

- määritettävä raja-arvot
- tunnistettava vaarat tai vaaratilanteet
- arvioitava riskin suuruus
- arvioitava riskin merkitys

7.1.1 Koneen raja-arvot

Ensimmäisenä koneelle on asetettava raja-arvot koneturvallisuuden standardia SFS-ISO/TR 14121-2 apuna käyttäen [14, s. 12]. Raja-arvoja ruvettiin tutkimaan konelähtöisesti, ja ne muodostuivat työkappaleiden äärimitoista ja painoista, että niitä voi turvallisesti porata. Turvallisuuden vuoksi myös väärinkäytön mahdollisuus täytyi ottaa huomioon, vaikka se on hyvin epätodennäköistä.

Mekaaniset rajoitukset:

- max. nostokapasiteetti 3 tn
- nostokorkeus. 0,6 m työpöydästä, n. 0,9 m lattiasta.
- max. työkappale 6,7 m pituus, 2,4 m leveys ja 3 m korkeus

Järjestelmän rajoitukset:

- järjestelmän paine max. 220 bar (kriittiset komponentit 350 bar)
- käyttöjännite 230 V
- ohjausjännite 24 V

7.1.2 Tunnistettavat vaarat ja riskit

Koneessa on vaaran paikkoina edellä jo mainittu laitteen nostomekanismi käyttövoimineen. Mekanismin alla työskentely ei ole sallittua varsinkaan kuorman ollessa siinä. Vaikkakin järjestelmä on rakennettu letkurikot huomioiden, ei hydraulikkakomponentteihin voi luottaa niiden ollessa kuluvia osia. Vaarana on litistymisen työpöydän ja nostettavan kappaleen väliin odottamattomassa laskeutumisessa. Litistymisen riskiä on pienennetty jigin toimintatavalla, sillä käyttäjän ei tarvitse työskennellä varmistamattoman mekanismin alla ja nostimen ohjeistukseen tulee varmennukset, missä vaiheessa kädet saavat olla riskialueella. Nostimen ja alarungon välissä on noin 12 cm välinen tila alimmassa asennossa, mutta hydraulikkasynterin nipan kohdalla vain 5 cm.

Nostomekanismin käyttövoima tuo myös vaaraksi korkean paineen alaiset letkut, jotka puhjetessaan tai räjähtäessään voivat aiheuttaa vammoja. Tämän vaaran huomioiden letkut täytyy suojata asianmukaisilla räjähdysuojilla käyttäjän läheisyydessä, ja niiden ympäristössä täytyy ottaa huomioon koneistuslastut.

Poraukselle ja koneistukselle ominaisia vaaroja ei tarvitse ottaa huomioon, koska ne ovat ilmeisiä jigin käyttöluonteen vuoksi ja työstökoneella työskentely jo vaatii siihen tarvittavat suojaimet. Työstökoneen törmäykset on otettu huomioon jigin rakenteessa vaaratilanteiden välttämiseksi, sillä inhimillisen tai koneen virheen mahdollisuutta ei koskaan voida täysin eliminoida.

Vaaranpaikkoina on myös aiemmin koettu ympäristö, joka on lastuamismesteen käytön vuoksi liukas. Tähän ratkaisuun on ehdotettu rutilöiden käyttöä, joka pienentäisi työkappaleen ympärillä liikkumisesta johtuvaa liukastumisen/kompastumisen riskiä.

7.1.3 Riskien merkitys

Riskit täytyi kartoittaa todennäköisyyden ja seurauksien mukaan, jotta mahdolliset vaaranpaikat saadaan selville. Käytin analysoinnissa yrityksen omaa arviointitaulukkoa, riskimatriisia ja sen riskikategorioita, joita käytetään apuna työpisteiden riskikartoituksissa. Työstökoneen aiempaa riskikartoitusta tarkastelemalla sain kuvan jo aiemmista huomatuista riskinpaikoista ja pystyin vertaamaan, tuoko valmistettava jigi merkittäviä muutoksia suuntaan tai toiseen. Riskiarviointilistassa on 145 kohtaa, joista ainakin 26 kohtaa voisi käyttää jigin analysointiin.

Taulukko 1. Riskimatriisi työpisteen turvallisuus (Škoda Transtech)

	SEURAUKSET		
	VÄHÄISET Poissaolo < 3 pv tai satunnaisesti. Lievät vaikutukset, nyrjähdys, mustelma, ohimenevä sairaus, epämukavuus. Vähäinen ympäristövaikutus.	HAITALLISET Poissaolo 3-30 pv tai toistuvasti. Pitkäkestoisia vakavia vaikutuksia tai pysyviä lieviä haittoja, murtuma, palovamma, kuulovaurio. Ympäristövahinko, jonka korjaaminen mahdollista. Haitallinen ympäristövaikutus. Määräyksen vastaista toimintaa	VAKAVAT Poissaolo > 30 pv tai jatkuva. Pysyvät vakavat vaikutukset, työkyvyttömyys, kuolema.
TODENNÄKÖISYYS	1	2	3
EPÄTODENNÄKÖINEN Satunnainen vaaratilanne, altistuminen lyhytaikaista, esiintyy harvoin.	1 1 MERKITYKSETÖN RISKI	2 2 VÄHÄINEN RISKI	3 3 KOHTALAINEN RISKI
MAHDOLLINEN Vaara- tai kuormitustilanteet päivittäisiä. Lähtöpiti-tapauksia on sattunut.	2 2 VÄHÄINEN RISKI	3 3 KOHTALAINEN RISKI	4 4 MERKITTÄVÄ RISKI
TODENNÄKÖINEN Vaaratilanteita esiintyy usein ja säännöllisesti. Tapaturmia on sattunut.	3 3 KOHTALAINEN RISKI	4 4 MERKITTÄVÄ RISKI	5 5 SIETÄMÄTÖN RISKI

Analyysissä paljastui 6 kohtalaista riskiä, 8 vähäistä riskiä ja 4 merkityksetöntä riskiä, joista jäi taulukon mukaiset jäännösriskit hallintatoimenpiteiden jälkeen. Koneeseen jäi rakenteensa ja toimintansa vuoksi kuitenkin muutama riski, joita ei saada minimoitua muuten kuin huolellisella ohjeistamisella, mutta kokonaisuutena riskien määrä ja vakavuus saadaan turvalliselle tasolle käyttäjälle ja koneelle.

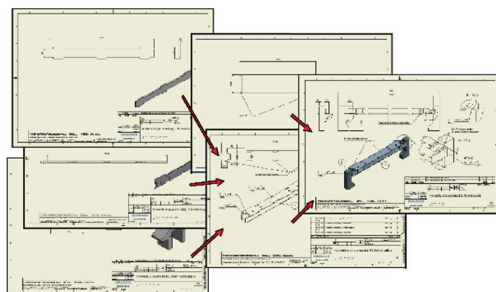
Taulukko 2. Analyysin tuloksia

Riskin suuruus	Riski	Jäännös	Riski	Hallintatoimenpiteet
5 Sietämätön	0	0	0	1 Poistaminen
4 Merkittävä riski	0	0	4	2 Korvaaminen
3 Kohtalainen riski	6	0	6	3 Tekniset hallintatoimenpiteet
2 Vähäinen riski	8	9	2	4 Kyltit, varoitukset tai hallinnolliset hallintatoimenpiteet
1 Merkityksetön riski	4	9	6	5 Henkilösuojaimet
				6 Siedetään

Koneen käyttäjille ja huoltomiehille täytyy tehdä riskianalyysin havaintojen mukaan hyvät havainnollistavat käyttöohjeet, joista eritoten täytyy painottaa yhdenmukaista työmenetelmää, jottei turvallisuus vaarannu käytön aikana tai huollossa.

7.2 Tekninen dokumentointi

Kokoonpanon työpiirustukset laadittiin aikaisemmin paperille hahmotellun rakennepuun, pohjalta, johon olin arvioinut erilaisten alikokoonpanojen ja nimikkeiden tarpeen. Aloitin työkuviem luomisen ”alhaalta ylöspäin” mitoittaen karkeat vaiheet ensin, siirtyen hitsauskokoonpanoon, jonka jälkeen suunnittelin ja mitoitin kokoonpanoille tarvittavat koneistukset (kuva 24). Alikokoonpanot myös yhdistettiin samanalkuisen numerosarjan alle, jotta tuotannossa on helpompi seurata mihin osat kuuluvat. Työpiirustuksia tuli kaiken kaikkiaan 78 kpl, joten niitä laatiessa oli hyvä pysyä selvillä, mitä osia voidaan hyödyntää missäkin työvaiheissa. Selvyyttä toi huomattavasti paperille sketsattu ”rakennepuu”, jossa oli kaikki sidonnaisuudet.



Kuva 24. Rakennepuu käytännössä

CE-merkinnän yhtenä ehtona on toimittaa koneen mukana käyttöohjeet, vaatimuksenmukaisuustodistuksineen ja testituloksineen. Suunnittelulle jigille ei kuitenkaan tarvitse täyttää kaikkia CE-merkinnän vaatimuksia, mutta käyttöohjeet on hyvä laatia turvallisuuden vuoksi. Käyttöohjeisiin merkitään kaikki riskianalyyssissä huomioidut asiat, vaaran paikat ja kuormitus analyysien perusteella saadut maksimikuormat:

- toiminnan kuvaus
- asennusohje
- käyttöohjeistus selvennyksineen
- huoltokohteet
- riskit
- max. syöttövoima
- max. työkappaleen mitat
- kytkentäkaaviot

8 Yhteenveto

Alkuperäisenä toimeksiantona oli suunnitella jigi laajentamaan raitiovaunukorien porauskapasiteettia, sisältäen uudenlaisen työmenetelmän ja toiminnan. Suurimpina asioina toiminnassa olisi kolmen erikokoisen työkappaleen poraaminen jigissä koneella, jonka liikevarat eivät aivan riittäisi puolittaiseen kertaporaukseen. Tehtävänäni oli toteuttaa tämä kokonaisuus alusta loppuun, suunnittelupöydältä, kaavioista, mallinuksista ja analyyseistä toimivaksi tuotannon apuvälineeksi.

Kuten insinööriyön tekstissä ilmenee, käytännön suunnittelua oli loppuunsa valtavasti ja suunnitteluprosessin välissä täytyi oppia paljon uutta. Kaikkea oppimistani en sisällyttänyt työhön, sillä pääasiallinen paino oli itse suunnitteluprosessissa, mutta opeteltavaa oli luonnostaan myös yrityksen järjestelmien käytössä ja toiminnassa.

Itse rakenteen mallintaminen ja toiminnan ideointi olivat erittäin lineaarista ongelmanratkointia, mutta hydraulikan toteutus, mahdolliset ongelmat ja huollettavuus aiheuttivat päänvaivaa, niiden ollessa varsin uutta aihetta minulle. Työn vaatimat ominaisuudet nopeasti kasvattivatkin hydraulikkajärjestelmän laajuutta, sillä sen täytyi olla toimiva, tarkka, helppokäyttöinen ja turvallinen. Hydraulikkaa opiskeltuani ja asiasta tietävien kanssa keskusteltuani saimme muodostettua teoriassa erittäin turvallisen järjestelmän, joka liikkuisi vain käyttäjän vaikutuksesta ja olisi liikenopeuksien osalta säädettävissä linjastoista ja pumpulta. Työn edettyä valmistuksesta käyttöönottestauksiin, pääsemme toteamaan toimivuuden käytännössä.

Kokonaisuus oli erittäin haasteellinen, mutta myös täten erittäin opettavainen. Suunnittelussa muodostui tiukat raja-arvot, joiden vuoksi vastaan tuli paljon optimointitilanteita, joista taas kerannaisvaikutuksesta muodostui paljon lisätöitä. Optimoinnin tuoman lisätyön vuoksi tiettyjen avainasioiden määrittäminen suunnittelun alussa helpotti paljon päätöksiä tehtäessä. Avainasiat antoivat aina kehityssuunnan muutoksille, jotka olivat pääasiallisesti turvallisuus ja valmistettavuus. Pällimmäisenä oli siis mielessä, kuinka vahvaa materiaalin tulisi olla, kuinka osa valmistettaisiin ja miten kokonaisuus toimii?

Jigiprojekti etenee seuraavaksi valmistukseen, jossa olen mukana valvomassa ja tarpeen tullen myös valmistamassa osia. Näin osien valmistuksesta ja niiden toimivuudesta päästään parhaaseen varmuuteen ilman raadollisen tarkkaa selostamista ja tolerointia.

Lähteet

- (1) Jatoth Ramchander, Need for jigs and fixtures in manufacturing, [viitattu 15.4.2021] saatavissa: <http://data.conferenceworld.in/SGTB/P1018-1027.pdf>
- (2) Škoda Transtech, [viitattu 28.4.2021] internet osoite: <https://www.transtech.fi/etusivu>
- (3) Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738, [viitattu 20.4.2021] saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- (4) Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta, 26.11.2004/1016 [viitattu 21.4.2021] saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016>
- (5) Sininen opas – EU:n tuotesääntöjen täytäntöönpano-opas 2016, [viitattu 23.4.2021] saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016XC0726\(02\)&from=EL](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016XC0726(02)&from=EL)
- (6) Esko Valtanen, T. 2007. Tekniikan taulukkokirja 15.painos. Hyvinkää: Genesis-Kirjat Oy
- (7) Movetec, lineaarilaakereiden katalogeja, Kuulaholkit ja kuulajohteet, [viitattu 28.4.2021] internet osoite: <https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/lineaariliikkeen-mekaniikka/lineaarijohteet>
- (8) Tomi Piironen, TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA PAREMPAAN VALMISTET-TAVUUTEEN, [viitattu 23.4.2021] saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- (9) Halder, standardiosien toimittaja, [viitattu 22.4.2021] internet osoite: <https://www.halder.com/standard-parts>
- (10) BOOK 2, CHAPTER 22 (2010): Synchronizing cylinder movement [viitattu 26.4.2021], saatavissa: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/other-technologies/article/21884338/book-2-chapter-22-synchronizing-cylinder-movement>
- (11) Hissiturvallisuuslaki, 1134/2016 [viitattu 26.4.2021], saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161134#Pidp446836064>

- (12) EU, konedirektiivi, DIREKTIIVI 2006/42/EY [viitattu 26.4.2021], saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32006L0042>
- (13) SFS-EN 12100, Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen
- (14) SFS-EN ISO 14121-2, Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä

Liitteet

1. Hydraulikkakomponentit

2. Hydraulikkakaavio

nro.	Komponentit	Tuote no.	määrä
1	KAKSOISLUKKOVENTTIILI 3/8" 350BAR	VBPDE 3/8" A	2
2	YHDYSNIPPA ULKO-/SISÄKIERRE BSP60° (ISO 228-PF) 3/8"	705-06-06	1
3	YHDYSNIPPA ULKO-/SISÄKIERRE BSP60° (ISO 228-PF) 1/4"/3/8"	705-04-06	2
4	T-NIPPA ULKOKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 3/8"	702-06-06	6
5	L-NIPPA ULKO-/SISÄKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 3/8"	747-06-06	12
6	JATKONIPPA SISÄKIERRE BSP60° SS 3/8"	707-06-06	2
7	KAKSOISNIPPA ULKOKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 1/4"/ 3/8 "	202-04-06	12
8	KAKSOISNIPPA ULKOKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 3/8"/1/2"	202-06-08	1
9	KAKSOISNIPPA ULKOKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 3/8 "/3/8"	201-06-06	5
10	SUUNNATTAVA KULMANIPPA 90° ULKOKIERRE BSP60° 3/8"	A207030-1717	2
11	SULKUTULPPA SISÄKIERRE BSP 60° (ISO 228-PF) 3/8"	713-06	12
12	PAINEMITTARI 1/4" Pohjakiinnitys	0-250-63TG	2
13	C-SARJAN VAKIOKIINNITTIMET	CP318	4
14	PIKALIITIN 3/8" RUNKO ISO A	C23071-06	9
15	PIKALIITIN 3/8" NIPPA ISO A	C23072-06	12
16	VIRTAUKSENJAKOVENTTIILI, PAINEKOMPENSOITU 3/8 "/3/8"	VDFR-38-24	2
17	MULTIFASTER 2PB06 NAARAS 3/8"	2PB06-2-38G F C	2
18	MULTIFASTER 2PB06 UROS 3/8"	2PB06-2-38G M C	2
19	VASTUSVASTAVENTTIILI 3/8"	FT-257/5-38	4
20	SUOJASPIRAALI	SS50KE-1M	1
21	PÖLYSUOJA, PIKALIITIN NIPALLE		12
22	PÖLYSUOJA, PIKALIITIN RUNGOLLE		9
23	CF KAKSOISKIINNITTIMET	CF215-15	10
24	15MM HELMILIITIN KOKOONPANO, PIKALIITIN KOTELOILLE R3/8"		4
25	15MM SUORAYHDELIITIN KOKOONPANOT		6
nro.	Letkuasennelmat	Kuvaus	määrä
1	1/4" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 1/4" BSP L=350		1
2	1/4" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 1/4" BSP L=520		1
3	3/8" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 3/8" BSP L=700		2
4	3/8" 45* KULMA- JA SUORALIITIN SK 3/8" BSP L=800		1
5	3/8" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 3/8" BSP L=300		1
6	3/8" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 3/8" BSP L=440		1
7	3/8" 90* KULMA- JA SUORALIITIN SK 3/8" BSP L=610		4
8	3/8" SUORAT LIITTIMET SK 3/8" BSP L=320		5
9	3/8" SUORAT LIITTIMET SK 3/8" BSP L=350		1
10	3/8" SUORAT LIITTIMET SK 3/8" BSP L=500		3
11	3/8" SUORAT LIITTIMET SK 3/8" BSP L=600		1
12	3/8" SUORAT LIITTIMET SK 3/8" BSP L=650		1
13	3/8" SUORAT LIITTIMET UK 3/8" BSP L=1500		2

14	3/8" SUORAT LIITTIMET UK 3/8" BSP L=3700		2
15	3/8" SUORAT LIITTIMET UK 3/8" BSP L=850		2
16	3/8" SUORAT LIITTIMET UK/SK 3/8" BSP L=2300		4
17	3/8" SUORAT LIITTIMET UK/SK 3/8" BSP L=800		2
18	15X1,5 MM HYDRAULIIKKA PUTKI L=6000		3
	Max paine. 220bar Max. taivutussäde 3/8" R=70		

