



Minna Puumala

KOEAJOSELLIN 2 MONITOIMIPETI-
PALKKIEN SUUNNITTELU

Wärtsilä

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Minna Puumala
Opinnäytetyön nimi	Koeajosellin 2 monitoimipetipalkkien suunnittelu
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 1 liite
Ohjaaja	Timo Gröndahl

Opinnäytetyö käsittelee Wärtsilän koeajosellin 2 muutostyötä, jossa koeajosellissä otetaan käyttöön liikutettavat monitoimipetipalkit. Monitoimipetipalkkien käyttöönoton lisäksi kyseisessä koeajosellissä ajetaan tulevaisuudessa koeajettavia moottoreita kaikilla polttoainevariaatioilla, kun tällä hetkellä siellä voidaan ajaa vain dieselkäyttöisiä moottoreita. Koeajosellin 2 monitoimipetipalkeista tuli tehdä tarvittavat 3D-mallit ja osien valmistuspiirustukset, lisäksi tuli miettiä vaihtoehtoisia ratkaisuja liikutusmekanismille ja monitoimipetipalkkiin kiinnitettäviin työtasoihin. Erityistä huomiota suunnittelussa tuli asettaa monitoimipetipalkkien puhtaanapitoon, sillä niiden sisään kertyy helposti epäpuhtauksia.

Monitoimipetipalkki on koeajosellissä oleva rakenne, jonka päälle koeajettava aggregaatti- tai päämoottorikokoonpano lasketaan koeajon ajaksi. Monitoimipetipalkki liikkuu siten, että aina koeajettava moottori mahtuu petipalkkien väliin. Koeajettava kokonaisuus kiinnitetään petipalkkiin erityisten sovitustalujen päälle hydraulisesti kiristettävillä muttereilla tai se lasketaan joustoelementtien varaan petipalkin päälle.

Monitoimipetipalkin suunnittelu toteutettiin NX 10.0-ohjelmistolla. Monitoimipetipalkkeihin otettiin jo olemassa olevista petipalkeista koeajoselleistä 1 ja 3 tarvittavat mitat. Jo käytössä olevien petipalkkien muotoja ja ominaisuuksia hyödynnettiin suunnittelussa siten, että kaikki hyväksi todetut ominaisuudet säilytettiin. Muutoksia tehtiin rakenteisiin vain tukilevyjen, pohjalevyjen sekä etulevyjen osalta. Tukilevyihin tehtiin suuremmat aukot työskentelyn helpottamiseksi. Etulevyyn tuli lisätä uuden moottorityypin W31 kiinnitysreiät. Puhtaanapidon ratkaisemiseen löydettiin kaksi vaihtoehtoista ratkaisua, joista valittiin käytännöllisempi. Valmistuspiirustukset tehtiin valitun vaihtoehdon mukaisiksi. Rakenteelle tehtiin myös yksinkertaistetut kantavuuslaskelmat joiden perusteella rakenteen voitiin todeta kestävän sille asetettu taakka.

Liikutusmekanismin vaihtoehtoinen ratkaisu ei käytettävyydeltään ja varmuudeltaan yllä olemassa olevalle liikutusmekanismiratkaisulle. Työtasoihin muutettiin käytettävää saranaa, jolloin havaituista ongelmista päästiin eroon. Julkisesta opinnäytetyöstä on jätetty kaikki kuvat ja liitteet pois, mitkä sisälsivät tarkkoja mittoja ja yksityiskohtia petipalkeja koskien.

Avainsanat monitoimipetipalkki, koeajo, piirustukset, W31

ABSTRACT

Author	Minna Puumala
Title	Design of Multifunctional Rail for Test Drive Cell 2
Year	2017
Language	Finnish
Pages	35 + 1 appendice
Name of Supervisor	Timo Gröndahl

This thesis deals with designing a multifunctional rail for Wärtsilä's test drive cell 2. Cell 2 will be modified, it is going to be a multifunctional test drive cell where there will be possibility to test drive motors with all fuel configurations. The main task of this thesis is to produce all the 3D-models and manufacturing drawings for the components of the multifunctional rail. Extra attention was also paid to the cleansing of the rails. Alternatives for the mechanism of movement and worktop were also considered.

The multifunctional rail is a structure which is located in the test drive cell, and on which the motor under testing is put down. Rails are moving so that the gap within the two beams is always accurate for the testing motor.

These multifunctional rails are already in use in other test drive cells in Wärtsilä. All the good features and measurements were copied to this new multifunctional rail when designing its structure. Most remarkable changes in the structure are the holes in the support sheets so that working would be easier. The new motor type W31 needed its own holes for attachment. There were two different solutions for cleansing and the more practical one was chosen. The manufacturing drawings were made based on the chosen alternative. Simplified calculations for bearing capacity were also made and based on those it can be said that the structure is durable.

For the mechanism of movement there was one alternative but it turn out to be insecure and susceptible for failures so the ongoing solution in other test drive cells were considered the best solutions. The structure of worktop was also kept, only hinges were changed. All the confidential pictures and appendices are removed from this public thesis.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	8
2	WÄRTSILÄ LYHYESTI.....	9
	2.1 Historia.....	9
	2.2 Nykytilanne.....	10
	2.3 Koeajo.....	11
3	KOEAJETTAVAT MOOTTORIT	12
	3.1 Wärtsilä 31	12
	3.2 Wärtsilä 32.....	13
	3.3 Wärtsilä 34.....	14
4	MONITOIMIPETIPALKIN KÄYTTÖ JA TOIMINTA	15
	4.1 Monitoimipetipalkin rakenne.....	15
	4.2 Liikutusmekanismi.....	16
	4.3 Toivotut muutokset.....	16
5	MONITOIMIPETIPALKIN SUUNNITTELU	17
	5.1 Hitsauksen vaikutus komponenttien muotoihin/mittoihin ja jännitykset	17
	5.2 Materiaalien tarve ja saatavuus.....	20
	5.2.1 Komponenttien valmistus kahdesta kappaleesta.....	21
	5.3 Suunnittelun vaiheet.....	21
	5.4 Puhtaanapidon huomioiminen	22
	5.5 Tukilevyyn tehdyt muutokset	23
	5.6 Värähtelyn vaimentaminen	23
6	KANTAVUUDEN MÄÄRITTELY YKSINKERTAISTETUSTI.....	25
	6.1 Puristusjännitys	25
	6.2 Leikkausjännitys	26
	6.3 Laattateoria	26
	6.4 Kantokyky.....	28

7	LIIKUTUSMEKANISMI JA TYÖTASOT	29
7.1	Liikutusmekanismin vaihtoehtoinen ratkaisu	29
7.2	Työtasot.....	30
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	

KUVALUETTELO

Kuva 1. Wärtsilä 31-moottori /7/

Kuva 2. Wärtsilä 32-moottori /8/

Kuva 3. Wärtsilä 34DF-moottori /9/

Kuva 4. Poikittaisen jännityksen aiheuttamat muutokset /11/

Kuva 5. Pitkittäisen jännityksen aiheuttamat muutokset /11/

Kuva 6. Levymateriaalin menekki ja eri valmistajien saatavilla olevat levymateriaalit /12-14/

Kuva 7. Osakomponenttien mitat ja suositellut hitsausaumat /10/

Kuva 8. Vaimennusta havainnollistava kuvaaja

Kuva 9. Vanhanmallinen sarana

Kuva 10. Uudenmallinen sarana: hitsattava sarana /19/

LIITELUETTELO

LIITE 1. LUETTELO 3D-MALLEISTA JA PIIRUSTUKSISTA

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena olevassa Wärtsilän koeajopisteessä on viisi erillistä koeajoselliä, joista kahdessa on käytössä siirrettävät monitoimipetipalkit joiden päällä moottorit koeajetaan. Koeajosellissä 2 ei vielä tällaisia monitoimipetipalkkeja ole ja tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella selliin tarvittavat monitoimipetipalkit. Koeajoselli 2 tullaan muuttamaan nykyisestä dieselkoeajosta monikäyttöiseksi koeajoselliksi, missä voidaan koeajaa kaikilla eri polttoainevariaatioilla. Uutta monitoimipetipalkkia suunniteltaessa haluttiin ottaa huomioon jo kahdessa muussa sellissä olevien petipalkkien hyvät ominaisuudet, sekä muokata ja lisätä uuteen monitoimipetipalkkikokonaisuuteen haluttuja parannuksia. Valmiin monitoimipetipalkin tuli olla sellainen, että siinä voidaan koeajaa kaikki nykyiset moottorityypit: W31, W32 ja W34.

Monitoimipetipalkin suunnittelussa tuli ottaa huomioon vaadittu kantokyky, koeajettavien moottoreiden eri variaatiot kiinnityskohtia määriteltäessä, petipalkkien liikutusmekanismi, sivuilla olevat työtasot sekä puhtaanapito. Lähtökohtana oli jo valmiina olevien petipalkkien mitoitus ja rakenne. Mitään toimivaa rakennetta ei haluttu lähteä muuttamaan.

Suunnittelussa käytettiin apuna hitsattujen rakenteiden suunnittelun ohjeistuksia. Tarvittavien materiaalien saatavuus kartoitettiin, mistä syystä suurehkoille petipalkkeille tuli miettiä erilaisia valmistustapoja. Työn tilaaja halusi tehtävän kaikki petipalkkien valmistukseen tarvittavat piirustukset ja 3D-mallit. Tässä julkisessa opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa on jätetty pois kaikki liitteenä olleet valmistuspiirustukset ja monitoimipetipalkkeja koskevat kuvat työn tilaajan pyynnöstä.

2 WÄRTSILÄ LYHYESTI

Wärtsilä on kansainvälisesti johtava merenkulku- ja energiamarkkinoille kokonaislinkaariratkaisuja ja edistyksellistä teknologiaa toimittava kansainvälinen yritys. Wärtsilä voidaan jakaa kolmeen alueeseen: Marine Solutions, Energy Solutions ja Services. Wärtsilä tarjoaa asiakkailleen tehokkaita, taloudellisia, ympäristömyönteisiä ja joustavia kokonaisuuksia, sekä huolehtii asiakkaistaan toimittamansa kokonaisuuden koko elinkaaren ajan. /1/

2.1 Historia

Wärtsilä on perustettu vuonna 1834 Tohmajärven kunnassa. Vuosien 1935 - 1950 välillä Wärtsilä osti useita eri yrityksiä ja kasvatti toimialaansa mm. lukkojen valmistukseen ja lasituotteisiin. Dieselmootoriaikakausi sai alkunsa 1938 kun Wärtsilä solmi Friedrich Krupp Germania Werft AG:n kanssa lisenssisopimuksen.

Vuonna 1979 Wärtsilä jaettiin kuuteen eri teollisuusryhmään: telakkaryhmä, dieselryhmä, konepajaryhmä, teknisen posliinin ryhmä, lukkoryhmä ja kulutustavaryhmä.

Telakkateollisuuden kriisi johti vuonna 1986 Wärtsilän ja Valmetin telakkateollisuuden yhdistämiseen jolloin syntyi Wärtsilä Meriteollisuus Oy, joka haettiin kuitenkin jo vuonna 1989 konkurssiin. Intiaan Wärtsilä levittäytyi 1988, kun Khopoliin rakennettiin dieselmootoreiden kokoonpanotehdas. 1990 Wärtsilä fuusioitui Lohjaan ja myi Oy Arabia Ab:n ja Rörstrand-Gustavsberg AB:n osake-enemmistöt Oy Hackman Ab:lle.

Oy Wärtsilä Ab:n sekä Oy Lohja Ab:n fuusioituessa syntyi Metra Oy, joka karsi toimialoja myymällä mm. lukko- ja posliinitehtaansa. Wärtsilän dieselvalmistus kasvoi voimakkaasti kun Metra osti lukuisia pieniä dieselvalmistajia. Vuonna 2000 Metra muutti nimensä takaisin Wärtsiläksi.

Vuosien 2001 - 2010 välillä Wärtsilä teki useita yrityskauppoja sekä myyvänä että ostavana osapuolena. Wärtsilän toiminta keskittyi, laajeni ja vahvistui nykyiseen malliinsa yrityskauppojen ja uusien innovaatioiden ansiosta. /2/

2.2 Nykytilanne

Tällä hetkellä Wärtsilä palvelee asiakkaitaan yli 200 toimipisteessä yli 70 maassa eri puolilla maailmaa. Wärtsilän liikevaihto vuonna 2016 oli 4,8 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 18 000. Wärtsilä voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: Marine Solutions, Energy Solutions ja Services. /1/

Marine Solutions toimii meri, öljy- ja kaasuteollisuudessa tarjoten asiakkailleen moottoreita, propulsiojärjestelmiä, sähkö- ja automaatiojärjestelmiä, laivasuunnittelua, öljy- ja kaasujärjestelmiä, pumppuja sekä venttiileitä ja erilaisia ympäristöratkaisuja. Tällä toimialalla Wärtsilän kilpailuetu perustuukin laajimpaan valikoimaan, tarjontaa tukee maailmanlaajuinen myynti- ja huoltoverkosto. /3/

Energy Solutionsin tavoitteena on luoda asiakkaille erilaisia hajautettuja, joustavia, tehokkaita ja ympäristömyönteisiä energiaratkaisuja, jotka mahdollistavat maailmanlaajuisen siirtymisen kohti kestävämpää ja modernimpaa energiainfrastruktuuria. Energy Solutions tarjoaa ratkaisuja moottorivoimalaitoksille, LNG-ratkaisuille ja aurinkovoimaloille. /4/

Services tarjoaa asiakkaille tukea heille toimitetun järjestelmän koko elinkaaren ajan. Suurin kysyntätekijä Services-liiketoiminnalle on Wärtsilän laitekannan suuruus ja kehitys. Toimintaa pyritään kuitenkin laajentamaan kehittämällä osaamista jatkuvasti, jotta Wärtsilällä on mahdollista tarjota huoltopalveluja myös muiden valmistajien laitteille. /5/

2.3 Koeajo

Tätä opinnäytetyötä koskevia moottoreita voidaan ajaa 5 koeajosellissä moottorityypistä ja polttoaineesta riippuen. Koeajosellit ovat 1-3 sekä 11-12. Koeajoselleissä 1-3 on tällä hetkellä mahdollisuus ajaa vain dieselkoeajoa kevyt- tai raskaspolttoöljykäyttöisillä aggregaatti- tai päämoottorikokoonpanoilla. Koeajosellit 11-12 ovat kaasukoeajoon tarkoitettuja, mutta niissä voidaan lisäksi ajaa myös maakaasu-, propaani-, monipolttoaine- ja dieselkäyttöisiä moottoreita. /6/

Tämän opinnäytetyön kohteena olevaan koeajoselliin 2 on tarkoitus rakentaa mahdollisuus ajaa dieselkäyttöisten lisäksi myös kaasukäyttöisiä moottoreita. Muutos tehdään, sillä nykyisen markkina- ja taloustilanteen vallitessa kaasukäyttöisille moottoreille on enemmän kysyntää ja siten koeajokapasiteettia kaasukäyttöisille moottoreille tulee kasvattaa.

Koeajoselleissä olosuhteet ovat työntekijälle haasteelliset työturvallisuuden kannalta. Lattialla on paljon erilaisia letkuja ja työvälineitä, joita tarvitaan koeajon valmistelussa ja koeajon aikana. Lisäksi epäpuhtaudet kertyvät lattiapinnoille, jolloin liukastumisvaara on suuri. Koeajattavat moottorit ovat massiivisia kokonaisuuksia, jolloin puristumisvaara on myös olemassa.

3 KOEAJETTAVAT MOOTTORIT

Opinnäytetyön kohteena olevassa koeajosellissä 2 tullaan tulevaisuudessa koeajamaan sekä diesel- että kaasukoeajoa. Koeajettavat moottorit ovat Wärtsilä 31, Wärtsilä 32 ja Wärtsilä 34, joista tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

3.1 Wärtsilä 31

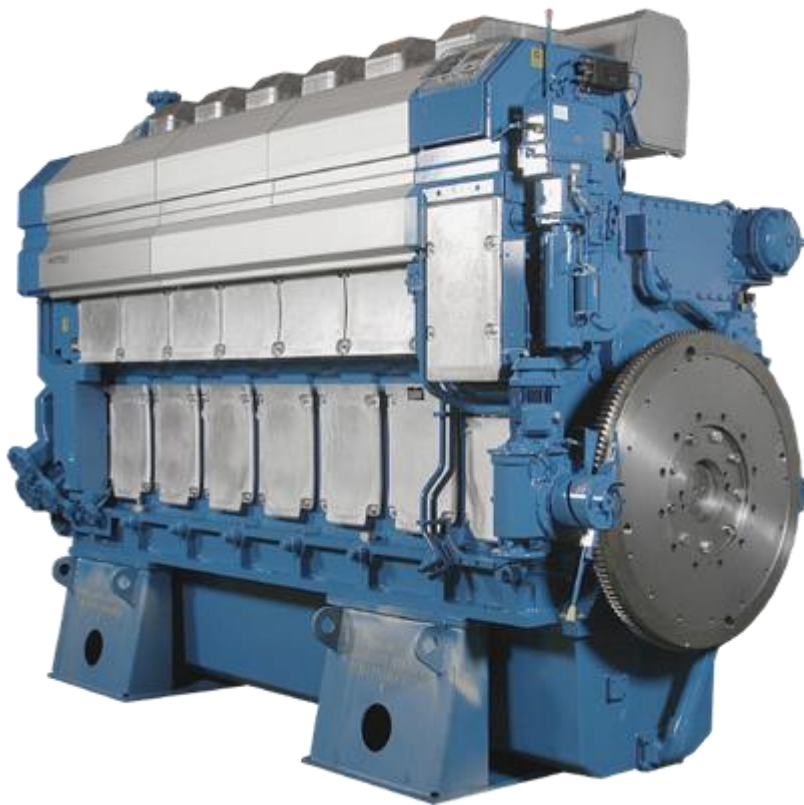
Ensimmäinen uuden sukupolven nelitahtimoottori W31 on keskinopeusmoottori ja edelläkävijä hyötysuhteessa, suorituskyvyssä ja polttoaineenkulutuksessa (**Kuva 1**). Sitä on saatavilla 8-20 sylinterisenä vain V-moottorisylinterikonfiguraatiolla, tehoalueella 4,2 – 9,8 MW ja polttoainevaihtoehtoina ovat: diesel, monipolttoaine (DF eli Dual Fuel) sekä kaasu (SG eli Spark ignited). W31:n suunnittelussa on kiinnitetty huomiota moottorin modulaarisuuteen ja elinkaareen, minkä johdosta moottorimalli on helposti muunneltavissa ja huolto- sekä muutostyöt ovat helpompia ja kustannukset asiakkaalle pysyvät kohtuullisina. /7/



Kuva 1. Wärtsilä 31-moottori /7/

3.2 Wärtsilä 32

W32-moottori on dieselmootori, jota valmistetaan sekä rivi(L)-, että v(V)-moottorisylinterikonfiguraatiolla ja sitä on saatavilla 6L – 16V sylinterisenä (**Kuva 2.**). Moottorityyppiä on myyty jo yli 2 500 kpl vuodesta 1998 lähtien ja W32-moottorin pääasialliset käyttökohteet ovat laivoissa erilaisissa käyttötarkoituksissa, kuten päämoottorina, sähköjärjestelmän tuottajana tai apumoottorina. W32-moottorissa polttoaineena voidaan käyttää sekä raskas- että kevytpolttoöljyä, sen tehoalue on 3 – 9,3 MW. Kyseessä on nelitahtimoottori, joka on välijäähdytetty sekä turboahdettu. /8/



Kuva 2. Wärtsilä 32-moottori /8/

3.3 Wärtsilä 34

W34-moottori on käyttökohteiltaan hyvin samankaltainen kuin W32-moottori (Kuva 3.). W34 mahdollistaa kuitenkin erilaisten polttoaineiden (W34DF. Dual Fuel) käytön verrattuna W32:een. Käytettävät polttoaineet ovat: maakaasu, propani, kevyt- ja raskaspolttoöljy. Sitä on saatavilla sekä rivi- että v-moottorisylinterikonfiguraatiolla, sylinterilukumäärän ollessa 6L-20V.



Kuva 3. Wärtsilä 34DF-moottori /9/

4 MONITOIMIPETIPALKIN KÄYTTÖ JA TOIMINTA

Koeajosellissä käytettävä monitoimipetipalkki on liikuteltava kahden petipalkin muodostama kokonaisuus, jonka päälle koeajettava moottori lasketaan joko joustoelementtien tai sovituslaattojen eli klossien päälle. Aggregaattikokoonpanoa (päämoottori + generaattori) koeajettaessa käytetään joustoelementtejä joiden päällä aggregaattikokoonpano lasketaan palkkien päälle kiinnittämättä sitä erikseen palkkeihin. Päämoottoria koeajettaessa käytetään teräksestä valmistettuja klosseja, jotka tulevat jokaiseen kiinnityskohtaan moottorin ja palkin väliin.

4.1 Monitoimipetipalkin rakenne

Monitoimipetipalkin molemmat palkit kiinnitetään sekä kohdistetaan lattiassa oleviin kiskoihin hydraulisesti kiristettävillä muttereilla ja ohjaavilla tapeilla. Monitoimipetipalkki koostuu kahdesta erillisestä petipalkista, jotka ovat toistensa peilikuvia. Palkit ovat hitsattuja massiivisia teräsrakenteita, joiden tuettu rakenne takaa sen, että palkit kestävät niille asetetun taakan.

Petipalkin rakenteeseen kuuluu etulevy, tukilevyt ja päätylevyt, sivulevyt, pohjalevyt, työtasot ja liikutusmekanismi. Etulevyssä olevat reiät ovat päämoottorin kiinnityskohtia. Etulevyssä oleva ura on valuvia nesteitä varten, tukilevyt takaavat palkille tukevan rakenteen ja sivulevyjen aukot mahdollistavat asennustyön. Tukilevyissä on lisäksi aukot palkin sisällä kulkevaa hydraulikkaputkea varten, joka kiinnitetään tukilevyihin putkikiinnikkeiden avulla.

Petipalkkien ulkoreunoissa on lisäksi työtasot, jotka kääntyvät saranoiden avulla sivulevyä vasten, kun ne eivät ole käytössä. Työtasojen saranat ovat toisesta lehdestä kiinnihitsattuja petipalkin ulkoreunaan. Työtasot ovat tarpeelliset kun palkkien sivuilla liikutaan, jolloin mahdolliset putket ja letkut jäävät työtasojen alle, jolloin riski kaatua lattialla oleviin esteisiin vähenee.

4.2 Liikutusmekanismi

Petipalkkien liike on toteutettu yksinkertaisella rakenteella, jossa petipalkkien molemmissa päissä oleva tanko on kierteytetty, jonka vastakappaleina käytettäville tukilaakereille on petipalkkien pohjassa pieni syvennys. Tanko on kierteytetty siten, että toiseen petipalkkiin yhdistyy myötäkierre ja toiseen vastakierre. Moottorista saatu mekaaninen pyörimisliike muutetaan 90 astetta kulmavaihteen avulla kierretankojen pyörimisliikkeeksi, jolloin petipalkit liikkuvat joko sisään tai ulos. Pyörimisliikkeen suuntaa ja siten petipalkkien liikkeen suuntaa voidaan muuttaa vaihtamalla moottorin suuntaa.

4.3 Toivotut muutokset

Olemassa oleviin petipalkkeihin on tehty pieniä muutoksia koeajo-osastolla sitä mukaa kun puutteita on havaittu. Nämä muutokset ja hyväksi havaitut ominaisuudet toivottiin nyt uuteen monitoimipetipalkkikokonaisuuteen valmiiksi. Lisäksi erityistä huomiota toivottiin kiinnitettävän palkin puhtaanapitoon, työtasoihin ja koeajon aikana syntyvään petipalkin värähtelyyn ja sen siirtymiseen lattiamateriaaleihin/koeajettavaan moottoriin.

Nykyisissä petipalkeissa ei ole paikoitusreikiä Wärtsilä 31-moottorille, joten uusiin piirustuksiin tuli paikoittaa kiinnitysreiät jokaiselle eri kokoluokan W31-moottorille.

Moottoreita koeajettaessa on aina mahdollisuus öljy- tai nestevuodoille, jossa valuvat nesteet/öljyt kertyvät palkin rakenteissa sisälle. Nykyisissä palkeissa valumien puhdistaminen on koettu vaikeaksi ja tähän toivottiin helpotusta. Nykyiset työtasot ovat palkkeihin kiinni hitsatuilla saranoilla liikkuvat. Mahdollisia vaihtoehtoisia ratkaisuja tuli pohtia ja punnita eri vaihtoehtojen käytännöllisyys. Moottoria koeajettaessa tietyillä kierroksilla sen saavuttaessa resonanssitaajuutensa syntyy värähtelyä hetkellisesti, kunnes vaimennus toimii siten, että resonanssitaajuus ylitetään. Tällä hetkellä värähtely syntyy korkeahkoilla kierroksilla, kun sen toivottaisiin tapahtuvan jo pienemmillä kierroksilla.

5 MONITOIMIPETIPALKIN SUUNNITTELU

Yleisesti tekninen suunnitteluprosessi voidaan jaotella vaiheisiin: tekninen vaatimusmäärittely, toimintorakenteen kuvaus, ratkaisuvaihtoehtojen hakeminen ja arviointi, toteutettavan ratkaisun valinta ja kehittäminen sekä tuotteen viimeistely.
/10/

Tässä työssä tekninen vaatimusmäärittely on oletettu tehdyn jo aiemmin, sillä tässä työssä hyödynnetään jo olemassa olevia rakenteita suunnittelussa ja varmistetaan kantokyky. Toimintorakenteen kuvaus käsiteltiin edellisessä luvussa. Eri ratkaisuvaihtoehtoja haettiin puhtaanapitoon, liikutusmekanismiin ja työtasoihin. Valitut ratkaisut on tehty pääasiassa käytännön näkökulmasta.

Suunniteltava petipalkki on hitsattu rakenne, mutta petipalkin tuettu rakenne aiheuttaa sen, että hitsausliitokset eivät ole kriittisiä rakenteen kantavuuden kannalta. Petipalkkia suunniteltaessa tuli kuitenkin ottaa huomioon hitsauksessa tapahtuvien muodonmuutosten ja jännitysten vaikutus kokoonpanon muotoihin ja mittoihin, jotta rakenteesta tulee mahdollisimman kestävä. Suunnittelussa tuli huomioida myös saatavilla olevat materiaalit, sillä kokonaisuus on 10,6 metriä pitkä, mikä aiheuttaa haasteita saatavien materiaalien osalta.

5.1 Hitsauksen vaikutus komponenttien muotoihin/mittoihin ja jännitykset

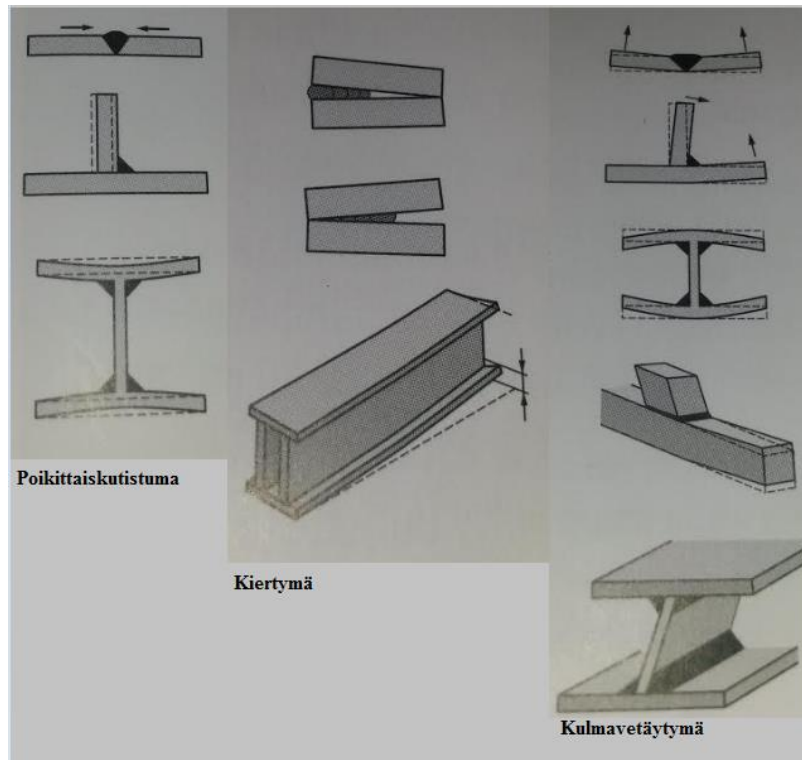
Jo ennen valmistusta kappaleeseen käytettäviä raaka-aineita on työstetty ja käsitelty eri tavoin mikä aiheuttaa materiaaliin sisäisiä jännityksiä. Osa materiaalin valmistuksessa syntyvistä muodonmuutoksista ja jännityksistä voi olla silmin nähtävissä, kuten materiaalin kieroutuminen, taipuminen tai lommahtaminen. Piiloon jäävät vauriot voivat aiheuttaa kestävyuden heikentymisen, joka voidaan havaita vasta kuormituksen alla rakenteen pettäessä.

Hitsattaessa aiheutuvat muodonmuutokset voidaan jakaa pitkittäisten ja poikittaisten jännitysten aiheuttamiin (**Kuva 4-5.**). Poikittaisen jännityksen aiheuttamia muodonmuutoksia ovat poikittaiskutistuma, kiertymä ja kulmavetäytymä. Pitkittäisen

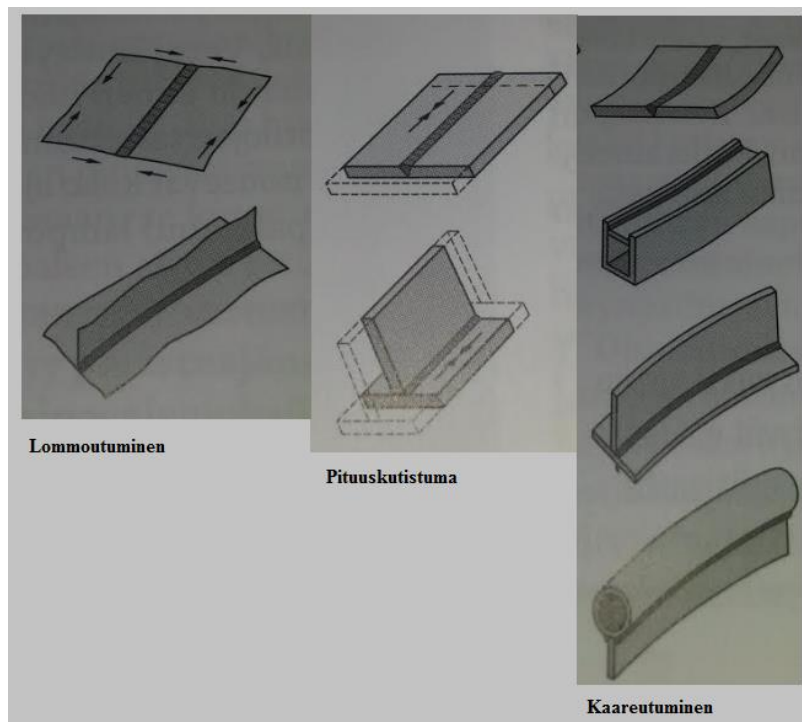
jännityksen aiheuttamia muodonmuutoksia ovat pituuskutistuma, kaareutuminen ja lommoutuminen.

Hitsausjännitysten aiheuttamia muodonmuutoksia voidaan vähentää ja jännitysten vaikutuksia minimoida kun rakenteiden ja valmistusvaiheiden sekä hitsausprosessin suunnittelussa huomioidaan muodonmuutosten ennaltaehkäisy. Muodonmuutoksia voidaan vähentää, esimerkiksi hitsien symmetrisellä sijoittamisella, railo-/hitsipalkovalinnoilla ja hitsin a-mitan ja levyn vahvuuden suhteella. Mitään yleispäteviä ohjeita ei kuitenkaan ole, vaan ennaltaehkäisevät toimenpiteet tulee suunnitella aina rakennekohtaisesti. /11/

Tässä opinnäytetyössä ei oteta kantaa valmistettavan monitoimipetipalkin hitsauksessa syntyviin jännityksiin ja siitä aiheutuviin muodonmuutoksiin, sillä monitoimipetipalkin valmistavalla yrityksellä on laaja kokemuspohja vastaavista rakenteista. Hitsauspiirustuksiin lisätään kuitenkin maininta jännitysten vaikutusten huomioimisesta valmistuksessa. Suunnittelussa on otettu hitsauksessa syntyvien jännitysten muodonmuutokset siltä osin huomioon, että hitsattu rakenne tulee koneistaa tasomaisuusvaatimusten mukaisesti viimeistelyvaiheessa.



Kuva 4. Poikittäisen jännityksen aiheuttamat muutokset /11/



Kuva 5. Pitkittäisen jännityksen aiheuttamat muutokset /11/

5.2 Materiaalien tarve ja saatavuus

Valmistettava petipalkkikokonaisuus on kooltaan sellainen, ettei sen komponenttien valmistaminen yhtenäisenä kappaleena välttämättä ole kustannustehokasta. Teräslevymateriaalin saatavuutta eri kokoluokissa on vertailtu kolmen eri valmistajan välillä kuvassa 6. Tiedot saatavilla olevista teräslevyistä koottiin valmistajien internet-sivujen antamien tuotekatalogien mukaan, on siis huomioitava, että petipalkit valmistavalla yrityksellä voi olla olemassa oleva sopimus jonkun levyvalmistajan kanssa ja saatavilla olevat materiaalit voivat poiketa julkisesti näkyvillä olevista vaihtoehdoista.

Valitut raakamateriaalit vaikuttavat suunnitteluun siltä osin, että komponentit voidaan valmistaa joko yhtenä kappaleena (SSAB:lta saatavalla materiaalilla). Vaihtoehtoisesti komponentit voidaan valmistaa kahdesta kappaleesta, jotka hitsataan yhteen sopivalta kohdin siten, ettei sauma vaikuta komponentin vahvuuteen. /12-14/

Tarvittavat materiaalit						
s355						
Osa	Paksuus	Pituus	Leveys	Kpl		m ²
Pohjalevy	55/60	10600	1350	2		28,62
Etulevy	55/60	10600	400	2		8,48
Sivulevy_sisa	25	10600	790	2		16,75
Sivulevy_ulko	25	10600	845	2		17,91
Tukilevy ja Paatylevy	20	790	920	13 (yht 26)	Huom! Asettelu levyille	9,45

	Levy	kpl	m ²	Hävikki
Kontino - S355K2+N	55/60x2000x6000	4	48	10,9
	25x2000x6000	4	48	13,338
	20x2000x6000	1	12	2,5516
SSAB - Toolox33	55/60x2100x10600	2	44,52	7,42
	25x1680x10600	2	35,616	0,954
	20x1840x5600	1	10,304	0,8556
Tibnor - Multisteel	60x2000x6000	4	48	10,9
	25x2000x6000	4	48	13,338
	20x2000x6000	1	12	2,5516

Kuva 6. Levymateriaalin menekki ja eri valmistajien saatavilla olevat levymateriaalit /12-14/

5.2.1 Komponenttien valmistus kahdesta kappaleesta

Jos komponentit valmistetaan kahdesta kappaleesta, tulee kappaleiden mitat suunnitella siten, että hitsaussauma ei osu kriittiseen kohtaan komponentin rakenteen kannalta. Kriittisiä kohtia ovat reikien kohdat, urat ja tukilevyjen kohdat. Esimerkiksi valmistettaessa komponentit kuvassa 7 nähtävillä tiedoilla varmistutaan siitä, että mikään kriittinen kohta ei osu hitsaussauman kohdalle.

Komponentti	Osa 1	Osa 2	Railomuoto/hitsi
Etulevy	55/60x4700	55/60x5900	X-railo
Pohjalevy	55/60x4800	55/60x5800	X-railo
Sivulevy_sisa	25x5200	25x5400	X-railo/osaviistetty V-railo
Sivulevy_ulko	25x5200	25x5400	X-railo/osaviistetty V-railo

Kuva 7. Osakomponenttien mitat ja suositellut hitsaussaumamat /10/

5.3 Suunnittelun vaiheet

Monitoimipetipalkkia lähdettiin suunnittelemaan jo olemassa olevien petipalkkien pohjalta. Kantavuuden kannalta kriittisiin rakenteisiin puututtiin vain tukilevyjen kohdalla, joihin toivottiin suurempaa aukkoa työskentelyn helpottamiseksi. Olemassa olevista petipalkeista oli olemassa vain koneistuspiirustus, josta löytyivät osa kriittisistä mitoista. Muutoin halutut mitat saatiin mittaamalla olemassa olevia petipalkkeja.

Suunnittelussa käytettiin Siemens NX 10.0 -ohjelmistoa. Monitoimipetipalkin suunnittelu on toteutettu Top-Down-menetelmällä luomalla kokoonpanomalli, johon kokoonpanon komponentit on valmiiksi paikoitettu ja luodusta luurankomallista on kuhunkin komponenttiin kopioitu halutut muodot ja ominaisuudet. Petipalkit ovat toistensa peilikuvia, joten peilikuvaominaisuutta on hyödynnetty luurankomallia luotaessa.

Jokaisesta komponentista on tehty aluksi 3D-mallit, joiden pohjalta on tehty osapiirustukset. Kokoonpanosta on tehty koneistuspiirustus, kokoonpanopiirustus ja hitsauspiirustus. Liitteessä 1 on koottuna kaikki 3D-mallit ja piirustukset. Kaikki 3D-mallit ja tehdyt piirustukset on toimitettu tilaajaosapuolelle sähköisessä muodossa.

5.4 Puhtaanapidon huomioiminen

Erityishuomiota suunnittelussa kiinnitettiin palkkien puhtaanapitoon. Vaihtoehtoisia ratkaisuja valuvien nesteiden poistoon löytyi useampia, jotka kaikki sisälsivät pohjalevyyn tehtäviä uria, eri vaihtoehdoissa urat suuntautuvat palkissa eri suuntiin. Lopulta vaihtoehtoja esiteltiin kaksi, joista vaihtoehto A valikoitui tilaajan puolelta käyttökelpoisemmaksi vaihtoehdoksi.

Vaihtoehto A:ssa urat sijoittuvat pohjalevyyn poikittain, niitä tehdään pohjalevyyn metrin välein ja myös ulompaan sivulevyyn tehdään pieni lovi alareunaan, jolloin valuvat nesteet pääsevät hyvin valumaan kouruun. Kouru joko hitsataan tai kiinnitetään ruuvikiinnikkein (vaatii kierteiden tekemisen pohjalevyyn) pohjalevyn reunaan keräämään valuvat nesteet. Kourun kiinnitystapaa petipalkkiin valittaessa tulee huomioida, että ohutta pitkää levyä hitsatessa se kaartuu helposti. Jos kourut kiinnitetään ruuvikiinnikkeillä, tällöin kourun ja petipalkin reunaan tulee lisätä tiivistemassaa, joka estää valuvia nesteitä menemästä kourun ja petipalkin raosta. Ruuvikiinnikkeillä kiinnitetty kouru on irrotettavissa helpommin kuin kiinni hitsattu kouru.

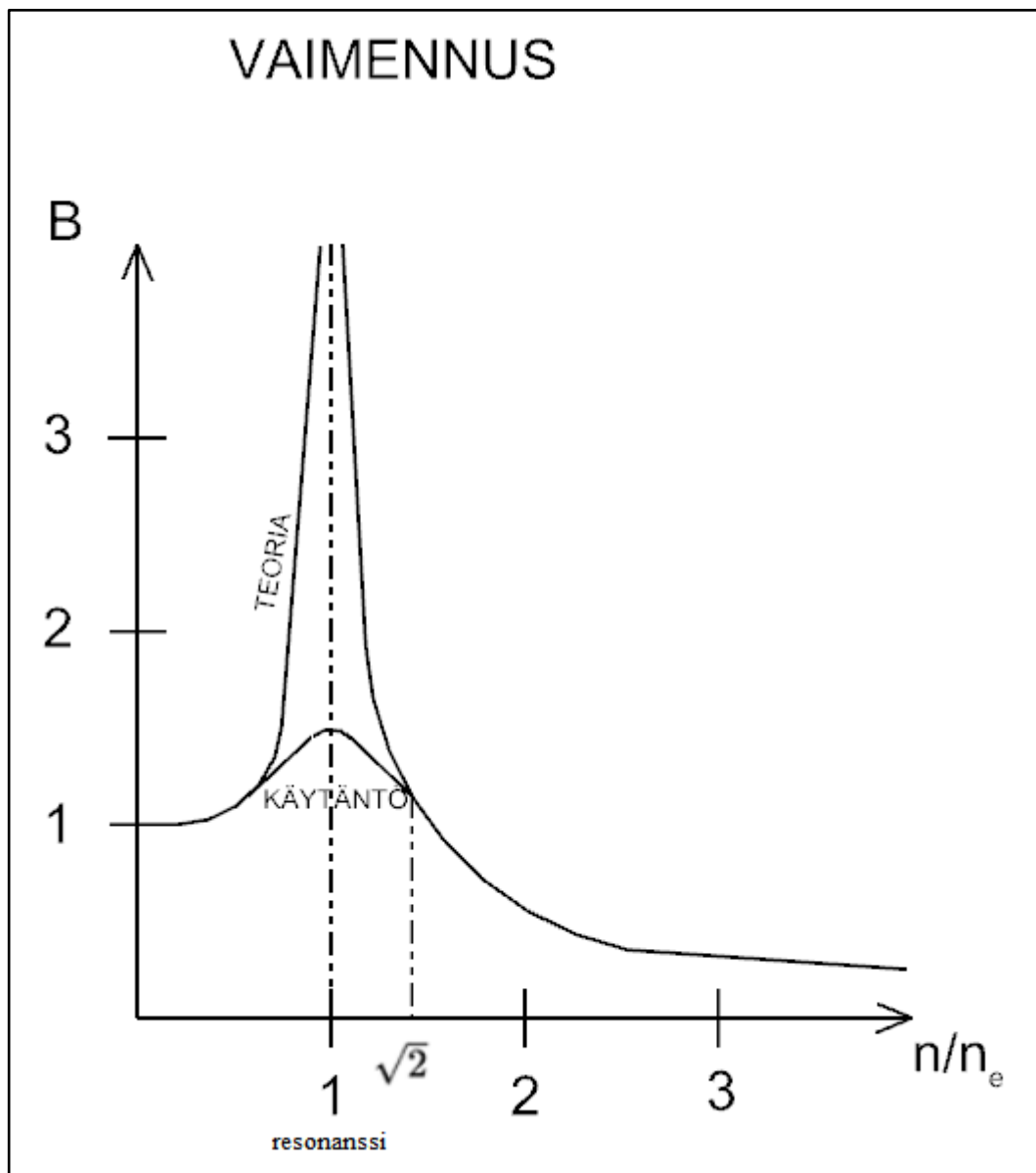
Vaihtoehto B:ssä urat sijoittuvat pohjalevyyn pitkittäin, tällöin myös tukilevyihin sekä päätylevyihin tulee tehdä lovet urien kohtaan. Valuvat nesteet ohjataan koko pohjalevyn pituudelta päihin sijoitettuihin kouruihin, jotka kiinnitetään pohjalevyyn joko hitsaamalla tai ruuvikiinnikkein (vaatii kierteiden tekemisen) pohjalevyn päihin.

5.5 Tukilevyyn tehdyt muutokset

Olemassa olevissa petipalkeissa tukilevyissä on kulmissa halkiot osien yhteensopivuuden helpottamiseksi, lisäksi alaosassa oleva pyöreä aukko on hydraulikkalinjastoa varten. Tukilevyihin tehtiin kooltaan suurempi halkio etulevyn kiinnitysreikien kohtaan, jotta moottorin kiinnitys helpottuu ja kiinnitysmutteri sekä kiinnitystyyökälu mahtuvat ahtaaseen tilaan paremmin. Uudessa mallissa halkion kokoa on kasvatettu 100 mm:llä, uudessa mallissa halkion ollessa 150 mm x 150 mm.

5.6 Värähtelyn vaimentaminen

Monitoimipetipalkki ja siihen kiinnitetty tai sen päälle laskettu moottori ovat yhtä rakennetta kun ajatellaan kokonaisuutta värähtelyn kannalta. Moottorin pyöriessä syntyvät värähtelyt siirtyvät monitoimipetipalkkiin ja siirtyvien värähtelyjen B suuruus on verrannollinen monitoimipetipalkkien ominaisvärähdysluvun n_e ja pyörimisnopeuden n suhteeseen (**Kuva 8**). Siirtyvät värähtelyt kasvavat teoriassa eksponentiaalisesti kunnes resonanssitaajuus on saavutettu, käytännössä kuitenkin rakenteen sisäisen vaimennuksen johdosta siirtyvien värähtelyjen käyrä seuraa kuvan 8 mukaista käyrää. Värähtelyn vaimennus alkaa kun n/n_e -suhteessa saavutetaan $\sqrt{2} = 1,41$.



Kuva 8. Vaimennusta havainnollistava kuvaaja

Siirtyvien värinöiden vaimennus on monimutkainen ilmiö, missä yleisimmin pyritään vaikuttamaan rakenteen joustavuuteen. Monitoimipetipalkissa rakenteen joustavuuteen lattian suhteen voidaan vaikuttaa lattian ja monitoimipetipalkin kiinnityskohdissa. Kun kiinnityskohtiin lisätään ohjaavien tappien tilalle hydraulisesti kiinnitettävät mutterit, saadaan mahdollisesti siirtyviä värinöitä vähennettyä.

6 KANTAVUUDEN MÄÄRITTELY YKSINKERTAISTUSTI

Petipalkki on jäykkä rakenne ja on olemassa sääntö, jonka mukaan jäykän kappa-
leen ollessa tasapainossa pitävät kaikki siihen vaikuttavat voimat toisensa tasapai-
nossa. /15/ Petipalkkien kantavuutta tässä työssä on käsitelty hyvin karkeasti yksin-
kertaistaen puristusjännityksen, leikkausjännityksen ja laattateorian näkökulmasta.
Materiaalina oletetaan käytettävän yleisesti käytettyä rakenneterästä S355.

6.1 Puristusjännitys

Puristusjännitystä tarkastellaan ottamalla karkeasti petipalkista tukilevyyn kohdis-
tuva puristusjännitys. Yhteen petipalkkiin kohdistuu maksimissaan 120 000 kg
paino ja kiinnityskohtia on minimissään 7. Moottorin ja palkin väliin tuleva klossi
on 200x200 kokoinen, joten painon ajatellaan jakautuvan tasaisesti tuolle 200 mm:n
matkalle. Tukilevy kantaa 112 mm:n matkalta ja se on 20 mm vahva, kun sivulevyt
ovat 25 mm:n vahvuisia.

Puristusjännitys lasketaan vaikuttavan voiman ja pinta-alan suhteena:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ jossa} \quad \sigma = \text{puristusjännitys} \quad (1)$$

F = voima

A = pinta-ala.

Voima F lasketaan maan vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden avulla seuraavasti
kaavalla:

$$F = ma, \text{ jossa} \quad F = \text{voima} \quad (2)$$

m = massa

a = kiihtyvyys. /16/

Tässä tapauksessa puristusjännitykseksi saadaan:

$$\sigma = \frac{\frac{120\,000\text{ kg}}{7} \times 9,81\text{ m/s}^2}{(25 \times 200)\text{mm}^2 + (20 \times 112)\text{mm}^2 + (25 \times 100)\text{mm}^2} \approx 17,3\text{ N/mm}^2$$

6.2 Leikkausjännitys

Leikkausjännitystä tarkastellaan karkeasti ajattelemalla tilannetta, jossa moottorin kiinnityskohta osuisi kahden tukilevyn välille, jolloin klossi yrittää leikkautua etulevyn läpi siihen vaikuttavan voiman johdosta (etulevyn vahvuus 55 mm).

Leikkausjännitys lasketaan seuraavasti maan vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden avulla:

$$\tau = \frac{F}{A}, \text{ jossa } \quad \tau = \text{leikkausjännitys} \quad (3)$$

F = voima

A = pinta-ala. /16/

Tässä tapauksessa leikkausjännitykseksi saadaan:

$$\tau = \frac{\frac{120\,000\text{ kg}}{7} \times 9,81\text{ m/s}^2}{2 \times 200\text{ mm} \times 55\text{ mm}} \approx 7,7\text{ N/mm}^2$$

6.3 Laattateoria

Kuormitusta tarkasteltaessa tulisi löytää suurin rasiutilanne, tästä syystä taivutusjännitystä tarkastellaan laattateorian kannalta. Laattateoriaa voidaan soveltaa kun tasolevyä kuormitetaan kohtisuorasti laatan tasoa vastaan. Kuormitus aiheuttaa laatan keskitason taipumista. Laskennassa hyödynnetään suppeumakerrointa eli Poissonin lukua, joka kuvaa jännitystä vastaan kohtisuoraan syntyvää suppeumaa. Teräksen Poissonin luku on 0,281.

Tässä tarkastellaan yksinkertaistettua tilannetta ja laatta ajatellaan pyöreänä ($\varnothing 200$ mm ja jakautuu $\varnothing 400$ mm) , jolloin levyyn aiheutuva kuormitus voidaan laskea seuraavasti:

$$\sigma_{tmax} = \left[4(1 + \nu) \ln \frac{a}{b} + \frac{4a^2 - (1-\nu)b^2}{a^2} \right] \frac{3b^2 p}{8h^2}, \text{ jossa} \quad (4)$$

σ_{tmax} = jännitys

ν = Poissonin luku

a = suurempi säde (nyt 200 mm)

b = pienempi säde (nyt 100 mm)

h = laatan paksuus (nyt 55 mm)

p = pintapaine /16 - 17/

Pintapaine p , lasketaan seuraavasti:

$$p = \frac{F}{A}, \text{ jossa} \quad F = \text{voima} \quad (5)$$

A = pinta-ala.

Pinta-ala A , lasketaan seuraavasti:

$$A = \pi r^2, \text{ jossa} \quad r = \text{säde.} \quad (6)$$

Tässä tapauksessa taivutusjännitykseksi saadaan:

$$\sigma_{tmax} = \left[4(1 + 0,281) \ln \frac{200}{100} + \frac{4 \times 200^2 - (1 - 0,281)100^2}{200^2} \right] \frac{3 \times 100^2 \frac{120\,000 \text{ kg}}{7} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{8 \times 55^2}$$

$$\approx 48,9 \text{ N/mm}^2$$

6.4 Kantokyky

Edellä on saatu seuraavat vaikuttavat jännitykset karkeasti yksinkertaisten laskien:

$$\text{Puristusjännitys } \sigma = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Leikkausjännitys } \tau = 7,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Taivutusjännitys } \sigma_{\text{tmax}} = 48,9 \text{ N/mm}^2.$$

Teräkselle sallittu jännitys σ_{sall} voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma_{\text{sall}} = \frac{R_e}{n}, \text{ jossa } \quad R_e = \text{teräksen myötöraja (S355/355 N/mm}^2) \quad (7)$$

$$n = \text{varmuuskerroin.}$$

$$\sigma_{\text{sall}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,5} \approx 237 \text{ N/mm}^2.$$

Leikkausjännitykselle sallittu τ_{sall} suuruus on:

$$\tau_{\text{sall}} = 0,6 \times \sigma_{\text{sall}} = 0,6 \times 237 \text{ N/mm}^2 = 142,2 \text{ N/mm}^2.$$

Yksinkertaistetuissa laskuissa on pyritty laskemaan mahdollisimman suurilla jo-kuormilla ja rasituksilla, joten näiden yksinkertaistettujen laskujen perusteella voidaan sanoa monitoimipetipalkin kestävänsä sille asetetut kantokykyvaatimukset. Johdospäätöksenä näiden laskujen perusteella voisi miettiä olisiko petipalkit mahdollista tehdä ohuemmista teräslevyistä. Täytyy kuitenkin aina huomioida petipalkkiin kohdistuvat muut rasitukset, kuten värinä, kun rakennetta lähdetään heikentämään teräslevyjen paksuuksia alentamalla. Lisäksi monitoimipetipalkki on pitkäikäinen rakenne, jonka odotetaan kestävänsä käyttökohteessaan kymmeniä vuosia. Mitä suuremmilla varmuuskertoimilla teräslevyt valitaan, sitä paremmin se kestäää käyttöä ja siihen kohdistuvia rasituksia.

7 LIIKUTUSMEKANISMI JA TYÖTASOT

Työn tilaaja toivoi myös petipalkkien liikutusmekanismin vaihtoehtojen kartoitusta nykyisestä. Liikutusmekanismin tulee olla tarkka, kestävä ja kustannustehokas. Nämä kaikki ominaisuudet täytyvät nykyisessä liikutusmekanismimallissa.

Monitoimipetipalkissa on myös työtasot, jotka helpottavat liikkumista ja asennustyötä koeajettavaa moottoria käsiteltäessä. Työtason tila on rajallinen, eikä se voi sisältää monimutkaisia rakenteita ja mekanismeja. Nykyiset työtasot ovat sarana-toiminnoilla, jolloin ne voidaan kääntää petipalkkia vasten kun niitä ei käytetä.

7.1 Liikutusmekanismin vaihtoehtoinen ratkaisu

Koeajosellin käyttöolosuhteet asettavat liikutusmekanismille haasteita: liikutettava kokonaisuus on raskas, rasitus liikutusmekanisiin on suuri ja tila rajattu. Hydraulinen liikutusmekanismi on mahdollinen ratkaisu liikutusmekanismiksi sillä hydraulisilla järjestelmillä saadaan aikaan suuria voimia ja momentteja, joita tarvitaan kun liikutetaan raskaita petipalkkeja. Lisäksi nopeuden, momentin sekä voiman pehmeä säätö on kohtuullisen helppo toteuttaa. /18/

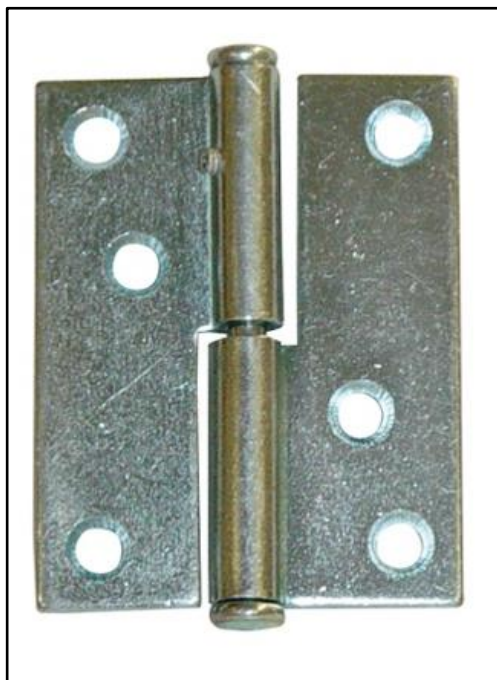
Petipalkkeja liikutettaessa tarvitaan suuri tilavuusvirta ja paine hydraulikkakoneikosta, koeajossa on valmiina mahdollisuus tuottaa tarvittava paine hydrauliseen järjestelmään. Hydraulisessa liikuntamekanismissa liikkuvia sylintereitä tarvitaan useampia, joiden yhtäaikainen liike on erittäin vaikea toteuttaa. Lisäksi järjestelmän toteuttaminen tulisi kalliiksi, sillä järjestelmän toteuttaminen vaatii sellaisia erikoisosa, joiden yksittäishinnat nostavat kokonaiskustannukset suuriksi.

Nykyiseen liikuntamekanismin verrattuna hydraulikkajärjestelmä ei yllä samalle tasolle liikkeen tarkkuudessa, sylinterien yhtäaikaisen liikkeen aikaansaamisen vaikeuden vuoksi, kun taas kiertetyt tangot liikkuvat tarkasti samanaikaisesti kulmavaihteen avulla. Hydraulinen järjestelmä on myös vikaherkempi, sillä hydrauliset järjestelmät vuotavat aina sekä sylinterien liikkeen epätasaisuus voi aiheuttaa petipalkkien jumiutumista.

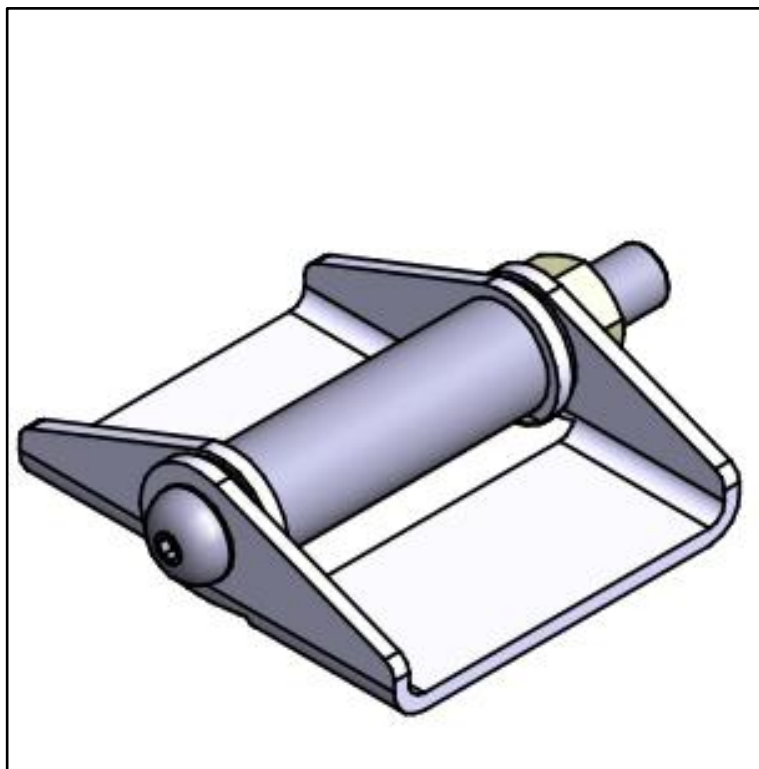
Koska nykyinen liikutusmekanismi on todettu käytössä toimivaksi ja vaatimukset täyttäväksi, on riskialtista lähteä vaihtamaan sitä jo ennalta ongelmallisia kohtia sisältävään järjestelmään. Aina uutta rakennetta tai järjestelmää käyttöönotettaessa löytyy haasteita joihin ei ennalta ole osattu varautua, siitäkin syystä hyväksi havaittu muissa koeajoselleissä käytössä oleva liikuntamekanismi olisi varmempi ottaa käyttöön myös uudistettavassa koeajosellissä.

7.2 Työtasot

Jo käytössä olevissa monitoimipetipalkeissa olevat työtasot on todettu toimiviksi ratkaisuiksi, ainoastaan saranat olivat sellaiset, että työtaso saattaa pudota saranasta pois paikoiltaan (**Kuva 9**). Saranat voidaan vaihtaa hieman erilaisiin, jolloin edellä mainittu ongelma poistuu, kun työtaso ei voi pudota saranasta paikoiltaan ruuvi-kiinnityksen estäessä sen (**Kuva 10**). Muutoin työtason rakenne säilyy samana: ta-sona ritilä ja tukirakenne sekä jalat neliöputkesta.



Kuva 9. Vanhanmallinen sarana



Kuva 10. Uudenmallinen sarana: hitsattava sarana /19/

Työtasoja tulee monitoimipetipalkin molemmin puolin 4 ja ne hitsataan saranan toisesta lehdestä monitoimipetipalkin kylkeen. Työtasoon on valittu ritilä tasoksi, sillä se ehkäisee liukastumisia, koska sen pintaan ei jää epäpuhtaudet (öljy ja muut epäpuhtaudet), kuten kiinteään tasoon jäisi.

Työtaso voidaan valmistaa ritilälevystä ja markkinoilla olevista valmiista neliöputkista hitsaamalla. Tukilevyjä tulee olla riittävä määrä, jotta taso kestää päällä kävelyn.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tärkein tavoite oli saada monitoimipetipalkin valmistukseen tarvittavat piirustukset tehtyä, jotta työn tilaaja voi teettää tarvitsemansa monitoimipetipalkin. Piirustukset saatiin valmiiksi aikataulussa, joten tärkein tavoite työn suhteen saavutettiin. Tehdyt kantavuuslaskelmat herättivät kuitenkin kysymyksiä siitä voisiko petipalkit valmistaa ohuemmista teräslevyistä kustannusten pienentämiseksi. Ohuemat teräslevyt olisivat jo itsessään edullisempia, lisäksi koneistuskustannukset ja hitsauskustannukset pienenisivät. Kantavuuslaskelmat ovat kuitenkin hyvin karkeita ja yksinkertaistettuja, joten pelkästään niiden pohjalta en suosittelisi ohuempiin teräslevyihin siirtymisessä, sillä monitoimipetipalkin rasitukset ovat suuria ja niiden käyttöikä pitkä, parempi valmistaa ylimitoitetuilla lujuuksilla, jotta haluttu kestävyys ja käyttöikä saavutetaan varmasti.

Työn asettelussa ohjeistettiin myös miettimään erilaisia ratkaisuja monitoimipetipalkkien puhtaanapidon kannalta. Tähän löytyi kaksi eri vaihtoehtoa joista toiseen päädyttiin käytännöllisyyden perusteella, sillä epäpuhtauksien on parempi poistua petipalkin sisäosista lyhintä mahdollista reittiä. Liikutusmekanismille ja työtasolle tuli myös miettiä vaihtoehtoisia ratkaisuja, mietinnän pohjalta tulin kuitenkin siihen päätökseen, että jo olemassa olevat ratkaisut ovat yksinkertaisia, toimivia ja hyväksi havaittuja, joita en lähtisi muuttamaan. Liikutusmekanismin muuttaminen altistaisi mahdollisille ongelmille siirryttäessä hydrauliseen, joten en näe järkevänä vaihtaa erittäin tarkaksi ja kestäväksi ratkaisuksi havaittua nykyistä liikutusmekanismia. Työtasoihin etsin vain erilaiset saranat, jotta havaittu ongelma työtason tippumisista saranoilta saataisiin poistettua. Muutoin työtason ritilämäinen taso ja hitsattu tukirakenne oli toimiva turvallisuuden ja käytön kannalta, jota en nähnyt tarpeelliseksi muuttaa.

Työ oli mielestäni monipuolinen, haasteellinen ja laaja. Opin mallinnuksesta, erilaisista mallinnustavoista (Top-Down/Bottom-Up) paljon tämän työn aikana, sillä mallinsin petipalkit molemmilla tavoilla todeten Top-Downin toimivammaksi tä-

hän työhön. Valmistuspiirustuksia tehdessä jouduin tutustumaan erilaisiin merkin-tätapoihin ja valmistusmekanismeihin. Tällaista isoa kokonaisuutta valmistettaessa täytyi tarkasti miettiä missä järjestyksessä mikäkin valmistusvaihe tapahtuu. Lujuuslaskelmat olivat tällä kertaa hyvin yksinkertaistetut, mutta niiden tekeminen kasvatti ymmärrystä tällaisten rakenteiden suunnittelun vaikeuden kantavuuden näkökulmasta.

Kaiken kaikkiaan olen tyytyväinen tekemääni työhön, asetetut tavoitteet saavutettiin aikataulun mukaisesti ja petipalkit voidaan valmistaa piirustuksieni pohjalta. Näin jälkikäteen ajateltuna olisin voinut kuitenkin mallinnusta aloittaessani suunnitella paremmin kaikki linkitettävät mitat ja vaadittavat muodot sekä lopputulokseen pääsemiseen vaaditut piirustukset. Huolellisemmalla alkuvaiheen suunnittelulla olisin säästynyt monelta korjaustoimenpiteeltä, joita jouduin malleihin ja piirustuksiin tekemään matkan varrella. Haastetta työhön osaltaan aiheutti myös se, ettei monitoimipetipalkki käyttökohteineen ollut itselleni tuttu etukäteen. Lähdin tähän työhön siis ilman käytännön kokemusta siitä miten ja miksi suunnittelemaani rakennetta käytetään. Monitoimipetipalkin käyttö ja rakenne tulivat kuitenkin hyvin perusteellisesti tutuksi työn edetessä. Mielestäni koeajosellin työturvallisuusasioihin olisi hyvä kiinnittää myös tulevaisuudessa huomiota ja miettiä olisiko olemassa ratkaisuja, joilla työntekijöiden työturvallisuutta voitaisiin parantaa.

LÄHTEET

- /1/ Tietoa Wärtsilästä, Wärtsilä lyhyesti. Viitattu 14.2.2017. <http://www.wartsila.com/fi/wartsila>
- /2/ Wärtsilän historia. Viitattu 8.3.2017. <http://www.wartsila.com/fi/wartsila/historia>
- /3/ Tämä on Wärtsilä, Marine Solutions–liiketoimintaympäristö. Viitattu 8.3.2017. <http://www.warsilareports.com/fi-FI/2016/ar/tama-on-wartsila/marine-solutions/liiketoimintaymparisto/>
- /4/ Tämä on Wärtsilä, Energy Solutions-liiketoiminnan strategia. Viitattu 8.3.2017. <http://www.warsilareports.com/fi-FI/2016/ar/tama-on-wartsila/energy-solutions/strategia/>
- /5/ Tämä on Wärtsilä, Services-liiketoimintaympäristö. Viitattu 8.3.2017. <http://www.warsilareports.com/fi-FI/2016/ar/tama-on-wartsila/services/liiketoimintaymparisto/>
- /6/ Haanpää, H. 2016. Wärtsilä koeajon työohjeiden päivitys. Viitattu 8.3.2017. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016061012649>
- /7/ Wärtsilä 31-esite. Viitattu 8.3.2017. <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-31df>
- /8/ Wärtsilä 32-esite. Viitattu 8.3.2017. <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32>
- /9/ Wärtsilä 34-esite. Viitattu 8.3.2017. <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-34df>
- /10/ Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo. Kirpe Oy.
- /11/ Lepola, P. & Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. 1. painos. Helsinki. Sanoma Pro.
- /12/ Kontino, kuumavalssatut levyt S355K2+N. Viitattu 14.3.2017. <http://www.kontino.fi/varastotuotteet/>
- /13/ SSAB, Toolox 33, mittavalikoima. Viitattu 14.3.2017. <http://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/toolox/tuotteet/toolox-33>
- /14/ Tibnor, materiaalikatalogi. Viitattu 14.3.2017. <http://www.tibnor.fi/Terakset-ja-metallit-teollisuuden-tarpeisiin/Materiaalit>

/15/ Niemi, E. & Kemppi, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki. Painatuskeskus.

/16/ Ylinen, A. 1965. Kimmo- ja lujuusoppi 1. 2. painos. Porvoo. Werner Söderström Oy.

/17/ Ylinen, A. 1970. Kimmo- ja lujuusoppi 2. 2. painos. Porvoo. Werner Söderström Oy.

/18/ Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2010. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1.-2. Painos. Helsinki. WSOYpro Oy.

/19/ Tampereen erikoissarana, Hitsattava sarana. Viitattu 21.3.2017.
http://www.tampereenerikoissarana.fi/images/028_Data.png

LIITE 1

LUETTELO 3D-MALLEISTA JA PIIRUSTUKSISTA

Luettelo sisältää kaikki mallinnetut osat, kokoonpanot ja niiden pohjalta tehdyt 2D-valmistuspiirustukset:

- Monitoimipetipalkki_kokoonpano_A
 - Kokoonpano, jossa kaikki komponentit
 - Monitoimipetipalkki_kokoonpano_A_dwg1 (kokoonpanopiirustus)
- Monitoimipetipalkki_A
 - Kokoonpano, jossa hitsattavat komponentit
 - Monitoimipetipalkki_A_dwg1 (koneistuspiirustus)
 - Monitoimipetipalkki_A_hitsaus_dwg1 (hitsauspiirustus)
- A_Kouru
 - A_Kouru_dwg1 (osapiirustus)
- Etulevy_oikea ja Etulevy_vasen
 - Etulevy_aihio
 - Etulevy_aihio_dwg1 (osapiirustus)
- Paatylevy_A
 - Paatylevy_dwg1 (osapiirustus)
- Pohjalevy_oikea_A
 - Pohjalevy_aihio
 - Pohjalevy_aihio_dwg1 (osapiirustus)
 - Pohjalevy_oikea_A_dwg1 (osapiirustus)
- Pohjalevy_vasen_A
 - Pohjalevy_aihio
 - Pohjalevy_aihio_dwg1 (osapiirustus)
 - Pohjalevy_vas_A_dwg1 (osapiirustus)
- Sivulevy_sisa
 - Sivulevy_sisa_dwg1 (osapiirustus)
- Sivulevy_ulko_A
 - Sivulevy_ulko_A_dwg1 (osapiirustus)
- Tukilevy_A
 - Tukilevy_A_dwg1 (osapiirustus)
- KP_Tyotaso
 - Työtason kokoonpano
 - Jalka
 - Sarana
 - Taso
 - Vaakatuki_lyhyt

- Vaakatuki_pitka
- KP_Tyotaso_dwg1 (Kokoonpanopiirustus)
- Putkikiinnike_KP
 - Putkikiinnikkeen kokoonpano
 - M4_ruuvi
 - Putkikiinnike_ala
 - Putkikiinnike_yla
- Petipalkit_kokoonpano_B
 - B-vaihtoehdon kokoonpano, vain 3D-mallit
 - Petipalkki_oikea_B
 - Pohjalevy_oikea_B
 - Sivulevy_sisa
 - Sivulevy_ulko_oikea_B
 - Etulevy_oikea
 - Paatylevy_B
 - Tukilevy_B
 - Putkikiinnike_KP
 - Kouru_B
 - Petipalkki_vasen_B
 - Pohjalevy_vasen_B
 - Sivulevy_sisa
 - Sivulevy_ulko_vasen_B
 - Etulevy_vasen
 - Paatylevy_B
 - Tukilevy_B
 - Putkikiinnike_KP
 - Kouru_B