

Aki Ahosola

**KAMPIAKSELIN ASENTAMINEN WÄRTSILÄN
PÄÄKOKOONPANOSSA**

KAMPIAKSELIN ASENTAMINEN WÄRTSILÄN PÄÄKOKOONPANOSSA

Aki Ahosola
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Aki Ahosola
Opinnäytetyön nimi: Kampiakselin asentaminen Wärtsilän pääkokoontalon
Työn ohjaaja: Timo Väyrynen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016
Sivumäärä: 63 + 3 liitettä

Työssä suunniteltiin SolidWorks-ohjelmalla runkolaakerisatulan laakerinpalanpidiketyökalu ja kampiakselin ohjauspalat Wärtsilän kokoonpanolinjalle W32. Työkaluilla haluttiin parannusta kokoonpanolinjan ensimmäisen asennusvaiheen työturvallisuuteen ja laatuun Lean-ajatusmallia käyttäen.

Työkalujen suunnittelutyö toteutettiin selvittämällä aluksi kokoonpanolinjalla valmistettavien moottoreiden mittoja. Selvitettyillä mitoilla voitiin vaikuttaa siihen, että suunnitellut työkalut sopivat kaikkiin moottorimalleihin, joita linjalla valmistetaan. Kokoonpanolinjalla työskentelevät asentajat toivoivat työkalujen olevan yksinkertaisia ja helppoja käsitellä.

Suunnitellut työkalut olivat rakenteeltaan yksinkertaisia. Luonnokset työkaluista syntyivät nopeasti. Työkalujen suunnittelussa hyödynnettiin useiden ammattilaisten ja yritysten antamia neuvoja. Kampiakselin ohjauspaloista tehtiin useita erilaisia 3D-malleja, jotka muuttuivat nopeasti työn edetessä valmistusmenetelmien asettamien rajoitteiden seurauksena. Ohjauspaloista kysyttiin tarjouksia useilta yrityksiltä ja samalla tiedusteltiin ohjauspalojen mahdollisia valmistusmenetelmiä. Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidike suunniteltiin asentajien esittämien nauha- ja naru ideoiden pohjalta. Laakerinpalanpidikkeestä tehtiin 3D-tulostuksella kaksi protoversiota, joista ensimmäistä koekäytettiin kokoonpanolinjalla. Toiseen protoversioon tehtiin teknisiä parannuksia ensimmäisen protoversion pohjalta.

Työn tuloksena saatiin toimiva runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen protoversio, jonka pohjalta tehdään virallinen työkalu Wärtsilän kokoonpanotehtaalte. Kokoonpanolinjalla työskentelevät asentajat olivat tyytyväisiä laakerinpalanpidikkeen protoversion toimivuuteen. Työn tuloksena saatiin selvitettyä myös kampiakselin ohjauspalojen eri valmistusmenetelmiä ja hintaluokka ohjauspalojen valmistukselle. Ohjauspalojen hintaluokka on vielä liian korkea eikä ohjauspaloja tilattu opinnäytetyön aikana.

Asiasanat: Lean-ajattelu, työturvallisuus, laatu, 3D-mallinnus, 3D-tulostus

ALKULAUSE

Haluan kiittää kaikkia Wärtsilä Finland Oy:n työntekijöitä, jotka auttoivat minua opinnäytetyöni tekemisessä. Erityisesti haluan kiittää kokoonpanolinjan verstaapäällikköä Marko Viertokangasta, joka tarjosi minulle mahdollisuuden tehdä tämän opinnäytetyön. Haluan kiittää suuresti myös prosessin kehittäjää ja työpaikkaohjaajaani Håkan Ahlsvedia, joka opasti ja neuvoi minua työni tekemisessä.

Kiitos kuuluu myös ohjaavalle opettajalle lehtori Timo Väyryselle, joka ohjasi minua työni sisällössä ja antoi hyviä neuvoja työkalujen suunnittelussa. Suurin kiitos kuuluu kuitenkin kaikille perheeni jäsenille ja läheisille, jotka olivat tukena koko projektin ajan ja mahdollistivat tämän työn tekemisen.

Vaasassa 27.4.2016

Aki Ahosola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 WÄRTSILÄ OYJ ABP	8
2.1 Wärtsilän historia	9
2.2 Wärtsilä Finland Oy, Vaasa	10
2.3 Pääkokoonpanolinja W32, Vaasa	11
2.3.1 Wärtsilä 32 -moottori	13
2.3.2 Wärtsilä 34 -moottori	14
3 ASENNUSTYÖN KEHITYSKOhteet W32-LINJALLE	15
4 TUOTEKOKOONPANO	19
4.1 Kokoonpanolinja	20
4.2 Manuaalinen kokoonpano	21
4.3 Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen	21
5 LEAN	25
5.1 Leanin työturvallisuus ja ergonomia	26
5.2 Lean ja laadunvarmistus	27
5.3 Wärtsilä LEAN	27
5.4 Wärtsilän työterveys- ja turvallisuus	28
6 TUOTEKEHITYS	31
7 KAMPIAKSELIN OHJAUSPALAT	34
7.1 Mitoitus	34
7.2 Materiaali	36
7.3 Valmistusmenetelmien kartoitus	38
7.4 Kampiakselin ohjauspalojen suunnittelun tulos	41
7.5 Kampiakselin ohjauspalojen vaihtoehtoinen valmistus menetelmä	42
8 RUNKOLAAKERISATULAN LAAKERINPALANPIDIKE	45
8.1 Nauha	46

8.2 Jousi	46
8.3 Akseli	47
8.4 Runko	48
8.5 Nostorauta	49
8.6 Proto	50
8.7 Koekäyttö ja korjaavat toimenpiteet	51
8.8 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen osat	53
8.9 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen jatkokehitys	55
8.10 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen käyttöönotto	56
9 YHTEENVETO	58
LÄHTEET	61
LIITTEET	
Liite 1 Tekniset muovit ominaisuusluettelo	
Liite 2 Spiraalijousiluettelo	
Liite 3 Nauhan tekniset tiedot	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Wärtsilä Finland Oy:lle Vaasan kokoonpanotehtaalle. Työssä suunnitellaan kokoonpanolinjalle kaksi työkalua, runkolaakerisatulan *laakerinpalanpidin* ja kampiakselin asennuksessa käytettävät *ohjainpalat*. Työkaluilla haluttiin kehittää kokoonpanovaiheen työturvallisuutta ja laatua Lean-ajattelumallin mukaan.

Moottoreiden runkolaakerisatulan laakerinpaloja joudutaan pitämään satulassa paikoillaan käsin. Vaarana on, että laakeripala irtoaa epähuomiossa satulasta siirtelyn aikana ja aiheuttaa laadullisia vahinkoja tai työtapaturman. Vaarana on myös sormien litistyminen satulan asennuksen aikana satulan ja kampiakselin väliin. Työvaiheeseen on jo aikaisemmin suunniteltu pidintyökalu, mutta työkalussa ilmeni käytettävyysoongelmia.

Asennuksen aikana moottorin kampiakselin lohkon runkolaakerisatuloiden kiinnitysvaarnojen päälle asennetaan muoviset suojaputket. Suojaputket suojaavat kampiakselia vain mahdollisilta kolhuilta. Suojaputket eivät anna keskitävää ohjausta kampiakselille ja kampiakselin lasku on siksi hidasta. Muoviputkien tilalle haluttiin suunnitella ohjaavat kappaleet akselin laskua helpottamaan.

Työkalut on suunniteltu sopimaan kaikkiin linjalla valmistettaviin Wärtsilän 32- ja 34-moottorimalleihin. Työkalujen suunnittelussa oli huomioitava kaikkien linjalla valmistettavien moottorimallien työkaluihin vaikuttavat mitat ennen kuin työkaluja voitiin alkaa suunnitella. Työkalut on suunniteltu ja mallinnettu SolidWorks-ohjelmistolla.

2 WÄRTSILÄ OYJ ABP

Wärtsilä on kansainvälisesti johtava merenkulun (Marine Solutions) ja energia-markkinoiden (Energy Solutions) voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä tukee asiakasyrityksiä (Services) tuotteiden koko elinkaaren ajan. (Taulukko 1.) (1.)

TAULUKKO 1. Wärtsilän toimintojen jakaantuminen (1)

Wärtsilän toiminnot	Toiminnan osuus
Energy Solutions	24 %
Marine Solutions	36 %
Services	41 %

Vuonna 2014 Wärtsilän liikevaihto oli 4,8 miljardia euroa ja henkilöstömäärä on noin 17 700. Yrityksellä on yli 200 toimipistettä lähes 70 maassa eri puolilla maailmaa. (1.)

Wärtsilän Marine Solutions tukee meriteollisuusasiakkaidensa liiketoimintaa. Wärtsilä tarjoaa meriteollisuuden asiakkaille tehokkaita, taloudellisia ja ympäristöystävällisiä järjestelmiä, ratkaisuja ja tuotteita. (1.)

Wärtsilän Energy Solutions on energiantuotannon joustavien voimalaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä toimittaa kilpailukykyiset sekä luotettavat ratkaisut perusvoimantuotantoon, sähköverkon vakaan toiminnan ja kuormitushuippujen tasaamiseen tarkoitetuilla teollisuuden oman energiantuotannon järjestelmillä. Toimitetut järjestelmät ovat joustavia, tehokkaita ja ympäristöystävällisiä. (1.)

Wärtsilä Services tukee asiakkaitaan toimitettujen järjestelmien koko elinkaaren ajan optimoimalla laitteiston hyötysuhdetta ja suorituskykyä. Wärtsilä tarjoaa toimialan kattavimman palvelujen valikoiman ja laajimman palveluverkoston sekä voimala- että merenkulkumarkkinoilla toimiville asiakkaille. Wärtsilä on sitoutunut tarjoamaan laatua ja asiantuntevaa tukea sekä varmistamaan palvelujen saatavuuden kaikkialla missä asiakkaat toimivat. (1.)

2.1 Wärtsilän historia

Wärtsilä on perustettu vuonna 1834. Yritys aloitti toimintansa sahalla Tohmajärven kunnassa. Vuonna 1851 sahan tilalle rakennettiin Wärtsilän rautatehdas. Vuonna 1936 Wärtsilä osti Onkilahden konepajan Vaasasta ja seuraavana vuonna Pietarsaaren konepajan. Vuonna 1938 dieselmootoriaikakausi käynnistyi, kun Wärtsilä solmi lisenssisopimuksen Friedrich Krupp Germania Werft AG:n kanssa. Ensimmäinen moottori valmistettiin Turussa marraskuussa 1942. (1.)

Vuonna 2015 Wärtsilä valmisti maailman tehokkaimman nelitahtidieselmoottorin Wärtsilä 31:n. Moottoria voidaan ajaa erilaisilla polttoaineilla. Siitä on olemassa kolme versiota: diesel-, monipolttoaine- (DF) ja kaasumoottori (SG). (Kuva 1.) (2.)

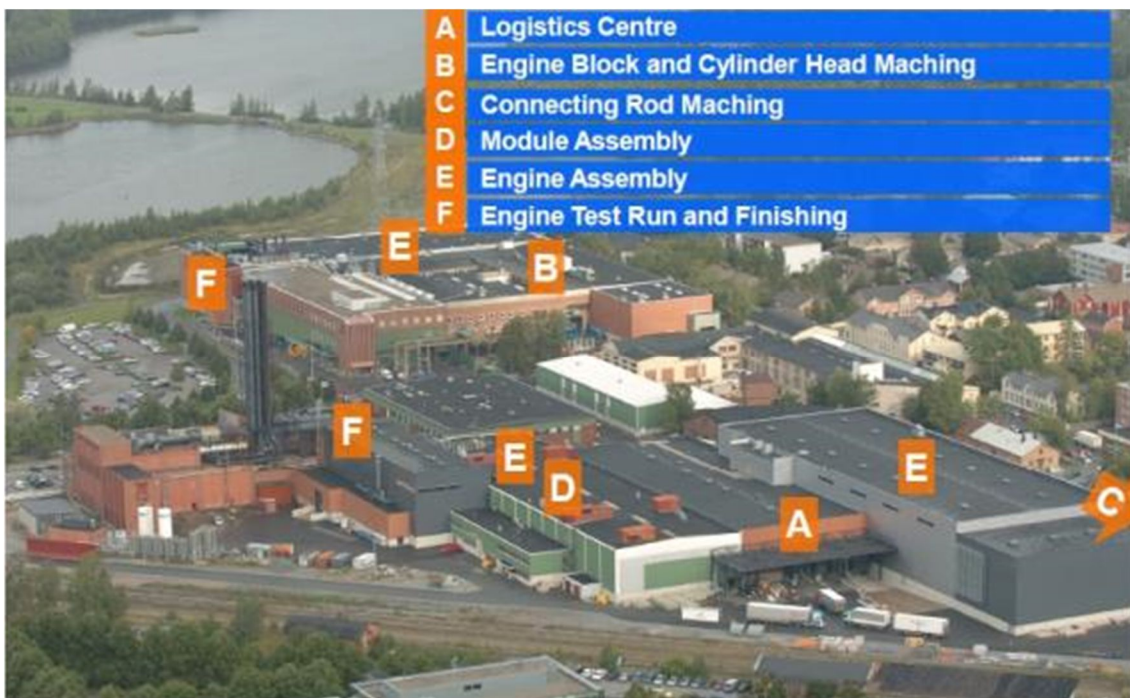


KUVA 1. Wärtsilä 31 -moottori (2)

2.2 Wärtsilä Finland Oy, Vaasa

Wärtsilä Finland Oy on Wärtsilän suurin tytäryhtiö. Yhtiö työllistää Suomessa noin 3 600 ammattilaista ja lähes 50 kansallisuutta. Vaasassa Wärtsilän palveluksessa työskentelee noin 2 950 henkilöä, Turussa 350 henkilöä ja Helsingissä 280 henkilöä. (1.)

Vaasan keskustassa sijaitsee yksikkö (kuva 2), jossa on moottoreiden kokoonpano Marine Solutionsin ja Energy Solutionsin asiakkaille. Yksikössä koneistetaan myös moottoreiden osia ja lohkoja sekä asennetaan generaattoreita. Vaasan keskustan yksikössä on myös moottoreiden tutkimuksen ja tuotekehityksen pääkeskus, moottorilaboratoriot tuotekehitystä varten sekä valmistusteknologiakeskus (MTC), jossa testataan uutta teknologiaa. (1.)



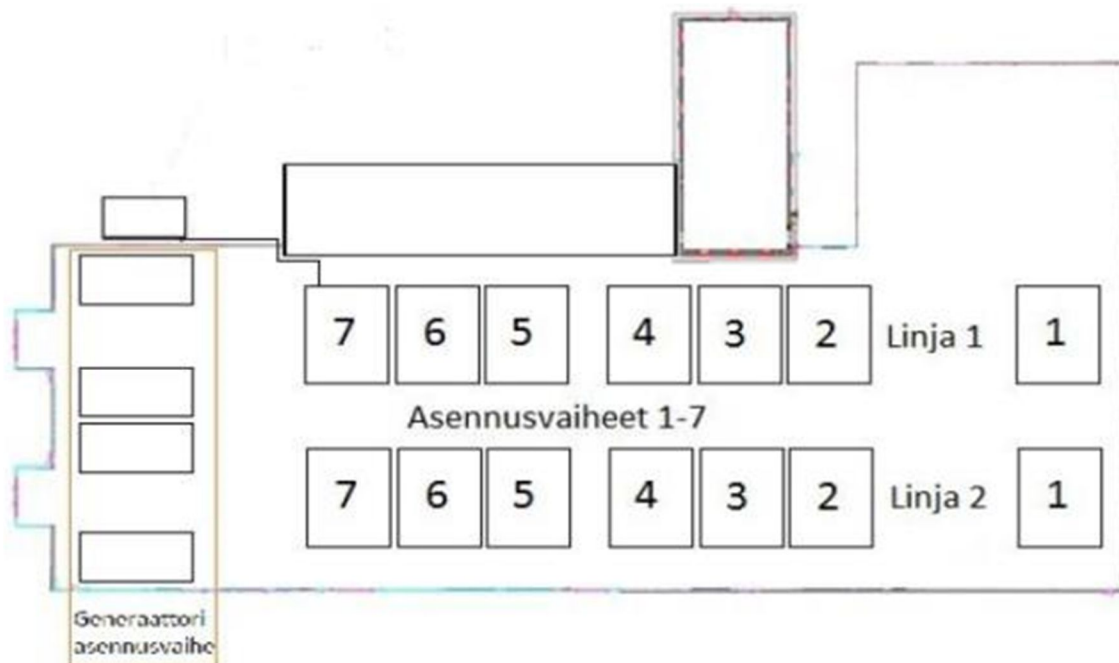
KUVA 2. Wärtsilän Vaasan keskustan yksikkö (3)

Vaasan Runsorissa on lisäksi Marine Solutions, Energy Solutions ja Services sekä niihin liittyvät myynti- ja muut tukitoiminnot. Vaasassa työskentelee noin 3 000 henkilöä Wärtsilän palveluksessa. (1.)

2.3 Pääkoonpanolinja W32, Vaasa

Wärtsilän pääkoonpanolinja W32 sijaitsee keskustan yksikössä. Linjalla työskentelee noin 100 henkilöä erilaisissa tehtävissä. Koonpanolinja käynnistyi vuonna 2007. Vuodesta 2007 lähtien linjalla on rakennettu W32- ja W34-moottoreita.

Tuotantolinja koostuu kahdesta koonpanolinjasta. Linjalla yksi valmistetaan pääasiassa V-moottoreita ja linjalla kaksi rivimoottoreita. Rivimoottoreita kutsutaan myös L-moottoreiksi. Molemmilla linjoilla voidaan kuitenkin valmistaa tarpeen vaatiessa L- tai V-moottoreita. (Kuva 3.)



KUVA 3. W32-koonpanolinjan layout (4)

Molemmat linjat koostuvat seitsemästä asennusvaiheesta. Linjojen lisäksi koonpanotehdas sisältää akselikoonpanopaikan sekä generaattorien asennuspaikan. Kampiakselit ja moottoreiden lohkot saapuvat suoraan toimittajilta linjan alkupäähän.

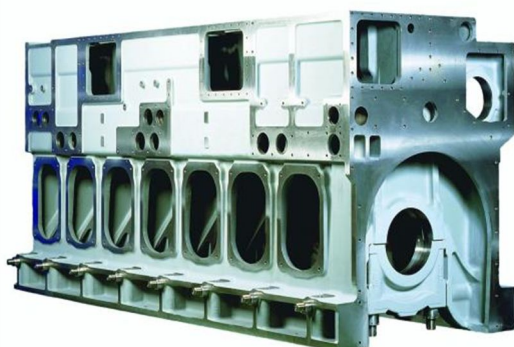
Kampiakselin kokoonpano sijaitsee kokoonpanolinjan alkupäässä, vaiheen yksi vieressä. Akselin kokoonpanopaikalla akseliin liitettäviä osia ovat muun muassa kiertokangen alaosat, hammasratas, tiiviste ja vastapainot. (Kuva 4.)



KUVA 4. Kampiakseli (4)

Valmiit kampiakselit siirretään siltanosturilla ensimmäiseen asennusvaiheeseen ja asennetaan suoraan moottorin lohkoon. Asennusvaiheessa valmiin kampiakselin lisäksi moottorin lohkoon asennetaan myös nokka-akselisto ja välihammaspyörästä.

Moottoreiden lohkot siirretään siltanosturilla asennusvaiheeseen. Asennusvaiheella moottoreiden lohkot ovat öljypohjantaso ylöspäin. Tämä mahdollistaa nokka- ja kampiakselin asentamisen. Valmiit moottorit nostetaan ensimmäisen vaiheen jälkeen siltanosturilla puskurialueelle pyörityslaitteen avulla oikeinpäin. Puskurialueella lohkoon asennetaan öljyallasmoduuli. Puskurialueelta lohkot siirretään asennusvaiheelle kaksi alustojen päällä. Moottorit kulkevat loppulinjan läpi alustojen päällä aina generaattorien asennuspaikalle asti. (Kuva 5.)



KUVA 5. Moottorilohko oikeinpäin (4)

Linjalla tällä hetkellä valmistettavat moottorityypit ovat Wärtsilän 32 ja Wärtsilän 34. Molemmista moottoreista tehdään rivi- ja v-moottoreita. Konetyypit ovat rakenteiltaan hyvin samanlaisia. Tästä syystä kokoonpanolinja soveltuu molempien moottorityyppien valmistamiseen. Moottoreiden kampiakselit ja runkolaakerisatulat ovat lähes identtiset, joten kampiakselin ohjauspalat ja runkolaakerisatulan laakerinpalanpidike toimivat molemmissa moottorimalleissa.

2.3.1 Wärtsilä 32 -moottori

Uusi Wärtsilä 32 -moottori kehitettiin vastaamaan markkinatarpeita vuonna 1998. Sylinterihalkaisijaltaan 320 mm olevia koneita on toimitettu merenkulkumarkkinoille 2 500. Yli 4 500 moottoria on toimitettu merenkulkumarkkinoille 1980-luvulta lähtien. Wärtsilän 32 -moottoreita valmistetaan rivimoottori kuudesta (L6) aina V18-moottoriin asti. (Kuva 6.) (5.)



KUVA 6. Wärtsilä 32 -moottori L6 (5)

Moottori on suunniteltu pitkään, tehokkaaseen ja huoltovapaaseen käyttöön. Moottori perustuu uusimpaan polttoainetekniikkaan ja moottori vastaa myös uusimpia päästövaatimuksia. (5.)

2.3.2 Wärtsilä 34 -moottori

Wärtsilä 34 -moottori on kehittynyt ja tehokas monipolttoainemoottori. Moottoreita käytetään sekä päämoottoreina ja sähkövoimayksiköissä. (Kuva 7.) (6.)



KUVA 7. Wärtsilä 34 -moottori L6 (6)

Wärtsilän 34:sta valmistetaan kokoonpanossa rivimoottori kuudesta aina v-moottori kuuteentoista asti. Moottorin sylinterihalkaisija on 340 mm ja moottorin tehot ovat luokkaa 500 kW/sylinteri. Moottorit antavat mekaanista tehoa yhteensä enintään 8 000 kW. Moottorin kierrosnopeus on 750 kierrosta minuutissa.

(6.)

34DF:n tekniikka perustuu hyvin pitkälti luotettavan Wärtsilä 32 -dieselmoottoriin, joka otettiin käyttöön 1990-luvun puolivälissä. (6.)

3 ASENNUSTYÖN KEHITYSKOhteet W32-LINJALLE

Moottoreiden kampiakselit asennetaan W32-linjalla moottoreiden lohkoihin ensimmäisessä asennusvaiheessa. Kampiakselit siirretään siltanosturilla akselin kokoonpanopaikalta asennusvaiheelle. Puhtaus on hyvin oleellinen osa akselin asennusvaiheita, koska epäpuhtaudet voivat vaurioittaa moottoria. Moottorin lohkon runkolaakerit ja akselin laakeripinnat puhdistetaan huolellisesti ennen akselin asennusta. Akselin ja liukulaakereiden välit öljytään puhdistuksen jälkeen hyvin ennen akselin asennusta, jotta moottoria voidaan pyörittää ennen varsinaista käynnistystä.

Runkolaakerisatuloiden vaarnat asennetaan lohkon ennen satuloiden ja akselin asennusta. Riskinä on, että vaarnat vaurioittavat kampiakselin laakeripintoja akselin laskuvaiheessa. Hyvin pienikin naarmu kampiakselissa voi johtaa akselin romuttamiseen, koska naarmusta voi seurata jopa kampiakselin murtuminen.

Runkolaakerisatuloiden kiinnitysvaarujen päälle asetetaan muoviset suoja-putket kampiakselin laskemisen ajaksi. Vaarujen päälle asennettavat putket suojaavat akselia ja vaaruja ainoastaan mahdollisilta kolhuilta. Muoviputket asennetaan nollasatulan vaaruille sekä lohkon viimeiseen satulan vaaruille, yhteensä neljä.

Muoviputket eivät anna mitään ohjausta akselin laskua ajatellen. Akselia joudutaan ohjailemaan oikeaan kohtaan runkokäytävään nähden sekä käsin että siltanosturilla. Kampiakselin laskeminen lohkon on hyvin hidasta ja näkyvyys laskuhetkellä on huono. Akselin laskemista joudutaan tarkkailemaan useista suunnista, jotta törmäyksiltä vältytään. (Kuva 8.)



KUVA 8. Kampiakselin asennus moottorin runkokäytävän

Muoviputkien tilalle haluttiin kehittää ohjaavat palat. Akselia ohjaavilla paloilla haetaan helpotusta akselin laskemiseen, työturvallisuuteen ja laatuun Lean-ajattelumallin mukaan. Idea ohjainpalojen tarpeellisuudesta syntyi ollessani kesätöissä asentajana W32-kokoonpanolinjalla vuonna 2015. Ohjauspalojen tarvetta on mietitty myös aikaisemmin asentajien keskuudessa.

Akselin laskemisen jälkeen akseli kiinnitetään runkokäytävään runkolaakerisatuloilla. Logistiikka toimittaa runkolaakerisatulat suoraan ensimmäiselle asennusvaiheelle, jossa ne asennetaan moottoriin. Laakerinpalat ovat varastoituna asennusvaiheen lähelle, josta ne noudetaan moottorimallien mukaan. Runkolaakerisatulat asennetaan moottorilohkoon laakeripalojen kanssa. Molemmat komponentit tarkistetaan ja puhdistetaan huolella ennen asennusta.

Ensin runkolaakerisatulat ja laakerinpalat asennetaan koneeseen runkokäytävän halkaisijan tarkistusmittausta varten. Runkolaakerisatulaa joudutaan nostamaan tässä vaiheessa usean metrin korkeuteen, joten laakeripalasta joudutaan pitämään kiinni käsin.

Laakeripesän mittauksen jälkeen satulat ja niiden laakeripalat nostetaan telineisiin moottorilohkon reunalle odottamaan akselin asennusta. Satuloita nostellaan asennusvaiheessa kattokraanalla. Akselin asennuksen jälkeen satulat ja laakeripalat asennetaan takaisin runkokäytävään akselin päälle. Satulat kiristetään vaarnoilla ja muttereilla hydraulisen tunkin avulla. (Kuva 9.)

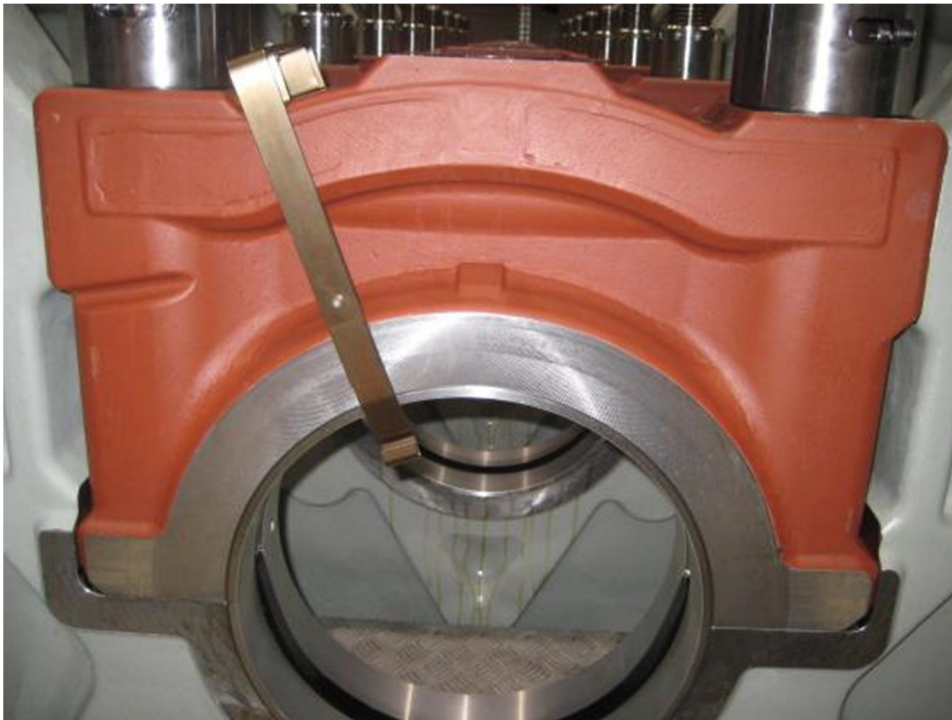


KUVA 9. Runkolaakerisatuloiden asennus runkokäytävän mittausta varten (7)

Runkolaakerisatuloihin asennettavat laakeripalat saattavat olla joskus löysiä satulaan nähden. Laakeripalat eivät tahdo pysyä satulassa paikallaan myöskään pelkän öljyn avulla, jota käytetään laakerinpalojen tarttumisen parantamiseksi. Laakerinpala voi tipahtaa satulankäsittelyn ja siirtelyn aikana ja vaurioitua. Pahimmassa tapauksessa irtoava laakerinpala saattaa aiheuttaa työtapa-turman, vaurioittaa kampiakselia tai moottorin muita osia.

Runkolaakerisatuloiden asennus akselin asennuksen jälkeen on haastava vaihe, ellei laakerinpala pysy kunnolla kiinni satulassa. Laakerinpalaa on pidetty satulassa paikallaan pääasiassa käsin. Laakerista ei voida pitää kiinni käsin satulan laskun loppuun asti akselin muotojen vuoksi. Kampiakselin ja runkolaakerisatulan väliin jäävä rako on muutaman millimetrin kokoinen. Kiinnittäminen käsin laskun loppuun asti on myös käytännössä mahdotonta. Työtapa-turmavana on sormien litistyminen epähuomiossa kampiakselin ja runkolaakerisatulan väliin, jos laakerinpalasta pidetään kiinni liian pitkään laskun yhteydessä.

Ongelmaan on mietitty ratkaisuja pitkään ja on yritetty tehdä myös toimivaa työkalua. Työkalu, joka on tähän tarkoitukseen tehty aikaisemmin, on kuitenkin todettu käyttökelvottomaksi eikä ole ollut käytössä. Työkalun ongelma oli myös kampiakselin ja satulan sivun väliin jäävä pieni rako, johon työkalu ei mahdu. Työkalua ei voida käyttää kaikissa moottorimalleissa. Ainoastaan rivimoottoreissa, joissa tilaa jää enemmän, työkalu toimi kohtalaisesti. Työkalu oli suunniteltu pitämään laakerinpalaa paikoillaan laakerinpalan kyljestä, koska laakerinpalan liukupintaa ei saa vaurioittaa. Laakerinpala saattaa olla myös joissain satuloissa hieman satulaa kapeampi. Tällöin työkalun puristusvoima heikkenee huomattavasti, eikä työkalu jaksa kannatella laakerinpalan painoa. (Kuva 10.)



KUVA 10. Laakerinpalan pitämiseen suunniteltu työkalu, joka ei toiminut

Laakerinpalan paikallaan pysymiseen haluttiin kehittää toimiva työkalu. Työkalulla haluttiin hakea parannusta työturvallisuuteen, työn laatuun ja työtehokkuuteen, Lean-ajattelumallin mukaan. Ajatusta työkalun toiminnasta lähdettiin kehittämään vasta kun varsinainen opinnäytetyöni käynnistyi. Useat työntekijät olivat sitä mieltä, ettei ongelmaan löytyisi välttämättä toimivaa ratkaisua.

4 TUOTEKOKOONPANO

Kokoonpano tarkoittaa omassa tehtaassa eri vaiheissa valmistettujen ja muualta hankittujen osien ja standardikomponenttien sekä tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi. Koottaessa laite tai kone asiakkaan luona on kyseessä asennus. Esimerkiksi paperikone kootaan tehtaalla lähes valmiiksi ja tämän jälkeen se toimitetaan sijoituskohteeseen osakokoonpanois-
sa asennettavaksi. (8, s. 111.)

Tavoitteena on tehdä mahdollisimman suuri osa kokoonpanotyöstä hallituissa olosuhteissa kunnollisilla työkaluilla. Suurin osa kokoonpanotyöstä tehdään edelleen käsityönä, mutta tulevaisuudessa yhä suurempi määrä kokoonpanotyöstäkin tehdään konein. (8, s. 111.)

Tuotteita voidaan koota pienissä tai suurissa erissä aina kulutustavaroista suuriin koneisiin ja teräsrakenteisiin. Jokaisella tuotteella on luonnollisesti erilainen kokoonpanotekniikka. Kokoonpanoa tehdään metalliteollisuuden ohella myös sähkö- ja elektroniikka-alalla sekä huonekalu- ja vaateteollisuudessa.
(8, s. 111.)

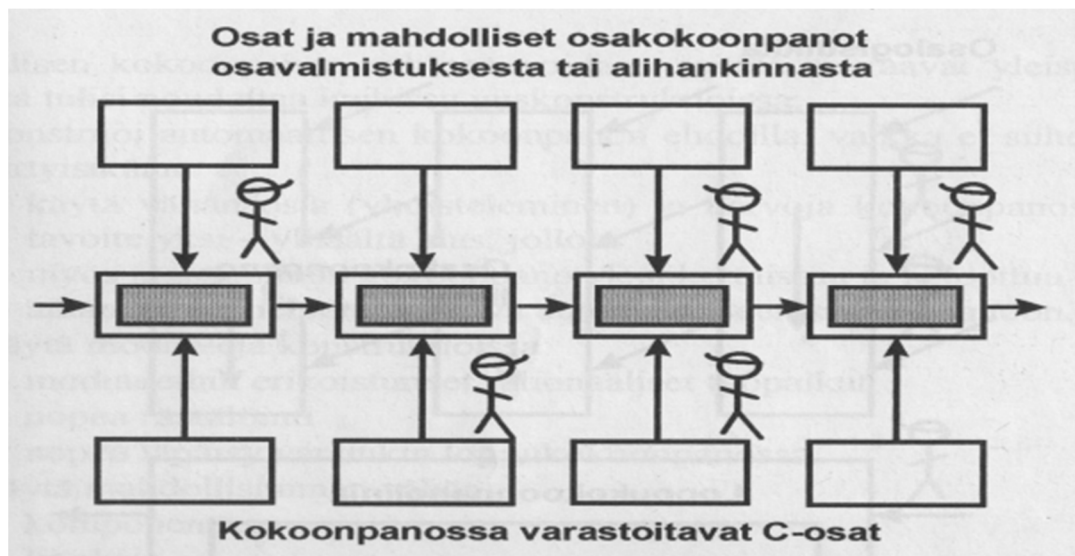
Kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta on useiden tutkimusten mukaan yllättävänkin suuri, usein jopa 20 - 40 %. Pienerätuotannon kokoonpanijat ovat ammattilaisia, itsenäiseen työskentelyyn kykeneviä työntekijöitä. Kokoonpano voi sitoa paljon pääomaa keskeneräiseen tuotantoon ja varastoihin.
(8, s. 111.)

Kokoonpanotyö sisältää kappaleiden käsittelyä, siirtelyä paikasta toiseen, varastointia, liittämistä ja sovittamista sekä mittaamista ja toimintojen tarkastamista. Edellä mainituista vain liittäminen nostaa tuotteen jalostusarvoa. Tarkistamiset, siirrot, käsittelyt ja varastoinnit eivät jalosta tuotetta, vaan aiheuttavat aika-viiveitä ja nostavat kustannuksia. Ilman kaikkia edellä mainittuja tukevia toimintoja ei kokoonpano olisi kuitenkaan mahdollista. Niiden osuus pyritään kuitenkin pitämään mahdollisimman pienenä. Syyt tuotteen kokoonpanon suuriin kustan-

nuksiin eivät aina johdu itse kokoonpanosta, vaan periytyvät sitä edeltävistä vaiheista, joissa ei ole huomioitu tarpeeksi kokoonpanoa. (8, s. 111 - 112.)

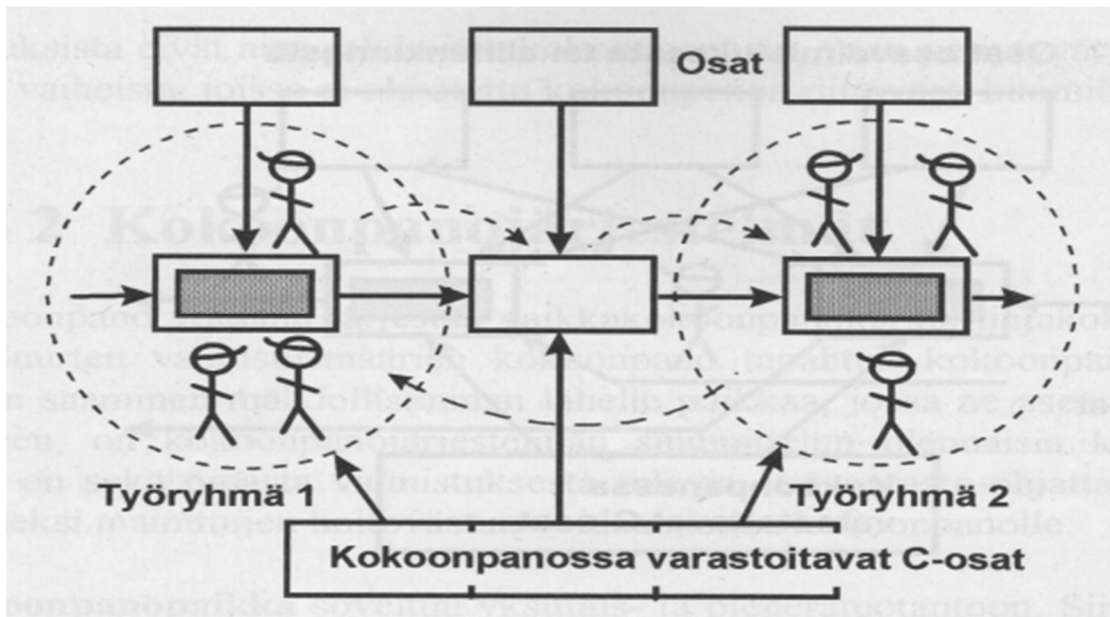
4.1 Kokoonpanolinja

Kokoonpanolinja, jossa henkilöstön työ on jaettu vaiheisiin, soveltuu suurien erien valmistukseen ja joukkotuotantoon. Mitä pitemmälle työ ositellaan, sitä lähempänä työskentely on liukuhihnatyötä. (Kuva 11.) (8, s. 112.)



KUVA 11. Kokoonpanolinja, solukokoonpano (8, s. 113)

Kokoonpanolinja voi olla myös järjestetty siten, että henkilöstö työskentelee ryhmänä ja vastaa tuotteen valmistuksesta ja laadusta alusta loppuun. Linja on jaettu työasemiin, joissa on tarvittavat työvälineet. Työryhmä kulkee tuotteen kanssa koko linjan läpi ja suorittaa kaikki kokoonpanovaiheet. Tuotteen valmistuttua ryhmä leimaa sen tai sitä koskevan tositteen tuotteen lopputarkastajana. Sen jälkeen ryhmä palaa taas linjan alkuun ja aloittaa uuden kokoonpanon. Tällainen järjestelmä sopii hyvin esimerkiksi erätuotantoon. (Kuva 12.) (8, s. 112.)



KUVA 12. Kokoonpanolinja, jossa työryhmä siirtyy tuotteen mukana (8, s. 113)

4.2 Manuaalinen kokoonpano

Manuaalinen kokoonpano on perinteinen kokoonpanotapa. Kokoonpanija kokoaa tuotteen osista ja tarvikkeista ohjeiden ja piirustusten perusteella ja kiinnittää sopivassa järjestyksessä osat toisiinsa. Valmiin tuotteen toiminta tarkastetaan, tuote viimeistellään ja sille tehdään tarvittavat säädöt. Kookkaat tuotteet kootaan lattialla tai pukeilla kokoonpanopaikalla. Kiinteiden työpöytien lisäksi tai niiden sijaan voidaan käyttää myös pyörillä varustettuja työkaluvaunuja. Kokoonpanijat käyttävät yleensä kevyitä käsityökaluja, puristimia, pora- ja hiomakoneita ja muita suhteellisen halpoja laitteita. Monipuolisten työkalujen käyttö on harvinaista. Kokoonpanokiinnittimiä käytetään jonkin verran. (8, s. 116 - 117.)

4.3 Manuaalisen kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpanotyön kustannus- ja tilankäyttöosuuden johdosta on selvää, että kokoonpanon kehittäminen on tärkeää. Kokoonpano on kuitenkin harvoin valittu selkeäksi ja tavoitteelliseksi kehityskohteeksi, vaikka merkittävä rationalisointi on kokoonpanossa mahdollista asiaan paneutumalla ja vähäisin investoinnein.

Yrityksen kehittämisestä vastaavien esimiesten kiinnostus kokoonpanoon voidaan karkeasti luokitella seuraavasti (8, s. 119 - 120):

- ensimmäinen porras: kokoonpano ei edes kiinnosta
- toinen porras: kokoonpanon kehityskohteet on huomattu, mutta mitään merkittäviä toimenpiteitä ei saada aikaan
- kolmas porras: kokoonpanotyön aktiivinen ja tavoitteellinen kehittäminen.

Kokoonpanoajasta suurin osa kuluu osien siirtämiseen ja niiden paikoilleen asettamiseen eikä itse liittämiseen, jonka pitäisi olla kokoonpanon pääpainopiste. Viidessä suomalaisyrityksessä tehdyssä ajankäytön seurantalutkimuksessa todettiin, että alle kolmasosa käytettävissä olevasta työajasta käytetään tuotteen jalostamiseen. Myös jalostavan osuuden sisällön kehittämisessä on runsaasti kehittämismahdollisuuksia. (8, s. 120.)

Haluttaessa tehostaa kokoonpanoa on kunnollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi otettava huomioon kaikki kokoonpanoon vaikuttavat tekijät. Käytännössä tämä tarkoittaa tarkastelun aloittamista itse tuotteesta. Sen rakenne määrittää kokoonpanon suoritustavan. Ottamalla kokoonpano huomioon suunnittelussa voidaan kokoonpanonkustannuksissa säästää merkittävästi. Tavoitteena on pidettävä nopeinta ja edullisinta tapaa koota tuote tai laite. (8, s. 121.)

Onnistuneen rakennelman pohjalta voidaan kokoonpanoa kehittää suhteellisen pienin parannuksin. Tarkemmasta suunnittelusta on hyötyä muuallekin kokoonpanossa, kuten osien sovittamiseen ja parempaan yhteensopivuuteen. (8, s. 121.)

Aina ei tule ajatelleeksi, kuinka paljon kokoonpano vaati ennakkosuunnittelua, valmistelua ja organisointia toimiakseen joustavasti ja häiriöttömästi. Tämä työ joudutaan joka tapauksessa tekemään, joko konttorissa tai työpaikalla. (8, s. 121.)

Mitä aikaisemmassa vaiheessa ennakkosuunnittelu tapahtuu, sitä parempi on lopputulos. Kokoonpanon laajat toiminnalliset yhteydet markkinointiin, tuotesuunnitteluun, tarvelaskentaan, ostoon, materiaalivarastoon, osahankintaan ja

osien valmistukseen edellyttävät keskitettyä toimenpiteiden suunnittelua ja koordinoitua. Suunnittelussa on erityisesti otettava huomioon aikatekijöiden vaikutus. (8, s. 121.)

Kokoonpanotapahtumassa korostuu myös riittävän ja oikea-aikaisen tiedon saaminen. Antamalla, mieluiten kirjallisesti, riittävästi tietoa kokoonpanon yksityiskohdista ja kouluttamalla kokoonpanotyöntekijöitä tehtävään, on mahdollista tehostaa kokoonpanoa huomattavasti. Nykyään käytetään myös tietokonetekniikkaan perustuvia kokoonpanon opastusohjelmistoja. (8, s. 121.)

Tuote voidaan koota, jos tiedetään mitä kootaan ja mitä osia ja komponentteja tarvitaan missäkin vaiheessa. Käytössä tulisi olla oikeat työkalut ja tarvittavat apuvälineet kokoamisen mahdollistamiseksi. Täytyy myös tietää, miten tuote kootaan ja koottavat materiaalit olisi oltava järjestyksessä ja ulottuvilla. Täydennyksien on tultava ajallaan kokoamisen mahdollistamiseksi ja kokoajilla tulisi olla riittävä ammattitaito tuotteen kokoamisen. (8, s. 122.)

Kokoonpanossa tärkeimmät dokumentit ovat kokoonpanopiirustukset ja osaluettelot. Piirustuksesta tulee selvittää mikä on kokoonpanon lopputulos. Osaluettelosta tulisi ilmetä mitä osia ja komponentteja kokoonpanoon sisältyy. (8, s. 122.)

Jokainen työ voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Työmenetelmä puolestaan määrää suurelta osin työpaikan järjestelyä ja vaatii työtilan suunnittelua. Työmenetelmän kehittäminen on usein hankalaa, jos se aloitetaan nollassa. Useasti tuote ja tuotantotilat ovat jo olemassa. Ne eivät silti saisi vaikuttaa työmenetelmän kehittämiseen, koska silloin on vaarana, että turvaudutaan tuttuun ratkaisuun. Olisi parempi, jos kehitys aloitettaisiin ideoimalla erilaisia menetelmiä nollassa ja niistä toteutuskelpoisimpia tarkasteltaisiin lähemmin. (8, s. 122.)

Kokoonpanon hyvällä organisoinnilla, järjestämällä kokoonpanopaikalle sopivat ja oikeat työkalut sekä panostamalla riittävästi ennakkosuunnitteluun häiriöttömän toiminnan toteuttamiseksi, on tuotetta jalostettavan työn osuus mahdollista jopa kaksinkertaistaa. (8, s. 122.)

Laatu tarkoittaa kokoonpanossa osien ja komponenttien keskinäistä yhteensopivuutta ja vain yhdellä tavalla mahdollista liittämistä toisiinsa sekä toimivaa ja vaatimukset täyttävää tuotetta. Tämä edellyttää osien ja komponenttien toisiinsa nähden sopivia toleransseja. Toimintatoleranssilla tarkoitetaan osakokoonpanon ja valmiiden komponenttien toimintaa erikseen ja yhdessä halutulla tavalla. (8, s. 122.)

Kokoonpanon kehittäminen tulee aloittaa jo osavalmistuksessa. Kokoonpantavaksi tarkoitettujen osien on sovittava toisiinsa ja niitä on oltava aina tarvittaessa saatavilla, jos nämä perusedellytykset eivät toteudu on usein kaikki muukin kehittäminen turhaa. (8, s. 122.)

Varsinaisen kokoonpanon kehittäminen jakautuu kahteen osa-alueeseen: turhan työn poistamiseen ja tarpeellisen työn kehittämiseen. Turhalla työllä tarkoitetaan kaikkea sellaista työtä, joka ei jalosta tuotetta tai jota ei tarvita. Kaikki mikä on tuotteen kokoonpanemisen kannalta oleellista ja tärkeää on tarpeellista työtä. Tätä voidaan kehittää esimerkiksi kokoonpanokiinnittimillä ja materiaalin käsittely- ja syöttölaitteiden sekä työmenetelmien kehittämällä. (8, s. 122.)

Työmenetelmiä voidaan peruskehittää yksinkertaisilla säännöillä. Olisi pyrittävä lyhentämään etäisyyksiä ja helpottamaan tarttumista. Lisäksi olisi aina pyrittävä tekemään työ niin, että liikkeet olisivat helppoja ja suorita ja työtä voitaisiin tehdä molemmilla käsillä. (8, s.123.)

5 LEAN

Lean-toimintamalli on kehitetty Japanissa Toyotan tuotantoperiaatteiden pohjalta. Se levisi ensiksi autoteollisuuteen mutta tällä hetkellä se on johtava tuotantoperiaate lähes kaikilla toimialoilla. Leanin periaatetta noudattavat yritykset ovat tavallisesti toimialansa kannattavimpia ja nopeimmin kasvavia yrityksiä. (9, s. 6.)

Lean-toiminta näkyy selkeästi tuotannon organisaatiossa sekä jatkuvassa kehitystyössä. Se on myös voimakkaasti sidoksissa yrityskulttuuriin ja henkilöstön osallistumiseen kehityshankkeisiin. Lean-toimintamallissa kehitetään toimintaa siellä, missä kädet liataan ja asiakkaan saama arvo todellisuudessa syntyy. Yksinkertaisuudessaan Lean Management -toimintamallilla pyritään luomaan toimintaan tarkoituksenmukaisuutta, järkevyyttä ja täsmällisyyttä asiakasnäkökulmasta katsoen. (9, s. 6.)

Leanin toimintaan sisältyy keskeisesti tinkimätön laatuajattelu, jossa tehdään kaikki mahdollinen tuotteen ja toiminnan laadun varmistamiseksi. Laatuvastuu kuuluu kaikille yrityksen työntekijöille. (9, s. 6.)

Tuotteen tai palvelun arvo määritellään asiakkaan näkökulmasta. Se muodostuu tuotteen ominaisuuksista, laadusta, toimitusajasta ja varmuudesta. Eri asiakkaat määrittelevät arvon eri tavoilla omista näkökulmistaan. (9, s. 6.)

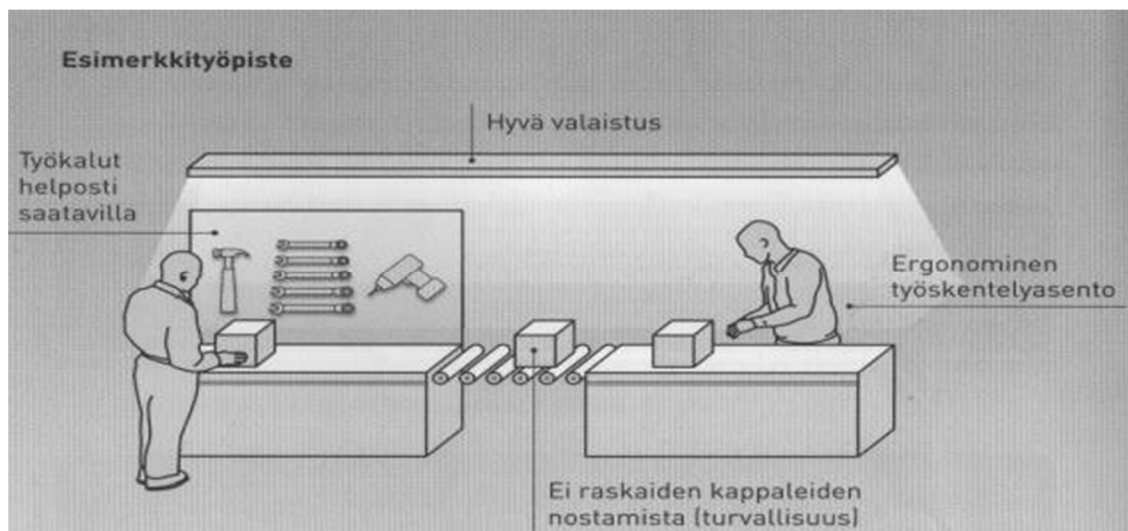
Asiakaslähtöisyys ja lisäarvon tuottaminen asiakkaalle kiteytyy siihen, että yrityksen sisällä hahmotetaan ne toiminnot, jotka lisäävät arvoa asiakkaalle ja kohdistetaan yrityksen voimavarat yksinomaan näihin toimintoihin. Kun arvoa kasvatetaan suhteessa toiminnan kustannuksiin, parannetaan yrityksen kilpailukykyä ja varmistetaan toiminta myös tulevaisuudessa. Leanin toteutuminen on pitkäjänteistä työtä, mutta käytännön kokemukset osoittavat, että kärsivällisyys kannattaa. (9, s. 6 - 7.)

Leanin tarkoituksena on parantaa työskentelyolosuhteita ja antaa työntekijöille mahdollisuus osallistua kehitystyöhön. Tavoitteena on myös parantaa yrityksen kilpailukykyä ja tehdä asioita oikein. Leanin tarkoitus ei ole toimia kustannusten säästöohjelmana tai hakea pienempää riippuvuutta työntekijöistä. Tarkoitus ei ole myöskään siirtyä liukuhihnatyöhön ja vähentää työn mielekkyyttä ja karsia kaikesta. (9, s. 7.)

5.1 Leanin työturvallisuus ja ergonomia

Toiminnan kehittämisen lähtökohtana on aina työskentely-ympäristön turvallisuuden takaaminen. Turvallinen työskentely-ympäristö vähentää työtapaturmia ja tästä seuraa vähemmän hukkaa. Kun työskentelymenetelmiä ja työergonomiaa kehitetään, parannetaan työn tuottavuutta ja edistetään työssä jaksamista. (9, s. 12.)

Työturvallisuuden kehittämisen tarkoituksena ei suinkaan ole työnteon hankaloittaminen, vaan erilaiset kehitysaskleet toteutetaan tarkoituksenmukaisesti ja kunkin työpisteen tarpeet huomioiden. Jokainen puutteellisista työskentelyolosuhteista tai -menetelmistä johtuva poissaolo tai työtapaturma on hukkaa, joten viihtyvyyteen, ergonomiaan ja työturvallisuuteen panostaminen on sekä työntekijän että työnantajan etu. (Kuva 13.) (9, s. 13.)



KUVA 13. Esimerkkikuva ergonomisesta työpisteestä (9, s. 12)

Leanin avulla saavutetaan positiivisia vaikutuksia työn tekemiseen. Keskittymisen paranevat puitteiden ollessa kunnossa, koska huonoista menetelmistä johtuva turhautuminen vähenee. Leanin avulla myös työsuhteet samassa yrityksessä pidentyvät ja yleinen ilmapiiri paranee. (9, s.12.)

5.2 Lean ja laadunvarmistus

Lean-tuotannossa laatu ja laadunvarmistus ovat kaikkien työntekijöiden vastuulla ja osa normaalia työskentelyä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jokaisen työntekijän on toteutettava laadunvarmistusta ohjeiden mukaisesti ja ilmoitettava välittömästi poikkeamista, häiriöistä tai työturvallisuuspuutteista. (9, s. 24.)

Virheiden nopea löytyminen ja niiden etenemisen estäminen säästää kuluissa, koska virheellisiin kappaleisiin ei tehdä turhaa työtä. Virheet ja ongelmat tulee ottaa esille, jotta niiden aiheuttajat, ”juurisyyt”, voidaan selvittää ja poistaa. Kun eri virheiden ja ongelmien taustasyitä poistetaan systemaattisesti, tuotannon laatu kehittyy vähitellen. (9, s. 24.)

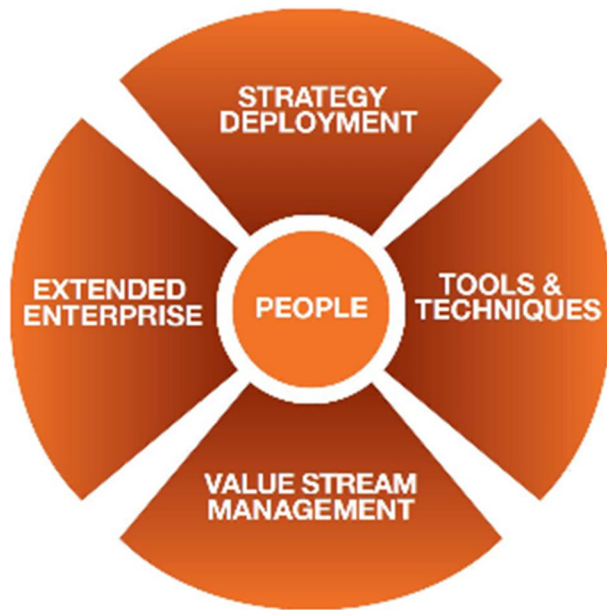
Laadun kehittäminen Lean-periaatteiden mukaan vaatii, että jokainen työntekijä ottaa laatuvastuuta omasta tekemisestä, tehty työ tarkistetaan ohjeista ja havaitut poikkeamat korjataan heti. Kehitystyössä käytetään myös sata prosenttisia laadunvarmistuksen menetelmiä, joilla virheet estetään teknisesti. Esimerkiksi osat suunnitellaan niin, että niitä ei voida asentaa väärinpäin. Laadun kehittämisessä hyödynnetään myös koneiden ja laitteiden automaattisia virheidentunnistumenetelmiä, esimerkiksi koneiden omaa vika-analyysiä, automaattimittauksia ja työpistekohtaisia testilaitteita. (9, s. 25.)

5.3 Wärtsilä LEAN

Wärtsilän Lean on maailmanlaajuinen ohjelma, joka otettiin käyttöön vuonna 2009. Ohjelman tavoitteena on tuottaa asiakkaille lisäarvoa Leanin periaatteiden mukaisesti. Tavoitteena on vähentää kaikkea pääoma-, varasto-, aika- ja työvoimakustannuksia kaikilla liiketoiminnan osa-alueilla. Ohjelma keskittyy tun-

nistamaan ja poistamaan kaiken turhan ja tuottamaan näin asiakkaille lisäarvoa maailmanlaajuisesti. (10.)

Wärtsilän henkilökuntaa on koulutettu jatkuvasti toimimaan Leanin periaatteiden mukaisesti. Henkilökuntaa on kannustettu myös ajattelemaan Lean-ajatusmallin mukaisesti ja näin tehostamaan omaa toimintaansa. (Kuva 14.) (10.)



KUVA 14. Wärtsilä Leanin viisi elementtiä (10)

Wärtsilän johtoryhmä työskentelee Lean-ajattelumallin mukaan. Yhdenmukainen ajattelumalli sekä tehdyt parannustoimenpiteet johtavat korkeampaan asiakastyytyväisyyteen ja näin ollen parantavat yrityksen kannattavuutta. (10.)

5.4 Wärtsilän työterveys- ja turvallisuus

Wärtsilän työterveys- ja turvallisuusperiaatteet määritellään yhtiön laatu-, työterveys-, työturvallisuus- ja ympäristöpolitiikassa (QEHS) sekä ympäristö-, työterveys- ja työturvallisuudirektiivissä (EHS). Wärtsilän tytäryhtiöillä tulee olla QEHS -politiikan sekä EHS -direktiivin mukainen johtamisjärjestelmä. Johtamisjärjestelmien keskeisiä painopisteitä ovat toiminnan lainmukaisuus, työterveys- ja työturvallisuusriskien tunnistaminen ja minimointi, henkilöstön koulutus, te-

hokkaiden terveys- ja turvallisuusohjelmien ja ohjeiden käyttöönotto, sattuneiden poikkeamien kirjaaminen ja selvittäminen sekä työterveys- ja työturvallisuustason jatkuva parantaminen. (11.)

Johtamisjärjestelmän lisäksi Wärtsilä-yhtiöissä on käytössä paikallisen lainsäädännön edellyttämiä työsuojeluohjelmia, jotka kehitetään yleensä yhtiöiden johdon ja henkilöstön edustajien muodostamissa työsuojelutoimikunnissa. Wärtsilän yhtiöistä 78 %:lla on työsuojelutoimikunta. (11.)

Työsuojelun toteutumista mitataan tunnusluvuin, joita ovat esimerkiksi tapaturmien määrä, sairauspoissaolojen määrä sekä tapaturmataajuus. Wärtsilä on asettanut konsernitason tavoitteeksi poissaoloon johtavien tapaturmien nollatason. Tavoite osoittaa yhtiön pitkäjänteistä sitoutumista turvallisuuskulttuurin lujittamiseen ja edellyttää toimenpiteitä kaikilta Wärtsilän yhtiöiltä ja työntekijöiltä. Turvallisuusasioita seurataan yhtiöissä kuukausittain, ja tulokset käsitellään johdokunnassa. (Kuva 15.) (11.)

Tapaturmat	2014	2013	2012	2011	2010
Tapaturmat yhteensä	510	730	742	987	971
Poissaoloon johtaneet tapaturmat, vähintään 1 päivä, yhteensä	168	199	238	267	333
Poissaoloon johtaneet tapaturmat – töissä	130	162	194	221	274
Poissaoloon johtaneet tapaturmat – työmatkaliikenne	38	37	44	46	59
Poissaoloon johtaneita tapaturmia/miljoona työtuntia	3,5	4,4	5,5	6,3	7,8
Poissaolotaajuus					
Sairauspoissaolot (% tehdyistä työtunneista)	2,0	2,1	2,0	2,1	2,3
Tapaturmien aiheuttamat poissaolot (% tehdyistä työtunneista)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Työperäisten sairauksien aiheuttamat poissaolot (% tehdyistä työtunneista)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kuolemantapaukset					
Kuolemantapauksia yhteensä	5	1	0	1	1
Työntekijät	3	1	0	1	0
Allhankkijat	2	0	0	0	1

KUVA 15. Wärtsilän tapaturmat vuosina 2010 - 2014 (11)

Wärtsilän vuonna 2014 toteuttamista ennalta ehkäisevistä toimenpiteistä tärkein oli vaara- ja läheltä piti-tilanteiden ja tapaturmien raportointiin tarkoitetun WeCare-ohjelmiston käyttöönotto maailmanlaajuisesti. Uusi raportointikäytäntö otettiin

onnistuneesti käyttöön paikallisissa yksiköissä. WeCare-järjestelmään raportointiin vuonna 2014 yhteensä 5 077 poikkeamaa, joista 86 % oli vaara- tai läheltä piti-havaintoja. Poikkeamien raportointiin ja selvittelyyn sekä toimenpiteiden käsittelemiseen WeCaren kautta osallistui yli 2 800 Wärtsilän työntekijää, mikä osoittaa, että uusi järjestelmä on omaksuttu hyvin ja siitä on tiedotettu riittävästi. Poikkeamien selvittelytyön tuloksena Wärtsilässä toteutettiin 3 342 erilaista parannustoimenpidettä. (11.)

Vuonna 2014 Wärtsilä jatkoi globaalia Zero Injury -koulutusohjelmaa, joka koostuu neljän tunnin verkkokoulutuksesta ja neljän tunnin käytännön harjoituskerasta. Koulutuksen kohderyhmä on Wärtsilän tehtaissa, konepajoissa ja asiakkaiden tiloissa työskentelevä Wärtsilän tuotantohenkilöstö. Vuonna 2012 ohjelma käynnistettiin ja siitä lähtien verkkokoulutuksen on suorittanut yhteensä 8 200 ja käytännön koulutuksen kaikkiaan 3 100 henkilöä. (11.)

6 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys on toiminto tai prosessi, jolla pyritään suunnittelemaan uusia tuotteita tai parannuksia vanhoihin tuotteisiin. Tuotekehitys on tutkimusten ja kokeilun kautta saadun tietotaidon käyttämistä menetelmien ja järjestelmien parantamiseksi. Tuotekehitysprosessilla haetaan parannusta tarpeisiin ja teknisiin ongelmiin. (12.)

Perinteisesti tuotekehitys kohdistuu valmistettaviin esineisiin, mutta sanaa voidaan käyttää myös esimerkiksi ohjelmistoista ja palvelutuotteista. Tuotekehityksen tavoitteena on tuottaa nopeasti ja taloudellisesti uusia tarpeita täyttäviä tuotteita. (12.)

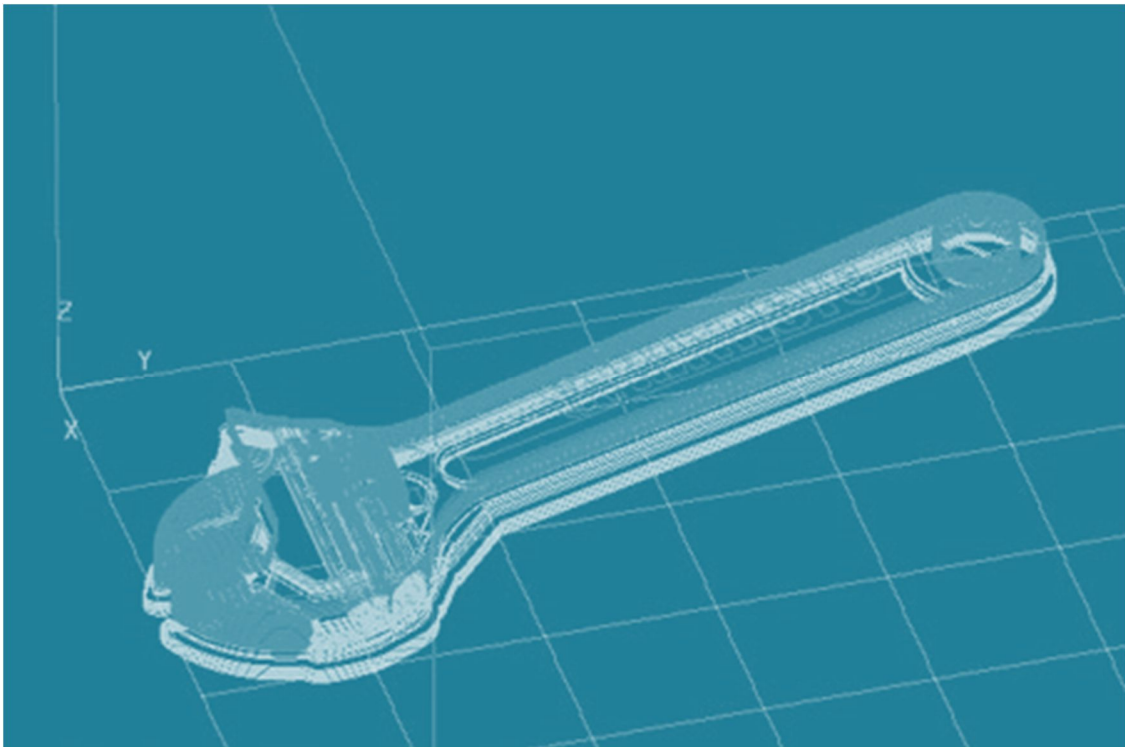
Suuremmissa yrityksissä tuotekehityksestä vastaa erillinen osasto. Tuotekehityksen menojen osuus koko yrityksen liikevaihdosta vaihtelee suuresti. Teollisuusaloilla, kuten puunjalostuksessa, tuotekehityksen osuus on muutamia prosentteja liikevaihdosta, kun kasvavilla uusilla aloilla saattaa tuotekehityksen kustannukset olla jopa puolet liikevaihdosta. (12.)

Tuotekehitys toteutetaan usein projektina, jolloin projektinhallinta on yksi tärkeimmistä tuotekehityksen osaamisalueista teknisen osaamisen lisäksi. Tuotekehitysprojehti voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin (12):

1. **Tehtävän raja**us ja tarkennus. Tuotekehitys alkaa usein vaatimuslistan tai vaatimusmäärittelyn laatimisella. Tässä kuvataan ulkonäköä, lainsäädännön vaatimuksia, käyttöä ja vastaavia. Listatut toiminnot jaetaan vaatimukseen, jotka uuden tuotteen pitää vähintään täyttää ja toivomuksiin täydentävistä toiminnoista. Vaatimuslistaan haetaan asiakkaan näkökulmaa.
2. **Ideointivaihe**. Tässä vaiheessa pyritään uuden tuotteen toiminnot jakamaan erillisiin osatoimintoihin, joihin etsitään mahdollisimman systemaattisesti kaikkia ratkaisumahdollisuuksia. Ideointivaiheessa pyritään pysymään abstraktilla tasolla, jotta voidaan edetä nopeasti ja löytää järjestelmällisesti mah-

dollisimman monta ratkaisumahdollisuutta. Ratkaisumahdollisuuksien kar-
toittamisen jälkeen valitaan niistä toiminnan toteuttamiselle sopivimmat.

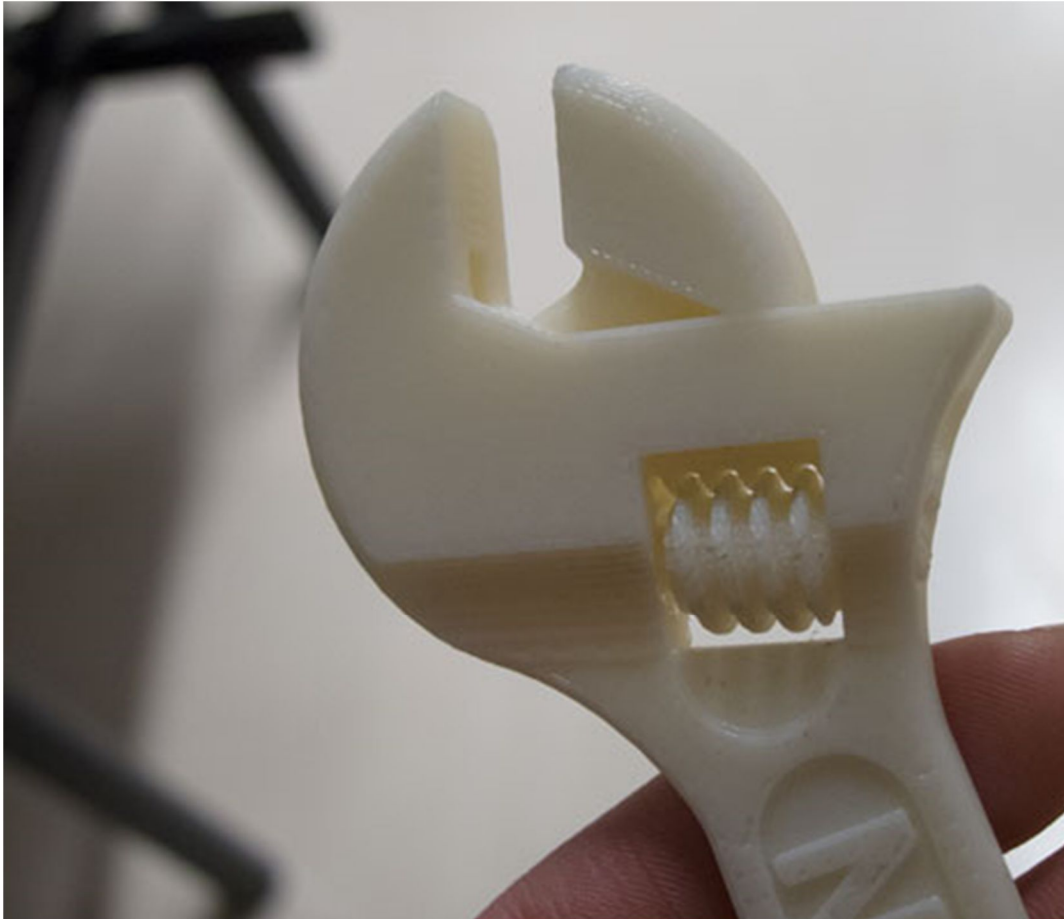
3. **Luonnosteluvaihe.** Luonnosteluvaiheessa sijoitetaan pääkomponentit ja toiminnot laitteeseen. Piirustukset eivät ole tarkasti piirrettyjä, vaan tarkoitus on tuoda esille tuotteen idea. Esimerkiksi koneesta tehdään ensimmäinen pääkoonpanopiirustus, minkä jälkeen luonnostelua tarkennetaan ja käydään pääkomponenttien tekniset mitoituslaskelmat tarkasti läpi. Koneen suunnittelussa käytetään nykyään avuksi mallinnusta, simulointia ja CAD-ohjelmistoja. Jos on tarvetta testata teknisiä toimintoja, voidaan tehdä prototyyppi teknisen toimivuuden varmistamiseksi. Usein prototestit rajoittuvat tässä vaiheessa vain kriittisiin toimintoihin. (Kuva 16.)



KUVA16. CAD-kuva (13)

4. **Viimeistelyvaihe.** Viimeistelyvaiheessa tuote dokumentoidaan. Kun osien kuvat ovat valmistuneet, tehdään tuotetta vastaava prototyyppi. Hyvin suurista tuotteista, kuten paperikoneista, ei prototyyppejä voida tehdä. 3D-mallit pystyvät nykyään korvaamaan osan prototyypeistä. Prototyyppejä rakennet-

taessa ja testattaessa kootaan lista virheistä, jotka korjataan tuotteeseen (kuviin ja malleihin). Esimerkiksi tuoteturvallisuuteen liittyvät standardit vaativat, että tuote testataan tietyllä tavalla eli tyyppitesteillä. (Kuva 17.)



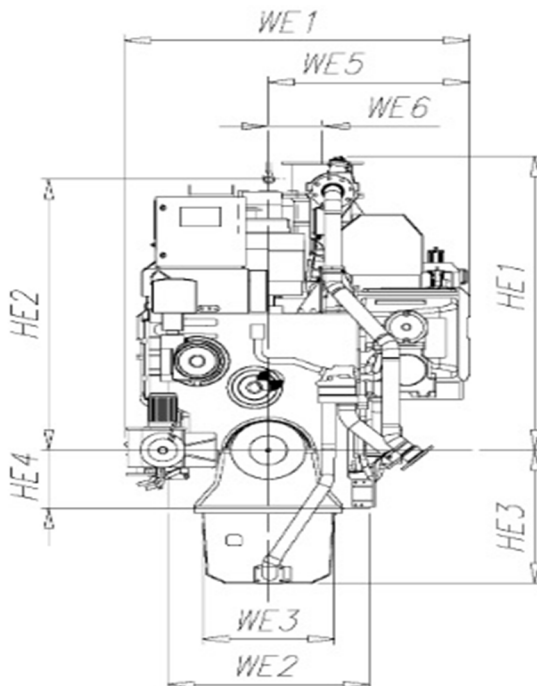
KUVA 17. 3D-tulostettu prototuote (13)

7 KAMPIAKSELIN OHJAUSPALAT

Ohjauspalojen suunnittelussa lähdettiin liikkeelle moottoreiden piirustuksiin tutustumalla. Piirustuksista tutkittiin ohjauspalojen suunnittelussa huomioon otettavat mitat. Tarvittavat moottoreiden mitat kerättiin Excel-taulukkoon. Taulukon mitoista valittiin mitat, jotka mahdollistavat ohjauspalojen käytön kaikissa moottorimalleissa. Linjalla valmistetaan pääasiassa W32- ja W34-moottoreita. Moottoreista on useita erilaisia malleja.

7.1 Mitoitus

Ohjauspalojen korkeudeksi suunniteltiin ensin 1 000 mm, jotta akselin ohjattavuus alkaisi jo huomattavasti ennen moottorilohkon öljypohjantaso akselia laskettaessa. Moottorilohkon öljypohjantaso on L-mallin moottoreissa kampiakselin keskipisteestä 500 mm:n päässä ja V-moottoreissa 650 mm:n päässä. Lopullisiin ohjauspaloihin korkeudeksi valittiin 800 mm, sillä sen arveltiin riittävän. (Kuva 18.)



KUVA 18. Moottorin mitat: kampiakseli - öljypohjantason mitta HE4 (14)

Ohjauspalojen paksuudeksi valittiin 126 mm moottoreiden runkolaakerisatuloiden paksuuden ja laakeripalojen leveyden perusteella. Osassa moottoreita voitaisiin käyttää myös leveämpiä ohjauspaloja. Näin saataisiin akselin laskemiseen aksiaalista ohjattavuutta lisää. Täytyi kuitenkin ottaa huomioon, että leveämmät ohjauspalat eivät toimisi esimerkiksi kaikissa W34-koneissa, joissa on kapeammat runkolaakereiden satulat. Ohjauspalojen mitoissa on otettu huomioon myös akselin laakeripinnan leveys. Leveydessä on huomioitu lisäksi asennusväly, jotteivät ohjauspalat ahdistaa liikaa akselia laskuvaiheen jälkeen. Ohjauspalat kapenevat ylöspäin paksuussuunnassa molemmilta sivulta. Kavennus helpottaa akselin kohdistamista ohjauspaloihin ja lisäksi kavennus vähentää ohjauspalojen painoa.

Ohjauspalojen alaosan leveydeksi laskettiin 122 mm siten, että runkokäytävän halkaisijasta vähennettiin runkolaakerisatulan leveys ja tuloksesta vähennettiin laakeripalan paksuus. Kaikissa moottoreissa käytetään samoja runkolaakerisatuloita. Ainoastaan satuloiden paksuus vaihtelee moottorimalleittain. Myös kampiakselien halkaisija on sama kaikissa moottoreissa. Satuloiden toisen kyljen alaosa ei ole identtinen satulan toisen kyljen kanssa. Tällä estetään runkolaakerisatulan asennus väärin moottorinlohkoon. Toiselle puolelle tuleviin ohjauspaloihin joudutaan tekemään tästä syystä 5 mm:n syvennys. Ohjauspalojen liukupinnat kapenevat ylöspäin 89° kulmassa aina 650 mm:iin asti. Kavennuksella haetaan keskittävää ohjausta akselille runkokäytävään nähden.

Ohjauspalan sisään on tehtävä runkolaakerisatulan vaarnalle reikä. Reikä pitää ohjauspalaa paikallaan akselin laskemisen ajan. Reikä suunniteltiin paksumman E-mallin vaarnatyyppin mukaan, jonka paksuus on 60 mm vaarnan kierrepäästä. E-mallin vaarnan pituus lohkon asennettuna on noin 500 mm lohkon pinnasta mitattuna. D-mallin vaarna on hieman E-mallin vaarnaa lyhempi ja halkaisijaltaan vain 56 mm. Asennettuna D-mallin vaarnan pituus lohkonpinnasta on noin 480 mm. Ohjauspalan sisään tulevan reikä suunniteltiin olemaan halkaisijaltaan 62 mm ja syvyydeltään 510 mm.

7.2 Materiaali

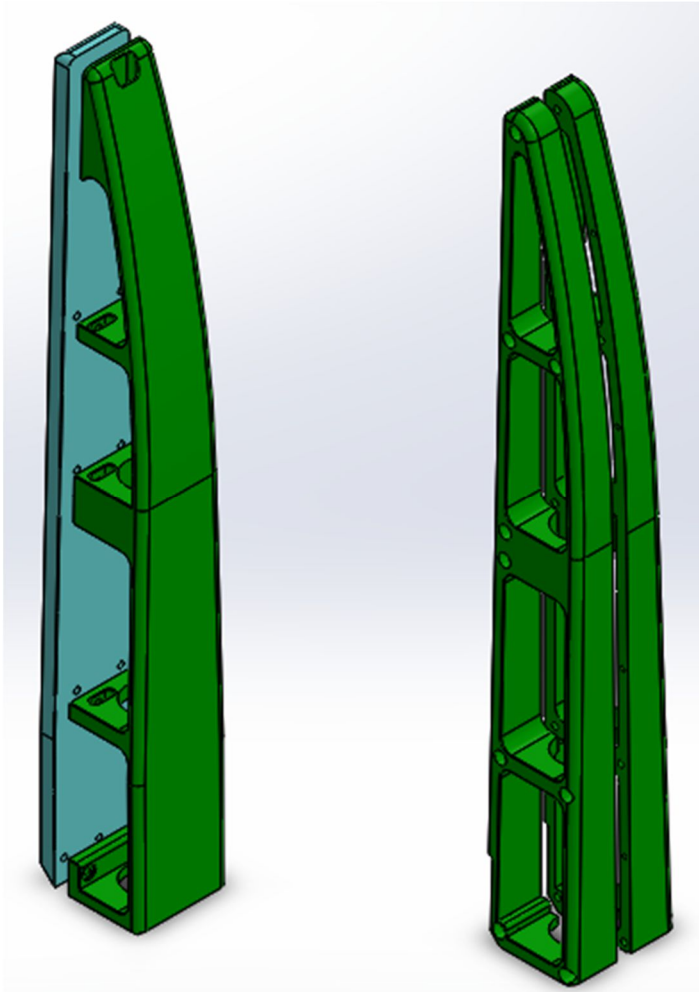
Mittojen selvittelyjen jälkeen huomioitiin materiaali, josta ohjaspalat valmistettaisiin. Tekniset muovit osoittautuivat materiaaliksi, joka täyttää tarvittavat vaatimuskriteerit. Ohjauspalojen materiaalivalinnassa keskeiset kriteerit olivat seuraavat:

- materiaali ei saa vaurioittaa kampiakselia ja lohkoa
- keveys
- kestävyys
- puhtaanapito
- kemikaalien kestävyys
- työstettävyys.

Teknistä muovia on monta eri laatua ja niistä valmistetaan eri muotoja, kuten levyjä ja tankoja. Teknisistä muoveista ja niiden käyttökohteista löytyy hyvin tietoa useista lähteistä. Liitteenä oleva muovien ominaisuustaulukko on koottu Etran sivuilta (liite 1). Muovien ominaisuustietoja ja ohjauspaloihin sopivaa muovia tiedusteltiin nimenomaan Etralta. He suosittelivat ohjauspalojen valmistusmateriaaliksi PA6G-polyamidia eli nailonia.

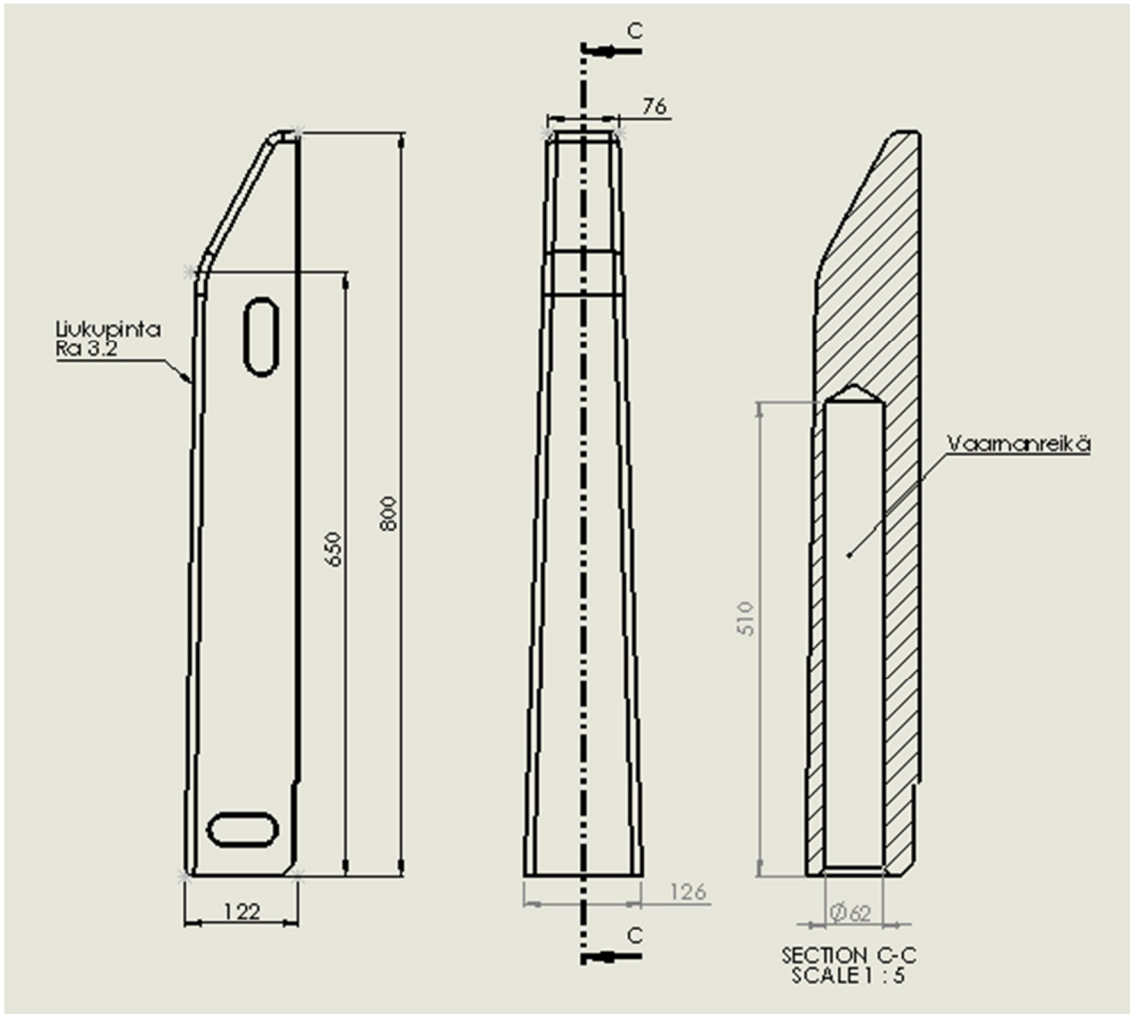
Tarkoituksena oli valmistaa ohjaspalat nailonmuovilevystä. Muovilevyn vahvuus kuitenkin asetti rajoitteita ohjauspalojen suunnittelulle. Useimpia teknisiä muoveja toimitetaan levyinä ainoastaan 100 mm:n vahvuuteen asti. Ohjauspalojen mitat ylittäisivät kuitenkin tämän mitan joka suunnasta.

Päätettiin valmistaa ohjaspalat kahdesta eri osasta, 100 mm:n vahvuisesta levystä ja 20 mm:n vahvuisesta levystä. Näin päästäisiin lähes tarvittaviin mittoihin. Ohjauspalan malli muuttui kuitenkin projektin edetessä hyvin nopeasti, koska kaksiosaisten ohjauspalojen valmistus tulisi kalliiksi koneistuksen määrän takia. Lopulliset ohjaspalat suunniteltiin huomattavasti yksinkertaisimmiksi ja valmistettavaksi D180 mm:n nylontangosta. Näin ohjauspalojen valmistus yhdestä aiheesta olisi mahdollista. (Kuva 19.)



KUVA 19. Kaksi erilaista versiota kaksiosaisista ohjauspaloista

Ohjauspalat suunniteltiin aluksi hyvin kevytrakenteisiksi, jotta asentajien olisi ergonomisempaa ja mukavampaa käsitellä niitä. Projektin edetessä selvisi, että kevennykset voisivat kuitenkin heikentää ohjauspalojen kestävyyttä huomattavasti. Ohjauspalojen hinta nousisi myös tehtyjen kevennysten myötä. Kevennykset suunniteltiin lisättävän myöhemmin ohjauspaloihin, jos toimivuus muuten todetaan riittäväksi ja kevennyksille nähtäisiin tarvetta. Ilman kevennyksiä yhden ohjauspalan painoksi saatiin SolidWorks-ohjelmalla noin 8 kg. (Kuva 20.)



KUVA 20. Yksiosaset ohjauspalat, joista tarjouskyselyt tehtiin

7.3 Valmistusmenetelmien kartoitus

Ohjauspaloista tehtiin tarjouskysely Etralle, koska siellä on myös koneistuspalvelua. Etralle lähetettiin 3D-kuvat, joiden pohjalta tarjous laskettiin valmiiksi koneistetuille ohjauspaloille. Ohjauspaloja tarvitaan akselin asennuksessa 2 + 2 kappaletta. Ilmeni kuitenkin, ettei Etra pystyisi valmistamaan ohjauspaloja täysin valmiiksi. Ohjauspalan sisään tuleva 62 mm:n vaarnareikä ei olisi mahdollista valmistaa heidän konekannallaan. Reikä jouduttaisiin tekemään jälkepäin jossain muualla. Pian selvisi kuitenkin, että reiät voidaan valmistaa Wärtsilässä omilla koneilla.

Etran lähettämästä tarjouksesta ilmeni, että ohjauspalojen hinta oli huomattavasti odotettua suurempi. Ohjauspalojen toimitusaika olisi myös hyvin pitkä, jopa kahdesta neljään viikkoa. Tarjouksen jälkeen Etraan oltiin yhteydessä ja tiedusteltiin, kuinka hintaa saataisi alhaisemmaksi. Ohjauspalojen korkea hinta johtui liukupinnan koneistuksen asetusajasta. Etra suositteli tarjouksessa olevaa Ra3.2 pinnanlaatua, koska se ei nostaisi hintaa liian korkeaksi. Materiaalin hinta oli ainoastaan 1/5 tarjouksen hinnasta. Ohjauspalojen muiden muotojen muokkaamisella ei myöskään ollut suurta merkitystä hinnan suhteen. Hinta olisi laskenut ainoastaan ohjauspaloja tilaamalla 2 + 2 kappaleen sijaan 4 + 4 kappaletta. Tällöin hinta olisi laskenut 20 %.

Tarjouskyselyjä tehtiin useampaan eri koneistus- ja vesileikkausyritykseen. Myös mahdollista pikamallinnus- ja valuvalmistustekniikkaa tiedusteltiin. Koneistumahdollisuutta tiedusteltiin myös Vaasan ammattiopistosta. Ammattiopistosta ehdotettiin, että ohjauspalat voitaisiin valmistaa oppilasnäyttötöynä. Osoittautui kuitenkin, että ohjauspalat olisivat liian työläät valmistaa oppilasnäyttötöynä, koska ohjauspalojen koneistuksen ohjelmointiin kuluisi liian paljon aikaa. Jos ohjauspalat tehtäisiin normaalina koneistustyönä Vaasan ammattiopistolla, hinta nousisi hyvin lähelle Etralta saatua tarjousta. Ammattiopistolla ei myöskään olisi voitu valmistaa ohjainpalan sisään tulevaa 62 mm:n reikää.

Vaasalainen yritys nimeltä UltraCut leikkasi testimielessä vesileikkurilla näytepalaa, joka heille toimitettiin. Koeleikatun aihion vahvuus oli 170 mm, mutta leikkauksen jälkeinen pinnanlaatu oli todella huono kun leikkaus suoritettiin nopeudella 10 mm / min. Ohjauspalojen vesileikkaus tulisi kalliiksi tällä leikkauks nopeudella. Vesileikkaus mahdollistaisi myös ainoastaan ohjauspalojen päämuotojen leikkauksen. Viisteet, pyöritykset ja ohjainpalan sisään tuleva reikä olisi koneistettava vesileikkauksen jälkeen. Vesileikkauksessa ilmeni myös muita ongelmia. Vesileikkauksessa kappaleita voidaan leikata pelkällä vedellä, mutta ohjauspalojen vesileikkauksessa jouduttaisiin käyttämään vesi-hiekka seosta, koska materiaali on niin kovaa. Toisissa vesileikkausyrityksissä leikkauksen

ongelmaksi nousi kappaleiden suuri koko, eikä leikkaus olisi tästä syystä mahdollista. (Kuva 21.)



KUVA 21. Näytepala, jossa leikkaussuunta vasenmalta

Pika- ja valumallitekniikkaa tiedusteltiin yritykseltä nimeltä MSK Plast Oy. MSK Plast Oy:ltä tuli kuitenkin nopeasti vastaus, ettei ohjauspalojen valmistaminen olisi taloudellisesti järkevää kyseisillä valmistusmenetelmillä. MSK Plast Oy aikoi kuitenkin tiedustella yhteistyökumppaniltaan Kiinasta mihin hintaan he voisivat valmistaa ohjauspalat koneistamalla.

Ohjauspaloista tehtiin tarjouskyselyjä yhteensä kahdeksaan eri yritykseen:

- Etra (Etola yhtiöt) olisi valmistanut ohjauspalat koneistamalla. Etralta saatiin tarjous, mutta hinta oli odotettua korkeampi ja toimitusaika 2 - 4 viikkoa.

- Suomen Vesileikkaus Oy ei voinut valmistaa ohjauspaloja vesileikkauksella, koska D180-nailontanko ei olisi mahtunut heidän vesileikkauskoneensa suuttimen ja pöydän väliin.
- Vaasan ammattiopisto antoi karkean tarjouksen koneistetuista ohjauspaloista. Tarjous oli melkein sama kuin Etralta saatu tarjous.
- MSK Plast Oy:llä ei ollut kapasiteettia valmistaa ohjauspaloja itse pikavalumallitekniikalla. Heidän lupaamaansa tarjousta yhteiskumppanilta Kii-nasta ei saatu.
- UltraCut Oy:lle toimitettiin koevesileikkauspala, mutta heidän vesileikkaukskoneellaan ohjauspalojen valmistus olisi ollut hyvin hidasta ja leikkauks jälki oli huono.
- Kumi-Järvinen Oy ei voinut toimittaa kyseisiä ohjauspaloja. He kyselivät ohjauspalojen valmistusta yhteistyökumppaneiltaan.
- Muotek Oy vastasi, että koneistus olisi valumuotin valmistusta järkevämpi vaihtoehto ohjauspalojen valmistukseen.
- UH-Koneistus Oy:ltä ei myöskään saatu vastausta ohjauspalojen koneistukseen liittyen.

7.4 Kampiakselin ohjauspalojen suunnittelun tulos

Ohjauspaloja ei ole vielä toistaiseksi tilattu, koska hinta on liian korkea. Ohjauspalojen rakennetta muuttamalla hintaa voitaisiin kuitenkin saada todennäköisesti alhaisemmaksi. Saaduista tarjouksista kävi ilmi, että ohjauspalojen valmistus jyrsimällä on kallista pitkien asetusajojen takia. Koneistusta ei voida kuitenkaan kokonaan sulkea pois ohjauspalojen valmistuksesta, koska ohjauspaloihin olisi hyvä saada myös pyöreitä muotoja. Ohjauspalojen liukupinnassa ei saisi olla teräviä kulmia, ettei akseliin laakeripintaan tulisi jälkiä laskun aikana.

Koneistuksen asetusajaa nosti ohjauspalojen valmistuksen hintaa huomattavasti. Ohjauspalojen hintaa voidaan siis saada halvemmaksi mitä enemmän ohjauspaloja tilataan. Ohjauspalat tulisi suunnitella niin että ne sopisivat mahdollisesti muihinkin Wärtsilän moottoreihin, näin ohjauspaloja voitaisiin tilata useampia kappaleita kerralla ja koneistuksen hinta laskisi huomattavasti. Ohja-

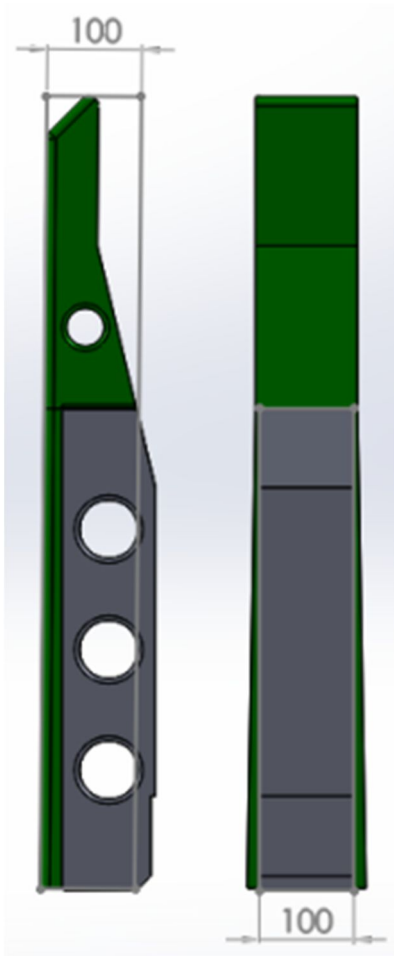
uspalojen toimivuus olisi kuitenkin hyvä saada selville ennen suuria tilauksia. Ohjauspaloista tulisi valmistaa protoversiot joka tapauksessa, ongelmana on että näiden protojen hinta on usein hyvin suuri. Protojen valmistusmateriaalia voitaisiin miettiä, jolloin myös niiden valmistus voisi olla halvempaa. Protoilla voitaisiin varmistaa ohjauspalojen istuvuus ja toimivuus käytännössä eri moottori tyyppeihin. Ohjauspalojen sopivuutta voidaan simuloida myös tietokoneilla.

7.5 Kampiakselin ohjauspalojen vaihtoehtoinen valmistus menetelmä

Ohjauspalat täytyy suunnitella uudestaan, jotta halvempi valmistusmenetelmä olisi mahdollista. Ohjauspalat voitaisiin valmistaa esimerkiksi sahaamalla. Tällöin ohjauspalojen muodot tulisivat olla mahdollisimman suorina. Sahaamisen rajoitteena on myös leikattavan muoviaihiön paksuus. Ohjauspalat täytyisi valmistaa kahdesta eri osasta, jotta sahaaminen olisi mahdollista. Sahauksella ei myöskään yleensä päästä kovin hyvään pinnanlaatuun. Ohjauspalojen liukupinnan pinnanlaatu tulisi kuitenkin olla mahdollisimman hyvä.

Tekniset muovit valmistetaan valamalla. Valetun muovin valupinta on yleensä hyvin sileä, jota voitaisiin käyttää hyväksi ohjauspalojen liukupinnalla. Ohjauspalat voisi suunnitella niin, että valettu pinta jäisi ohjauspalan liukupinnaksi.

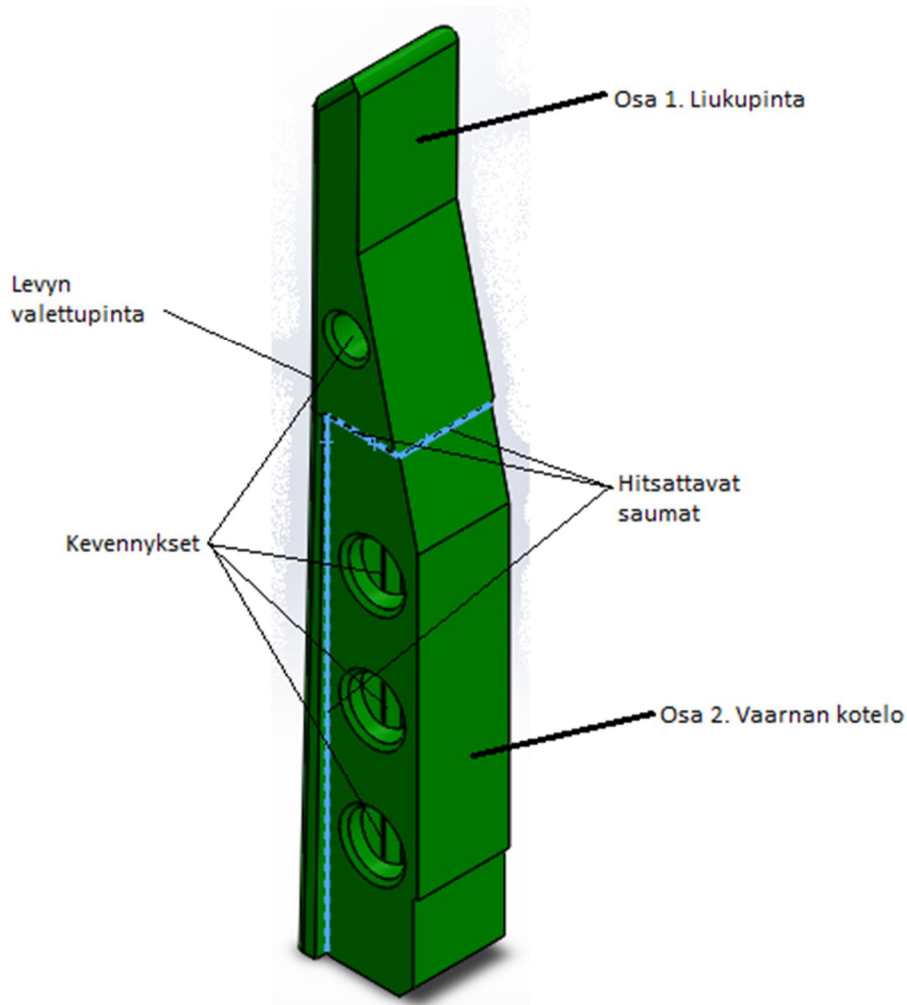
Ohjauspalat voitaisiin valmistaa esimerkiksi 100 mm:n vahvuisesta nailonlevystä sahaamalla. Runkolaakerisatulan vaarnanreikä jouduttaisiin kuitenkin poraamaan tai koneistamaan. Myös liukupinnan reunojen pyöristykset joudutaan toteuttamaan koneistamalla tai jollain muulla valmistusmenetelmällä. (Kuva 22.)



KUVA 22. Esimerkkikuva: ohjauspalojen valmistus kahdesta 100 mm:n kappaleesta

Ohjauspalojen muoviset sahatut osat voidaan liittää toisiinsa esimerkiksi muovihitsaamalla tai liimaamalla. (15.) Useita teknisiä muoveja voidaan hitsata, joten hitsaus voisi sopia myös kahdesta osasta valmistettavien ohjauspalojen liittämiseen. Hitsauksella vältetään myös mahdollisten liitosmekanismien koneistukselta. Hitsausaumoihin kohdistuva rasite voi olla kuitenkin este muovihitsaukselle, koska hitsaus ei ole vahvin liitosmenetelmä muoveille. Ohjauspaloihin kohdistuva mekaaninen rasitus on kuitenkin pääasiassa puristavaa kuormitusta, joten hitsausaumat voisivat myös mahdollisesti kestää kyseissä käytössä.

(Kuva 23.)



KUVA 23. Esimerkkikuva sahaus- ja hitsausmenetelmällä toteutettavasta ohjauspalasta

Ohjauspaloihin tehtävät kevennyksreiät toisivat ohjauspalojen käsittelyyn mukavuutta. Reiät parantaisivat myös tartuntaotetta kun ohjauspaloja asennetaan. Kevennykset voidaan valmistaa ohjauspaloihin joko reikäsahalla tai poraamalla.

Ohjauspalojen valmistusmateriaali vaihtoehtoja voidaan miettiä tarvittaessa. Materiaali voidaan valita myös valmistustavan asettamien kriteereiden perusteella, esimerkiksi hitsaussauman kestävyuden parantamiseksi.

8 RUNKOLAAKERISATULAN LAAKERINPALANPIDIKE

Työkalun suunnittelussa lähdettiin liikkeelle tutustumalla jo aikaisemmin tehtyyn työkaluun ja siinä havaittuihin ongelmiin. Mietittiin voisiko jo olemassa olevaa työkalua parannella käyttökelpoiseksi. Työkalua käytiin kokeilemassa linjakoonpanossa eri moottoreihin. Ongelmiin ei kuitenkaan tuntunut löytyvän järkeviä ja yksinkertaisia ratkaisuja. Kokoonpanon työntekijöitä haastateltiin myös aiheeseen liittyen ja he saivat esittää omia näkemyksiään. Työntekijät kertoivat, että olivat joskus käyttäneet laakerinpalan pitämiseen nauhoja ja naruja. Tätä ideaa lähdettiin jalostamaan. Työkalun tulisi olla helppokäyttöinen, jotta työn tekeminen ei hidastuisi tai hankaloituisi.

Ajatus satulan nostorautaan integroitavasta nauhakelasta syntyi hyvin nopeasti projektin alussa. Integroimalla nauhakela nostorautaan vältetään myös työkalujen määrän kasvamiselta. Nauhakela toimisi kuten auton turvavyö ja pitäisi laakerinpalaa kiinni satulassa sen noston ajan.

Markkinoilla on tarjolla valmiita nauhakelamekanismeja. Valmiit nauhakelat olisivat hyvä vaihtoehto, jos kela jouduttaisiin vaihtamaan esimerkiksi vauriotilanteissa uuteen. Markkinoilla olevia nauhakeloja on käytössä esimerkiksi rajaushauhoina. Markkinoilla olevat nauhakelat ovat kuitenkin hyvin suurikokoisia eivätkä olisi integroitavissa kovin helposti nostorautaan ilman suuria muutoksia.

Nauhakela päätettiin suunnitella ja valmistaa itse. Nauhakelan mekanismin toimintaperiaatetta tutkittiin purkuauton turvavyömekanismista. Rakenne ilmeni hyvin yksinkertaiseksi, joten kelamekanismi olisi helppo suunnitella itse. Ennen kuin nauhakelaa alettiin 3D-mallintamaan SolidWorks-ohjelmistolla, kartoitettiin kaikki tarvittavat standardikokoiset komponentit, jotka tulisivat kelaan: jousi, nauha, laakerit, pultit ja lukitussocka. Muut kelan komponentit tulisi suunnitella ja valmistaa itse: runko, akseli ja peitelevy. Nostoraudan runkoon jouduttiin myös tekemään muutoksia suunnittelutyön edetessä ja todettaessa, ettei kela mahdu ilman muutoksia nostoraudan jalkojen väliin.

8.1 Nauha

Kelaan tulevan nauhan ominaisuuksia mietittäessä otettiin huomioon nauhan kemiallinen ja mekaaninen kestävyys. Nauhan tulisi olla myös pehmeää materiaalia, jottei se vaurioittaisi laakerinpalan pintoja ja kampiakselia. Nauhan ongelmauksi nousi vaatimus puhtaudesta. Nauha voi joutua kosketuksiin moottoriöljyn kanssa, jolloin siihen tarttuu likaa herkemmin. Nauhan puhtaana pitämi- seen mietittiin erilaisia ratkaisuja. Nauha voitaisiin käsitellä esimerkiksi jollain kyllästeaineella. Vaarana olisi kuitenkin, että kyllästeainetta joutuisi laakeripalo- jenpintaan ja moottorinvoitelu pettäisi.

Nauhoja ja naruja on markkinoilla useita erilaisia. Selvitettiin, löytyisikö nauha, joka kestää erilaisia kemikaaleja, erityisesti moottoriöljyä ja rasvanpoistoaineita. Rasvanpoistoaineella nauhaa voidaan puhdistaa tarvittaessa siihen tarttuneesta öljystä ja liasta. Nauhan valmistusmateriaalin vaatimuksia selvitettyä oltiin yhteydessä useisiin eri henkilöihin ja nauhan valmistajiin.

Ensimmäiseksi nauhaksi suunniteltiin Finn-nauha Oy:n valmistamaan PES-ripsinauhaa. PES-ripsinauha on hyvin ohut ja kestävä. Nauha kestää paljon ku- lutusta ja useimpia kemikaaleja. Nauhasta käytiin hakemassa näytepala ja nau- han ominaisuudet vaikuttivat oikein hyviltä ja toimivilta tulevaa työkalua ajatel- len.

8.2 Jousi

Turvavyössä nauha rullautuu akselin ympärille jousen voimalla. Mekanismissa jousena toimii spiraalijousi. Kyseinen jousimekanismi tulisi myös laakerinpalan pidikkeeseen. Jousia tiedusteltiin yritykseltä nimeltä Oy Lesjöfors Ab. Sieltä saatiin myös hyvin opastusta ja tietoa jousien toiminnasta ja valinnasta. Jousien tekniset mitat ja 3D-kuvat olivat myös helposti saatavissa yrityksen omilta inter- netsivuilta, mikä omalta osaltaan helpotti suunnittelua. Lesjöforsilla on tarjolla useita eri voimakkuusasteisia spiraalijousia, joiden kierrosmäärät ovat 10 ja 20 kierrosta. Jousen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa akselille tar- vittava pyörimismäärä ja jousen antama voima, jota mitataan newton / millimetri.

Jousen antamaan voimaan voidaan vaikuttaa myös akselinhalkaisijalla. Akselin pyörimismäärään taas vaikuttaa nauhan pituus ja akselinhalkaisija.

Nauhan pituus laskettiin runkolaakerisatulan piirustuksista, satulan kylkien ja laakeripinnan leveyden mukaan. Nauha tulisi satulan ympäri kaksin kerroin. Minimi pituus nauhalle olisi tällöin noin 1,4 m.

Jousen antama voima voidaan laskea kaavalla 1 (16.)

$$N = M / (A / 2)$$

KAAVA 1

N = jousen antama voima (N)

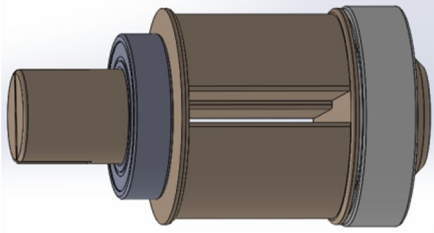
M = jousen vääntömomentti (Nmm)

A = akselinhalkaisija (mm)

Kaavan laskemisen helpottamiseksi kaikki tarvittavat tiedot syötettiin Excel-
taulukoon. Taulukoon syötettiin useita akselivahvuuksia sekä eri jousien antamia voimia. Tavoitteena oli, että jousi jaksaisi pidellä laakerinpalaa paikallaan. Laakerinpalat painavat noin 4kg / kpl. Excel-ohjelmalla saaduista tuloksista toimivin Lesjöforsin spiraalijousi oli kierrosmäärältään 20 kierrosta. Kyseisen Lesjöforsin jousen artikkelinumero on 8985. Jousen voima 20 kierroksen jälkeen olisi noin 30 N. (Liite 2.)

8.3 Akseli

Nauhakelan akseli suunniteltiin Lesjöforsin jouselle sopivaksi. Akselin suunniteltuun vaikutti myös Finn-nauhan valmistaman nauhan leveys ja paksuus. Akseli tulisi pyöriä mahdollisimman keveästi, jotta mekanismi toimisi ilman suuria vastuksia. Akseli suunniteltiin pyörimään kuulalaakereiden varassa. Kuulalaakereiden valintaan vaikuttavia tekijöitä olivat jouselle asetettu akselinpaksuus sekä akselin nauhaosan halkaisija, koska akseli suunniteltiin asennettavaksi kelanrunkoon toisesta kyljestä uittamalla. Lopuksi akseli lukitaan paikalleen pidätinrenkaalla, DIN472. Laakereiden leveydet haluttiin pitää mahdollisimman kompakteina, jotta nauhakelan kokonaisleveys pysyisi mahdollisimman kapeana. Laakerit valittiin SKF:n sivuilta. (17.) (Kuva 24.)

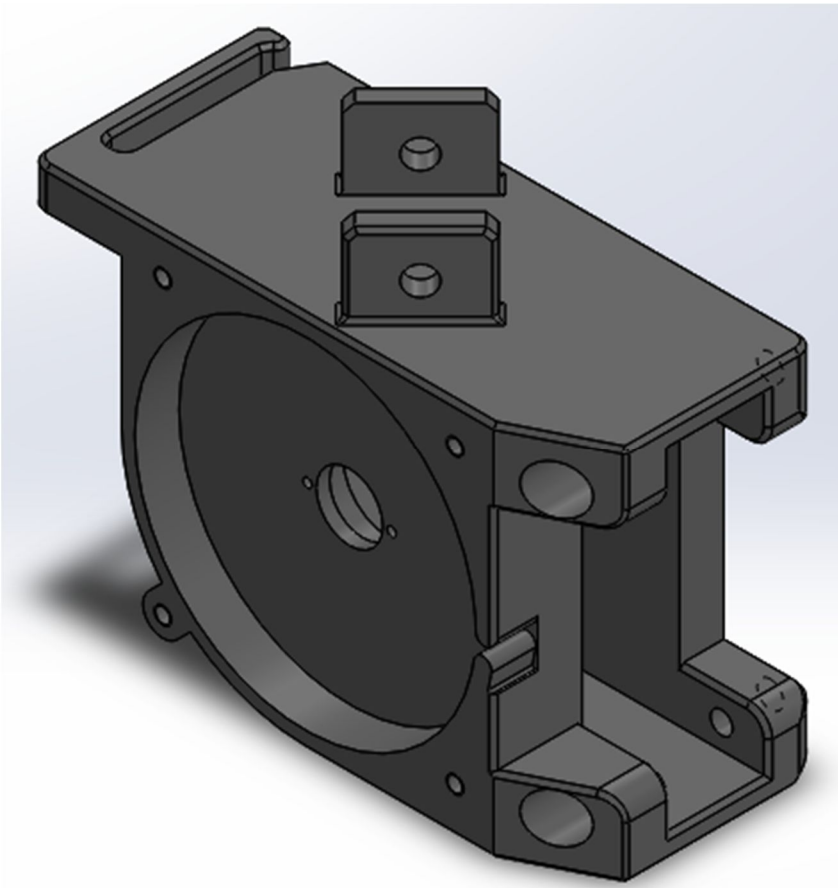


KUVA 24. Akseli ja laakerit

8.4 Runko

Nauhakelasta tehtiin 3D-kuvat SolidWorks-ohjelmalla. Nauhakelan 3D-kuvat syntyivät helposti, kun kaikki standardikomponenttien mitat oli saatu selvitettyä. Tavoitteena oli pitää nauhakelan koko mahdollisimman pienenä, jotta se saataisiin liitettyä helposti suoraan jo olevaan runkolaakerisatulan nostorautaan.

(Kuva 25.)



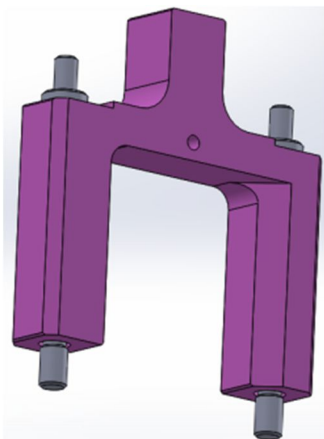
KUVA 25. Nauhakelanrunko

Käytössä olevan nostoraudan jalkojen korkeus on 55 mm ja jalkojen väli 90 mm. Valitun spiraalijousen pesänhalkaisijan vaatimus oli 77 mm ja jousi tulisi pystyasentoon 90° kulmaan kelanakseliin nähden. Nostorautaa jouduttiin tästä syystä muuttamaan jalkojen pituuden osalta. Nostoraudan jalkojen pituuden muuttamisen yhteydessä myös jalkojen läpi meneviä kiinnityspultteja pidennettiin vastaamaan uuden raudan runkoa. Nauhakelan kiinnitys nostoraudanrunkoon suunniteltiin tukevaksi ja yksinkertaiseksi. Nauhakelan päälle suunniteltiin korvakkeet, joilla kelanrunko kiinnitettäisiin nostoraudanrunkoon pultiliitoksella.

8.5 Nostorauta

Nostorauta tulee 45° kulmaan runkolaakerisatulaan nähden. Nauhakela tahdottiin kuitenkin 0° kulmaan kampiakselin suuntaisesti. Tällä vältetään nauhan meneminen punteille takaisinkelausvaiheessa. Nauhakelasta tuli noin 52 mm leveä. Kelanrunko ei tästä syystä mahdu nostoraudan jalkojen väliin 45° kulmaan ilman 5 mm:n viisteitä, jotka olisi tehtävä nostoraudan jalkoihin. Nostoraudan nostokorvakkeen juureen tulevia r-kulmia kasvatettiin kestävyuden lisäämiseksi.

Nostoraudan runkoon tehtiin kaikki tarvittavat muutokset kelan istuvuudeksi. Nostoraudan rungolle teetettiin tämän jälkeen karkea lujuuslaskelma Wärtsilän työkalusuunnittelijoiden toimesta. Lujuuslaskelmasta kävi ilmi, etteivät tehdyt muutokset vaikuttaneet kriittisesti raudan nostokestävyyteen. (Kuva 26.)



KUVA 26. Uusi nostorauta ja kiinnityspultit

8.6 Proto

Kelan osien 3D-kuvat rungosta, akselista, nauhanpidintapista ja nostoraudanrungosta piirrettiin SolidWorks-ohjelmalla. Nauhakelaan pulttien ja pientarvikkeiden 3D-kuvat saatiin valmiina suoraan Tracepartsin www-sivustolta. (18.) Laakereiden 3D-kuvat ladattiin SKF:n www-sivuilta. (17.)

Nauhakelan protoversion osat runko, akseli ja nauhan pidintappi tulostettiin 3D-muodossa Wärtsilän MTC-osaston 3D-tulostimella ABS-muovista. Nauhakelan 3D-tulostettuun runkoon tehtiin pieniä muutoksia rungon kestävyuden parantamiseksi. Muutoksia tehtiin myös jousen pidätinkannen kiinnitysruuvien kierteille. Kierteiden sijaan tehtiin pelkät reiät. Pulteille, joiden kautta nauha kulkee ja nauhan toinen pää kiinnitetään runkoon, tehtiin vastamuttereille kolot kierteiden sijaan. Myös akselin päähän tehtiin kolo kuusiokoloavainta varten, jotta jousen esikireyttä voidaan säätää avaimella. (Kuva 27.)



KUVA 27. 3D-tulostetut osat ensimmäiseen protoversioon: runko, akseli ja nauhan pidintappi, oikealla jousen suoja Levy

Protoversion nostoraudanrunko tilattiin UH-Koneistus Oy:stä, jossa myös valmistettiin nostoraudan kiinnityspultit. Spiraalijousen suoja Levy tilattiin Promeco Group Oy:stä.

8.7 Koekäyttö ja korjaavat toimenpiteet

Kaikki tarvittavat osat oli saatu protoversiota varten, joten kelan toimivuutta päästiin käytännössä testaamaan. Testeissä kelan toimivuudessa ilmeni kuitenkin ongelmia. Nauhan vetäminen kelasta osoittautui liian raskaaksi. Syynä siihen oli jousen liian suuri voima. Nauha ei myöskään kelautunut kunnolla takaisin akselille ja meni helposti takaisinkelausvaiheessa punteille ja kaksin kerroin.

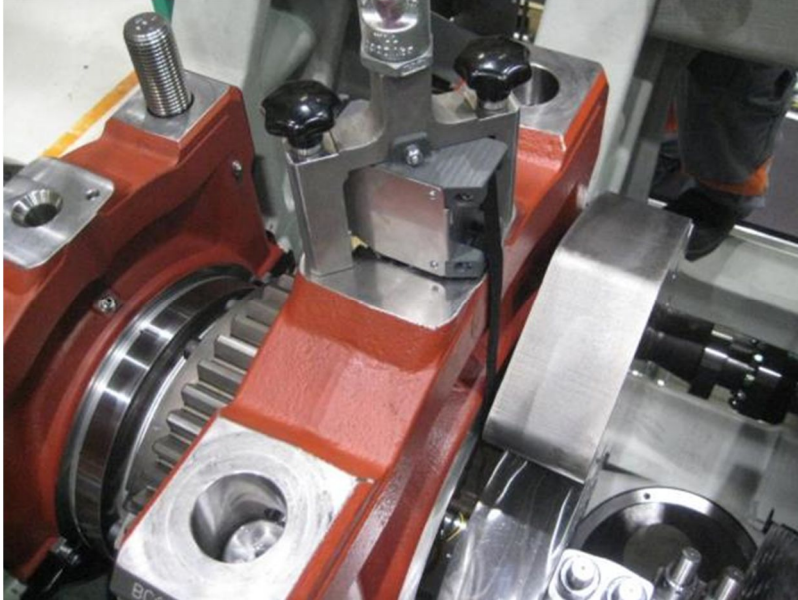
Ongelmiin löydettiin kuitenkin ratkaisut. Nauhan vetojäykkyyteen voitiin vaikuttaa heikommalla jousella, joten uusi jousi tilattiin. Uusi jousi oli mitoiltaan sama kuin edellinen, mutta 2 mm kapeampi. Uuden jousen Lesjöforsin tuotenumero on 8984 (liite 2). Uuden jousen ja pidätinlevyn väliin täytyi tehdä muovista 2 mm:n vahvuinen kiekko estämään jousen liiallista elämistä jousipesässä. Akselin halkaisijaa kasvatettiin vesijohtoputkesta tehdyillä holkilla. Akselin halkaisijaa kasvattamalla jousen vetolujuus heikkeni. Nauhan juoksevuutta ohjainpultin kautta parannettiin lisäämällä pultin päälle rullaholkki, joka pyörii nauhan ja pultin välissä nauhaa vedettäessä. Rullaholkki esti lopullisesti nauhan punteille menemisen takaisinkelausvaiheessa.

Finn-nauhan lähettämien nauhanäytteiden joukossa oli teknistä nauhaa (liite 3). Tekninen nauha osoittautui paremmaksi ja toimivammaksi vaihtoehdoksi ripsin nauhan tilalle. Nauhan kylkijäykkyys ja liukkaus toimivat myös paremmin kelamekanismeissa ja nauhan kemiallinen kestävyys oli parempi. Teknistä nauhaa laitettiin akselin ympärille useampi kierros, jolloin ”akselin halkaisija” kasvaa ja jousen voima heikkenee lisää.

Kela saatiin toimimaan halutulla tavalla tehdyillä yksinkertaisilla muutoksilla. Jousen vetolujuus osoittautui riittäväksi myös tehtyjen muutosten jälkeen, koska koukku, jonka kautta nauha kulkee käytön aikana jarruttaa voimakkaasti nauhan kelautumista kelasta ulos.

Protoversiota koekäytettiin linjalla kahteen eri moottoriin useamman työntekijän koekäyttämänä. Nostorauta ja kelamekanismi osoittautuivat hyvin käyttökelpoiseksi työkaluksi käytännössä. Työntekijät olivat hyvin tyytyväisiä työkalun käy-

tettävyyteen ja toimivuuteen. Työntekijöiltä saadusta palautteesta kelamekanismiin ja sen käytettävyyteen liittyen selvisi, ettei työkaluun tarvitsisi tehdä muutoksia toimivuuden takia. (Kuva 28.)



KUVA 28. Protoversion koekäyttö runkolaakerisatuloiden asennuksessa

Lopullisen kelamekanismin runko valmistetaan alumiinista, jolloin siitä saadaan kestävämpi lopullista käyttöä ajatellen. Lopulliseen versioon tehtävät rakenteelliset muutokset ovat seuraavat:

1. Akselin paksuus muutetaan vastaamaan protoversion akselin ja siihen tehdyn holkin yhteistä halkaisijaa eli akselia paksunnetaan 20 mm:stä 26 mm:iin.
2. Akselin paksuuden muutoksen seurauksena toinen laakereista vaihdetaan isommaksi, jotta akseli saadaan asennettua kelan runkoon. Laakerin koko muuttuu silloin koosta 12mm x 24mm x 6mm kokoon 15mm x 28mm x 7mm
3. Jousen uraa akselinpäässä pidennetään, jolloin uraa on aiempaa helpompi koneistaa.
4. Jousen pidätinlevyn kiinnitysruuveille tehdään kierteet.

5. Nauhan kiinnitys- ja ohjauspulteille tehdään kierteet mutterikolojen sijaan.
6. Akselin päähän tehdään kierre, johon voidaan kiertää pultti jousivoiman säätämistä varten.
7. Kelan rungon pyöritykset vaihdetaan viisteisiin koneistuksen helpottamiseksi.
8. Nauhakelan jousipesää kavennetaan vastaamaan kapeampaa ja heikompa jousia. Jousipesä kavennetaan 12 mm:stä 10 mm:iin.

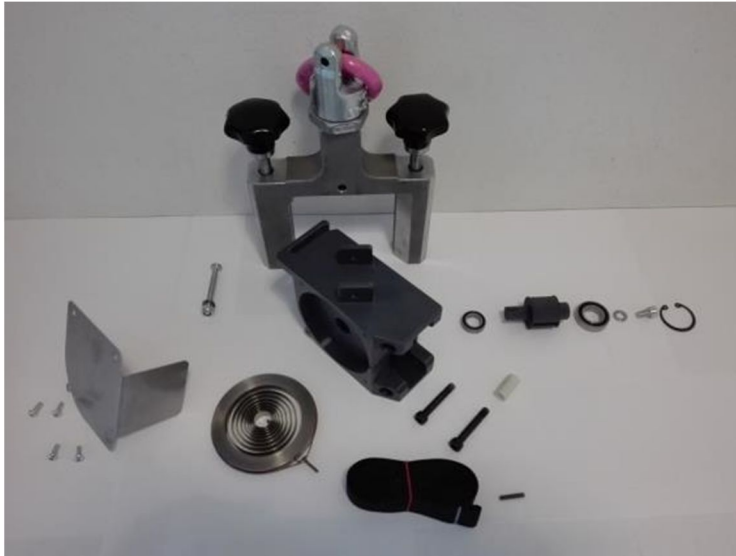
Päätettiin, että tehtyjen muutosten johdosta kelan lopullinen protoversio 3D-tulostetaan. Lopullisella protoversiolla saadaan varmuus kelan toimivuudesta tehtyjen muutosten jälkeen. Lopullisen version 3D-tulosteesta voidaan tarvittaessa tutkia ja tarkistaa kelan mekanismeja ja mittoja dokumentteja tehdessä.

Työkalusta on päätetty tehdä virallinen työkalu kokoonpanolinjalle. Virallisesta työkalusta joudutaan tekemään Wärtsilän omat piirustukset ja dokumentit. Viralliset piirustukset ja osanumeroinnit tehdään Wärtsilän työkaluosaston toimesta Wärtsilän omiin järjestelmiin. Muokatulle nostoraudalle on myös tehtävä lujuuslaskelmat ja koenostot. Koenostoissa nostorautaa kuormitetaan normaalia enemmän.

8.8 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen osat

Työkalun lopullinen 3D-tulostettu protoversio toimii moitteettomasti ja halutulla tavalla. Lopullinen protoversio toimitettiin työkaluosastolle. Työkalun viralliseen versioon tehdään vielä todennäköisesti joitain rakenteellisia muutoksia. Muutoksilla haetaan halvempia koneistus- ja valmistuskustannuksia. Työkalun runko valmistetaan alumiinista koneistamalla ja nauhakelan akseli muovista.

(Kuva 29.)



KUVA 29. Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen osat

Kaikista työkalun liitettävistä osista luovutettiin tarvittavat tiedot työkaluosastolle. Työkaluosaston toimesta työkalun kaikille osille tehdään tarvittaessa uudet osanumeroinnit Wärtsilän järjestelmiin. Taulukossa 2 on esitetty kaikki runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeeseen tulevat osat.

TAULUKKO 2. Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen osat

Osa/nimike	Määrä, kpl	Koko (mm)	
Runko	1	125 x 103 x 53	
Akseli	1	52,5 x 27,5	
Spiraaliujousi	1	77 x 8	Spring-SF-DVF-8984-Lesjöfors
Nauha	1	2 650 x 20 x 1	Finn-Nauha Oy: 21317 020 100J
Laakeri	1	28 x 15 x 7	61902-2RS1
Laakeri	1	21 x 12 x 5	61801-2RS1
Kansi	1	85,5 x 83 x 52	t = 1 mm
Pidätinrenkas	1	28 x 1.2	DIN472
Kuusiokolopultti	1	M6 x 10	DIN912
Kuusiokolopultti	2	M6 x 55	Katkaistaan pituuteen 38 mm
Kuusiokoloruuvi	4	M4 x 10	ISO 7380
Kuusiokolopultti	1	M6 x 50	ISO 7380
Aluslaatta	3	M6	DIN124
Holkki	1	21 x 10	Reikä 7 mm
Lukkomutteri	1	M6	DIN933
Nauhan pidintappi	1	18 x 3	
Nostoraudan runko	1	155 x 150 x 30	
Nostoraudan ruuvit	2	146 x 20	
Käsimutterit	2	M10	
Nostosilmukka	1	M16	Nosto kestävyys = 1,5 t

Viimeisen protoversion kokoamisen yhteydessä työkalun kasaamisesta otettiin kuvia. Otetuista kuvista tehtiin PowerPoint-ohjelmalle kokoamisohjeet. Kokoamisohjeita voidaan hyödyntää, kun työkalua joudutaan purkamaan ja kasaamaan virallisia dokumentteja tehdessä. Lopullisiin dokumentteihin tehdään viralliset räjäytyskuvat ja kasausohjeet.

8.9 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen jatkokehitys

Työkalun valmistettavuus esimerkiksi koneistamalla vaatii todennäköisesti tehtäviä muutoksia. Nämä valmistuksen kannalta tehtävät muutokset olisi pitänyt ottaa paremmin huomioon jo työkalua suunniteltaessa. Koneistusmenetelmien paremmasta tuntemuksesta olisi ollut suuri apu työkalua suunniteltaessa. Työkalun suunnittelu ja valmistus etenivät kuitenkin nopeasti ja lopulliset viimeistelyt jäivät tästä syystä pienemmälle huomiolle. Nopea eteneminen kuitenkin mahdollisti työkalun protoversion valmistuksen ja koekäytön, joka oli tärkeää projektin viemiseksi näin pitkälle.

Työkalun rakenteeseen voidaan miettiä parannettavia kohteita. Esimerkiksi työkalun kokoa voitaisiin yrittää saada vielä pienemmäksi. Tämä mahdollistaisi työkalun käytön myös Wärtsilän kaikissa moottoreissa, jos nauhakela voidaan integroida toisiinkin nostorautoihin.

Työkalua voidaan saada pienemmäksi esimerkiksi korkeussuunnassa jousa pienentämällä. Pienempi jousi kuitenkin vaikuttaa akselin kierrosten määrään. Jousa pienennettäessä sen kierrosten määrä vähenisi kahdestakymmenestä kymmeneen. Pienemmän jousen voima on huomioitava, jos muutoksia tehdään. Pienempi kierrosmäärä vaikuttaa suoraan käytettävän nauhan pituuteen. Tähän voidaan vaikuttaa kuitenkin akselin paksuudella. Kelan rungonleveyteen voidaan vaikuttaa vain muutamia millimetrejä. Nämä millimetrit voidaan poistaa pienentämällä nauhan, jousen ja laakereiden leveyksiä.

8.10 Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen käyttöönotto

Suunniteltu laakerinpalanpidiketyökalu onnistui odotettua paremmin. Työkalun protoversio toimi koekäytöissä todella hyvin ja siihen oltiin tyytyväisiä. On kuitenkin mahdollista, että virallisessa työkalussa ilmenee toimivuuden kannalta joitain parannettavia kohteita lopullisen käytön yhteydessä. (Kuva 30.)



KUVA 30. Runkolaakerisatulan laakerinpalanpidikkeen toinen protoversio

Parannettavakohteet tulevat olemaan lopullisessa käytössä todennäköisesti kestävyysliittyviä. Työkalun kestävyyttä tulisi seurata käytön yhteydessä ja esille tulevista ongelmista tulisi raportoida heti eteenpäin. Nauhakelan osat voivat rasittuvat käytössä odotettua enemmän. Osat voivat esimerkiksi murtua jousen aiheuttamasta iskusta, kun toistoja tehdään tarpeeksi.

Kelassa olevan nauhan kestävyudessa voi ilmentyä ongelmia kulumisen kanssa. Nauhaa joudutaan myös puhdistamaan voimakkailla kemikaaleilla toistuvasti ja tämä voi alkaa näkymään myös nauhan rakenteessa. Jos käytössä ilmenee nauhan mekaanista kulumista tai rispaantumista, olisi tiedusteltava kulutusta kestävämmän nauhan saatavuutta samoilla kemiallisilla ominaisuuksilla. Nauhatyyppin muuttaminen kelamekanismiin saattaa vaatia jotain muita muutoksia myös kelan muihin komponentteihin.

Nosto- ja toistokertojen määrää voidaan helposti seurata tuotantojärjestelmien kautta. Mahdollisesti hajoavat ja kuluvat osat ja niiden vaihdot olisi hyvä merkitä muistiin ja samalla laskea tehdyt toistot työkalulle. Seuranta voidaan hyödyntää esimerkiksi työkalun ennakkohuolloissa. Seurannasta voidaan saada selville myös työkalun heikot kohdat. Heikkojen ja usein vaihdettavien komponenttien tilalle tulisi suunnitella mahdollisia parannuksia tai miettiä, mistä särkyminen johtuu.

Käyttöönoton jälkeen, jos työkalu on todettu toimivaksi, voidaan työkalu ottaa käyttöön myös muissa Wärtsilän kokoonpanotehtaissa. Rakenteellisia muutoksia voidaan joutua vielä tekemään, jos kelamekanismi halutaan integroida kaikkiin vastaaviin työkaluihin. Pienemmissä moottoreissa nauhakelan koko on ensimmäinen asia, joka vaikeuttaa yhdistämistä esimerkiksi nostorautaan. Isommissa moottoreissa taas kelan kiinnitys korvakkeiden väli voi olla liian kapea. Nauhan pituus pitäisi riittää isoimmillekin runkolaakeri satuloille.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella kaksi työkalua Wärtsilän Vaasan kokoonpanolinjalle W32. Työkaluilla haettiin parannusta kampiakselin asentamiseen moottorin runkokäytävään ja runkolaakerisatuloiden asentamiseen. Työkaluilla haettiin parannusta työturvallisuuteen ja laatuun kokoonpanolinjan ensimmäiselle asennusvaiheelle. Työturvallisuus- ja laatuajattelua haettiin Lean-ajatusmallista. Lean-ajatusmalli on käytössä koko W32-kokoonpanolinjalla.

Molempien työkalujen suunnittelussa tuli huomioida linjalla valmistettavien Wärtsilä 32:n ja Wärtsilä 34 -moottorimallien mittoja. Työkalujen haluttiin toimivan kaikissa linjalla valmistettavissa moottorimalleissa. Mitoitusongelma nousi erityisesti esiin kampiakselin ohjauspaloissa, koska eri moottorimallien kampiakseleiden laakeripintojen leveydet vaihtelevat moottorimallien mukaan.

Työtä alettiin kehittää tutustumalla asennusvaiheeseen ja siinä esiintyviin ongelmiin. Runkolaakerisatulan asentamisessa ongelmana on, että satulaan asennettava laakerinpala voi pudota satulanasennus- ja siirtelyvaiheessa. Irtoava laakerinpala voi aiheuttaa työtaturmia tai laatuvaikkoja. Vaarana voi olla myös, että asentajan sormet litistyvät satulan ja kampiakselin väliin asennusvaiheessa. Laakerinpalasta on pidettävä kiinni mahdollisimman pitkään, kun satulaa lasketaan kampiakselin päälle.

Runkolaakerisatulan laakerinpalan pitämiseen oli jo aikaisemmin kehitetty pidintyökalu, mutta se oli todettu huonoksi käytännössä. Suunniteltu työkalu ei sopinut käytettäväksi kaikissa moottorimalleissa. Aluksi mietittiin olemassa olevan työkalun kehitysmahdollisuuksia. Todettiin kuitenkin, että olisi helpompaa suunnitella kokonaan uusi työkalu. Kokoonpanolinjalla työskentelevät asentajat olivat käyttäneet työssä apuna erilaisia nauhoja ja naruja laakerinpalan pitämisessä paikallaan. Tästä syntyi ajatus tarvittavasta ja käytännön tarpeita vastaavasta työkalusta.

Kampiakselin laskemiseen tarvittavia ohjauspaloja alettiin suunnitella miltei tyhjästä. Kokoonpanolinjalla työskentelevillä asentajilla oli näkemystä siitä, millaiset ohjauspalat voisivat olla. Tällä hetkellä runkolaakerisatuloiden vaarnojen päällä on käytössä muoviset putket, jotka suojaavat kampiakselia ja vaarvoja vain mahdollisilta kolhuilta. Ohjauspalat suunniteltiin muoviputkien tilalle. Suunnittelun edetessä asentajille esitettiin luonnoksia ohjauspaloista.

Työkalut suunniteltiin ja mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla. SolidWorks-ohjelmisto oli helppo valinta työkalujen suunnitteluun, koska minulla oli ohjelmiston käytöstä aikaisempia kokemuksia koulusta. Ohjelmiston käyttäminen oli aluksi hieman vaikeaa, koska edellisestä käyttökerrasta oli ehtinyt jo kulua useampia vuosia. Ohjelmiston käyttö palautui kuitenkin hyvin nopeasti mieleen ja esiin nousi myös paljon uusia ominaisuuksia ohjelmistosta.

Runkolaakerisatulan laakerinpalan pidikkeen 3D-mallista tehtiin protoversio. Protoversiota koekäytettiin kokoonpanolinjalla kahteen eri moottoriin useamman asentajan kokeilemana. Asentajat olivat tyytyväisiä työkalun toimivuuteen ja käytettävyyteen. He olivat sitä mieltä, että työkalu olisi hyvä saada käyttöön kokoonpanolinjalle mahdollisimman pikaisesti. Työkalusta on päätetty tehdä virallinen työkalu Wärtsilän kokoonpanolinjalle.

Työkalun suunnittelussa ja sen käyttötarkoituksessa oli onnistuttu hyvin, ja useat henkilöt olivat tyytyväisiä työkaluun toimivuuteen. Työkalusta tehdään viralliset piirustukset ja dokumentit Wärtsilän työkaluosastolla. Työkalussa voi vielä ilmetä kehitettäviä kohteita, kun työkalua aletaan käyttää kokoonpanolinjalla kokoaikaisesti, mutta muutokset tulevat olemaan todennäköisesti hyvin pieniä.

Kampiakselin ohjauspalat osoittautuivat ajateltua kalliimmaksi valmistaa. Ohjauspalojen rakennetta yritettiin muunnella työn edetessä hyvin nopeasti edullisemmaksi, mutta siinä ei kuitenkaan onnistuttu. Työn aikataulu osoittautui ongelmaksi ohjauspalojen suunnittelussa, koska lähetettyihin tarjouskyselyihin saadut vastaukset venyivät usealta eri taholta hyvin pitkään. Ohjauspalojen valmistusmenetelmissä ilmeni erilaisia ongelmia, ja niihin yritettiin löytää ratkai-

suja sitä mukaan, kun niitä ilmeni. Osoittautui, että ohjauspalojen valmistus koneistamalla on miltei ainoa mahdollinen vaihtoehto. Hintaa voitaisiin saada alhaisemmaksi tilaamalla useammat kappaleet ohjauspaloja, jolloin koneistuksen asetus aika pienenee.

Vaihtoehtoinen valmistusmenetelmä olisi valmistaa ohjauspalat sahaamalla muovilevystä ja hitsaamalla mahdolliset liitettävät osat yhteen. Vaihtoehtoisesta menetelmästä ei kuitenkaan ehditty tehdä tarjouskyselyä työn aikana eikä sen hintaa verrattuna koneistuksen kustannuksiin saatu selvitettyä. Sahaus on kuitenkin erittäin todennäköisesti halvempi vaihtoehto koneistukseen verrattuna. Ohjauspalojen toimivuutta ja niiden tuomaa parannusta työhön olisi ollut mielenkiintoista kokeilla käytännössä ja verrata nykyiseen työvaiheeseen.

Työstä laadittiin ennen työn aloittamista projektimallinen työaikataulusuunnitelma, johon oli hahmoteltu eri työvaiheet ja niiden suunnitellut valmistumisajat. Suunnitellut aikataulutavoitteet toteutuivat miltei ajallaan. Osat aikataulutavoitteista kuitenkin venyi pidemmiksi. Osasyynä tähän olivat Wärtsilässä käynnissä olleet lomautukset ja tarjouspyyntöihin venyneet vastaukset. Toiset aikatauluun asetetut tavoitteet toteutuivat taas etuajassa, ja näihin voitiin panostaa hieman enemmän. Aikataulusuunnitelma oli kaikin puolin hyvä, ja siitä oli helppo hahmotella, miten työ seuraavaksi etenisi. Kampiakselin ohjauspalat eivät toteutuneet aikataulutavoitteen mukaisesti. Tämä jäi hieman harmittamaan kaikkia työhön osallistuneita osapuolia. Ohjauspalojen suunnittelua ja mahdollista valmistusta tulisi viedä eteenpäin, koska ohjauspalat olisivat todella toivotut apuvälineet asennusvaiheelle työn tekoa helpottamaan.

LÄHTEET

1. Wärtsilä lyhyesti. 2016. Wärtsilä. Saatavissa:
<http://www.wartsila.com/fi/wartsila>. Hakupäivä 30.3.2016.
2. Wärtsilä 31. 2016. Wärtsilä. Saatavissa:
<http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-31>. Hakupäivä 26.11.2015.
3. Wärtsilä in Finland. 2016. Wärtsilä. Saatavissa
http://compass.wartsila.com/local-sites/finland/english/wartsila_suomessa/Pages/Default.aspx (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 26.11.2015.
4. Wärtsilä. 2016. Saatavissa: <http://compass.wartsila.com> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 26.11.2015.
5. Wärtsilä 32. 2016. Wärtsilä. Saatavissa
<http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32>. Hakupäivä 26.11.2015.
6. Wärtsilä 34DF. 2016. Wärtsilä. Saatavissa
<http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-34df> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 26.11.2015.
7. Raaste, Juha-Pekka 2015. Vakaasti kulkeva Wärtsilä odottaa tilausten kypsymän loppuvuonna. Helsingin Sanomat 22.10.2015. Saatavissa:
<http://www.hs.fi/talous/a1445477104172>. Hakupäivä 1.4.2016.
8. Lapinleimu, Ilkka – Kauppinen, Veijo – Torvinen, Seppo 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.
9. Kouri, Ilkka 2009. Lean taskukirja. Helsinki: Kopio Niini.

10. Wärtsilä in DCT. 2016. Wärtsilä. Saatavissa:
http://compass.wartsila.com/local-sites/italy/english/local_operations/sp_4s_itily/industrial_operation/manufacturingengineeringmaintenancerealestate/gps/Pages/Default.aspx (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 26.11.2015.
11. Työturvallisuus. 2016. Wärtsilä. Saatavissa:
http://compass.wartsila.com/local-sites/finland/Finnish/Wartsila_Suomessa/tyoturvallisuus/johtamisjarjestelmat/Pages/Default.aspx (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 26.11.2015.
12. Tuotekehitys. 2015. Wikipedia. Saatavissa:
https://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotekehitys#cite_note-1. Hakupäivä 31.3.2016.
13. 3D-tulostus avaa opiskelijoille huikeita mahdollisuuksia. Pohjoiskarjalan ammattiopisto. 2014. Saatavissa:
<http://www.pkky.fi/oppilaitokset/ammattiopisto/outokumpu/ajankohtaista/Sivut/3Dtulostus.aspx>. Hakupäivä 23.3.2016.
14. Wärtsilä 34DF product guide. 2011. Saatavissa:
<http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-34df-product-guide.pdf?sfvrsn=4>. Hakupäivä 25.4.2016.
15. PA 6 - NYLON - POLYAMIDI. 2016. Muovityöstö Kivelä Oy. Saatavissa:
<http://www.muovityosto.fi/pa-6-nylon-polyamidi>. Hakupäivä 1.4.2016.
16. Leinonen, Markku 2016. Spiraalijousi. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Aki Ahosola. 29.12.2016.
17. Tuotteet. 2016. SKF. Saatavissa: <http://www.skf.com/fi/products/index.html>. Hakupäivä: 31.3.2016.

18. Ilmaisia 2D ja 3D CAD-tiedostoja. 2016. Traceparts online. Saatavissa:
<http://www.tracepartsonline.net/%28S%281zcn03bua2qobvm1mtznzhu%29%29/content.aspx?catalogs=1>. Hakupäivä 31.3.2016.

TEKNISET MUOVIT OMINAISUUSLUETTELO

LIITE 1

	Käyttölämpötila:	Tiheys g/cm ³ :	Kitkakerroin:	Käyttökohteet:	Ominaisuudet:
Polyamidi (PA, Nailon): PA 6	-40...+80°C	1,14	0,25	Koneenrakennus, ohjaimet, kulutuslevyt.	Hyvä kulutuskestävyys, hyvä iskutiheys ja liukuominaisuudet
Polyamidi (PA, Nailon): PA 6G	-30...+105°C	1,15	0,25	Koneenrakennus, ohjaimet, kulutuslevyt.	Suurempi jäykkyys ja kulutuskestävyys ja lämmönkesto kuin 6SA:lla. Hyvä työstettävyys.
Polyamidi (PA, Nailon): Ertalon LFX	-20...+105°C	1,135	0,15	Koneenrakennus, laakerit, kulutuslevyt.	Itsevoiteleva, pieni kitkakerroin ja erinomainen kulutuskestävyys
Polyasetaaali (POM C)	-50...+115°C	1,41	0,2	Koneenrakennus, ohjaimet, elintarviketeollisuus.	Mekaanisesti vahva, jäykkä ja kova Hyvä mittapitävyys ja erinomainen työstettävyys
Polyasetaaali (POM C) Musta	-50...+105 °C	1,43	0,2	Koneenrakennus, ohjaimet. Sopii myös kosteisiin olosuhteisiin.	Hyvä mittapitävyys ja erinomainen työstettävyys Pieni vedenimeytyminen. Suulakepuristettu
Polyeteenitereftalaatti (PETP)	-20...+115°C	1,39	0,2	Koneenrakennus, kulutuslevyt, kaavarit.	Mekaanisesti vahva, jäykkä ja kova Hyvä mittapitävyys ja erinomainen kulutuskestävyys Pieni vedenimeytyminen. Suulakepuristettu
Polytetrafluorieteeni (PTFE, Teflon) Etraflon	-190...+250°C	2,18	0,04	Koneenrakennus, prosessiteollisuus.	Erittäin hyvä kemiallinen kesto, laaja käyttölämpötila-alue. Kiinteiden aineiden pienin kitkakerroin. Ei ime vettä.
Polyvinyylikloridi (PVC) Etradur	0...+60°C	1,4	0,6	Kemianteollisuus, laiterakentaminen.	PVC on edullinen massatuotantomuovi helposti liimattavaa ja hitsattava. Itsestäänsammuttava.
Polyvinyylikloridi (PVC) Etradur valkoinen	0...+60°C	1,4	0,6	Kemianteollisuus, laiterakentaminen.	PVC on edullinen massatuotantomuovi helposti liimattavaa ja hitsattava. Itsestäänsammuttava.
Polyvinyylikloridi (PVC) Etradur kirkas	-10...+60°C	1,4	0,89	Mataliin lämpötiloihin. Hyvät syväveto-ominaisuudet.	Helposti liimattava ja hitsattava Itsestäänsammuttava. Suulakepuristettu.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) HD 300	-50...+80 °C	0,955	0,2	Yleiskäyttöön, säiliöt, suojalevyt yms.	Yleiskäyttöön soveltuva massatuotantomuovi. Mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä. Ei ime vettä.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) HD 500	-100...+80°C	0,954	0,2	Elintarviketeollisuus, liukulevyt, yms. Leikkuulaudat.	Mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) T1000/HD500	-100...+80°C	0,954	0,2	Teollisuus, säiliöt, liukulevyt yms.	Mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) Tivar Tech	-150...+80 °C	0,94	0,1 - 0,16	Liukupinnat joissa vaaditaan hyviä liukuominaisuuksia sekä erinomaista kulutuksenkestoa.	Parannetut kulutus- ja liukuominaisuudet verrattuna PE 1000:een. Mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) PE 1000	-200...+80°C	0,954	0,2	Teollisuus, säiliövuoraukset, liukulevyt yms.	Erittäin hyvä kulutus ja hankauskestävyys. Puristettu ja höylätty. Ei ime vettä.
Polyeteeni (PE, HDPE, UHMWPE) T1000	Edullinen kierrätetystä RCH-1000 laadusta valmistettu levy. Mekaanisesti ja kemiallisesti kestävä Puristettu ja höylätty.				
Polypropeeni (PP)	-20...+90 °C	0,902	0,3	Kemianteollisuus, säiliöt, altaat, putkistot.	Hyvä kemiallinen kestävyys ja hyvä hitsautuvuus Parempi lämmönkesto kuin polyeteenillä ja PVC:llä

Jousiluettelo. 2016. Lesjöfors Springs Oy. 2016. Saatavissa:


<http://www.lesjoforsab.com/teknisk->

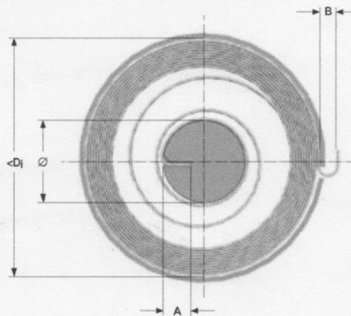
information/standard_stock_springs_catalogue_13_-_finnish_id1106.pdf. Haku-

päivä 4.4.2016.

SPIRAALIJOUSSET

SF-DVF Ruostumaton teräs





Kaikki mitat on ilmoitettu millimetreissä (mm)

t = ainevahvuus
b = nauhan leveys
M₁ = esijännitysmomentti (1,5 ja 2,5 kierrosta)
M₂₂ = maksimimomentti (10- ja 20-kierroksisille jousille)
N_c = kestoikä, ohjearvo 250 000 kuormituskertaa
D₁ = pesän halkaisija

Raaka-aine: ruostumaton teräs EN 10270-3-1.4310
Momenttiarvo ilmoitettu nimellisenä (kitkavaikutusta ei huomioitu)
1 kp = 9,80665 newtonia, 1 newton = 0,10197 kp

Spiraali-jousia enintään 10 - 20 kierroksen kiertoliikkeeseen (lukuun ottamatta esijännitettyä, joka kuvataan seuraavassa). Jousi asetetaan yleensä pesään siten, että sen ulompi koukku kiinnittyy pesän reunaan tai tappiin pienimmän pesähalkaisijan mukaisesti (ks. taulukko). Jousi toimii isommassakin pesässä, mutta tällöin sen voima heikkenee jonkin verran. Jousi asennetaan akselin uralle alla mainittujen kokojen mukaan. Jousi voidaan asentaa myös suurempaan akseliin laajentamalla sisäkierroksia jonkin verran.

Jousi pitää rasvata asennuksen yhteydessä kierrosten ollessa erillään, jotta kitka on mahdollisimman pieni. Jos jousia ei rasvata, sen jousivoima saattaa heikentyä 20 %. Suurempi vääntömomentti voidaan tarvittaessa saavuttaa asentamalla kaksi tai useampia jousia rinnakkain. Tällöin jousien välissä on hyvä olla välilevy. Käyttämättömissä spiraali-jousissa on pidätinrenkas tai polyamidinauha, joka tulee poistaa asennusvaiheessa. Jousia tulee käsitellä varovasti, ja niiden asentamiseen tulee käyttää asianmukaisia työkaluja.

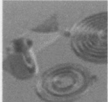
t	b	Akseli			10 kierrosta				20 kierrosta			
		Ø	A	B	D ₁	M ₁ Nmm	M ₂ Nmm	Art. nro	D ₁	M ₁ Nmm	M ₂ Nmm	Art.nro
0,4	8	12	3	4	55	52	219	8964	77	57	219	8984
0,4	10	12	3	4	55	66	275	8965	77	72	275	8985
0,5	10	15	4	5	70	103	417	8966	97	97	417	8986
0,5	12	15	4	5	70	124	503	8967	97	117	503	8987
0,5	15	15	4	5	70	155	631	8968	97	147	631	8988
0,6	10	18	5	5	85	143	588	8969	116	127	588	8989
0,6	12	18	5	5	85	172	709	8970	116	153	709	8990
0,6	15	18	5	5	85	216	891	8971	116	192	891	8991
0,7	12	20	6	6	100	228	942	8972	136	184	942	8992
0,7	15	20	6	6	100	287	1184	8973	136	232	1184	8993
0,7	20	20	6	6	100	384	1589	8974	136	311	1589	8994
0,8	12	25	7	6	115	292	1205	8975	157	243	1205	8995
0,8	15	25	7	6	115	368	1516	8976	157	306	1516	8996
0,8	20	25	7	6	115	494	2036	8977	157	411	2036	8997
1	15	30	8	8	145	570	2312	8978	196	437	2312	8998
1	20	30	8	8	145	766	3110	8979	196	587	3110	8999
1	25	30	8	8	145	963	3907	8980	196	738	3707	9450
1,5	20	40	12	10	220	1599	6713	8981	295	1306	6713	9451
1,5	25	40	12	10	220	2014	8457	8982	295	1646	8457	9452
1,5	30	40	12	10	220	2429	10200	8983	295	1985	10200	9453

Jousiluettelo. 2016. Lesjöfors Springs Oy. 2016. Saatavissa:

<http://www.lesjoforsab.com/teknisk->

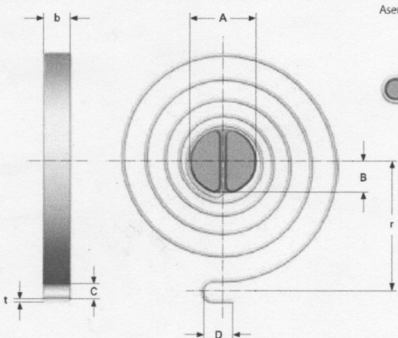
information/standard_stock_springs_catalogue_13_-_finnish_id1106.pdf. Haku-

päivä 4.4.2016.




SPIRAALIJOUSET

SF-SF



Asennusesimerkki



Spiraali-jousi (litteä vääntöjousi) on muotoiltu niin, että se antaa vääntövoimaa (kiertoliikkeessä). Tämä avoin spiraali-jousi toimii eri tavoin kuin edellisellä sivulla oleva tiheä-kierteinen spiraali-jousi. Oikein asennettuna tämä jousi ei aiheuta lainkaan kitkaa. Tästä syystä sillä ei myöskään ole yhtä suurta vääntömomenttia. Vakiovalikoiman jouset on valmistettu ruostumattomasta materiaalista, jossa on pyöristetyt reunat. Näin varmistetaan paras kestoikä.

Kaikki mitat on ilmoitettu millimetreissä (mm)

t = ainevahvuus
b = raaka-aineen leveys
A = akseli (suositellaan)
r = mitta keskiöstä kiinnityspään keskelle
n = kierrosten määrä
 φ = vääntökulma momentilla M_n
 M_n = suurin sallittu vääntömomentti Nmm
R = jousivakio, Nmm/vääntöaste
 N_C = kuormituskertojen lukumäärä (kestoikä)

Raaka-aine: ruostumaton teräs EN 10270-3-1.4310

Toleranssi: Sisimmän ja uloimman pään kiinnityskohdan asennon toleranssi on ± 10 astetta jouselle, jossa on 5 kierrosta, ja ± 15 astetta jouselle, jossa on 8 kierrosta.

1 kp = 9,80665 newtonia, 1 newton = 0,10197 kp

Asennus

Jousi on paras asentaa akselille, jossa työstetty ura. Ura työstetään tai pyöristetään. Jotta vältetään jousen muodon muuttuminen epäkeskeiseksi ja kuormittumiseen liittyvä kitka, ulompi pää on kiinnitettävä edellä olevan esimerkin mukaan. Muu kiinnitystapa voi sekä heikentää momenttia että lyhentää jousen kestoikää.

Jousen kestoikä

Staatteiselle kuormalle ($N_C < 10\,000$) suositellaan suurinta taulukossa ilmoitettua vääntökulmaa. Taulukossa osoitetaan myös liikimääräinen vääntökulma 100 000 kuormituskerralle. Jos tarvitaan suurempia kuormituksia (N_C), ota meihin yhteyttä ja pyydä tietoja sallituista vääntömomentista.

Kankaanpää, Arja 2016. Re: Näytenauha. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Aki Ahosola. 22.2.2016.

finn-nauha oy

29.3.2016

Technical Data

Article: 21317 020 100J
PES Tape

Material: PET HT 1100 dtex
Colour: Black

Measurements:

Width: 20,0 ± 1,0 mm
Weight: 12,67 g/m ± 4%

Haapamäki 1.7.2014

Finn-Nauha Oy

Arja Kankaanpää

Finn-Nauha Oy
FI42800Haapamäki

Phone +358 14 7516100 (direct +358 14 7516130)
Fax +358 14 7516212
Mobil +358 400500439
e-mail jukka.broman@finn-nauha.fi