



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Peltorinta

KIRISTYSSTRATEGIAN MÄÄRITTELY UUDELLE TUOTTEELLE

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tomi Peltorinta
Opinnäytetyön nimi	Kiristysstrategian määrittely uudelle tuotteelle
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	61+22 Liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula

Tämän opinnäytetyön aiheena on kiristysstrategian määrittely uudelle tuotteelle. Opinnäytetyössä selvitetään Wärtsilä Finland Oy:lle momenttiin kiristimistä. Kerrotaan momenttiin kiristämisestä hieman yleisellä tasolla. Wärtsilä tarvitsee uusia kiristystyökaluja uuteen projektiin, ja tässä työssä selvitetään kiristystyökaluja. Selvitetään työkalujen fyysisiä kokoja, suunnitteluosasto pystyy näin suunnittelemaan paremmin tuotteet niin, että kiristystyökalut sopivat paikoilleen. Näin pystyttäisiin välttämään tulevaisuudessa tuotteissa momenttiin kiristysongelmat. Opinnäytetyössä pyritään myös löytämään paras mahdollinen kiristystyökalu kullekin momenttialueelle, myös näin suunnitteluosasto saa tiedon minkälaiselle työkalulle tarvitaan tilaa. Selvitetään myös jäljitettävyyden parantamista. Löytyisikö jokin hyvä kiristyskertojen laskemislaite, näin saataisiin heti tieto, onko kiristysmäärä riittävä.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tutustumalla momentin teoriaan. Wärtsilässä jo olemassa olevia kiristystyökaluja selvitettiin ja listattiin. Luettiin opiskelumateriaalia ja selvitettiin saatavilla olevaa uutta laitteistoa kiristykseen. Selvitetiin myös Wärtsilässä nykyisin käytettäviä momenteja.

Opinnäytetyö antoi jatkokehitysehdotuksia kiristystyövälineiden päivittämiseen, ja laitteiden ja menetelmien suunnitteluun tulevia tuotteita varten. Opinnäytetyö antoi suunnittelulle tietoa kiristyslaitteiden fyysisestä koosta, ja mitä kiristyslaitetta missäkin kiristyspaikassa kannattaa käyttää.

ABSTRACT

Author	Tomi Peltorinta
Title	Determining a tightening strategy for a new product
Year	2020
Language	Finnish
Pages	61+22 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula

The topic of this thesis is Defining a tightening strategy for a new product. The thesis investigates torque tightening for Wärtsilä Finland Oy. A brief introduction about the torque in general is given. Wärtsilä needs new types of tightening tools for a new project, and this work studies new tightening tools. Exploring the physical dimensions of the tools means that the design department is able to design better products so that the tightening tools fit into place. This would avoid torque tightening problems in future products. The thesis also seeks to find the best possible tightening tool for each torque range, so that the design department is informed of the type of tool needed for each space. Improvements in traceability will also be studied. An added advantage would be a tightening tool that can keep track of the number of tightenings completed, this would immediately inform whether the required amount of tightening was done.

The thesis began with a brief introduction to the theory of the tightening torque. Existing tightening tools used by Wärtsilä were identified and listed. A study of literature revealed some new tightening tools that are available in the market. The current torques used in Wärtsilä were also investigated.

The thesis provided further development suggestions for upgrading tightening tools, and designing equipment and methods for future products. It also provided the design with information on the physical size of the tightening tools, and which tightening tool to use at which tightening point.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	11
2	WÄRTSILÄ	12
	2.1 Energy business	12
	2.2 Marine business	12
	2.3 Service.....	13
	2.4 Wärtsilän historia	13
3	MOMENTTI.....	16
	3.1 Matemaattinen muotoilu.....	16
	3.2 Vääntömomentti	17
	3.3 Ruuvikuormitus	17
	3.4 Kovuusluokat.....	19
	3.5 Kiristäminen momenttiin.....	22
4	TYÖKALUT	25
	4.1 Käsikäyttöiset työkalut	25
	4.2 Paineilmakäyttöiset työkalut	26
	4.3 Hydraulikäyttöiset työkalut	27
	4.4 Akkukäyttöiset työkalut.....	28
	4.6 Sähkökäyttöiset työkalut	29
5	NYKYISET KRIITTISET RUUVILIITOKSET	30
	5.1 Kiristystyökalut	31
	5.2 Momenttityökalujen kalibrointi.....	32
6	UUDEN TUOTTEEN KRIITTISET RUUVILIITOKSET	34
	6.1 Uudet kiristystyökalut	34
	6.1.1 B-RAD select BL-akkuväännin	34
	6.1.2 Atlas Copco ETP THB 131-150-13-pulssityökalu	36

6.1.3 Hytorc lithium 2-akkuväännin	37
6.1.4 Atlas Copco Tensor STR-työkalut.....	39
6.1.5 ST Wrench	40
6.1.6 Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökalu	41
6.1.7 Hytorc-aluslevy.....	42
6.2 Jäljitettävyys	44
6.2.1 Kiristystietoja keräävät työkalut	45
6.2.2 Atlas Copco 4000- ja 6000-seurantajärjestelmä	45
6.2.3 Väripultit	45
6.2.4 Venymää mittaava pultti	46
6.2.5 Automaattisesti merkkeävät momenttivääntimet.....	47
6.3 Kriittiset kiristykset	48
6.3.1 Yleisten kiristyskohteiden momentteja.....	50
6.3.2 Kriittisten kiristysten tutkimustulokset.....	51
7 YHTEENVETO	60
LÄHTEET.....	62

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Smart Technology Hub /5/.....	15
Kuva 2. Vektorikuva momentista /7/.....	16
Kuva 3. Akselinsuuntainen voima /11/	18
Kuva 4. Leikkaava voima /11/.....	18
Kuva 5. Pultti toimii jousen lailla /44/	19
Kuva 6. Venymäalue /11/	19
Kuva 7. Laipan kiristysjärjestys /15/	22
Kuva 8. Asettuminen /11/	23
Kuva 9. Käsikäyttöiset vääntimet /18/	26
Kuva 10. Paineilmakäyttöiset vääntimet /19/	27
Kuva 11. Hydraulikäyttöiset vääntimet /21/.....	28
Kuva 12. Akkukäyttöiset vääntimet /23/	29
Kuva 13. Sähkökäyttöiset vääntimet /25/	29
Kuva 14. Pistemerkkkaus /46/	30
Kuva 15. Tussimerkkkaus /46/	31
Kuva 16. Tarkistusväri vuoden mukaan ja tarra /28/	33
Kuva 17. B-Rad select BL-akkuväännin /29/	35
Kuva 18. Eri kokojen tekniset tiedot /29/	35
Kuva 19. Hinnasto /30/	36
Kuva 20. Atlas Copco ETP TBP 131-150-13 /31/	37
Kuva 21. Tekniset tiedot /31/	37
Kuva 22. Hytorc Lithium 2 /32/	38
Kuva 23. Tekniset tiedot /32/	39
Kuva 24. Tensor STR-räikkämalli /33/	40
Kuva 25. Tensor STR-räikkämalli suoralla päällä /33/	40
Kuva 26. Tensor STR-pistoolimalli /33/	40
Kuva 27. Atlas Copco ST Wrench /37/	41
Kuva 28. Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE /39/.....	42
Kuva 29. Atlas Copco PTS EP12PTS150HR-RE /39/	42
Kuva 30. Hytorc Z-Washer-aluslevy ja vääntimen lisäosa /21/	43
Kuva 31. Hytorc Z-washer-lisäosa vääntimeen.....	43

Kuva 32. Vastavoimajalka /21/	44
Kuva 33. Vastavoimajalka kahdella pisteellä /21/	44
Kuva 34. Atlas Copco 6000 seurantajärjestelmä /34/	45
Kuva 35. Väripultti /35/.....	46
Kuva 36. Rotabolt /40/	47
Kuva 37. Tohnichi CMQSP musteella merkkäava momenttiavain /42/	48
Kuva 38. Tohnichi CMQSP tekemä mustepiste /42/	48
Kuva 39. Bi-Hex pultti /45/	50
Kuva 40. Bi-Hex 12 kulmainen avain /43/	50
Kuva 41. Atlas Copco PTX EP15PTX250-RE 3D-malli.....	54
Kuva 42. Hytorc ICE P7 3D-malli	56
Kuva 43. Hytorc Avanti 0.7 3D-malli	56
Kuva 44. Z-Washer-lisäosa vääntimeen, 3D-malli.	56
Kuva 45. Hytorc Versa 1, 3D-malli.....	57
Kuva 46. Atlas Copco PTX EP15PTX250-RE-mittakuvat /38/.....	59
Kuva 47. Atlas Copco PTS EP12PTS150-RE-mittakuvat /38/.....	59
Kuva 48. Railit/Tassut ja kiristystyökalu Hytorc Versa 1	Error! Bookmark not defined.
Kuva 49. Ahdin ja kiristystyökalu Hytorc Versa 1	Error! Bookmark not defined.
Kuva 50. Nokka-akseli ja kiristystyökalu, tilattavissa Haitorilta.	Error! Bookmark not defined.
Kuva 51. Ahtoilmaputket ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE	Error! Bookmark not defined.
Kuva 52. Pakoputki ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE.....	Error! Bookmark not defined.
Kuva 53. Pumppukotelo polttoainepumppu ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE.....	Error! Bookmark not defined.
Kuva 54. Vesipumppu moduuli ja termostaatti ja kiristystyökalut Hytorc Versa 1 ja MTX 0.7	Error! Bookmark not defined.
Kuva 55. Öljypohja ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE	Error! Bookmark not defined.

Kuva 56. Endcover ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE**Error! Bookmark not defined.**

Kuva 57. Generaattorin kytkin ja kiristystyökalu Hytorc MTX 0.7..... **Error! Bookmark not defined.**

Kuva 58. Öljymoduuli ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE**Error! Bookmark not defined.**

Kuva 59. Pumppukotelööljypumppu ja kiristystyökalu Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE**Error! Bookmark not defined.**

Taulukko 1. Hiiliteräksiset ruuvit, kovuusluokat ja momentit /13/	21
Taulukko 2. Ruostumattomat ruuvit, kovuusluokat ja momentit /12/	21
Taulukko 3. Tutkimustyöhön kuuluvat liitokset.....	32
Taulukko 4. Kalibroittavien työkalujen luettelo	33
Taulukko 5. Pulttien kantojen vertaaminen	50
Taulukko 6. Älypulttien vertailu.....	58

LIITELUETTELO

LIITE 1. Wärtsilällä käytössä olevat momentti- ja kiristyskoneet	66
LIITE 2. Wärtsilällä käytössä olevat momentti- ja kiristyskoneet	67
LIITE 3. Wärtsilän yleiset kiristysmomentit	68
LIITE 4. Ruuvitulppien yleiset kiristysmomentit	69
LIITE 5. Jo olemassa olevat työkalut	70
LIITE 6. Uudet työkalut	71
LIITE 7. Uuden tuotteen kriittiset kiristykset	72
LIITE 8. Uusien työkalujen vertaaminen	73
LIITE 9. Kriittiset kiristyskohdat	74
LIITE 10. Railit/tassut	75
LIITE 11. Ahdin	76
LIITE 12. Nokka-akseli	77
LIITE 13. Ahtoilmaputket	78
LIITE 14. Pakoputki	79
LIITE 15. Pumppukotelo, polttoainepumppu	80
LIITE 16. Vesipumppumoduuli ja termostaatti	81
LIITE 17. Öljypohja	82
LIITE 18. End cover	83
LIITE 19. Generaattorin kytkin	84

LIITE 20. Öljymoduuli	85
LIITE 21. Pumppukoteloöljypumppu	86
LIITE 22. Kiristyslaitteiden hintoja	87

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kiristys strategian määrittely uudelle tuotteelle. Työssä selvitetään Wärtsilä Finland Oy:lle momenttiin kiristimistä uudelle tuotteelle. Selvitetään minkälaisia kiristystyökaluja on saatavilla ja minkälaisia kiristystyökaluja Wärtsilällä on jo olemassa. Sekä selvitetään onko saatavilla jonkinlaista laskuria jäljitettävyyden parantamiseksi. Tieto kiristys kerroista olisi löydettävissä nopeasti ja löytyy tietokoneelta jälkikäteen tarkistettavaksi tarpeen vaatiessa, nähdään, että on tehty tarpeellinen määrä kiristyskiä, ei tule niin helposti unohduksia kiristämisisä. Päästään vaikuttamaan jo ennakkoon tulevien kiristyslaitteiden suunnitteluun ja toimintaan.

Wärtsilä Finland Oy saa tietoa kiristyslaitteiden koosta ja toiminnoista, näin pystytään jo ennakkoon suunnittelussa ottamaan huomioon laitteiden tarvitsema tila. Vältetään tulevissa tuotteissa momenttiinkiristysongelmilta paremmin ja pystytään myös suunnittelemaan menetelmiä paremmin.

Työssä keskitytään uusien tuotteiden tarvitsemiin kiristys laitteisiin ja pulttien ja muttereiden momenttiin kiristämiseen. Jäljitettävyyttä pyritään parantamaan. Sekä selvitetään laskurimahdollisuuksia.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä on kansainvälinen, pörssiin listattu yhtiö. Wärtsilä toimii johtavana teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittajana energia- ja merenkulkumarkkinoilla. Wärtsilän tavoite on maksimoida voimalaitosten ja alusten ympäristötehokkuus, keskittyen data-analytiikkaan, kestäviin innovaatioihin ja kokonaisyötysuhteisiin. Wärtsilällä on yli 200 toimipistettä, jotka toimivat yli 80 maassa. Wärtsilän tuotteet ovat diesel-, öljy- ja maakaasupolttomoottoreita ja myös moni polttoainemoottoreita. Henkilöstömäärä on noin 19 000 ja vuonna 2018 liikevaihto oli 5,2 miljardia euroa. Wärtsilä jakautuu eri osastoihin; energy business, marine business ja services. /1/

2.1 Energy business

Wärtsilä energy business tarjoaa energiaratkaisuja asiakkailleen. Näitä ovat muun muassa voimalaitokset ”avaimet käteen”-periaatteella, energian varastointi- ja hybridiratkaisut sekä energianhallintaohjelmistot. Kolme tärkeintä ja isointa asiakasryhmää ovat sähkölaitokset, itsenäiset voimantuottajat ja teollisuusasiakkaat. Wärtsilän toimittamien voimalaitosten kokonaiskapasiteetti on 72 GW. Wärtsilä energy business toimittaa voimaloita perusvoiman tuotantoon, kuormitushuippujen tasaamiseen ja teollisuuden omaan energiantuotantoon. Vuonna 2018 liikevaihto oli noin 1,5 miljardia euroa. /2/

2.2 Marine business

Wärtsilä marine business on johtava laivojen koneisto-, propulsio- ja ohjausjärjestelmien toimittaja. Wärtsilä myy moottoreita, aggregaatteja, alennusvaihteita, propulsiolaitteistoja, valvontajärjestelmiä ja tiivisteratkaisuja kaikenlaisiin aluksiin ja offshore-sovelluksiin. Suurimmat asiakkaat ovat varustamot, telakat ja alusten hallintayritykset. Vuonna 2018 liikevaihto oli noin 1,2 miljardia euroa. /3/

2.3 Service

Wärtsilä huoltaa asiakkaiden tuotteita koko elinkaaren ajan. Huollettavia kohteita ovat laivat, voimalaitosprojektit, sekä muiden projektien kunnossapito ja toimivuudesta huolehtiminen. Wärtsilältä saa ostettua myös merkkiriippumatonta huoltoa lähes jokaisessa maailman pääsatamassa. Koulutus ja ennakoiva toiminta ovat myös Servicen tarjoama palvelu. /6/

2.4 Wärtsilän historia

Wärtsilä perustettiin vuonna 1834, Tohmajärven Wärtsilän kylään. Aluksi se oli saha, jonka sitten vuonna 1836 osti Nils Ludvig Arppe. Vuonna 1951 Arppe rakennutti sahan yhteyteen Wärtsilän rautaruukin. Arppen kuoltua saha ja rautaruukki siirtyivät hänen perillisilleen ja heidän osakeyhtiölle, jonka nimeksi tuli Wärtsilä Aktiebolag vuosi oli 1898. Vuonna 1907 muodostettiin uusi yhtiö Ab Wärtsilä Oy. /4/,/5/

Wärtsilän taloudellinen tilanne parani ensimmäisen maailmansodan aikana. Venäjän sotatarviketilausten vuoksi. Vuonna 1916 Wärtsilä osti kartonkiyritys Hämekoski Oy:n. Hämeenkosken nimi muutettiin Karelia Wood Oy:ksi ja tuotanto muuttui vanerituotannoksi Venäjän rajan sulkeuduttua. Vuonna 1923 taloudellinen tilanne alkoi huonontua ja vuonna 1926 toimitusjohtaja Lars Wilhelm Åberg pyysi eroa tehtävästään. /4/,/5/

Vuonna 1926 toimitusjohtajaksi tuli diplomi-insinööri Wilhelm Wahlforss. Vuoden 1930 laman aikana yritys tuotti paljon tappiota, mutta Wahlforss sai saneerattua yrityksen kuntoon. Vuonna 1938 Kone- ja Siltarakennus Oy liitettiin Wärtsilään. Kauppaan sisältyi Hietalahden Sulkutelakka Helsingissä ja Crichton-Vulcanin telakka Turussa. Yhtiön nimeksi muutettiin Wärtsilä-yhtymä O/Y, ja Wahlforssista tuli sen pääjohtaja. Vuonna 1939 Taalintehtaan teräsvalimo siirtyi Wärtsilän omistukseen, saksalaisen omistajaryhmän ja pääjohtaja Wilhelm Wahlforsin langon Gustaf Woldemar Wreden myydessä oman osuutensa. /4/,/5/

Vuonna 1965 konsernin nimeksi tuli Oy Wärtsilä Ab. Konserniin kuului telakoiden lisäksi Arabian posliinitehdas, Abloy, Nuutajärven lasitehdas, paperikonetehtas Järvenpäässä ja nousevana alana dieselmoottorien valmistaminen. Diverseitä valmistettiin Turun telakan yhteydessä ja Onkilahden Konepajalla Vaasassa. Vuonna 1974 Wärtsilä rakennutti Pernoon Turkuun uuden telakan, sinne siirrettiin koko Turun telakkatoiminta vuoteen 1983 mennessä. Vuotta 1978 voidaan pitää aikana, jolloin Wärtsilä aloitti kansainvälisen tuotannon, Wärtsilän osti 51 % NOHABin dieselmoottoriliiketoiminnasta Boforsista, Ruotsista. /4/,/5/

1980-luvulla telakkateollisuus joutui kriisiin Aasiasta tulleen kilpailun johdosta, kannattavuus laski. Vuonna 1986 Wärtsilä osti Rosenlewilta Ulvilasta Automation-yksikön, uudeksi nimeksi tuli Cimcorp. Samana vuonna Wärtsilä osti myös amerikkalaisen GCA Robotics, joka myös liitettiin Cimcorp-kokonaisuuteen. Cimcorp sitten kehittäi Wärtsilälle hitsausrobotin laivanlohkojen hitsaukseen, mutta hanke ei kuitenkaan onnistunut. Wärtsilä myi 10 vuotta myöhemmin yhtiön Swisslog Holding AG:lle. Valmetin ja Wärtsilän telakat yhdistettiin vuonna 1987, ne siirtyivät Wärtsilä meriteollisuuden alle. /4/,/5/

Vuonna 1990 Wärtsilä yhdistyy Lohjan kanssa, saaden nimekseen Metra Oy Ab. Vuonna 1997 tuli uusi yhdistyminen, tällä kertaa Wärtsilä Dieselin-, New Sulzer Dieselin sekä Diesel Richerchen välillä. Yhtiön nimeksi tuli Wärtsilä NSD Corporation. Vuosien 1995–2000 välisen ajan Wärtsilä valmisti nopeakäyntisiä dieselmoottoreita yhteistyössä yhdysvaltalaisen Cumminsin kanssa. /4/,/5/

Vuonna 2007 Wärtsilä sekä Hyundai Heavy Industries Co. Ltd ryhtyivät yhteistyöhön, ja valmistamaan monipolttainemoottoreita Koreassa, LNG-rahtilaivoissa käytettäväksi. Vuonna 2009 Wärtsilä tunnustettiin maailman sadan parhaimman kestävän kehityksen yrityksen joukkoon. /4/,/5/

Vuonna 2015 Wärtsilä julkaisi uuden W31-moottorin. W31-moottori sai Guinness World recordsilta tunnustuksen, maailman tehokkain 4-tahtidieselmoottori.

Vuonna 2018 Wärtsilä avasi kaksi Experience Centreä, toisen Vaasaan sekä lippulaivan uuteen Wärtsilä Helsinki -kampuskeeseen, Salmisaareen. Vuonna 2018

julkaistiin tieto, että Vaasaan Vaskiluotoon aletaan rakentamaan uutta Smart Technology Hubia (**Kuva 1.**).Kun Hub valmistuu Vaasassa, siirtyy suunnittelu, tuotekehitys ja tuotanto Vaskiluotoon. /4/,/5/

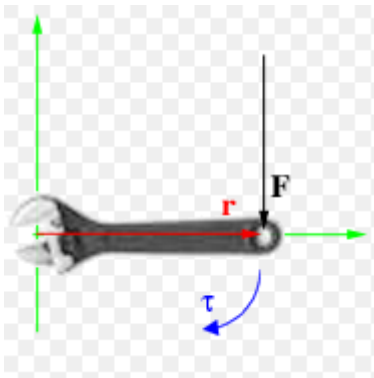


Kuva 1. Smart Technology Hub /5/

3 MOMENTTI

Momenttia kutsutaan myös voiman momentiksi. Momentilla mitataan voiman kykyä kiertää kappale akselin suhteen. Tunnuksena on (M) tai (τ). Momentti on mekaniikassa pseudovektorisuure. Momentti kuvaa systeemiin kohdittavaa vääntövaikutusta. Vääntävällä voimalla ja vipuvarren ristitulolla saadaan laskettua momentti. SI-järjestelmän mukainen yksikkö on Newtonmetri (Nm).

Oikean käden sopimuksen mukaan vastapäivään vääntäessä etumerkkinä on plus, myötäpäivään miinus. Vektorina vaakatasossa nuoli ylöspäin on vastapäivään, nuoli alaspäin on myötäpäivään (**kuva 2.**). Tasapaino on silloin, kun kohdistuvien voimien summa on nolla. /7/, /9 s.205-207/



Kuva 2. Vektorikuva momentista /7/

3.1 Matemaattinen muotoilu

Momentti lasketaan niin, että voiman suuruus kerrotaan vaikutuspisteen ja pyörimisakselin välisellä etäisyydellä. Yleisemmin tunnetaan ristitulona.

$$\text{Kaava on } M = r \times F \quad (1)$$

r on pyörimisakselin ja vaikutuspisteen vektori

F on voima

Välimatka sekä voima ovat tässä vektorisuureita. /7/, /9 s.205-207/, /10 s.91-93/

3.2 Vääntömomentti

Vääntömomenttia kutsutaan myös kiertomomentiksi. Tunnuksena on (T). Kiertomomentilla kuvataan kiertävän liikkeen vääntövoimaa.

Matemaattinen kaava on $M=T=F \times r$ (2)

Tässä yksinkertainen esimerkki laskemisesta:

Jos mutteri kiristetään 0,8 metrin pituisella avaimella, ja avainta painetaan alas 70 kg:n massalla, saadaan vääntömomentiksi?

$$F= m \times g= 70 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 686,7 \text{ N}$$

$$r = 0,8 \text{ m}$$

$$M= T= F \times r = 686,7 \times 0,8 = 549,36 \text{ Nm}$$

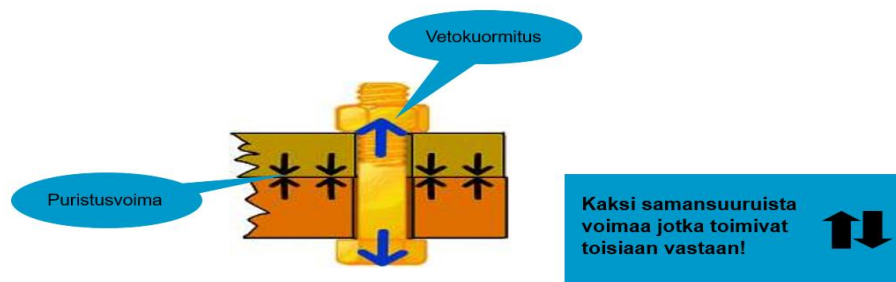
Mutteri kiristetään 549,36 Nm momentilla. /7/,/10 s.91-93/

3.3 Ruuvikuormitus

Ruuviliitos on yleisimmin käytetty irrotettavissa oleva liitos siksi, koska se on todella helppo asentaa ja purkaa, ja on usein uudelleenkäytettävissä. Liitos on oikein käytettynä luotettava ja sitä pystyy käyttämään kaikenlaisissa olosuhteissa. Standardikiinnikkeet ovat halpoja ja helposti saatavissa metrisellä- ja tuumaisella kierteellä joka maassa. Eniten käytetty kiinnitysruuvi on, metrinen ISO-standardin mukainen (SFS 4492) kierreruuvi.

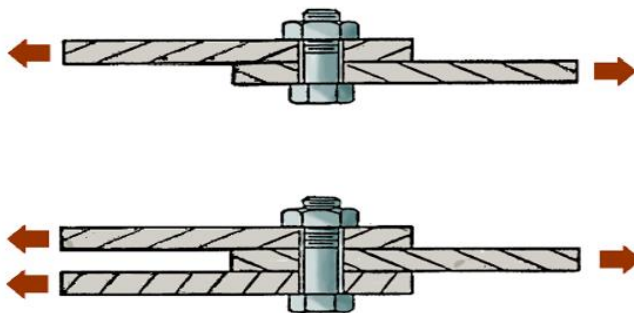
Haittapuolena on liitoksen luotettavuus. Luotettavuus riippuu vaikeasti hallittavasta kiristysmomentista. Ruuveissa on myös epäjatkuvuuskohtia, joissa on suuria jännityksen huippuja. Usein ruuviliitoksissa voimat kuormittavat ruuvien akselin suuntaisesti tai leikkaavana voiman sivulle päin (**kuva 3.**),(**kuva 4.**). Ruuviliitokset suunnitellaan yleensä niin, että ruuvien aksiaalivoimien aiheuttamat kitkavoimat siirtäisivät leikkausvoiman kappaleesta toiseen. Näin siis mutterin kiristysvääntömomentista mahdollisesti jäljelle jää vain vääntöleikkausjännitys,

mikä ruuvien varressa esiintyy ja vaikuttaa. Ruuvien kiristysvoimasta kitkan voittamiseen menee 90 prosenttia, eli vain 10 prosenttia voimasta menee ruuvien venyttämiseen (puristusvoima).



Kuva 3. Akselinsuuntainen voima /11/

Leikkaava kuormitus

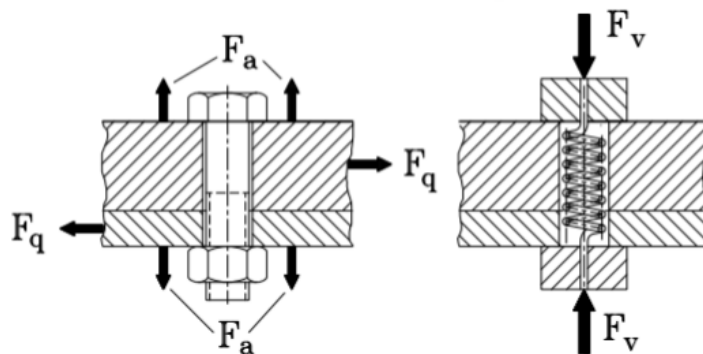


Kuva 4. Leikkaava voima /11/

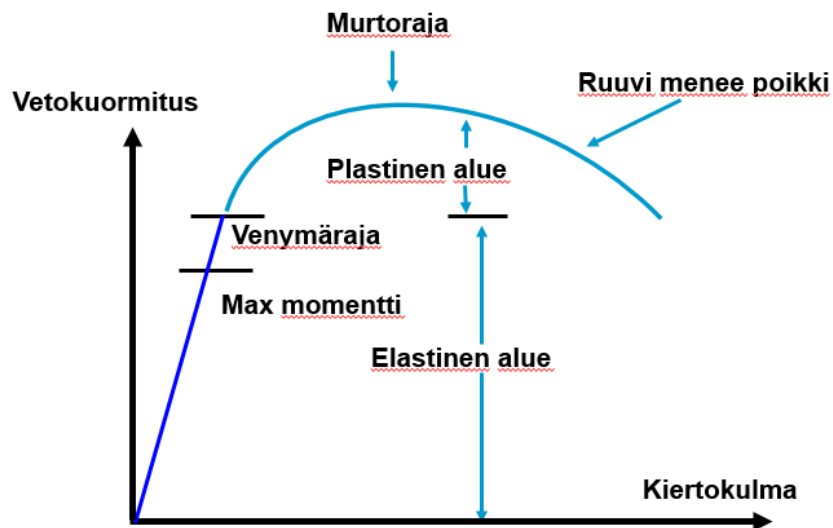
Vetolujuus on tärkein ominaisuus ruuvissa ruuviliitoksen kestävyden kannalta. Kun ruuvia kuormitetaan staattisesti, se voi murtua. Ruuvi murtuu kun vetojännitys ylittää murtolujuuden. Ruuvien kierre leikkautuu irti tai mutterin kierre leikkautuu irti.

Kun ruuvi kiristetään momenttiin, niin ruuvia pyritään venyttämään elastisella alueella, näin ruuvi toimii jousen lailla ja puristaa kappaleet yhteen ja kitka pitää

kappaleet paikoillaan (**kuva 5.**). Mikäli ei kiristetä tarpeeksi, liitokseen ei synny puristuskuormitusta. Myös ylikiristäminen aiheuttaa ongelmia. Ruuvin kiristämisessä olisi pysyttävä materiaalin elastisella venymäalueella, myötörajan alapuolella, näin ruuvimateriaaliin ei tule pysyviä muodonmuutoksia (**kuva 6.**). Jos myötöraja ylitetään, syntyy pysyvä muodonmuutos, jolloin ruuvi ei enää palaa alkuperäiseen mittaansa, ja ei näin synnytä puristusvoimaa. Pahimmassa tapauksessa ruuviliitos hajoaa. /8/, /11/, /16/.



Kuva 5. Pultti toimii jousen lailla /44/



Kuva 6. Venymäalue /11/

3.4 Lujuusluokat

Ruuveissa on eri lujuusluokkia. Ne merkitään esimerkiksi näin 8.8, Tässä ensimmäinen 8 tarkoittaa murtorajaa ja toinen myötörajaa. Tällä numerolla 8.8

saadaan laskettua murto- ja myötöraja seuraavanlaisella laskutoimituksella:
Ensimmäinen 8 on 1/100 osaa murtorajasta.

Murtoraja on $8 \times 100 = 800 \text{ N/mm}^2$.

Toinen 8 on myötörajän suhde murtorajaan, eli $0.8 = 80\%$

Myötöraja on $800 \times 0.8 = 640 \text{ N/mm}^2$.

8.8 lujuusluokan ruuvit ovat yleisimmin käytössä olevia, hinnaltaan edullisia.
Toisena esimerkkinä vielä 12.9 lujuusluokan ruuvi.

Murtoraja on $12 \times 100 = 1200 \text{ N/mm}^2$

Myötöraja on $1200 \times 0.9 = 1080 \text{ N/mm}^2$.

Ruuvien käytössä on otettava huomioon se, että 12.9 lujuusluokan ruuvissa on paljon huonompi murtovenymä kuin 8.8 lujuusluokan ruuvissa. Ruuviliitos täytyy mitoittaa hyvin ja tehdä se kunnolla, koska kiristysliitoksissa itse ruuvi on aina heikoin lenkki. Pitää varoa ettei ylikiristä ruuveja (**kuva 6.**). Pitää pyrkiä pysymään elastisella alueella.

Ruuvit valmistetaan hiiliteräksestä tai ruostumattomasta teräksestä, molemmilla materiaaleilla on erilaiset kiristysmomentit. Tämä johtuu erilaisesta kitkasta, ruostumattomilla ruuveilla kitka voi heitellä paljonkin (**Taulukko 1.**), (**Taulukko 2.**). Taulukoista löytyy myös eri kovuusluokat. /8/, /11/, /12/, /13/, /16 s.180/

Taulukko 1. Hiiliteräksiset ruuvit, kovuusluokat ja momentit /13/

Kierre M	Halkaisija d mm	Jako P mm	Jännitysala As mm ²	Lujuusluokka (ISO-898-1:2013)				
				4.6	5.8	8.8	10.9	12.9
1,6	1,6	0,35	1,27	0,065	0,10	0,17	0,24	0,29
1,8	1,8	0,35	1,70	0,096	0,16	0,25	0,36	0,43
2	2	0,4	2,07	0,13	0,22	0,35	0,49	0,58
2,2	2,2	0,45	2,48	0,17	0,29	0,46	0,64	0,77
2,5	2,5	0,45	3,39	0,26	0,44	0,70	0,98	1,2
3	3	0,5	5,03	0,46	0,77	1,2	1,7	2,1
3,5	3,5	0,6	6,78	0,73	1,2	1,9	2,7	3,3
4	4	0,7	8,78	1,1	1,8	2,9	4,0	4,9
4,5	4,5	0,75	11,3	1,6	2,6	4,1	5,8	7,0
5	5	0,8	14,2	2,2	3,6	5,7	8,1	9,7
6	6	1	20,1	3,7	6,1	9,8	14	17
8	8	1,25	36,6	8,9	15	24	33	40
10	10	1,5	58	17	29	47	65	79
12	12	1,75	84,3	30	51	81	114	136
14	14	2	115	48	80	128	181	217
16	16	2	157	74	123	197	277	333
18	18	2,5	192	103	172	275	386	463
20	20	2,5	245	144	240	385	541	649
22	22	2,5	303	194	324	518	728	874
24	24	3	353	249	416	665	935	1120
27	27	3	459	360	600	961	1350	1620
30	30	3,5	561	492	819	1310	1840	2210
33	33	3,5	694	663	1100	1770	2480	2980
36	36	4	817	855	1420	2280	3210	3850
39	39	4	976	1100	1830	2930	4120	4940
42	42	4,5	1121	1360	2270	3640	5110	6140
45	45	4,5	1306	1690	2820	4510	6340	7610
48	48	5	1473	2040	3400	5450	7660	9190
52	52	5	1758	2620	4370	6990	9830	11800
56	56	5,5	2030	3270	5440	8710	12200	14700
60	60	5,5	2362	4050	6750	10800	15200	18200
64	64	6	2676	4900	8170	13100	18400	22000
68	68	6	3055	5910	9860	15800	22200	26600

Taulukko 2. Ruostumattomat ruuvit, kovuusluokat ja momentit /12/

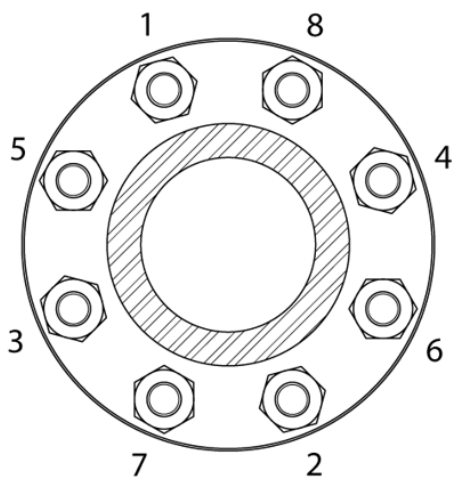
Kierre M	Halkaisija d mm	Nousu P mm	Jännitysala As mm ²	Lujuusluokka (SS-ISO 3506-1)						
				Austenitiittiset (A)			Ferriittiset (F) ja Martensiittiset (C)			
				50	70	80	45	50	60	70
1,6	1,6	0,35	1,27	0,057	0,12	0,16	0,068	0,11	0,17	
2	2	0,4	2,07	0,11	0,25	0,33	0,14	0,22	0,35	
2,5	2,5	0,45	3,39	0,23	0,5	0,28	0,28	0,45	0,7	
3	3	0,5	5,03	0,41	0,87	1,2	0,48	0,79	1,2	
3,5	3,5	0,6	6,78	0,64	1,4	1,8	0,76	1,3	2	
4	4	0,7	8,78	1	2	2,7	1,1	1,9	2,9	
5	5	0,8	14,2	1,9	4,1	5,4	2,3	3,7	5,8	
6	6	1	20,1	3,3	7	9,3	3,9	6,3	9,9	
8	8	1,25	36,6	7,8	17	22	9,3	15	24	
10	10	1,5	58	15	33	44	18	30	47	
12	12	1,75	84,3	27	57	76	32	52	82	
14	14	2	115	43	91	121	51	83	130	
16	16	2	157	65	140	187	78	127	199	
18	18	2,5	192	91	195	260	108	178	277	
20	20	2,5	245	127	273	364	152	249	388	
22	22	2,5	303	171	367	490	204	335	523	
24	24	3	353	220	472	629	262	430	671	
27	27	3	459	318	682	909	379	621	969	
30	30	3,5	561	434	930	1240	517	848	1320	
33	33	3,5	694	585	1250	1670	697	1140	1780	
36	36	4	817	755	2160	2160	899	1470	2300	
39	39	4	976	969	2080	2770	1150	1890	2950	
σ _s = ReL tai Rp0,2 N/mm ² , nimellisarvo				210	450	600	250	410	640	
☒ _{formell} x σ _s N/mm ²				23,1	49,5	66	27,5	45,1	70,4	

3.5 Kiristäminen momenttiin

Ruuviliitoksen kiristysmenetelmiä on kaksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa mutteri tai pultti väännetään momenttiin. Kiristäminen momenttiin venyttää pulttia ja näin aiheuttaa jännityksen, joka puolestaan aiheuttaa vastavoiman, mikä puristaa kappaleet yhteen. Kappaleiden väliin syntyy kitkaliitos. /14/

Toisessa vaihtoehdossa voima kohdistetaan suoraan pulttiin tai vaarnaruuviin. Tarvittava voima on laskettu ja määritetty niin, että pultti venyy. Kun venymä on saavutettu, mutteri kierretään paikoilleen. Venyttävä voima vapautetaan ja pultti pyrkii palautumaan takaisin mittaansa ja tämä aiheuttaa puristusvoiman, joka puristaa kappaleet yhteen aiheuttaen kitkaliitoksen. /14/

Kiristysjärjestyksellä on myös vaikutusta ruuviliitoksen toimivuuteen ja tiivyyteen. Esimerkiksi laippaliitoksessa on tärkeää, että kiristetään ruuvit oikeassa järjestyksessä. Ristiin kiristämällä, aina vastakkainen pultti, näin saadaan liitoksesta varmimmin pitävä (**kuva 7**). Väärässä järjestyksessä kiristettynä tulee helposti vääntöä ja liitos vuotaa.



Kuva 7. Laipan kiristysjärjestys /15/

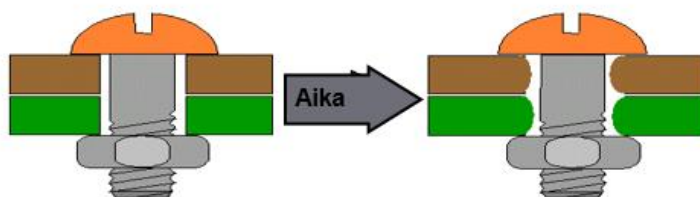
Mahdollisimman luotettavaan ruuviliitokseen päästään, kun tekee esikiristuksen oikein, ei liian tiukkaan eikä liian löysään. Mitä tarkemmin esikiristuksen saa tehtyä

sitä kevyemmän ja edullisemmän liitoksesta voidaan suunnitella. Mitä tarkemmaksi kiristuksen haluaa, hinta nousee, paremmat kiristystyökalut maksavat paljon.

Riittämättömästi esikiristetty liitos aiheuttaa muunmuassa: liitospintojen irtoamisen aksiaalikuormituksessa, ruuvien väsymisen, mutterin löystymisen, liitos pääsee liukumaan.

Liian suuri esikiristys aiheuttaa muunmuassa: Staattisen yli kuormituksen ruuville ulkoisesta kuormituksesta, plastisen venymisen, ruuvien murtumisen.

Ruuviliitoksen asettuminen tarkoittaa rakenneosien välisen plastisen muodonmuutoksen ja virumisen yhteisvaikutusta. Asettumisessa tapahtuu liitoksen toisiaan koskettavien pintojen välistä muovautumista. Pintojen asettuminen aiheuttaa sellaisen ongelman, että ruuvien puristusvoima pienenee liitosten välillä ja kun ulkoinen voima vaikuttaa, niin liitospinnat pääsevät liikkumaan. Ei tule enää tarpeeksi vahvaa puristusvoimaa. Kaikki tämä lisää riskiä, että ruuviliitos pettää. Asettumista voidaan torjua ja hallita. Ensimmäinen keino on, että ruuvien pienimmän poikkileikkauksen vetojännitystä ei saa kuormituksenkaan aikana päästää yli myötörajan. Toinen keino on, että ruuvien kannan ja alustan sekä mutterin ja alustan välinen pintapaine ei saa ylittää materiaalin rajapintapainetta (**kuva 8**).



Kuva 8. Asettuminen /11/

Aluslevyjä käyttämällä voi vaikuttaa kiristämiseen. Aluslevy helpottaa ruuvien kiristämistä, pienentää alustaan kohdistuvaa painetta, ruuvit pysyvät paremmin kireällä, pienentää kaltevan alustan aiheuttamaa taivutusvoimaa, tiivistää liitosta, eristää galvanisesti erilaisia osia.

Momenttityökaluja ja -menetelmiä valittaessa kannattaa huomioida riittävä toistotarkkuus. Kriittiset ruuviliitokset pitää saada kiristettyä riittävän tarkasti, että

liitos saadaan varmasti oikeaan vaadittuun momenttiin, ja saadaan riittävän suuri puristusvoima aikaiseksi. Kun käytetään mekaanisia käsimentityökaluja, tarkkuus on paljon käyttäjästä kiinni. Siksi onkin tärkeää, että pitää työkalujen kunnosta ja tarkkuudesta huolta. Momenttityökalujen säännöllinen huolto ja kalibrointi on tärkeä tehdä määräajoin, näin varmistetaan, että työkalut ovat kunnossa ja tarkkuus on vaaditulla tasolla.

EN ISO 6781:2003-standardi määrittää käsikäyttöisten momenttityökalujen kalibroinnissa käytettävät vaatimukset ja testimenetelmät. Kalibrointi on osa laadunvarmistusta, kalibroinnilla varmistetaan momenttityökalun kunto ja tarkkuus. Säännöllisellä huollolla ja kalibroinnilla laitteet toimivat paremmin ja mittaustulosten varmuus paranee ja mitattuihin tuloksiin voi luottaa. Näin saadaan minimoitua virhe- ja laatukustannukset. /8/,/11/,/14/,/15/,/16 s.178,228,235/

4 TYÖKALUT

Tässä osiossa kerrotaan hieman työkaluista ja momenttiavaimista. Työkaluja löytyy käsikäyttöisiä, paineilmakäyttöisiä, hydraulikäyttöisiä, akkukäyttöisiä ja sähkökäyttöisiä. Tässä kerrotaan hieman, miten nämä eroavat toisistaan, mitkä ovat hyvät ja huonot puolet kullakin laitteella. Toimintaperiaatteita selvitetään hieman myös.

4.1 Käsikäyttöiset työkalut

Käsikäyttöiset työkalut ovat omilla käsillä väännettäviä työkaluja (**Kuva 9**). Niissä ei ole mitään ulkoista eikä sisäistä voimanlähdettä, kaikki voima tulee käyttäjän käyttämästä lihasvoimasta. Käsikäyttöisiä työkaluja ovat muunmuassa kiintoavaimet, lenkkiavaimet, jakoavaimet, räikkäävaimet, käsikäyttöiset momenttiavaimet. Käsikäyttöisessä momenttiavaimesta on kahta erilaista toimintaversiota, naksauttamalla ilmoittava ja osoittimella osoittava. Naksauttamalla ilmoittavassa ensin säädetään haluttu momentti valikosta, sitten vain väännetään, kunnes kuuluu naksahdus, ja ruuvi on momentissa.

Osoittavassa momenttiavaimessa on kiinnipitokahvan lähellä momenttiasteikko ja osoitin asteikon päällä. Kun alat kiristää ruuvia, niin osoitin näyttää asteikosta käytettävää momenttia. Avainta väännetään kunnes osoitin on halutun momentin päälle asteikolla, sitten ruuvi on momentissa. Käsimenttiavaimia löytyy monia erikokoisia, riippuen mille momenttialueelle työkalu on tarkoitettu. Momenttialueet kattavat 4-3000 Nm. Mitä suurempi momentti, sitä pidempi ja paksumpi on momenttiavain. Käsikäyttöiset momenttiavaimet ovat kätevimpiä, kun on hyvin tilaa vääntää ja käytetyt momentit ovat suhteellisen pieniä. Jos tarvitaan suurempia momenteja, niin tilaa tarvitaan tosi paljon, momenttiavaimet ovat tosi pitkiä. Käsikäyttöiset avaimet ovat myös aika nopeita käyttää, luotettavia ja toimintavarmoja sekä helppohoitaisia, ei tarvitse paljon muuta kuin kalibroinin kerran vuodessa. Huonoina puolina on, että tarvitaan tilaa vääntämistä varten, käyttäjän voimat loppuvat nopeasti, ei jaksa vääntää tarpeeksi lujasti. /17/,/18/



Kuva 9. Käsikäyttöiset vääntimet /18/

4.2 Paineilmakäyttöiset työkalut

Paineilmakäyttöiset työkalut tarvitsevat toimiakseen jonkinlaisen kompressorin ja ilmaletkun (**Kuva 10.**). Ilmaletkusta tulee kompressorin tekemää paineilmaa, ja paineilma sitten pyörittää työkalua. Paineilmakoneisiin täytyy lisätä öljyä joka viikko muutama pisara, näin ne pysyvät paremmin toimivina. Kalibrointi tehdään myös kerran vuodessa. Paineilmakäyttöisiä koneita löytyy muun muassa pistoolimalliset paineilmavääntimet, räikkämalliset vääntimet ja suorat räikkämalliset vääntimet. Paineilmatyökalut kattavat momenttialueen 8-7000 Nm. Paineilmakäyttöinen työkalu kestää sähköisiä paremmin käyttöä ääriarjoilla. Paineilmavääntimet ovat todella nopeita ja helppoja käyttää. Huonoja puolia ovat kova ääni ja värinä. Värinä voi pidemmän päälle olla haitallista käyttäjälle. Myös koko on yksi huono puoli, pistoolimalliset tarvitsevat tilaa, mutta räikkämalliset sopivat pienempään tilaan. /19/, /20/



Kuva 10. Paineilmakäyttöiset vääntimet /19/

4.3 Hydraulikäyttöiset työkalut

Hydraulikäyttöiset työkalut tarvitsevat toimiakseen hydraulipumpun ja letkut (**Kuva 11.**). Hydraulipumppu tekee korkean hydraulipaineen ja paine kulkeutuu letkuja pitkin vääntimelle. Väännin saa vääntövoiman hydraulipaineesta ja vääntää ruuvit momenttiin paineen antaman voiman avulla. Hydraulivääntimet kalibroidaan kerran vuodessa. Hydraulivääntimet ovat hyvin huoltovapaita, käyttäjä tekee vain päivittäiset silmämääräiset tarkistukset, ettei mikään vuoda. Myös hydrauliletkut tulee tarkistaa päivittäin. Hydraulivääntimiä löytyy monta eri kokoa ja mallia ja ne kattavat momenttialueen 150-50 000 Nm. Hyvänä puolena on käyttövarmuus ja voima. Helppo käyttää aina, jos on suuret momentit. Sopii myös pieniin tiloihin. Huonoina puolina on hitaus, letkut ja pumppu vievät tilaa. /21/,/22/



Kuva 11. Hydraulikäyttöiset vääntimet /21/

4.4 Akkukäyttöiset työkalut

Akkukäyttöiset työkalut käyttävät akkua toimiakseen, vain laturille tarvitsee virtajohdon (**Kuva 12.**). Akku ladataan ja kun akku on täynnä, niin se kiinnitetään koneeseen, ja kone on käyttövalmis. Akku varastoi sähköenergiaa sähkökemiallisessa muodossa. Kun painetaan työkoneen starttinappia, niin akku luovuttaa varastoimaansa sähköenergiaa ja kone saa tarvitsemansa sähkön. Akkukäyttöiset koneet ovat erittäin huoltovapaita. Akkukäyttöisiä koneita löytyy normaalina iskevänä vääntimenä, räikkämallisena ja pulssityökaluna ja ne kattavat momenttialueen 4-7000 Nm. Akkukäyttöisten työkalujen hyviä puolia ovat nopeus, helppokäyttöisyys, voi kantaa helposti mukana, pulssityökalut ovat tärinättömiä, ne vain vääntävät momenttiin, eivät käytä iskua. Huoltovapaus. Momenttiin kiristävät mallit kalibroidaan kerran vuodessa. Huonoja puolia ovat tärinä iskevissä malleissa, ääni, koko, ei sovi pienimpiin paikkoihin. Räikkämalli sopii pienimpään tilaan. Kun akku loppuu, saattaa toista akkua joutua hakemaan kauempaakin, riippuen kuinka kaukana latauspistoke on. /23/,/24/



Kuva 12. Akkukäyttöiset vääntimet /23/

4.6 Sähkökäyttöiset työkalut

Sähkökäyttöiset työkalut tarvitsevat koko ajan sähköä toimiakseen (**Kuva 13**). Työpaikalle täytyy saada sähkö, joko jatkojohdolla tai sitten työpaikan vieressä on oltava pistoke. Sähköenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottori tekee käyttövoiman koneelle. Sähkökäyttöiset työkalut kattavat momenttialueen 100-8000 Nm. Työkalumalleja löytyy erikokoisia ja tehoisia iskeviä pistooli- ja räikkämallisia mutterinvääntimiä. Sähkökäyttöiset työkalut ovat huoltovapaita. Hyvinä puolina nopeus ja käyttövarmuus. Huonoja puolia on sähköriippuvuus, värinä ja ääni. /25/,/26/



Kuva 13. Sähkökäyttöiset vääntimet /25/

5 NYKYISET KRIITTISET RUUVILIITOKSET

Tässä opinnäytetyössä käsitellään uuden tuotteen kriittisten ruuviliitosten kiristämistä. Wärtsilän moottoreissa ruuviliitokset joutuvat kovan tärinän aiheuttaman väsyttävän voiman vaikutuksen alaiseksi.

Ensin käsitellään jo olemassa olevia tuotteita ja niiden kriittisiä ruuviliitoksia, ja kuinka tällä hetkellä liitokset kiristetään. Nämä kriittiset ruuviliitokset ovat Wärtsilän moottoreissa tällä hetkellä kiristetty niin, että ensin kiristetään tiettyyn esikiristysmomenttiin ja sitten kiristetään vielä lopulliseen momenttiin. Liitoksen kiristyksen merkkaamiseksi käytetään tussia, tai lyödään pieni jälki mutteriin pistepuikolla. Ensin esikiristyksen jälkeen lyödään yksi jälki, kiristetään esimomenttiin esimerkiksi 70 Nm. Lopullisen kiristyksen jälkeen löydään toinen merkki, kiristetään oikeaan momenttiin, esimerkiksi 140 Nm. Sitten jälkien väli mitataan ja merkitään mittauskirjaan tulos (**Kuva 14.**) /46/

Toinen merkkaustapa on tussijälki, eli kun ruuviliitos on kiristetty momenttiin, niin ruuvin kantaan piirretään tussilla jälki (**Kuva 15.**). Näin nähdään, että kaikki ruvit on varmasti kiristetty. /46/



Kuva 14. Pistemerkkäus /46/



Kuva 15. Tussimerkkaus /46/

Tähän työhön tutkitaan näitä kriittisiä ruuviliitoksia uutta projektia varten. Liitteenä löytyy Wärtsilän tällä hetkellä käyttämät momentit (**Liite 4.**). Ruuvitulpille on myös määrätty yleiset kiristysmomentit (**Liite 5.**). Tässä työssä kerrotaan kuinka kiristykset ja tarkistukset tehdään tällä hetkellä, ja pyritään löytämään uuteen projektiin parempi ratkaisu näihin. Katsotaan jos löytyy parempia kiristystyökaluja ja parempi merkkaustekniikka näihin kiristyksiin. Tutkitaan myös jos löytyisi jonkinlainen laskemismahdollisuus kiristyskerroille, joka menisi tietokoneelle muistiin. Näin saisi parannettua kiristysten jäljitettävyyttä.

5.1 Kiristystyökalut

Tässä listataan Wärtsilästä jo löytyviä hydraul-, akku- sekä käsimomentti- ja paineilmamomenttityökaluja (**Liite 2.**), (**Liite 3.**). Tällä hetkellä Wärtsilästä löytyy useaa eri kokoa käsimomenttiavainta. Stahlwille merkki on käytössä näissä, löytyy useaa kokoa, momenttialueelle 4-800 Nm. Paineilmaruuvinvääntimiä löytyy moneltakin valmistajalta, Ingersull Rand (IR), Norbar ja Uryu, Momenttivälille 70-2000 Nm. Akkuvääntimiä löytyy myös usealta valmistajalta, Hytorc, Makita, Metabo, IR, Tekkor, momenttivälille 8-2720 Nm. Hydraulivääntimiä löytyy, Hytorc ja enerpac, momenttivälille 158-5490 Nm. Wärtsilässä käytetään myös venyttäviä hydraulitunkkeja. Näillä ruuvia venytetään tietyllä voimalla, ja kun voima on saavutettu, niin mutteri kierretään paikoilleen, sitten tunkin venytys vapautetaan ja ruuvi pyrkii vetäytymään alkuperäiseen mittaansa, aiheuttaen näin

puristusvoiman kappaleeseen ja tulee puristusliitos. Tässä opinnäytetyössä ei tutkita näitä venytettäviä ruuviliitoksia. (**Taulukko 3.**)

Taulukko 3. Tutkimustyöhön kuuluvat liitokset

Tutkimus työhön kuuluvat liitokset		
	Kyllä	Ei
Momenttiin kiristettävät pulttiliitokset	X	
Momenttiin kiristettävät pultti/mutteri liitokset	X	
Venytettävät liitokset		X

5.2 Momenttityökalujen kalibrointi

Momenttityökalut kalibroidaan Wärtsilässä joka vuosi (**Taulukko 4.**). Ennen käyttöönottoa uusi työkalu rekisteröidään, kalibroidaan ja niille määritetään kalibrointijakso. Momenttityökalut säilytetään työpisteillä tai työkaluvarastoissa. Käyttäjien päivittäinen työkalun tarkistus kuuluu asiaan, ennen käyttöä katsotaan, että kaikki on kunnossa ja toimii. Viallista työkalua ei pidä käyttää ja viasta täytyy ilmoittaa esimiehelle. Tämän jälkeen työkalu hoidetaan korjaukseen. Määräajoin menetelmämiehet keräävät momenttityökalut työpisteiltä ja varastoista. Tämä tapahtuu yleisimmin kerran joka vuosi. Menetelmämies toimittaa ne kalibroitavaksi, kun kalibrointiosasto pyytää rekisteröidyn mittavälineen kalibroitavaksi. Työkalut kalibroidaan, niistä tehdään virallinen kalibrointiraportti, ja sitten niihin laitetaan tarra (**kuva 16.**). EN ISO 6781:2003 ja ISO 9000 ovat standardeja joita kalibroinnissa noudatetaan. Tarrasta ilmenee seuraava kalibrointiajankohta. Hydrauliset ja sähköiset momenttivääntimet tulee vuosittain kalibroimaan Haitor Oy. Käsikäyttöiset momenttiavaimet kalibroi Wärtsilän mittahuone. /27 s.37/

Vuosi	Tarkastusväri
2018	Oranssi
2019	Sininen
2020	Keltainen
2021	Valkoinen
2022	Vihreä



Kuva 16. Tarkistusväri vuoden mukaan ja tarra /28/

Taulukko 4. Kalibroitavien työkalujen luettelo

Kalibroitavien työkalujen luettelo		
Kalibroidaanko	Kyllä	Ei
Käsiikäyttöiset työkalut		X
Käsiikäyttöiset momenttityökalut	X	
Hydrauli kiristimet	X	
Paineilma iskevät työkalut		X
Paineilma pulssi työkalut	X	
Akkukäyttöiset iskevät		X
Akkukäyttöiset momenttiin kiristävät	X	
Sähkökäyttöiset iskevät		X
Sähkökäyttöiset momenttiin kiristävät	X	

6 UUDEN TUOTTEEN KRIITTISET RUUVILIITOKSET

Tässä luvussa keskitytään uuden tuotteen kriittisiin ruuviliitoksiin ja niiden kiristämiseen. Selvitetään minkälaisia jo olemassa olevia kiristystyökaluja voisi käyttää ja ja minkälaisia uusia kiristystyökaluja löytyisi (**Liite 2.**),(**Liite 3.**). Selvitetään uusien kiristystyökalujen fyysisiä kokoja. Näin suunnittelussa voisi jo ottaa huomioon kiristyslaitteen tarvitseman tilan, ei tulisi sitten ongelmia tilan suhteen, kun kiristetään momenttiin. Myös uusien kiristystyökalujen suunnitteluun voitaisiin vaikuttaa, voi jo suunnitteluvaiheessa vaikuttaa työkalun kokoon ja muotoon. Selvitetään myös kiristyskertalaskurimahdollisuutta ja merkkäusmahdollisuutta. Laskuri laskee kiristyskerrat ja ne menevät muistiin, näin voi jälkepäin nähdä onko kiristetty vaadittu määrä. Merkkäus voisi olla myös jonkinmoinen väripiste, piste tulee aina automaattisesti, kun on kiristetty ruuvi momenttiin.

Tässä osiossa käsitellään mahdollisia uusia kiristystyökaluja ja vääntimiä ja kerrotaan niistä tietoja ja kokoja. Selvitellään myös millaiseen paikkaan työkalu soveltuu käytettäväksi, tarvitseeko paljon tilaa, vai onko pieneen tilaan sopiva.

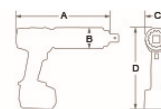
6.1 Uudet kiristystyökalut

6.1.1 B-RAD select BL-akkuväännin

Ensimmäisenä on akkukäyttöinen momenttiväännin. B-Rad select BL (**kuva 17.**). Tästä koneesta löytyy useita kokoluokkia, kattaen momenttialueet 50-7000 Nm (**kuva 18.**). Ison kokonsa ja painonsa vuoksi väännin tarvitsee aika paljon tilaa, mutta jos on tilava kiristyspaikka, pystyy käyttämään ja korvaamaan hyvin hydrauliset vääntimet. Näin ei tarvitse hydraulityökalujen vaatimaa pumppuyksikköä, eikä näin ollen ole hydrauliletkuja tiellä. Kiristys tapahtuu nopeammin kuin hydraulisella vääntimellä.



Kuva 17. B-Rad select BL-akkuväännin /29/



Product range

Prod.no.	Model	Square drive	Torque range	RPM	Weight	Dim. A	Dim. B	Dim. C	Dim. D
29594	B-RAD SELECT BL 275	3/4" or 1/2"	50 - 270 Nm	47	3,2 Kg	228 mm	63 mm	68 mm	262 mm
28264	B-RAD SELECT BL 700	3/4"	175 - 700 Nm	21	3,5 Kg	231 mm	63 mm	67 mm	262 mm
28266	B-RAD SELECT BL 1400	3/4"	300 - 1.400 Nm	10	3,5 Kg	231 mm	63 mm	67 mm	262 mm
28267	B-RAD SELECT BL 1400-2	3/4"	300 - 1.400 Nm	71	4,3 Kg	279 mm	63 mm	67 mm	262 mm
28268	B-RAD SELECT BL 2000	1"	400 - 2.000 Nm	6	4,0 Kg	244 mm	69 mm	69 mm	262 mm
28269	B-RAD SELECT BL 2000-2	1"	400 - 2.000 Nm	19	4,9 Kg	298 mm	69 mm	69 mm	262 mm
28270	B-RAD SELECT BL 4000	1"	815 - 4.000 Nm	3	6,0 Kg	285 mm	81 mm	81 mm	266 mm
28271	B-RAD SELECT BL 4000-2	1"	815 - 4.000 Nm	19	6,7 Kg	337 mm	81 mm	81 mm	266 mm
28272	B-RAD SELECT BL 7000	1,5"	1.400 - 7.000 Nm	2	8,8 Kg	295 mm	95 mm	95 mm	272 mm

Kuva 18. Eri kokojen tekniset tiedot /29/

Laite toimitetaan kahdella 18 Voltin ja 5.2 ampeeritunnin akulla, laturi, Kalibroitseritiffikaatilla momenttialueelle, vastavoimajalalla, ohjekirjalla ja säänkestävällä kuljetuslaatikolla varustettuna. Laite on melko kallis (**Kuva 19**). Hintahaarukka on 5 524-11 610 euroa/ vat 0 %. Voi ostaa myös lisähinnalla lisälaitteita, vaihdelaatikoita, jatkovarsia ja vääntövarsia. Erityisesti B-Rad select BL 1400 sopisi hyvin uuden tuotteen kriittisiin kiristysiin Momenttialueelle 300-1400 Nm. /29/,/30 s.75/

Part No.	Square drive	Torque, Nm		RPM	Weight, kg	€/pc VAT 0 %
		Min.	Max.			
B SELECT BL 275	3/4" or 1/2"	50	270	47	3,2	5 524,00
B SELECT 475	3/4"	100	475	24	3,2	5 797,00
B SELECT BL 700	3/4"	175	700	21	3,5	5 871,00
B SELECT BL 1400	3/4"	300	1400	10	3,5	6 701,00
B SELECT BL 1400-2	3/4"	300	1400	71	4,3	7 481,00
B SELECT BL 2000	1"	400	2000	6	4,0	7 914,00
B SELECT BL 2000-2	1"	400	2000	19	4,9	8 641,00
B SELECT BL 4000	1"	815	4000	3	6,0	9 539,00
B SELECT BL 4000-2	1"	815	4000	19	6,7	9 972,00
B SELECT BL 7000	1 1/2"	1 400	7 000	2	8,8	11 610,00

Kuva 19. Hinnasto /30/

6.1.2 Atlas Copco ETP THB 131-150-13-pulssityökalu

Toisena laitteena on Atlas Copcon pulssityökalu, ETP TBP 131-150-13 (**Kuva 20**). Laitteesta löytyy kahta mallia, toinen on S-mallinen ETP TBP S131-150-13, jossa suppeammat tiedonkeräykset, ja toinen malli, ilman S-kirjainta ETP TBP 131-150-13, jossa on paljon paremmat tiedonkeräysominaisuudet. TBP:ssä on markkinoiden alhaisin tärinätaaso, joka vähentää käyttäjään kohdistuvaa tärinää, vähemmän väsymistä ja henkilövahinkoja, 5 kertaa pidempi huoltoväli normaaliin iskevään vääntimeen verrattuna. Momenttialue on 55-150 Nm. Yhdellä kädellä käytettävissä. Nopea kiristys. Laite on tavallisen porakoneen kokoinen, rajoittaa jonkin verran käyttökohteita, ei sovi kaikkiein ahtainpiin paikkoihin. Työkalu on hyvä vaihtoehto nopeutensa ja tärinättömyyden vuoksi. Riittää hyvin yleisimpien ruuvikokojen kiristämiseen 8.8 kovuusluokassa, M10-M14 kokoisille ruuveille. (**Kuva 21**)./31/,/38/



Kuva 20. Atlas Copco ETP TBP 131-150-13 /31/

ETP TBP131-150-13

[8433323060](#)

Lisävarusteet, varaosat, tuotetiedot

Malli tyyppi : Pistol

Momenttialue, maks. : 150 Nm

Momenttialue, min. : 55 Nm

Momenttialue, maks. : 110 ft lb

Momenttialue, min. : 59 ft lb

Paino : 2,8 kg

Paino : 6,17 lb

Paino ilman akkua : 3,6 kg

Paino ilman akkua : 7,94 lb

Nopeusalue, maks. : 3 600 r/min

Nopeusalue, min. : 1 000 r/min

Akku : Li-Io 36 V

Neliöväännin : 1/2 inch

Pituus : 227 mm

CS etäisyys : 38 mm

Korkeus : 255 mm

Kuva 21. Tekniset tiedot /31/

6.1.3 Hytorc lithium 2-akkuväännin

Hytorc Lithium 2-akkuväännin momentti alueille 200-6700 Nm (**Kuva 22.**). Löytyy useaa eri kokoista eri momenttialueelle. Tekniset tiedot antavat tietoa eri kokoisista laitteista (**Kuva 23.**). Toimii molempiin suuntiin, kiristys ja avaus. Ledvalo ja piippaus kertovat kun kiristys on suoritettu. Yhteensopiva Hytorc-

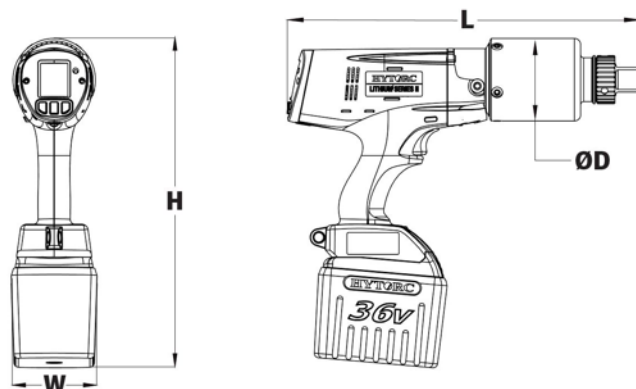
aluslevyjen ja NUT-kiinnityselementtien kanssa. Hydraulista väännintä nopeampi. On myös aika isokokoinen, joten ei sovi aivan pieniin tiloihin. Sopivassa tilassa pystyy korvaamaan hydraulisen vääntimen. On myös aika painava, varsinkin suurimmat mallit. Erityisesti pienempi malli, LST-1200, on hyvä uuden tuotteen kiristyksissä. Kattaa momenttialueen 271-1627 Nm. Saatavissa myös lisähintaan erilaisia apuvälineitä. Toimitus sisältää: 2 kappaletta 36V akkuja ja laturin, kalibrointitodistuksen, kuljetuslaatikon, käyttöohjeet, sivukahvan ja vastavoimajalan. Wärtsilässä on jo käytössä tästä vanha malli, Lithium BTM-2000. Tämä uusi malli on päivitetty paremmin, ja on enemmän momenttivaihtoehtoja.

/32/



Kuva 22. Hytorc Lithium 2 /32/

Malli	Momentti-alue (Nm)	Vääntiö	H (mm)	L (mm)	W (mm)	Pyörimisnopeus (RPM)	Paino akun kanssa (kg)
LST-0700	203 - 949 Nm	3/4"	328	290	88.9	61	5,3
LST-1200	271 - 1627 Nm	3/4"	238	297	88.9	40	5,4
LST-2000	271 - 1627 Nm	1"	335	353	88.9	17	7,5
LST-3000	677 - 4067 Nm	1"	335	366	88.9	11	8,0
LST-5000	1084 - 6779 Nm	1 1/2"	422	391	101.6	7	10,2



Kuva 23. Tekniset tiedot /32/

6.1.4 Atlas Copco Tensor STR-työkalut

Atlas Copcolla on valikoimassa Tensor STR-sarja. Tällä sarjalla on kattava tarjonta eri momenttialueille olevia laitteita. Sarja kattaa 5-8000 Nm momenttialueet. Pienempien momenttialueiden koneet ovat räikkämallisia, mutta nämäkin kattavat 5-4000 Nm, eli suurimmat ovat isokokoisia fyysisesti (**Kuva 24.**). Löytyy myös räikkämalli suoralla päällä (**Kuva 25.**). Myös nämä suorat yltyvät 4000 Nm asti. Sitten on pistoolimallin vääntimet (**Kuva 26.**). Erityisesti pistoolimallinen väännin ETP ST101-300-20-F sopii hyvin uuden tuotteen kiristyksiin, kattaa momenttialueen 90-300 Nm, mutta on aika kookas, sopii vain tilaviin paikkoihin. Yleisestikin suurimman momenttialueen laitteet ovat myös aika suuria, tarvitsevat aika paljon tilaa. Pystyy korvaamaan hydraulisen vääntimen isossa tilassa. Nopeampia käyttää kuin hydraulinen väännin. Voidaan myös liittää Power Focus-seurantajärjestelmään. Tällä järjestelmällä saadaan lisättyä työkaluihin älyä, saadaan jäljitettävyyttä parannettua. /33/,/38/



Kuva 24. Tensor STR-räikkämalli /33/



Kuva 25. Tensor STR-räikkämalli suoralla päällä /33/



Kuva 26. Tensor STR-pistoolimalli /33/

6.1.5 ST Wrench

Atlas Copco ST Wrench-momenttivääntimen modulaarinen rakenne mahdollistaa sen, että voi rakentaa juuri sellaisen vääntimen kun tarvitsee (**Kuva 27.**). Vääntimen on varustettu älyseurannalla, voi seurata momenttia, kulmaa ja murtolujuutta. Voi myös tarkistaa jäännösmomenttia, liitoksen käyttäytymistä ja jäykkyyttä. Kaiken tiedon saa talteen tietokoneelle ja kännykkään. Voi tarkistaa myös myöhemmin

kiristystuloksia. Täysi kiristysmomenttialue, max. 1000Nm. Voit itse säätää haluamasi momentin. Koska laite on modulaarinen, kaikki lisäosat nostavat hintaa. Joten jos haluat esimerkiksi pidemmän varren, niin voit ostaa pidemmän palan erikseen. /37/



Kuva 27. Atlas Copco ST Wrench /37/

6.1.6 Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökalu

Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökalu on paineilmatoiminen pulssityökalu momenttiin kiristämiseen (**Kuva 28.**). Kun ennakkoon asetettu momentti on saavutettu, katkeaa paineilman syöttö automaattisesti. Kattaa momenttialueen 125-250 Nm. Soveltuu jatkuvaan raskaaseen tuotantoon. Ergopulse-työkaluja voi käyttää ilman voiteluaineita. Hyvinä puolina on, että ei ole tärinää, koska ei ole iskevä, kevyt, hiljainen, luotettava, nopea. Huonoja puolia ovat koko, ei sovi pieniin tiloihin, aika suppea momenttialue. Ergo Pulse-paineilmavääntimistä löytyy useaa eri kokoa, kattaen momenttialueet 7-450 Nm. Myös pienempi koko Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE sopii hyvin uuden tuotteen kiristykseen. Kattaa momenttialueen 85-150 Nm. (**Kuva 29.**) /38/,/39/



Kuva 28. Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE /39/

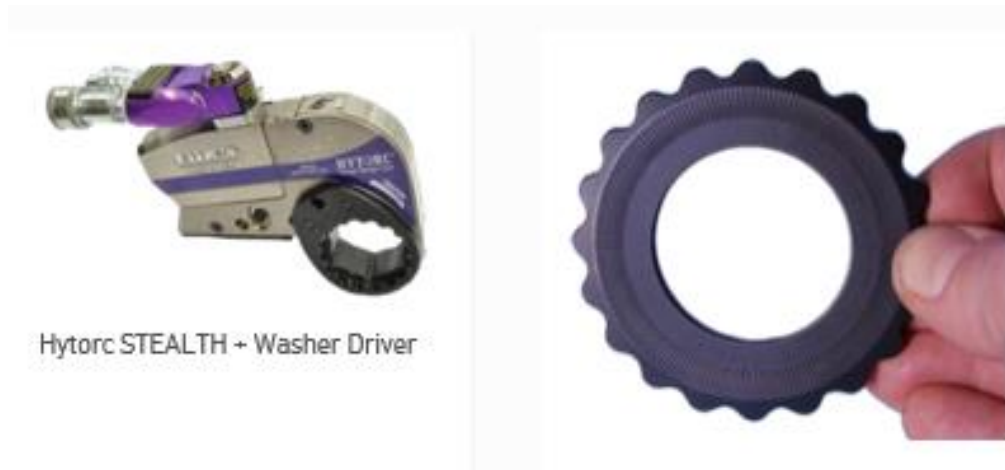


Kuva 29. Atlas Copco PTS EP12PTS150HR-RE /39/

6.1.7 Hytorc-aluslevy

Hytorc-aluslevy eli z-washer, (**Kuva 30.**). Tätä aluslevyä käyttämällä ei tarvitse erillistä vastavoimajalkaa (**kuva 32.**),(**Kuva 33.**). Kun kiristetään suuriin momentteihin, vääntövoima on niin suuri, että ei jaksa enää pitää konetta paikoillaan, siksi tarvitaan yleensä vastavoimajalka, joka auttaa pitämään koneen paikoillaan. Tässä auttaa Z-washer, ei tarvitse enää erillistä vastavoimajalkaa. Nopeuttaa huomattavasti ruuviliitoksen kiristämistä, kun ei tarvitse asentaa erillistä tukijalkaa. Vääntimeen tarvitaan lisäosa aluslevyä varten (**kuva 30.**),(**kuva 31.**). Aluslevy asetetaan mutterin alle, väännin lukittuu lisäosalla aluslevyyn, näin ei tarvitse ollenkaan kannatella konetta. Kaikki vastavoima otetaan aluslevyistä.

Mutterin ja kiristyspinnan välisen kitkan muutokset ja epätarkkuudet poistuvat. Z-Washer-aluslevyjä Löytyy 12-100 mm kokoisina. /21/



Kuva 30. Hyltorc Z-Washer-aluslevy ja vääntimen lisäosa /21/



Kuva 31. Hyltorc Z-washer-lisäosa vääntimeen



Kuva 32. Vastavoimajalka /21/



Kuva 33. Vastavoimajalka kahdella pisteellä /21/

6.2 Jäljitettävyys

Tässä osiossa selvitetään jäljitettävyyden parantamista. Pyritään löytämään parempia ratkaisuja merkkaukseen pisteiden lyönnin ja tussimerkkauksen tilalle ja selvitetään sähköisen järjestelmän mahdollisuuksia. Sähköisessä järjestelmässä kiristystiedot tallentuvat ja ne pystyy siirtämään tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten. Jos joskus jokin ruuvi on jäänyt löysälle, niin löytyy tietokonejärjestelmästä tieto, että on tehty kaikki kiristykset vaiheissa. Näin löydetään syy nopeammin ongelmaan. Paras tilanne olisi silloin, jos virhe huomattaisiin jo tuotantotiloissa, silloin virheen korjaamiseen ei menisi aikaa kuin muutamia minutteja.

6.2.1 Kiristystietoja keräävät työkalut

Monelta valmistajalta löytyy momenttityökaluja joissa on laskuritoiminto, jonne voi laittaa kiristuskertoja muistiin ja siirtää tietokoneelle. Niissä on yleensä jonkinlainen digitaalinen näyttö, mikä näyttää kiristysmomentin ja kiristuskerrat, myös vihreä valo ja piippaus ilmoittaa kun kiristys on suoritettu. Joissain malleissa on myös bluetooth-mahdollisuus. Näin saadaan lähetettyä kiristystiedot myös puhelimeen tai suoraan tietokoneelle langattomasti./33/,/37/

6.2.2 Atlas Copco 4000- ja 6000-seurantajärjestelmä

Atlas Copcolla on valikoimassa Power focus-seurantajärjestelmä, Power focus 4000- ja 6000-järjestelmät (**Kuva 34.**). Nämä järjestelmät saadaan liitettyä tietokonejärjestelmään ja niillä voi ohjata linjatuotantoa. Toimivat myös yhteen useiden Atlas Copcon kiristystyökalujen kanssa. Voidaan liittää jopa 6 eri työkalua yhden ohjaimen kanssa. /34/

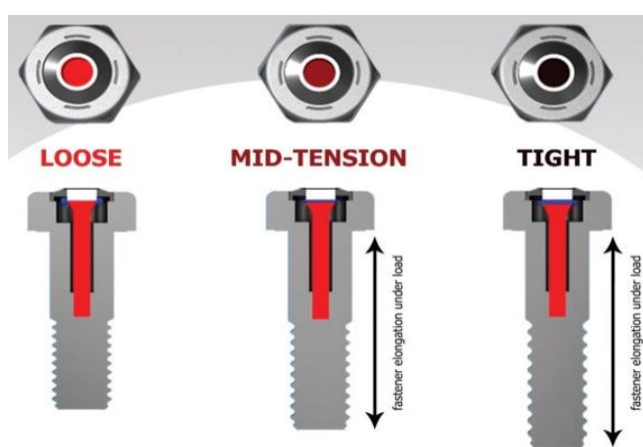


Kuva 34. Atlas Copco 6000 seurantajärjestelmä /34/

6.2.3 Väripultit

Saatavilla on myös pultteja, joissa on kannassa värinappi, indikattori, joka vaihtaa väriä kun momentti on oikea (**Kuva 35.**). Aluksi ruuvin kannassa oleva indikaattorinappi on punainen, ja kun ruvetaan kiristämään, niin ensin punainen alkaa tummua, sitten kun momentti on oikea, väri on musta. Löytyy myös tarkempi

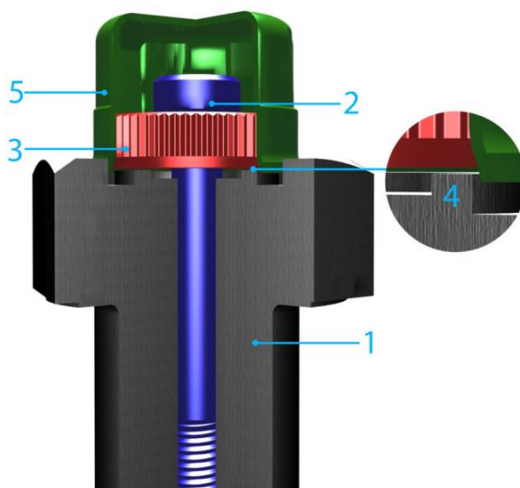
malli HR Smartbolt, siinä indikaattori on keltainen ensin, muuttuu sitten vihreäksi kun on momentissa. Jos kiristetään liikaa, väri muuttuu tummansiniseksi. Näillä pulteilla päästäisiin tussimerkeistä eroon monessa paikassa. Kannan väripisteestä näkisi heti, että onko kiristetty, eikä kiristykseen välttämättä tarvitse momenttiavainta. Voidaan myös käyttää useaan kertaan. Hinnat vaihtelevat, halvemmissa noin 10 euroa kpl, ja tarkemmat HR-mallit ovat 15-20 euroa kappale. Suuren määrän ostaessa hinta laskee. Käyttölämpötilaalue -20- +75 Celsius asteta. /35/,/36/



Kuva 35. Väripultti /35/

6.2.4 Venymää mittaava pultti

Rotabolt, venymää ja mittaa mittaava pultti kertoo pultin puristusvoiman venymää mittaamalla (**Kuva 36.**). Mahdollistaa pulttien kireyden varmistamisen kääntämällä indikaattorista. Pultti kiristetään ensin momenttiin, samalla kiristyy pieni indikaattoriruuvi. Kun indikaattoriruuvia ei enää saa käännettyä sormin, on momentti kohdillaan. Jos jossain vaiheessa myöhemmin testaamalla indikaattoria saa pyöritettyä, ruuvi on löystynyt ja niin pitää kiristää ruuvi uudelleen oikeaan momenttiin. /40/,/41/



Kuva 36. Rotabolt /40/

6.2.5 Automaattisesti merkkeävät momenttivääntimet

Tohnichi CMQSP musteella merkkeäva momenttiavain (**kuva 37.**). Kun kiristät Tohnichi CMQSP-avaimella momenttiin, avain suihkaisee automaattisesti pulttiin pisteen musteella, kun ruuvi on momentissa. Kun avain naksahtaa momentin merkiksi, niin samalla se suihkaisee mustepisteen pulttiin kylkeen (**kuva 38.**). Löytyy myös pulstin päälle merkitsevä malli. Tohnichi CMQSP-avaimesta löytyy usean kokoista avainta eri momenttialueille. Momenttialueille 5-140 Nm. Kiinnostavin uudelle tuotteelle olisi suurin malli CMQSP M12-malli kattaen momenttialueen 30-140 Nm. Mustevalikoimassa on valkoinen ja keltainen. Avain käy ainoastaan kuusiokolokantaisille ruuveille DIN912 tai vastaavalle. On myös käytettävä Tohnicin omaa ruuvauspäätä, muuten piste ei tule oikeaan paikkaan. Kiristysmomentti säädetään ennakkoon, mukaan tulee säätötyökalu. Merkkauksen kohdistuminen ruuvinkannan alareunaan ja tason pintaan yhtäaikaan on hyvä idea, näin näkee myös heti, jos ruuvi on lähtenyt löystymään. Maalipiskon reunat eivät ole enää kodallaan, jos ruuvi on löystynyt (**Kuva 38.**). Työkalu soveltuu käytännössä uudessa tuotteessa vain M12 kokosiin ja siitä pienempiin pultteihin. Lisäksi uudessa tuotteessa on melko yleisesti tasoporaus ruuvien kannan ympärillä, joten maaliruisku ei välttämättä mahdu merkkeämään oikein. /42/



Kuva 37. Tohnichi CMQSP musteella merkkäava momenttiavain /42/



Kuva 38. Tohnichi CMQSP tekemä mustepiste /42/

6.3 Kriittiset kiristykset

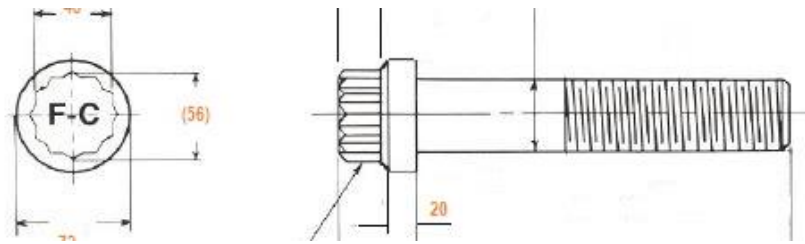
Tässä osiossa kerrotaan uuden projektin kriittisistä kiristyskohteista ja selvitetään miten ne kiristettäisiin parhaiten. Selvitetään käytettävät kiristystyökalut, ja menetelmät miten ruuvit kannattaisi kiristää, että olisi kiristys mahdollisimman turvallinen, luotettava ja varma sekä nopea. Työkaluista tehtiin taulukot momenttialueittain, toinen taulukko jo olemassa olevilla työkaluilla ja toinen uusilla työkaluilla (**Liite 6.**),(**Liite 7.**). Lisäksi selvitettiin käytettäviä pultteja, onko parempi käyttää kuusiokanta- vai kuusiokoloruuveja. Selvitetiin myös Bi-Hex 12 kulmaista pultinkannan käyttöä(**Kuva 39.**),(**Kuva 40.**). Vanhoissa tuotteissa valtaosa ruuveista on kuusiokoloruuveja, niissä huonoinpana puolena on se, että

kuusioreikään kertyy likaa helposti, ja myös maalatessa moottoria reikiin menee helposti maalia. Kun kuusiokoloissa on jotain epäpuhtauksia, avain ei sovi enää koloon kunnolla. Näin kiristäessä tai avatessa ruuvia avain saattaa livetä helposti ja pilaa ruuvin kannan, ja sitten ruuvia ei saa enää kiristettyä tai avattua. Tilan takia uudessa tuotteessa on paljon kuusiokolopultteja. Näin varmistetaan paremmin vääntötyökalujen mahtuvuus, myös pultin kanta on pienempi. Bi-Hex 12-kulmainen kanta on kehitetty niin, että siinä yhdistyy kuusiokannan ja kuusiokoloruuvien ominaisuudet. Huonoina puolina on myös lialle herkkä, varsinkin maalauksessa peitettävä. On myös kalliimpi kuin tavalliset kuusiokanta- ja -kolopultit. Kanta saman kokoinen kuin kuusiokoloruuvissa. Bi-hex-avain soveltuu myös tavallisten kuusiokantaruuvien avaukseen.

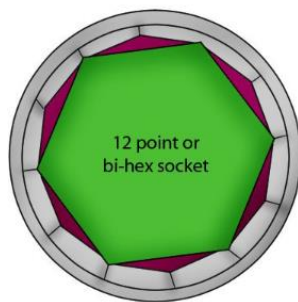
Kuusiokantaruuvien huono puoli on, että kanta tarvitsee suuremman pinta-alan, eivätkä työkalut välttämättä sovi avaamaan. Varsinkin suuremmissa moottorimalleissa, huolto suosittelee kuusiokantapultteja.

Pulttien kantojen vertailusta tehtiin myös taulukko (**Taulukko 5.**). Varsinkin uutta rakentaessa kuusiokoloruuvi on hieman parempi vaihtoehto, mutta sitten taas huollon kannalta kuusiokanta on parempi. Käytetyissä moottoreissa on kertynyt kaikenlaista epäpuhtautta, ja silloin yleensä kuusiokolopulttia on hankalampi aukaista. Siksi olisi parempi käyttää kuusiokantapulttia aina kun on mahdollista.

/43/,/45/



Kuva 39. Bi-Hex pultti /45/



Kuva 40. Bi-Hex 12 kulmainen avain /43/

Taulukko 5. Pulttien kantojen vertaaminen

Pulttien kantojen vertaaminen			
	Kuusiokolo	Kuusiokanta	Bi-Hex
Likaherkkyys	Yellow	Green	Yellow
Kannan koko	Green	Red	Green
Käytettävyys	Yellow	Green	Yellow
Kiristys helppous	Green	Green	Green
kiristys työkalu saatavuus	Green	Green	Green
Kiristys tila sivullepäin	Green	Red	Red
Kiristys tila ylöspäin	Red	Green	Green
Kiristysten turvallisuus, lipsumis herkkyys	Yellow	Green	Green
	Green	Hyvä	
	Red	Huono	
	Yellow	Keskitaso	

6.3.1 Yleisten kiristyskohteiden momentteja

Tässä listataan uuden projektin yleisiä kiristyskohteita, ja työkaluja millä ne kiristetään, sekä momentteja. Eniten käytetyt ruuvikoot ja niihin tarvittavat

momentit löytyvät liitteestä (**Liite 3.**). Tässä esimerkkejä muutamista yleisimmistä 8.8 kovuusluokan pulteista ja momenteista, M20 kokoinen pultti kiristetään momenttiin 410 Nm, pulttikoko M16 kiristetään momenttiin 210 Nm, pulttikoko M12 kiristetään momenttiin 85 Nm. Yleisesti, jos ei ole kriittinen liitos, ja jos on tilaa, näissä yleisimmän kokoisissa pulteissa käytetään akku- tai paineilmaiskevää väännintä, esimerkiksi Makita LXT 18V DTW285-akkukone tai IR 2125 QTI MAX-paineilmakonetta. IR 2125 QTI MAX-paineilmakoneen momentti riittää M20 pultteihin saakka. IR 2235 QTI MAX on iso paineilmakone, jossa riittää momentti aina M27 pulttikokoon saakka. Nämä ovat käytössä yleisesti, kun asennetaan putkia laipoilla ja muitakin ei niin kriittisiä osia. Näissä momentin ei tarvitse olla niin tarkasti kohdallaan riittää, että kiristetään iskevällä kiristyskoneella lähelle annettua momenttia. Sitten on erikseen kriittiset kiristyspaikat, joissa tarvitaan erillinen momenttiavain.

6.3.2 Kriittisten kiristysten tutkimustulokset

Tässä listataan kriittisiä kiristyskohteita ja niihin tarvittavia kiristystyökaluja ja momenteja. Tutkiminen aloitettiin etsimällä ja tutkimalla kriittisiä kiristyskohteita 3D-malleista. Tietokoneella oli JT2Go-ohjelma, sillä oli mahdollisuus tutkia ja pyöritellä 3D-malleja. Ohjelmassa pystyi mittaamaan tarvittavia tiloja työkaluja varten ja pulttikokoja. Kun pulttikoot tiedettiin, niin katsottiin tarvittavat momentit taulukosta (**Liite 4.**). 3D-malleja tutkimalla löytyi seuraavanlaisia kriittisiä kiristyskohteita. Liitteistä, löytyy nämä kriittiset kiristyskohdat kuvilla varustettuna (**Liite 10-19.**).

Railit/tassut. Pulttikoko on M20 ja siinä on momenttina 425 Nm. Kiristyspaikka on tilava, joten ei ole ongelmia kiristämisen kanssa. Tassut voi esikiristää iskevällä pulttikoneella ja sitten vääntää momenttiin Hytorc Versa 1 tai MTX 0.7-hydraulivääntimellä tai Hytorc Lithium 2 LST-1200-akkuvääntimellä. Vastavoimajalka on avuksi pitämään työkalu paikoillaan. (**Liite 10.**)

Ahdin. Pulttikokona on M20, momenttina 425 Nm. Pulteista osa on tilavassa paikassa ja osa on ahtaassa tilassa. Esikiristys iskevällä koneella ja lopullinen kiristys momenttivääntimellä. Ahtaisiin tiloihin on sovitettu Hytorc Versa 1

hydraulista momenttiväännintä. Käytetään myös Z-washereita. Z-Washereilla saadaan otettua vastavoima suoraan. Tilavissa kohdissa olisi mahdollista käyttää myös Hytorc Lithium 2 LST-1200 akkuväännintä. **(Liite 11.)**

Nokka-akseli. M 12 pulttikoko ja momenttina on 85 Nm. Ruuvaustila on pieni, avaimelle on vain vähän tilaa. Pultin kannan ja akselin välinen tila on vain 24 mm. Koska väli on niin pieni, sinne ei sovi oikein mikään väännin. Vaihtoehtoina ovat Stahlwille 730/20 käsikäyttöinen momenttiavain lenkkiavainpäällä tai erikoisvalmisteinen ruuvauslisälaite momenttivääntimelle. Se on suunniteltu ja mitoitettu juuri nokka-akselin pieneen tilaan. Haitorilla suunniteltu ja tilattavissa. **(Liite 12.)**

Ahtoilmaputket. M12 pultti, momentti 85 Nm. Momenttiin kiristämiseen voi käyttää Uryu ULT 100-pulssiväännintä tai Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE-pulssiväännintä. Pienen momentin vuoksi ei tarvitse vastavoima jalkaa, jaksaa pitää käsin kiinni. **(Liite 13.)**

Pakoputki. M16 pultti ja momenttina on 210 Nm. Tilava paikka kiristää. Voidaan kiristää momenttiin Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökälulla. Vastavoimajalka avuksi pitämään kone paikoillaan. **(Liite 14.)**

Pumppukotelopolttoainepumppu. M16 pulttikoko ja momenttina on 210 Nm. Hyvin tilaa kiristää. Kiristys tapahtuu Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökälulla. Vastavoimajalka avuksi. **(Liite 15.)**

Vesipumppumoduuli ja termostaatti. Vesipumpussa on M20 ruuvit, momenttina 425 Nm. Kiristys momenttiin Hytorc Avanti 0.7, Versa 1 tai Ice P7-hydraulivääntimellä. Termostaatissa M16 pultit, momentti on 210 Nm. Hytorc MTX 0.7-hydraulivääntimellä momenttiin kiristys. Vastavoimajalka avuksi. **(Liite 16.)**

Öljypohja. M12 pulteilla, momenttina 85 Nm. Kiristetään momenttiin Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE-pulssivääntimellä. Pieni momentti, jaksaa pitää käsin kiinni. **(Liite 17.)**

End Cover. M12 pultit, momenttina 85 Nm. Kiristetään momenttiin Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE-pulssivääntimellä. Pieni momentti, jaksaa pitää käsin kiinni. **(Liite 18.)**

Generaattorin kytkin. M18 pulttikoko, momenttina 290 Nm. Esikiristetään iskevällä ruuvikoneella, ja sitten lopulliseen momenttiin, Hytorc Lithium 2 LST-1200-akkuvääntimellä tai Stahlwille 730/80-käsimomentilla tai Hytorc MTX 0.7-hydraulivääntimellä tai Atlas Copco Tensor ETP ST101-300-20-F-vääntimellä. Myös ST Wrench-käsimomentilla saisi väännettyä momenttiin. Tässä pystyisi käyttämään vastavoimajalkaa kahdella tukipisteellä **(Kuva 32.)**. **(Liite 19.)**

Öljymoduuli. M16 pultit, momenttina 210 Nm. Kiristetään momenttiin Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökälulla. **(Liite 20.)**

Pumppukoteloöljypumppu. M16 pulttikoko, momenttina 210 Nm. Kiristetään momenttiin Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE-pulssityökälulla. **(Liite 21.)**

Osassa kriittisistä kiristyspaikoista tilaa on niin vähän, että ainoaksi vaihtoehdoksi jää hydraulinen väännin. Hydraulivääntimet ovat hieman hitaita käyttää, mutta ovat käytettävissä todella laajalla momenttialueella, ja ne ovat pienikokoisia.

Pulssikoneita pyritään käyttämään aina kun on mahdollista, koska ne ovat nopeita, tärinättömiä ja vetävät momenttiin kerrallaan tarkasti. Näin ei tarvitse käyttää kahta erillistä kiristys konetta, säästyy aikaa. Aina ne eivät vain mahdu kokonsa puolesta, mutta kun mahtuvat, ovat hyvä kiristysvaihtoehto. Pulssikoneissa on vain aika suppea momenttialue.

Käsi käyttöisiä momenttiavaimia käytetään vain jos mikään muu avain ei sovi, pyritään aina kiristämään koneellisesti. Koneellisilla kiristyksillä pyritään saamaan mahdollisimman tasalaatuiset kiristykset aikaiseksi nopeasti ja myös säästetään työntekijää, ei tarvitse repiä ja vääntää käsiavaimella. Työtaturmariski pienenee myös.

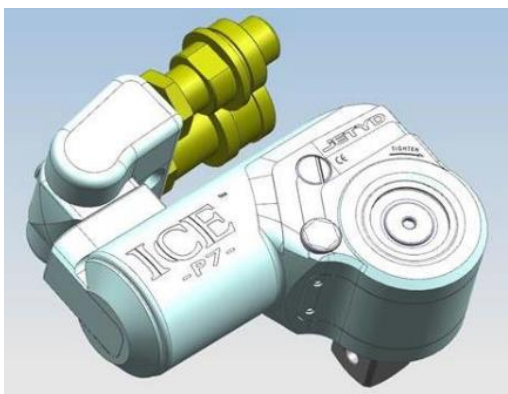
Tutkittuamme eri kiristyskoneita, nämä kaksi pulssiväännintä olivat kiinnostavimmat uutta tuotetta varten. Pulssivääntimet Atlas Copco Ergo Pulse PTX EP15PTX250-RE ja Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE ovat todella hyvät ja nopeat ratkaisut kiristykseen (**kuva 28.**), (**kuva 29.**). Paineilmakäyttöisiä, myös helppo huoltojen kannalta, vain kalibrointi. Momenttiin kiristyksien takia kalibrointi täytyy tehdä kerran vuodessa. Tärinättömyys vähentää asentajien kuormitusta ja kiristys tapahtuu kerralla momenttiin. Nopeuttaisi asennuksia, koska ei tarvitsisi eri työkalua momenttiin kiristykseen. Mittakuvat alla (**kuva 45.**),(**kuva 46.**)/38/. EP12PTS150HR-RE olisi todella hyvä ratkaisu M12 kokoisien pulttien ja muttereiden kiristykseen ja EP15PTX250-RE olisi todella hyvä M16 kokoisille pulteille ja muttereille. Molemmista työkaluista saatiin 3D-mallit (**Kuva 40.**), näin päästiin sovittamaan vääntimiä moottorin 3D-malliin. Sovittamisella vielä varmistettiin, että työkalut varmasti sopivat kiristyspaikkoihin.



Kuva 41. Atlas Copco PTX EP15PTX250-RE 3D-malli.

Liitteessä 8 on listattuna työkalut, joita tutkitaan käytettäväksi eri kriittisessä kiristyskohdassa. Taulukossa näkyy kiristyskohteen mukaan, mitä työkalua olisi paras käyttää. Työkalut on valittu siten, että uuden tuotteen 3D-mallia on tutkittu ja mitailtu sopiiko työkalu kyseiseen kiristyspaikkaan. Osasta työkaluja löytyi myös 3D-mallit (**Kuva 40-43.**), joilla pystyi testaamaan uuden tuotteen 3D-malliin sopivuutta suoraan. Näin saatiin vielä varmistus, että työkalu sopii kiristämään. Liitteissä 9 ja 10 on myös taulukko jossa on verrattu uusien kiristysvääntimien hyviä ja huonoja puolia. Lopuksi taulukko (**Liite 10.**), missä on lopulliset

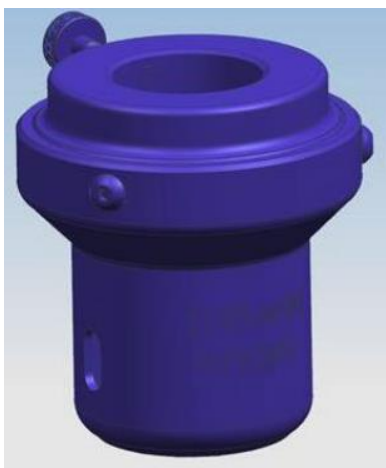
työkaluvalinnat kriittisiin kiristyskohteisiin. Kiristyslaitteille hinnat liitteessä (**Liite 22.**).



Kuva 42. Hytorc ICE P7 3D-malli



Kuva 43. Hytorc Avanti 0.7 3D-malli



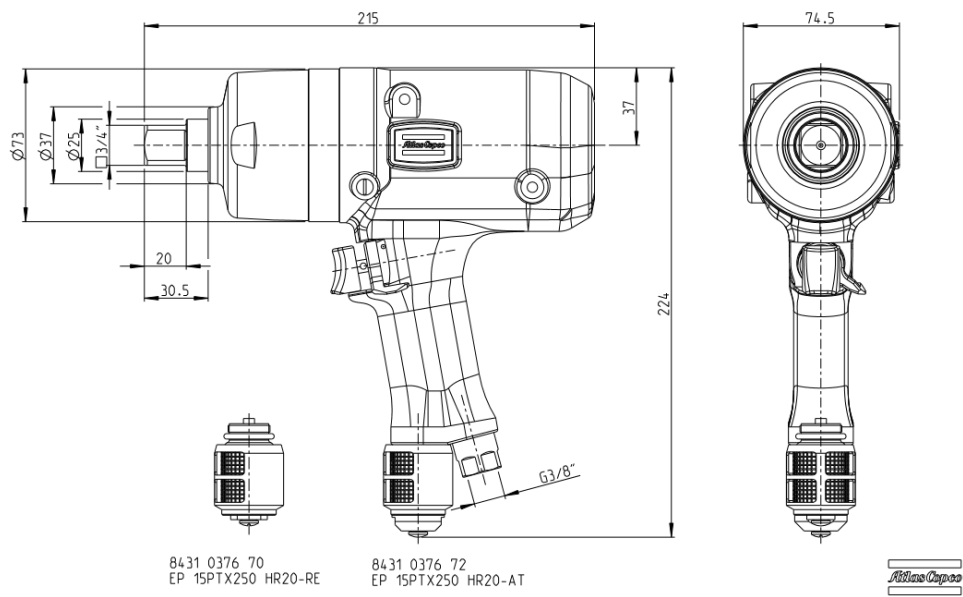
Kuva 44. Z-Washer-lisäosa vääntimeen, 3D-malli.



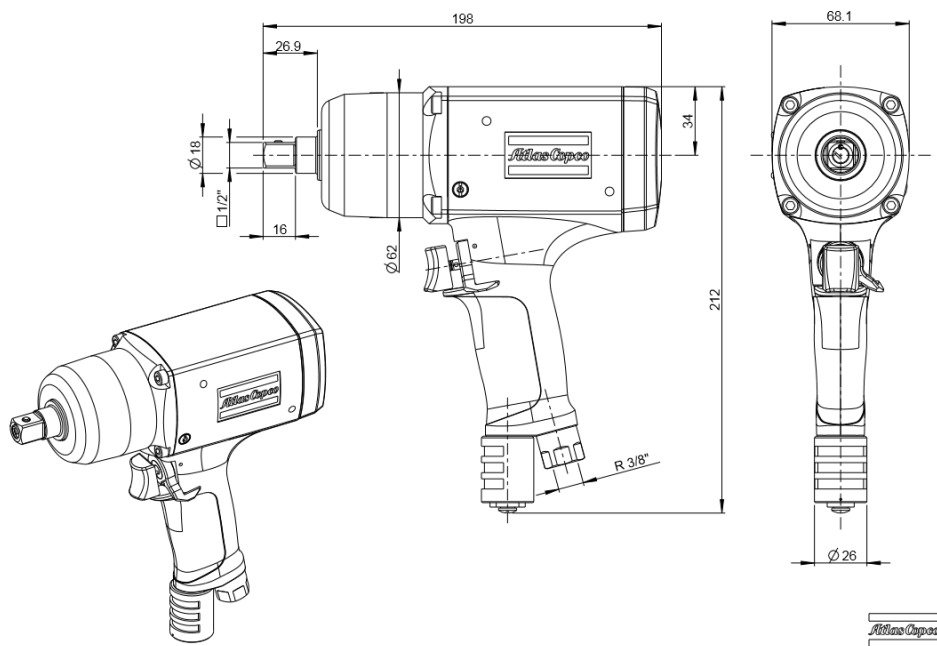
Kuva 45. Hytorc Versa 1, 3D-malli.

Selvitimme myös väripulttien käyttöä joissain kriittisissä paikoissa (**Kuva 34.**). Sovimme maahantuojan MLT Machine & Laser Technology OY:n kanssa esittelytilaisuuden. Näin voidaan esittää kysymyksiä suoraan jollekin, joka tietää enemmän kyseisistä pulteista. Esittelytilaisuus pidettiin skype palaverina. Palverissa selvisi, että jos haluat pultin koko M12 8.8 lujuusluokkaa vastaavan, pitää ottaa smart boltista M12 10.9 lujuusluokka. Indikaattori syö hieman pultin kovuusluokka-alueita. Pulttia on saatavilla eri materiaaleina ja eri pinnoitteilla, ihan kuinka asiakas haluaa. Voit myös tilata erikoistoimituksena, jos tarvitset jotain erikoisruuvia. Käyttölämpötila-alueena on -20 – $+75$ celsiusastetta, tämä rajoittaa paljon käyttökohteita uudessa tuotteessa. Hinta on myös korkea.

Selvitimme Rotabolt RB1 venymää mittaavien pulttien käyttöä joissain kriittisissä kiristyksissä (**Kuva 35.**). Olimme yhteyksissä maahantuojan Teknoma OY:n kanssa ja sovimme skype esittelystä. Pulttien käyttölämpötila-alue on aina $+800$ celsiusasteeseen saakka. Tuotteet suunnitellaan aina tapauskohtaisesti ja kalibroidaan $\pm 5\%$ tarkkuuteen. Tuotteet myös valmistetaan koneistamalla. Sensorin upotus saattaa heikentää hieman pulttia, joten on mahdollista, että joutuu ottamaan yhtä lujuusluokkaa vahvemman, 8.8 tilalle 10.9 lujuusluokka. Esimerkkinä Rotabolt M24 8.8 kiristysmomentti 645 Nm ja myötöraja 640 Mpa. Wärtsilän oman momenttitaulukon mukaan M24 ja 8.8 lujuus kiristetään 700 Nm.



Kuva 46. Atlas Copco PTX EP15PTX250-RE-mittakuvat /38/



Kuva 47. Atlas Copco PTS EP12PTS150-RE-mittakuvat /38/

7 YHTEENVETO

Lopuksi yhteenveto opinnäytetyön tehtävistä. Opinnäytetyön tehtävänä oli kehittää Wärtsilä Finland Oy:n uuden tuotteen kiristysstrategiaa. Haluttiin löytää uusia kiristystyökaluja ja tietää niiden kokoja. Näin saadaan paremmin tieto suunnittelulle, että voidaan jo suunnitteluvaiheessa varata kiristystyökaluille tarvittavaa tilaa. Haluttiin myös parantaa jäljitettävyyttä, saataisiin varmistettua, että kaikki pultit on kiristetty ja voitaisiin saada myöhemminkin tietoa kiristyksistä. Näin saataisiin vähennettyä kiristysvirheiden määrää.

Opinnäytetyössä paneuduttiin ruuviliitosten momenttiin kiristämiseen kattavasti. Kerrottiin yleisesti momenttiin kiristämisestä ja erilaisista kiristysmenetelmistä. Työkalujen kalibroinnista kerrottiin myös. Selvitettiin uusia työkaluja. Jäljitettävyyttä parantavia työkaluja ja seurantajärjestelmiä löydettiin. Kerrottiin eri työkalujen toimintaperiaateista, käsi-, akku-, sähkö- ja hydraulikäyttöiset.

Kriittisiä ruuviliitoksia selvitettiin 3D-mallin avulla. JT2Go-ohjelmalla tutkittiin ja mitattiin 3D-mallia uudesta tuotteesta. 3D-mallista saatiin selvitettyä pulttikoot, ja taulukoista löydettiin momentit. Saatiin mitattua kiristyspaikkojen tilat, ja kun tiedettiin tilan koko ja vaadittu momentti, niin saatiin valittua hyvin sopivat momenttityökalut.

Jatkokehitys suunnitelma voisi olla sellainen, että kaikista momenttityökaluista saisi 3D-mallit. Niitä voisi sitten käyttää hyväksi myöhempiä projekteja suunniteltaessa. Voisi koesovittaa työkaluja uusiin 3D-malleihin, näin näkisi heti vääntimen soveltuvuuden tilaan ja työkaluille voisi kehitellä paremmin sopivia vastavoimarautojakin, esimerkiksi metallitulostamalla. Lisäksi voisi ajatella jäljitettävyyden kehittämisenä näitä väripultteja tai rotabolteja. Voisi tarjota asiakkaille lisähintaan mahdollisuutta, että asennetaan osaan kriittisistä liitoksista väripultit tai rotaboltit, näin asiakaskin voisi itse helposti väri-indikaattorista tai rotaboltin anturia pöyrittämällä seurata, että pultit ovat momentissa.

Opinnäytetyön tekeminen opetti paljon ruuviliitoksista. Oppi hyvin momenttiin kiristämisen perusfysiikasta. En olisi ennen uskonut miten paljon pitää ottaa

huomioon ruuviliitosta suunniteltaessa. Lisäksi oppi momenttivääntimistä, millaisia työkaluja löytyy ja minkälaisia hyviä ja huonoja puolia kullakin vääntimellä on. Lisäksi sai tutustua Wärtsilän moottoreihinkin syvemmin. Nyt tiedän vähän paremmin miten moottorit kootaan ja oppi myös käyttämään paremmin töissä tarvittavia ohjelmia.

LÄHTEET

/1/ Wärtsilä kotisivu. Viitattu 17.2.2020.

<https://www.wartsila.com/fi>.

/2/ Wärtsilä energy. Viitattu 17.2.2020.

<https://www.wartsila.com/fi/energia>

/3/ Wärtsilä marine. Viitattu 17.2.2020.

<https://www.wartsila.com/fi/meriratkaisut>

/4/ Wärtsilä historia. Viitattu 18.2.2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rtsil%C3%A4>

/5/ Wärtsilä historia. Viitattu 18.2.2020.

<https://www.wartsila.com/about/history>

/6/ Wärtsilä marine huolto. Viitattu 18.2.2020.

<https://www.wartsila.com/marine/maintain/maintenance-and-repair-services>

/7/ Voiman momentti. Viitattu 20.2.2020.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Voiman_momentti

/8/ Ferrometal oy ruuviliitokset. Viitattu 22.2.2020.

<https://docplayer.fi/1802286-7-ruuviliitokset-14-7.html>

/9/ Inkinen, P., & Tuohi, J., v1999. Momentti 1 insinöörifysiikka. 4-9 painos Kustannusosakeyhtiö Otava.

/10/ Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., & Öistämö, J., v2015. Tekniikan kaavasto. 14 painos. Bookwell oy.

/11/ Kalasniemi, J. Kokoonpanotekniikka basic.v.2016. Atlas Copro opetusmateriaali. Kuva 6.

/12/ Kiristysmomentti taulukko ruostumattomat pultit. Viitattu 2.3.2020.

<http://nfgab.se/fi/tekniikka-ja-laatu/tekniset-tiedot/kiristysmomentti/kiristysmomentti-ruostumattomat-haponkestavat-ruuviliitokset/>

/13/ Kiristysmomentti taulukko hiiliteräksiset pultit. Viitattu 2.3.2020.

<http://nfgab.se/fi/tekniikka-ja-laatu/tekniset-tiedot/kiristysmomentti/kiristysmomentti-metrinen-karkeakierre/>

/14/ Haitor oy:n käyttämä kalibrintistandardi. Viitattu 4.3.2020.

<https://www.haitor.com/fi/tukimateriaali/standardit/>

/15/ Kalasniemi, J. Kokoonpanotekniikka advanced. v.2016. Atlas Copro opetusmateriaali.

/16/ Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V., & Söderström, W. V.2003. Koneenosien suunnittelu. 4. painos. Ws Bookwell Oy.

/17/ Käsikäyttöiset työkalut. Viitattu 5.3.2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Ty%C3%B6kalu>

/18/ Käsikäyttöiset vääntimet. Viitattu 5.3.2020.

<https://www.haitor.com/fi/tuotteet/?cat=e03745225141d6b541037bd7c0a8210a&mfr=&rng=&id=2e1446d6516be8400e0fc2e857ecaac4>

/19/ Paineilmavääntimet. Viitattu 5.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/pneumatic-assembly-tools/impact-wrench>

/20/ Paineilma. Viitattu 6.3.2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Paineilma>

/21/ Hydraulivääntimet. Viitattu 6.3.2020.

<https://haitor.fi/fi/tuotteet/?cat=8c55a3f4514c64f4707f134f57ecaac4&mfr=&rng=>

/22/ Hydraulikka. Viitattu 6.3.2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hydraulikka>

/23/ Akkukäyttöisetvääntimet. Viitattu 6.3.2020.

<https://haitor.fi/fi/tuotteet/?cat=4a20ef6b514c658da7057fb457ecaac4&mfr=&rng=>

/24/ Akku. Viitattu 6.3.2020

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Akku>

/25/ Milwaukee sähkökäyttöinen mutterinväännin. Viitattu 6.3.2020.

<https://fi.milwaukeetool.eu/189;-8243;-iskeva-mutterinvaannin/ipwe-400-r/>

/26/ Sähkömoottori. Viitattu 6.3.2020.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6moottori>

/27/ Smeds B. Wärtsilä Finland Oy. Laatuksikirja. V.2010. Viitattu 9.3.2020.

/28/ Kalibrointi vuositarra. Viitattu 9.3.2020.

https://www.google.fi/search?q=nostov%C3%A4line+tarkastusv%C3%A4ri+ja+tarra&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=FAHZz8BVwMXMXM%253A%252CHna5_Tx1O7OhTM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kR3bQaQ_XKfC6Cw5iR0RTIgrRhFyCA&sa=X&ved=2ahUKEwjy6Ht1YzoAhVCi8MKHVb_DJAQ9QEwBXoECAoQCQ#imgsrc=FAHZz8BVwMXMXM

/29/ B-rad-akkuväännin. Viitattu 11.3.2020.

<https://www.radtorque.eu/tools/battery/select-series>

/30/ B-rad-vääntimen hinnasto. Viitattu 11.3.2020.

https://pneumacon.fi/wp-content/uploads/2020/02/Price_list.pdf

/31/ Atlas Copco tensor tbp-pulssiväännin. Viitattu 13.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/electric-assembly-tools/cordless-assembly-tools/tensor-tbp-cordless-pulse-tool>

/32/ Hytorc Lithium 2-akkuväännin. Viitattu 13.3.2020.

<https://www.haitor.com/fi/tuotteet/?cat=9e40d44254bcbafa422fd30053967fd4&mf=&rng=&id=b06729435d1b1e734537c4c70a0a0208>

/33/ Atlas Copco sähkötoimiset momenttiväntimet. Viitattu 16.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/electric-assembly-tools/cordless-electric-nutrunners/tensor-st?index=0&filter=torque-range-max-nm-decimal-2670.01-Nm---5335.0-Nm>

/34/ Atlas Copco tiedonkeräysjärjestelmät. Viitattu 16.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/electric-assembly-systems>

/35/ Smatbolt esittely. Viitattu 20.3.2020.

<https://www.core77.com/posts/84272/These-Bolts-Change-Color-When-Tightened-Properly>

/36/ Smartbolt testi. Viitattu 20.3.2020.

<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/alypulitti-vaihtaa-variaan-jos-sen-kiristaa-liian-tiukalle/53fcfc0a-478c-31ed-8a4b-2d54e9bd396e>

/37/ Atlas Copco st-wrench-momenttiväännin. Viitattu 23.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/quality-assurance-in-tightening-and-fastening/wrenches/stwrench>

/38/ Atlas Copco tuoteluettelo. Viitattu 23.3.2020.

<https://webbox.atlascopco.com/webbox/dimdrw/index.html>

/39/ Atlas Copco Ergo pulse-paineilmaväännin. Viitattu 25.3.2020.

<https://www.atlascopco.com/fi-fi/itba/products/assembly-solutions/pneumatic-assembly-tools/pulse-tools/ergopulse-ptx-pulse-tool?index=6>

/40/ Rotabolt kotisivu. Viitattu 16.3.2020.

<https://www.rotabolt.co.uk/how-rotabolt-works/>

/41/ Teknoma oy Rotabolt esittely. Viitattu 23.3.2020.

<https://www.teknoma.fi/tuotteet/rotabolt-momenttipulitit/>

/42/ Tohnichi värillä merkkäava momenttiavain. Viitattu 30.3.2020.

<https://www.tohnichi.com/products/marking-torque-wrench-CMQSP.htm>

/43/ Bi-hex 12-kulmainen ruuvinkanta. Viitattu 30.3.2020.

<https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/sockets-and-socket-sets/what-is-a-hex-socket>

/44/ Pulitti toimii jousen lailla. Kuva 5. Viitattu 24.2.2020.

https://www.google.fi/search?q=ruuviliitos+toimii+kuin+jousi&tbm=isch&ved=2ahUKEwjby6H4mefoAhXV6CoKHa9bDAwQ2-cCegQIABAA&oq=ruuviliitos+toimii+kuin+jousi&gs_lcp=CgNpbWcQDFCXqwNYuOYDYJr7A2gAcAB4AIABTYgBhAaSAQIxMpgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1n&sclient=img&ei=iEyVXtvnCNXRqwGvt7Fg&bih=578&biw=1280#imgrc=0YRg-esuB_hcqM

/45/ Ville Karhu Teknoma oy sähköpostikeskustelu. Area manager. Viitattu 30.3.2020.

Ville Karhu <ville.karhu@teknoma.fi>

/46/ Itse otetu kuva. Kuvat 14 ja 15. Peltorinta, T. 2020.

LIITE 1

Wärtsilällä käytössä olevat momentti ja kiristyskoneet

Wärtsilällä käytössä olevat momentti ja kiristyskoneet

1. Käsimomentti avaimet



- Stahlwille 730/2 4-20 Nm
- Stahlwille 730/4 8-40 Nm
- Stahlwille 730/5 6-50 Nm
- Stahlwille 730/10 20-100 Nm
- Stahlwille 730/12 25-130 Nm
- Stahlwille 730/20 40-200 Nm
- Stahlwille 730/40 80-400 Nm
- Stahlwille 730/80 160-800 Nm

2. Akkuvääntimet



- Makita LXT-18V [DTW251Z](#) 1/2" max 230 Nm 0-2100 rpm
- Makita LXT-18V [DTW285RTJ](#) 1/2" max 280 Nm 0-2800 rpm
- Makita 18V DFL651FZ [akkuräikkä](#) 25-65 Nm
- Ingersull Rand (IR) [QXC2PT12PQ4](#) 1/4" 21-106 Nm 750 rpm
- Tekkor TKR-K306 [akkuräikkä](#) 8-30 Nm
- Hytorc Lithium BTM-2000 440-2720 Nm
- Metabo LTX SSW 18 105-220 Nm

LIITE 2

Wärtsilällä käytössä olevat momentti ja kiristyskoneet**3. Paineilma vääntimet**

- Ingersull Rand (IR) 2135QXPA Max 1490 Nm
- Ingersull Rand (IR) 2125QTIMAX Max 450 Nm
- Norbar 18103_B08_270-1350 Nm
- Norbar 18033_2000 Nm
- Uryu ULT100 70-130 Nm
- Tekkor TKR-IP1208 75-120 Nm

4. Hydrauliset vääntimet

- Hytorc stealth4 819-5490 Nm
- Hytorc stealth2 377-2534 Nm
- Hytorc MTX 167-1114 Nm
- Hytorc ICE P7 158-1092 Nm
- Hytorc versa 1 190-1356 Nm
- Enerpac S3000PX 438-4373 Nm
- Kaksi Hytorcin hydraulipumppua Jetpro 10.3 ja Miniair 12.3.

LIITE 3 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 4 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 5

Jo olemassa olevat työkalut						
Momentti alue	z-washe	Käsi käytettävät työkalut	Sähkökäytettävät työkalut	Akku työkalut	Paineilma työkalut	Hydrauli työkalut
0-100 Nm	X					
0-100 Nm		Stahlwille 730f2 (4-20 Nm) Stahlwille 730f4 (8-40 Nm) Stahlwille 730f5 (6-50Nm) Stahlwille 730f10 (20-100Nm) Stahlwille 730f12 (25-130 Nm) Stahlwille 730f20 (40-200Nm) Stahlwille 730f40 (80-400 Nm)		Makita LXT 18V DTW 251 Z (Max 230 Nm) Makita LXT 18V DTW285RTJ (Max 280 Nm) Makita DFL651FZ (25- 65 Nm) Tekkor TKR-K306 (8-30 Nm) IR QXC2PT 12 PQ4 (21-106 Nm)	IR 2125 Q TI MAX (Max 450 Nm) IR 2135 QXPA (68-746 Nm) IR 2235 QTI MAX (68-1180 Nm) URYU ULT 100 (70-130 Nm) Tekkor TKR-IP1208 (75-120 Nm)	
100-200 Nm	X					Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm)
100-200 Nm		Stahlwille 730f12 (25-130 Nm) Stahlwille 730f20 (40-200Nm) Stahlwille 730f40 (80-400 Nm) Stahlwille 730f80 (160-800 Nm)		Makita LXT 18V DTW 251 Z (Max 230 Nm) Makita LXT 18V DTW285RTJ (Max 280 Nm) IR QXC2PT 12 PQ4 (21-106 Nm) Metabo LTX SSW 18 (105-220 Nm)	IR 2125 Q TI MAX (Max 450 Nm) IR 2135 QXPA (68-746 Nm) IR 2235 QTI MAX (68-1180 Nm) URYU ULT 100 (70-130 Nm) Tekkor TKR-IP1208 (75-120 Nm)	Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm)
200-500 Nm	X					Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm)
200-500 Nm		Stahlwille 730f40 (80-400 Nm) Stahlwille 730f80 (160-800 Nm)		Makita LXT 18V DTW 251 Z (Max 230 Nm) Makita LXT 18V DTW285 RTJ (Max 280 Nm) Metabo LTX SSW 18 (105-220 Nm)	IR 2125 Q TI MAX (Max 450 Nm) IR 2135 QXPA (68-746 Nm) IR 2235 QTI MAX (68-1180 Nm) Norbar 18103.B08 (270-1350 Nm)	Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm)
500-1000 Nm	X					Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm) Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm)
500-1000 Nm		Stahlwille 730f80 (160-800 Nm)		Hgtore Lithium BTM-2000 (440-2720 Nm)	IR 2135 QXPA (68-746 Nm) IR 2235 QTI MAX (68-1180 Nm) Norbar 18103.B08 (270-1350 Nm)	Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm) Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm) Enerpac S3000PX (Max 4373 Nm)
1000-2000 Nm	X					Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm) Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm)
1000-2000 Nm				Hgtore Lithium BTM-2000 (440-2720 Nm)	Norbar 18103.B08 (MAX 1350 Nm) IR 2235 QTI MAX (Max 1180 Nm) Norbar 18033 (Max 2000 Nm)	Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm) Hgtore ICE P7 (158-1092 Nm) Hgtore MXT (167-1114 Nm) Enerpac S3000PX (Max 4373 Nm)
2000-3000 Nm	X					Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm)
2000-3000 Nm				Hgtore Lithium BTM-2000 (440-2720 Nm)		Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Hgtore STEALTH 2 (377-2534 Nm) Enerpac S3000PX (Max 4373 Nm)
3000-4000 Nm	X					Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm)
3000-4000 Nm						Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Enerpac S3000PX (Max 4373 Nm)
4000-6000 Nm	X					Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm)
4000-6000 Nm						Hgtore STEALTH 4 (819-5490 Nm) Enerpac S3000PX (Max 4373 Nm)

LIITE 6

uudet työkalut		
Momentti alue	z-washer	työkalut kaikki akkukäyttöisissä
0-100 Nm	X	
0-100 Nm		Atlas copco ETP THB 131-150-13 (55-150 Nm) Atlas Copco ST WRENCH (0-1000 Nm) Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE (85-150 Nm)
100-200 Nm	X	
100-200 Nm		Atlas copco ETP THB 131-150-13 (55-150 Nm) Atlas Copco ST WRENCH (0-1000 Nm) Atlas Copco Ergo Pulse EP15PTX250-RE (125-250 Nm) Atlas Copco Ergo Pulse PTS EP12PTS150HR-RE (85-150 Nm)
200-500 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm) B-RAD select BL 2000 (400-2000 Nm)
200-500 Nm		Atlas Copco TENSOR STR ET V ST 101-1000 TM (250-1000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm) Atlas Copco ST WRENCH (0-1000 Nm)
500-1000 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm)
500-1000 Nm		B-RAD select BL 2000 (400-2000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm) Atlas Copco Tensor STR ET V ST 101-1000 TM (250-1000 Nm) Atlas Copco ST WRENCH (0-1000 Nm)
1000-2000 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm) Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
1000-2000 Nm		B-RAD select BL 2000 (400-2000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-1200 (271-1627 Nm) Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
2000-3000 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
2000-3000 Nm		B-RAD select BL 4000 (800-4000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
3000-4000 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
3000-4000 Nm		B-RAD select BL 4000 (800-4000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-3000 (677-4067 Nm)
4000-6000 Nm	X	Hytorc Lithium2 LST-5000 (1084-6773 Nm)
4000-6000 Nm		B-RAD select BL 7000 (1400-7000 Nm) Hytorc Lithium2 LST-5000 (1084-6773 Nm)

LIITE 10 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 11 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 12 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 13 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 14 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 15 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 16 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 17 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 18 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 19 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 20 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 21 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.

LIITE 22 Tiedot poistettu yrityssalaisuuteen vedoten.