VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Jokela

TASOKAITEEN RASITUSTESTI

Wärtsilä Finland Oy

Tekniikka
2019

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joni Jokela
Opinnäytetyön nimi	Tasokaiteen rasitustesti
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	46 + 2 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka tuotantolinjan työskentelytasojen korvaava tasokaide kuluu käytössä ja missä on kehittämisen varaa työturvallisuuden, mekaanisen toimintavarmuuden sekä työergonomian kannalta. Työ tehtiin Wärtsilän Delivery Centre Vaasan W3X-kokoonpanoverstaalle.

Teoreettisessa viitekehyksessä tarkastellaan työturvallisuutta, työergonomiaa ja tasokaiteille asetettuja standardeja. Dokumentointi suoritettiin kuvaamalla kaikki kokonaisuuteen sisältyvät osat. Ensimmäiselle tasokaiteelle suoritettiin kahden vuoden kulutusta vastaava määrä toistoja ja toiselle tasokaiteelle tehtiin maksimikuormituksen testaus epäedullisimpaan kohtaan, jotta nähdään kestääkö kaide käyttötarkoituksen mukaista kuormaa.

Työn aikana tehtiin paljon havaintoja työturvallisuuden ja mekaanisen toimintavarmuuden osalta. Huolellisella dokumentoinnilla on suuri vaikutus vertailukelpoisiin tuloksiin. Epätodennäköisiä tilanteita huomioitiin myös tarkastelussa sekä miten niiden yhteisvaikutus vaikuttaa lopputulokseen. Dokumentoinnin pohjalta tehdään korjaavia toimenpiteitä tasokaiteeseen.

Avainsanat Työturvallisuus, mekanismit, ergonomia ja standardit

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Energia- ja ympäristötekniikka

ABSTRACT

Author	Joni Jokela
Title	Tolerance Test of the Safety Rail
Year	2019
Language	Finnish
Pages	46 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

The purpose of this thesis was to investigate how the safety rail replacing for working platforms in the manufacturing line wears out in use and what kind of corrective measures have to be implemented regarding working safety, ergonomy and mechanical reliability. The thesis was done for Wärtsilä Delivery Centre Vaasa W3X-main assembly line workshop.

The theoretical framework regards working safety, ergonomy and the standard imposed requirements for the safety rail. Documentation was performed on every part of the safety rail assembly. The first safety rail underwent an endurance test which corresponds to a two-year usage and for the second safety rail a maximum load test was applied to the least favourable point to ensure that the safety rail is fit for its determined area of use.

Plenty of observations regarding working safety and mechanical durability were made during the test. Thorough documentation has a significant impact on comparable results. Unlikely scenarios were also taken into account during the inspection and how their synergy affects the end result. Corrective measures are carried out on the safety rail based on the documentation.

Keywords Safety equipment, mechanisms, ergonomics and standards

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT

1 JOHDANTO ... 9
2 TYÖN TAUSTA JA RAJAUS ... 10
2.1 Wärtsilän historia ... 10
2.2 Wärtsilän tilanne nykypäivänä ... 12
2.3 W3X-tuotantolinja ... 15
3 SUOJAKAIDE ... 18
3.1 Suojakaiteelle asetetut erityisvaatimukset ... 20
3.2 Välykset ... 21
3.3 Tasokaiteen mitatut välykset ... 22
3.4 Liukupinnat ... 23
3.5 Voiteluaineet ... 25
3.6 Suojakaiteen kuormituksen testaaminen ... 27
4 TYÖTURVALLISUUS ... 29
4.1 Työturvallisuus Wärtsilässä ... 31
4.1.1 WeCare ... 32
4.2 Melu ... 33
4.2.1 Äänen painetason laskenta ... 34
4.2.2 Suojakaiteen melumittaus ... 35
5 ERGONOMIA ... 37
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA ... 40
LÄHTEET ... 43

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Wärtsilän markkinaosuudet. /3/ 12
Kuva 2. Wärtsilän ja kilpailijoiden markkina-asema. /4/ 13
Kuva 3. Wärtsilän asema voimalaitosmarkkinoilla. /5/ 14
Kuva 4. Wärtsilän liikevaihdon jakauma sektorikohtaisesti. /7/ 15
Kuva 5. Wärtsilä W32-moottori. /8/ 16
Kuva 6. Suojakaiteen rakenne ja vaatimukset etäisyyksille. /10/ 19
Kuva 7. Suojakaiteen vaatimus, asennus- ja käyttöohjeiden -lista. /11/ 20
Kuva 8. Esimerkki rajaeromittojen määrittämisestä. /12/ 22
Kuva 9. Eri materiaalikombinaatioiden välisiä kitkakertoimia. /13/ 23
Kuva 10. Liukulaakerin kuormitettavuus. /14/ 24
Kuva 11. Pronssilaakerin kitkakertoimia eri voitelumenetelmillä. /14/ 24
Kuva 12. Esivoitelun, säännöllisen voitelun ja uudelleenvoitelun voiteluväli tarpeet. /15/ 25
Kuva 13. Itsevoitelevien kiinteiden aineiden kitkakertoimia. /16/ 26
Kuva 14. Kuivavoiteluaineiden ominaisuuksia. /17/ 27
Kuva 15. Riskien arvioinnin vaiheet. /20/ 30
Kuva 16. Työnantajan ja työntekijän velvoitteet. /21/ 31
Kuva 17. Turvallisuuden kehittyminen Wärtsilässä. /23/ 32
Kuva 18. Melun raja- ja toiminta-arvot. /28/ 34
Kuva 19. Ergonomian osa-alueet. /31/ 37
Kuva 20. Ergonomia suunnitteluvaiheessa. /37/ 39
Kuva 21. Syy-seuraussuhde kuvaaja. 42

Taulukko 1. Korjaustaulukko kahdelle eri äänitasolle. /29/ 35

KESKEISIMMÄT KÄSITTEET JA SYMBOLIT

Käsitteet

Adhesiivinen	Kontaktipintojen yhteen hitsautumisen aiheuttama kuluminen
Abrasiivinen	Kontaktipinnan välissä olevien partikkeleiden aiheuttama kuluminen
Välys	Liikkumisvara
Ergonomia	Tekniikan ja toiminnan sovittamista ihmiselle
Standardi	Normi, jonkin organisaation määritelmä miten tietty asia tulisi tehdä
Käsijohde	Suojakaiteen rakenteen ylin osa
Välijohde	Suojakaiteen rakenteen keskimmäinen osa
Nord-Lock	Aluslaatta, jonka toiminta perustuu jännittyneisyyteen kitkan sijasta
Nyloc	Nylonkauluksinen mutteri, joka kiertyessään ahdistaa mutterin liikettä
Rakotulkki	Koostuu erikokoisista mittaliuskoista, käyttökohde ahtaisiin väleihin
Kausaliteetti	Syy-seuraussuhde, kahden tapahtuman välinen suhde, jossa toinen aiheuttaa toisen tapahtuman
Hypoteesi	Olettamus, jonka tulee olla tieteellisten menetelmien mukaisesti testattavissa
MoS_2	Molybdeenidisulfidi, epäorgaaninen yhdiste
Toleranssi	Ylemmän ja alemman rajamitan välinen erotus
Toleranssirajat	Tietyn ominaisuuden määritetyt arvot, jotka ovat sallitun arvon ylä- ja/tai alarajat
Tribologia	Pitää sisällään kosketuspintojen kulumiseen, voiteluun ja kitkaan liittyviä ilmiöitä
PTFE	Teflon, polytetrafluorieteeni

Monomeeri	Pieni molekyyli, voi sitoutua toisiin monomeereihin muodostaen polymeerin
Polymeeri	Molekyyli, monomeerien liittyminen toisiinsa kemiallisin sidoksin katalyyttien vaikutuksesta prosessissa
Katalyytti	Ainesosa, nopeuttaa kemiallista reaktiota tietyssä lämpötilassa, katalyytti itsessään ei kulu kemiallisessa reaktiossa
Implementointi	Käyttöönotto

Symbolit

F	Voima
d	Halkaisija
p	Kuormitus
G_h	Peruskesto esivoitelulle
G_{hN}	Peruskesto säännölliselle voitelulle
G_N	Uudelleenvoitelun tiheys
$b1$	Kuormitussuunta kerroin
$b2$	Lämpötilakerroin
$b3$	Liukumiskerroin
$b4$	Nopeuskerroin
$b5$	Värähtelykulma kerroin
v	Nopeus
L	Äänen painetaso
L_1	Osaäänen painetaso
L_2	Osaäänen painetaso
F_U	Käytettävyyden todentamisen kuormitus

F_S	Lujuuden todentamisen kuormitus
γ	Ainekerroin
F_P	Esikuormitus
H	Käsijohteen korkeus
a	Epäedullisin kohta, yleensä L/2
L	Kahden kaidetolpan välinen suurin etäisyys

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan uuden tasokaiteen käytön aikana ilmenneitä tilanteita. Alusta pitää sisällään kaksi tasokaide tolppaa, ensimmäisestä tolpasta dokumentoitiin mekaaninen kunto ennen testiä ja testin jälkeen, toiselle tolpalle suoritettiin kuormitustestejä kolmeen eri kohtaan ja kirjattiin muutoksista havaintoja ylös. Dokumentoinnin piiriin kuului välykset, liukupinnat, saranointi, melu, kitka ja lukituksien käyttövoiman muutos. Toistokertoja tasokaiteelle suoritettiin 400 kertaa, jonka on määrä vastata kahden vuoden kulutusta. Välysten mitat otettiin 20 toistokerran välein sekä muut ilmenneet poikkeamat listattiin kyseisen toistokerran kohdalla, poikkeamat kategorisoitiin niitä parhaiten vastaaviin kohtiin.

Havaintoja kerättiin turvallisuudesta, ergonomiasta sekä mekaanisesta varmuudesta testin aikana omalta osaltani, kuin myös viiden koehenkilön osalta. Koehenkilöt koostuivat vakituisista asentajista sekä kesätyöntekijöistä, jotta voidaan havaita käytön aikana ilmenneitä ongelmia laajemmin ja huomioida heidän antamaansa palautetta.

Suojakaiteen erityisvaatimuksia verrattiin myös Suomen Standardisoimisliitto SFS:n SFS-EN- ISO 14122-3:2016 – Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet -standardiin.

2 TYÖN TAUSTA JA RAJAUS

Opinnäytetyössä tarkastellaan testissä olevan tasokaiteen soveltuvuutta tämänhetkisten suojakaiteiden korvaajaksi, suojakaiteille on asetettu paljon vaatimuksia työturvallisuuden kannalta ja standardikohtaisissa vaatimuksissa on eroavaisuuksia. Huolellisella dokumentoinnilla saavutetaan vertailukelpoisia tuloksia suhteutettuna suojakaiteen turvallisuuteen ja elinikään.

Työssä käsitellään työturvallisuuden, ergonomian ja mekanismin aspekteja yleisellä tasolla, kuitenkin niin, että lukija saa riittävät valmiudet ymmärtääkseen näiden keskinäisen merkityksen työn kannalta.

2.1 Wärtsilän historia

Wärtsilä perustettiin vuonna 1834 Tohmajärven kunnassa sijaitsevan kosken viereen, muutama vuosi myöhemmin taannoinen saha siirtyi N. L. Arppen omistuksiin, joka rakennutti vuonna 1851 sahan rinnalle rautaruukin. Arppen kuoleman jälkeen omistajuus sirtyi hänen perillisilleen, vuonna 1898 saha- ja rautaruukkitehtaan nimeksi tuli Wärtsilä Ab, muutaman vuoden päästä yrityksen nimi muuttui muotoon Ab Wärtsilä Oy. Perinteisestä saha- ja rautatehdas tuotannosta laajennettiin myös energiantuotantoon vuonna 1908, kun Saarion koskeen rakennettu voimalaitos aloitti toimintansa, koskien tuottama sähköenergia mahdollisti nykyaikaisen sulattamon ja terästehtaan toiminnan. /1/

Vuonna 1926 Krimin sodan päätyttyä raudan hinta laski, englantilainen rauta valtasi markkinoita Venäjällä. Tämä johti Wärtsilän tehtaan tuotannollisiin vähennystarpeisiin yhtiön osakkeiden ollessa arvottomia. Wilhelm Wahlforss tuli yhtiön toimitusjohtajaksi samana vuonna. Tästä alkoi nousukausi, joka kesti seuraavat 5 vuotta, vuonna 1931 yhtiön ollessa konkurssin partaalla työntekijät suostuivat toimitusjohtajan ehdottamaan 25 %:n palkan alennukseen. Dieselmoottorien aikakausi alkoi vuonna 1938 Wärtsilän ostettua lisenssin Friedrich Krupp Germaniawerft AG:n dieselmoottorien

valmistukseen. Ensimmäinen moottori näki päivänvalon vuonna 1942 Turussa. Kansainväliseen tuotantoimintaan siirryttiin vuonna 1978 Wärtsilän ostettua enemmistön NOHAB dieselmoottoritoiminnasta. /1/

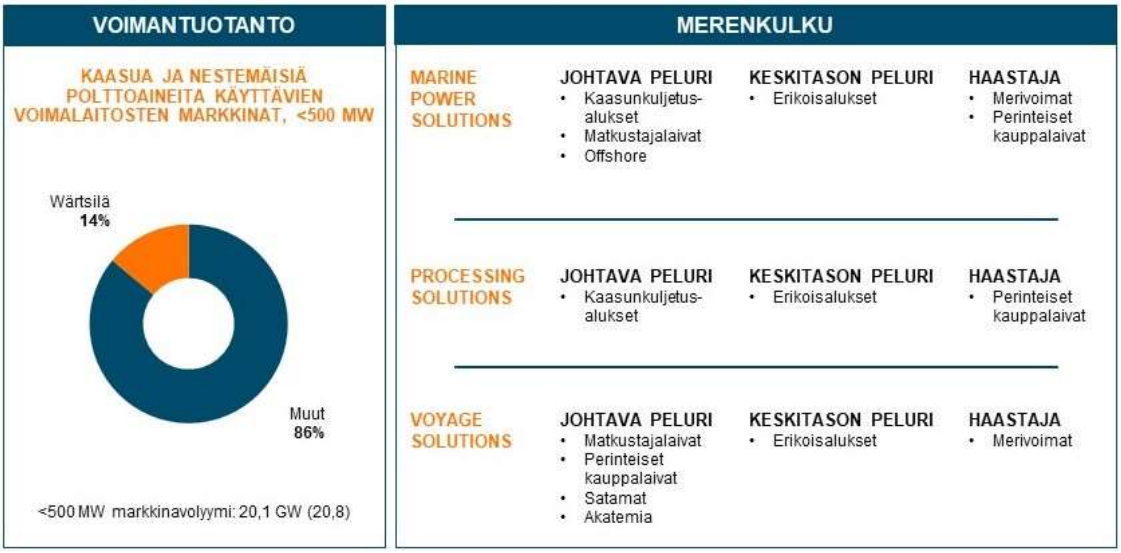
1990-luvulla Wärtsilä oli kovassa noususssa, Wärtsilä nousi suurten dieselvalmistajien joukkoon ostettuaan vuonna 1997 konkurssissa olleen Bremer Vulkanin hallinnoiman puolikkaan New Sulzer Dieselistä (NSD), NSD:n alaa olivat suuret, hidaskäyntiset kaksitahtimoottorit kun taasen Wärtsilän osaamisalaan kuului keskinopeat nelitahti dieselmoottorit. 2000-luvun alussa Metra yhdistyy Wärtsilään, Wärtsilä laajentaa toimintaansa biovoimaan ostamalla Sermet Oy:n sekä aloittaa propellien valmistuksen Kiinassa yhteishankkeena CME:n kanssa. /1/

Vuoden 2007 puolella Wärtsilä ja Hyundai Heavy Industries Co. Ltd allekirjoittavat sopimuksen yhteishankkeesta valmistaa monipolttoainemoottoreita Koreassa LNG-rahtilaivoihin. Vuonna 2009 Wärtsilä on listattuna maailman sadan parhaan kestävän kehityksen yrityksen joukossa. Vuonna 2010 Wärtsilän rakentama ainutlaatuinen polttokenno asennetaan testikäyttöön Wallenius Undine -rahtilaivaan, testin aikana yksikkö toimii apumoottorina alukselle ja on lähes päästötön. /1/

Vuonna 2015 uusi W31-moottori otetaan käyttöön, saaden maininnan Guinness World Recordsin kirjaan maailman tehokkaimpana nelitahtidieselmoottorina, vuotta myöhemmin Wärtsilä laajentaa toimintaansa aurinkoenergialiiketoimintaan. Smart Technology Hubia aloitetaan kaavailemaan Vaasan Vaskiluotoon vuonna 2018, Vaasan tuotannon, tuotekehityksen ja suunnittelun on määrä siirtyä uuteen tehtaaseen sen valmistuttua. /1/

2.2 Wärtsilän tilanne nykypäivänä

Wärtsilä toimii yli 80 maassa ympäri maailmaa, toimipisteitä on yli 200. Liikevaihto oli vuonna 2018 5,2 miljardia, henkilöstömäärän ollessa noin 19 000. /2/ Wärtsilän merenkulun ja voimantuotannon markkinaosuudet on jaoteltu alla olevassa kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1. Wärtsilän markkinaosuudet. /3/

Wärtsilä Marine Business tarjoaa asiakkaittensa liiketoiminnan tueksi meriteollisuudessa kuin myös öljy- ja kaasuteollisuudessa vaikuttaville asiakkailleen turvallisia, tehokkaita, sopeutuvia, taloudellisia ja ympäristömyönteisiä ratkaisuja. /4/

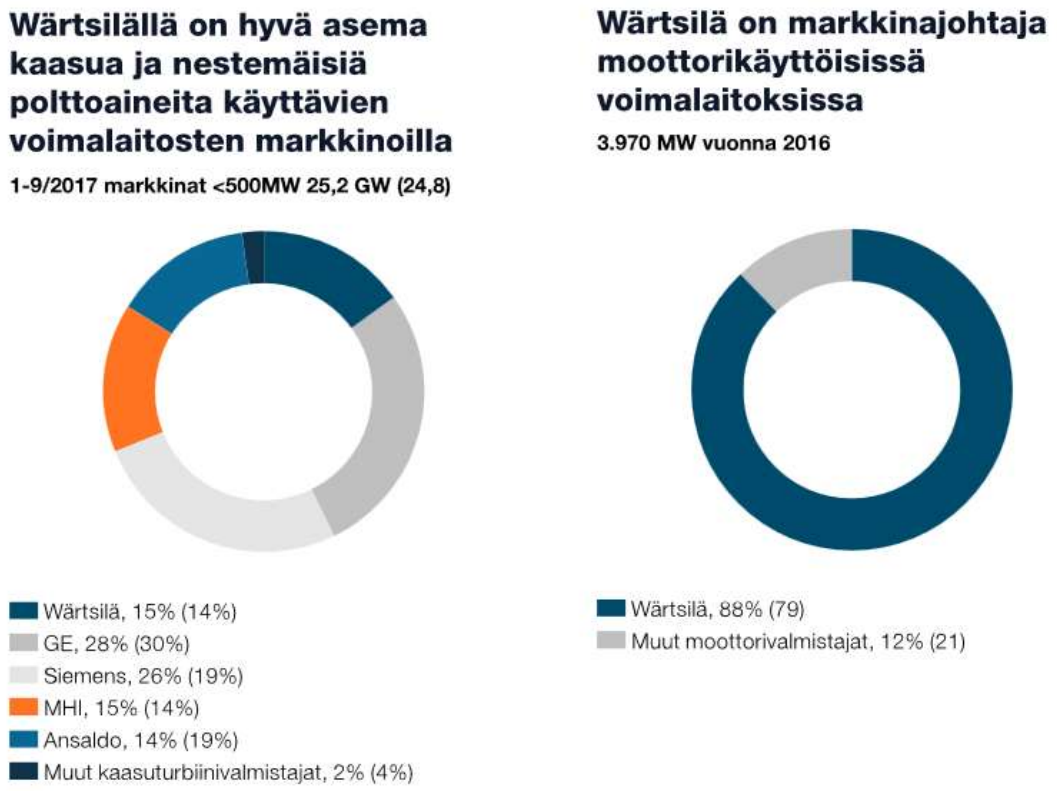
Merenkulkualan pääsegmenttiin kuuluvat matkustajalaivat, kauppalaivat, erikoisalukset, merivoimat sekä kaasutankkerit. Öljy- ja kaasuteollisuuden puolella Wärtsilän toiminta keskittyy maalla toimiviin kaasuteollisuuden laitoksiin sekä offshore-laitoksiin ja -aluksiin. Uusien alusten kysyntään vaikuttaa pääosin maailmantalouden kehityksen vaikutus kauppaan ja kuljetuskapasiteetin tarpeisiin, jatkuvasti kehittyvät ympäristö-

määräykset ja niiden vaikutus alusten tehokkuuteen lisäävät myös kysyntää. Keskinopeilla päämoottoreilla Wärtsilän osuus kattaa 50 % koko markkina-asemasta (Kuva 2). /4/

Kuva 2. Wärtsilän ja kilpailijoiden markkina-asema. /4/

> ”Wärtsilä Energy Solutions on johtava kansainvälinen järjestelmäintegraattori, jonka tarjonta sisältää erittäin monipuolisia polttomoottorikäyttöisiä voimalaitoksia, energian varastointijärjestelmiä ja laitosmittakaavan aurinkovoimaloita (PV) sekä nesteytetyn maakaasun (LNG) terminaali- ja jakelujärjestelmiä. Nämä joustavat ja tehokkaat ratkaisut tarjoavat asiakkaille ylivoimaista lisäarvoa ja tuovat käyttöön kestävämpiä ja modernimpia tulevaisuuden energiajärjestelmiä. Tämä tukee Wärtsilän päämäärää kehittää kestävää yhteiskuntaa älykkäällä teknologialla. Vuoden 2017 lopussa Wärtsilän maailmanlaajuisesti 177:ään eri maahan toimittamien voimalaitosten asennettu kapasiteetti on 65 gigawattia. /5/”

Kolme tärkeintä asiakassegmenttiä tällä sektorilla ovat teollisuusasiakkaat, sähkölaitokset sekä itsenäiset voimantuottajat. Moottorikäyttöisissä voimalaitoksissa Wärtsilä on markkinajohtaja ja pitää yllä hyvää asemaa kaasu ja nestämäistä polttoainetta käyttävien voimalaitosten markkinoilla (Kuva 3). /5/

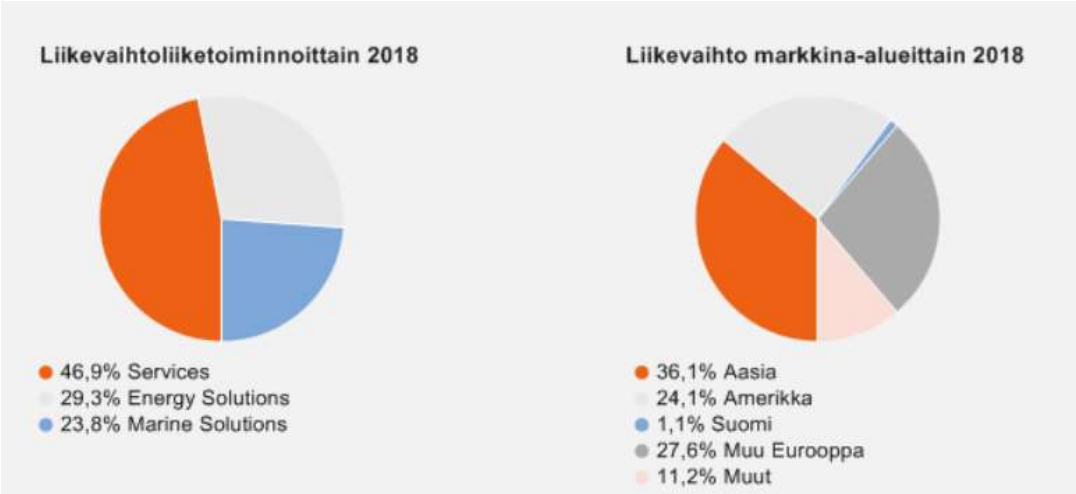


Kuva 3. Wärtsilän asema voimalaitosmarkkinoilla. /5/

Wärtsilä Services sektorin toiminnan tarkoitus on optimoida toimitettujen systeemien tehokkuutta läpi niiden koko käyttöiän, tällä toiminnalla edesautetaan asiakkaita kasvamaan ja tehostamaan toimintaansa. Sektori pitää sisällään suunnilleen 11 000 henkilöä, jotka ovat sijoittuneet ympäri maailmaa palvelemaan yli 12 000 asiakasta vuositasolla. Palveluverkostona Wärtsilä on ylivertainen teollisuus-, energia-, merenkulku- ja vesivoima-aloilla. /6/

Wärtsilä on sitoutunut tarjoamaan korkeaa laatua sekä asiantuntevaa tukea, palveluiden tarjonnasta huolehtimalla ja toimien ympäristön näkökulmasta katsottuna kestävällä tavalla. Tiiviit yhteistyösuhteet kehittämällä asiakkaisiin Wärtsilä pystyy syvällisesti perehtymään kunkin asiakkaan tarpeeseen sekä kasvattaa näin ollen palveluiden tuottamaa lisäarvoa. Kestävässä kehityksessä ympäristömääräysten noudattaminen ja ener-

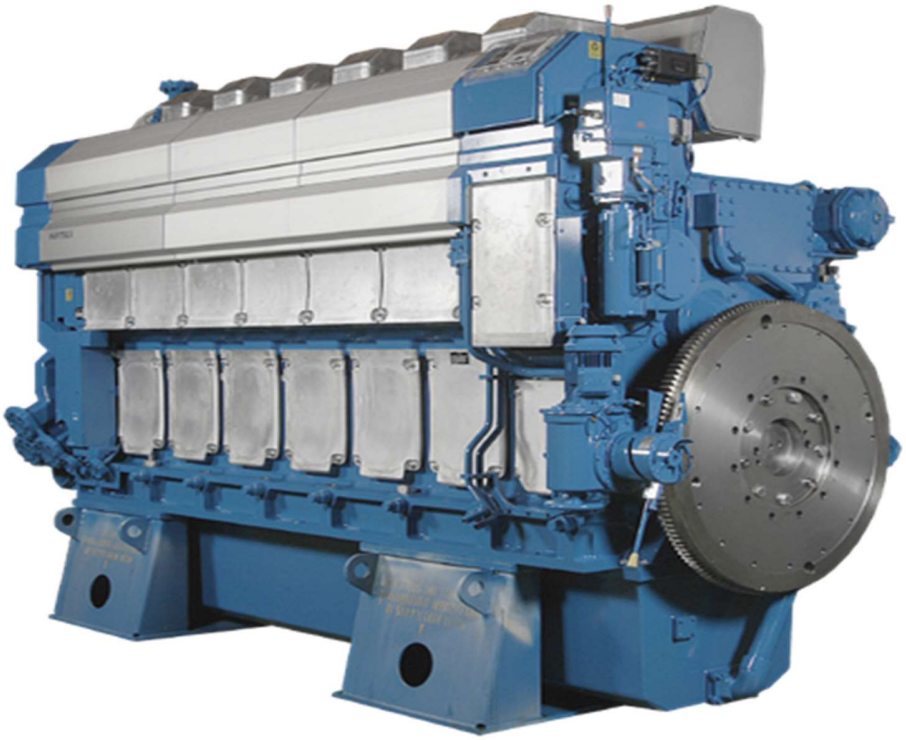
giatehokkuuden parantaminen luovat kilpailuetua markkinoilla. Wärtsilän liikevaihdosta lähes puolet tulee heidän tarjoamistaan huoltopalveluista, jakautuma on tasaisempi Energy- ja Marine Solutionsilla (Kuva 4). /6/



Kuva 4. Wärtsilän liikevaihdon jakauma sektorikohtaisesti. /7/

2.3 W3X-tuotantolinja

Wärtsilän W3X-tuotantolinjalla valmistetaan W32- ja W34-moottoreita, moottorityypeissä on projektikohtaisia eroja, jotka riippuvat käyttökohteen tarkoituksesta. Verstaalla on kaksi eri linjaa vierekkäin, joista toisessa valmistetaan useimmiten V-tyyppisiä moottoreita ja toisessa L-tyyppisiä. Esimerkiksi W32-moottori L-mallisena merkitsee, että 32 on moottorin sylinterin halkaisijan koko ja L-kirjain merkitsee rivikonfiguraatiota, V-kirjain vastaavasti v-moottorikonfiguraatiota (Kuva 5). /8/



Kuva 5. Wärtsilä W32-moottori. /8/

Tuotantovaihe alkaa lohkolinjasta, joka pitää sisällään akselin valmistuksen, lohkolinjalta valmistuttuaan moottori siirtyy moduulilinjan 2–4-vaiheille. Tämän jälkeen moottori siirretään mekatroniikkaan, jonka vaiheet koostuvat 5–7-vaiheista, viimeisenä linjalla ennen moottorin koeajoon lähettämistä on generaattorilinja.

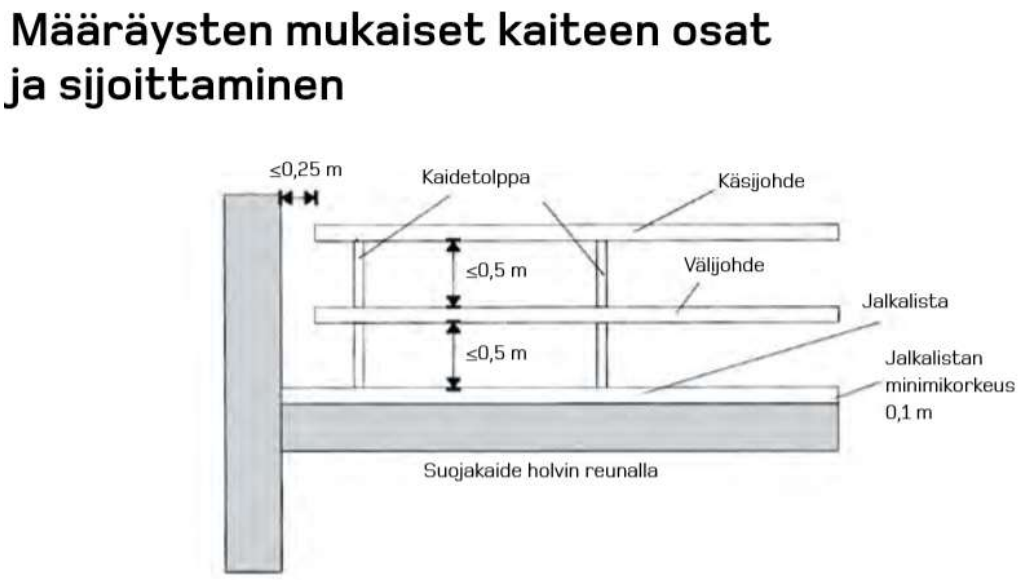
Useimmissa linjoissa joutuu työskentelemään säädettävillä työtasoilla, jotta moottorin ylätason asennuksia voidaan suorittaa. Suojakaidetta tulee käyttää yli kahden metrin korkeudessa tai mikäli putoamisvaara on mahdollinen. Moottoria asennettaessa on paikoittain työaktiviteetteja, jotka vaativat nykyisten suojauselementtien sivuun siirtämistä asentamisen ajaksi, toisinaan joudutaan kurottelemaan epämieluisissa asennoissa, kun suojakaiteilla ei ole säätövaraa. Tämän takia uuden innovatiivisen tasokai-

teen testaaminen ennen käyttöönottoa on tärkeää, että nähdään sen mekaaninen ja työturvallinen toimintavarmuus, ergonomisia aspekteja tulee myös huomioida käytön aikana ja tehdä kaikkiin yllä mainittuihin kohtiin tarpeen tullen korjaavia toimenpiteitä.

3 SUOJAKAIDE

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 6. luvun 28. §:n mukaan suojakaide tulee olla, kun putoamiskorkeus ylittää 2 metriä. /9/ Suojakaiteen rakenteeseen kuuluu käsijohde ja välijohde sekä tapauskohtaisesti jalkalista, jos työskenneltävän tason raoksi jää yli 20 millimetriä, kaiteen tolpan korkeuden tulee olla pystytasossa vähintään yhden metrin korkuinen (Kuva 6). /10/

Tässä luvussa käsitellään testikäytössä olleen tasokaiteen ominaisuuksia yleisellä tasolla, tavanomaiseen suojakaiteeseen verrattuna tuli tutkia kahden vuoden kulutusta vastaavan käytön aiheuttamaa välysten kasvamista sekä miten liukupinnan materiaalivalinnalla on vaikutusta kitkaan ja kulumiseen sekä miten ominaisuuksiltaan sopivalla voiteluaineella voidaan vaikuttaa kitkaan ja vähentää ennenaikaista kulumista. Standardin kuormituksen testaamista ja suojakaiteelle asetettuja erityisvaatimuksia pystyttiin osittain hyödyntämään työssä käytettyyn tasokaiteeseen.



Kuva 6. Suojakaiteen rakenne ja vaatimukset etäisyyksille. /10/

Käsijohde käsitetään suojakaiteen rakenteen ylimpänä osana, standardimääritelmissä on tapauskohtaisia eroja, mutta käsijohteen halkaisijan tulisi olla 25–50 mm:ä hyvän otteen saamiseksi. Välijohde käsitetään keskimmäisenä osana, joka suojaa käyttäjää putoamasta työtason ja käsijohteen väliin jäävästä aukosta, käsijohde on vaakatasottaisessa asennossa, tämän sijasta voidaan käyttää myös pystysuoria tolppia riittävän tiheillä väleillä. Jalkalistan tarkoitus on suojata alhaalla työskenteleviä henkilöitä estämällä esimerkiksi työkalun putoamisen reunaan jäävästä raosta, jalkalistan minimikorkeuksissa löytyy myös eroavaisuuksia, mutta useimmat standardit määrittävät minimiksi 100 mm:ä. /19/

Suojaavien rakenteiden kunto pitää tarkastaa aina ennen käyttöönottoa sekä korjata vaatimuksista poikkeavat epäkohdat välittömästi. Suojakaiteiden kuntoa tulee myös tarkastella riittävän usein käytön jälkeen (Kuva 7). /11/

Tarkasta, että suojakaide täyttää vaatimukset:

- Valittu kaidetyyppi täyttää turvallisuusluokan vaatimukset
- Puurimoissa käytetyn puutavaran laatu ja koko ovat oikeat
- Sallittu k/k-etäisyys ei ylity
- Kaiteen korkeus on vähintään 1,0 m
- Käsijohde ja välijohde/välisuoja on asennettu, jos suojakaiteessa ei ole verkkoa
- Suojakaiteessa on jalkalista, jonka korkeus on vähintään 150 mm
- Rimat ja jalkalistat on kiinnitetty nauloilla tai ruuveilla
- Suojakaiteen aukot ovat vaatimusten mukaiset
- Kiinnitysosat on kiinnitetty oikein rakennuksen rakenteeseen
- Tolpat on kiinnitetty oikein kiinnitysosiin
- Suojakaiteeseen ei kohdistu liian suuria tuulikuormia

Asennus- ja käyttöohjeet:

- Tarkista kaidetolpan kunto
- Ää käytä vioittunutta tolppaa
- Varmista talviaikana, ettei tolpan kiinnityskohdassa ole lunta eikä jäätä
- Tarkista puutavaran kunto
- Kiristä lyöntilukot kunnolla vasaralla lyöden
- Asenna tarvittaessa jalkalista (erillistä jalkalistaa ei tarvita jos suojakaiteen verkkoelementti asennettu)
- Tarkasta kaiderakenne ennen käyttöönottoa
- Käytä turvavaljaita kaidetolppien irrotuksessa
- Asenna kaidetolpat paikalleen jo maassa
- Säilytä tuotteet kuivassa, tuulettuvassa tilassa suojassa ulkoisilta rasituksilta, esim. säätilan vaihteluilta ja syövyttäviltä aineilta
- Kaiteiden käytöstä on annettava työntekijöille opetusta ja ohjausta
- Noudata aina kunkin kaiteen omia asennusohjeita

Kuva 7. Suojakaiteen vaatimus, asennus- ja käyttöohjeiden -lista. /11/

3.1 Suojakaiteelle asetetut erityisvaatimukset

Seuraavaksi rakenteeltaan vertailukelpoisia vaatimuksia verrattiin SFS:n SFS-EN- ISO 14122-3:2016 – Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet -standardiin. /19, s. 13–16/.

1) ”Suojakaiteen korkeuden on oltava vähintään 1100 mm. Käsijohteen korkeuden on oltava ≤ 1100 mm. Käsijohteen on oltava samansuuntainen kävelylinjan kanssa. /19, s. 13–16/”
2) ”Suojakaiteessa on oltava vähintään yksi välijohde tai muu vastaavan suojan antava rakenne. Käsijohteen ja välijohteen samoin kuin välijohteen ja jalkalistan välinen vapaa tila ei saa ylittää 500 mm. /19, s. 13–16/”
3) ”Jos käsijohde ei ole yhtenäinen (suojakaide muodostuu eri jaksoista), kahden kaidejakson välissä liikkumisesta aiheutuva puristuminen ja leikkautuminen on estettävä. Jos tämä ei ole mahdollista sopivan rakenteen avulla, vaaditaan seuraavat etäisyydet käden takertumisen ja aukosta putoamisen estämiseksi:
   Jos kaiteessa ei ole pyöristystä, kahden kaidetolpan välisen vapaan tilan on oltava vähintään 50 mm ja enintään 120 mm. /19, s. 13–16/”

4) ”Käsijohteen päät on muotoiltava niin, että terävien reunojen tai käyttäjien vaatteiden takertumisen aiheuttamat merkittävät vaarat poistuvat tai pienentyvät mahdollisimman vähäisiksi. /19, s. 13–16/”
5) ”Kiinnitettävissä tai taitettavissa suojakaiteissa on oltava rakenneosat, jotka estävät tarkoittamattoman avautumisen. /19, s. 13–16/”
6) ”Käsijohteen halkaisijan olisi oltava 25 mm–50 mm tai oltava muuten sopivan muotoinen niin, että siitä saa kädellä hyvän otteen. /19, s. 13–16/”

Testikäytössä olleen tasokaiteen mittasuhteet esitetään Liitteen 1 luvussa 10.

3.2 Välykset

Välys määritellään kahden eri soviteosan raoksi, väli voidaan mitata liikuttelemalla sovitettua osaa päätyihin asti, tarvittaessa estetään asennusuran omaavan komponentin sivuttais- ja pystysuuntainen liikehdintä. Kriittisille sovitteille on määritelty toleranssi, jonka rajoissa sen tulisi olla, liian pieni välys voi johtaa kiinnihitsautumiseen ja ennenaikaiseen kulumiseen, kun taas liian suuri välys voi johtaa komponentin satunnaiseen iskeytymiseen toista komponenttia vasten. Pituusmittojen toleransseille on olemassa standardi ISO 286-1, joka määrittelee erinäisten kappaleiden ja sovitteiden toleranssiarvoja riippuen näiden muodoista (Kuva 8). Standardiin tulee tapauskohtaisesti soveltaa myös geometrisen tuotemäärittelyn ja yleistoleranssin standardeja; SFS-EN ISO 1101, SFS-EN ISO 1302, SFS-EN ISO 2692 ja SFS-EN ISO 22768-1. /12/

ESIM. Toleroitava mitta: 60 M6 Ⓔ

Perustoleranssien arvot luetaan standardin ISO 286-2:– taulukosta 9 nimellismitta-alueen riviltä 50...80 mm ja perustoleranssiastesarakkeesta numero 6.

Näin ollen rajaeromitat ovat:

Ylempi rajaeromitta *ES* = -5 µm

Alempi rajaeromitta *EI* = -24 µm

Tästä seuraa: 60 M6 Ⓔ $\equiv 60^{-0,005}_{-0,024}$ Ⓔ

Kuva 8. Esimerkki rajaeromittojen määrittämisestä. /12/

3.2.1 Tasokaiteen mitatut välykset

Ennen testiä tasokaiteen käsijohteesta ja välijohteesta mitattiin välykset. Käsijohteen ollessa lukittuna vertikaalitasoon mitattiin sille 5 mm välys ja horisontaalivälykselle vastaavasti 2 mm välys. Välijohteen sivuttaistaitosta otettiin alkuun 19 mm välys. Välykset mitattiin uudestaan aina 20 toistokerran jälkeen, jotta nähdään onko kulumisella merkittävä vaikutus tuloksiin, tuloksia käsitellään Liitteen 1 luvussa 1.

3.3 Liukupinnat

Liukupintaa suunnitellessa tulee ottaa huomioon muun muassa liukupintaa vasten rullaavan komponentin materiaaliominaisuudet, käyttötarkoitukseen sopiva voiteluaine sekä kulumisen vaikutus toimintavarmuuteen. Kahden eri materiaalin välinen kitka on oleellinen ergonomian kannalta, jos laitetta joutuu käyttämään aktiivisesti. Teflonin ja työkaluteräksen välinen kitka on yksi alhaisimmista käytössä olevista vaihtoehdoista (Kuva 9). Työn aikana ilmennyttä liukupinnan kulumista ja kasvanutta kitkaa käsitellään Liitteen 1 luvuissa 2 ja 5.

Materials		Vickers microhardness (kg/mm^2)	Coefficient of friction	Wear coefficient (k)
Wearing surface	Counter surface			
60/40 leaded brass	Tool steel	95	0.24	6×10^{-4}
Mild steel	Mild steel	186	0.62	7×10^{-3}
Ferritic stainless steel	Tool steel	250	0.53	1.7×10^{-5}
Stellite	Tool steel	690	0.60	5.5×10^{-5}
Tungsten carbide	Tungsten carbide	1300	0.35	1×10^{-6}
PTFE	Tool steel	5	0.18	2.4×10^{-5}

Kuva 9. Eri materiaalikombinaatioiden välisiä kitkakertoimia. /13/

Liukumisnopeuden suhteen tulee huomioida voitelumenetelmä, pronssilaakerin kitkakerroin on alhaisimmillaan hydrodynaamisessa voitelussa ja korkeimmillaan seka-kitka- alueella tai kiinteällä voiteluaineella (Kuvat 10 ja 11).

Kuormitettavuus

Laakeri, jonka sisähalkaisija on d mm, pituus 1 mm ja kuorma F Newtonia, saadaan kuormitus p seuraavasti:

p = F / (d x 1) N / mm2

Liukumisnopeus < 1 m / min ja käyttö ajoittaista, voidaan pintapaineeksi sallia puolet materiaalin myötöraja-arvosta.

Liukumisnopeus > 1 m / min tai jatkuvakäyttö: –maksimikuormitettavuuden määrittelemiseksi käytetään ns. pv-arvoa (N/mm2 x m/sek). Pv-arvoksi voidaan useimmille pronssilaaduille sallia 1,75 N/mm x m/sek. Aksiaalinen liike sallii yleensä suuremman pv-arvon.

Jos liukumisnopeus yli 60 m/min edellytetään yleensä hydrodynaamista voitelua.

Kuva 10. Liukulaakerin kuormitettavuus. /14/

Pronssilaakerin kitkakerroin:

- hydrodynaamisessa voitelussa = 0,001-0,02
- muutosalueella = 0,02-0,08
- sekakitka- alueella = 0,08-0,15
- kiinteä voiteluaine = 0,08-0,25

Kuva 11. Pronssilaakerin kitkakertoimia eri voitelumenetelmillä. /14/

Teräs-teräs- ja teräs-pronssiyhdisteiden liukumispintakontaktin huoltoväli voidaan laskea alla olevan kuvan kaavan mukaisesti (Kuva 12).

The basic rating life for initial lubrication only, can be calculated using

$G_h = b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ 330 / p^{2,5}\ v$

The basic rating life for bearings with regular relubrication, can be calculated using

$G_{hN} = G_h\ f_\beta\ f_H$

or

$G_N = 60\ f\ G_{hN}$

The frequency of relubrication can be calculated using

Kuva 12. Esivoitelun, säännöllisen voitelun ja uudelleenvoitelun voiteluvälitarpeet. /15/

3.4 Voiteluaineet

Voiteluaineet voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan; kuivavoiteluaineisiin ja nestemäisiin voiteluaineisiin. Tavanomaisessa käytössä tulee huomioida lämpötila, kitka, puristuminen, kontaktipinnan yhteissopivuus tribologisesti sekä säilyvyys (Kuva 13). /16/

TABLE 22.2 Solid Materials with Self-lubricating Capability

Classification	Key Examples	Typical Range of Friction Coefficient[a]
Lamellar solids	MoS_2	0.002–0.25
	WS_2	0.01–0.2
	HBN	0.150–0.7
	Graphite	0.07–0.5
	Graphite fluoride	0.05–0.15
	H_3BO_3	0.02–0.2
	GaSe, GaS, SnSe	0.15–0.25
Soft metals	Ag	0.2–0.35
	Pb	0.15–0.2
	Au	0.2–0.3
	In	0.15–0.25
	Sn	0.2
Mixed oxides	$CuO–Re_2O_7$	0.3–0.1
	$CuO–MoO_3$	0.35–0.2
	$PbO–B_2O_3$	0.2–0.1
	$CoO–MoO_3$	0.47–0.2
	$Cs_2O–MoO_3$	0.18
	$NiO–MoO_3$	0.3–0.2
	$Cs_2O–SiO_2$	0.1
Single oxides	B_2O_3	0.15–0.6
	Re_2O_7	0.2
	MoO_3	0.2
	TiO_2 (sub-stoichiometric)	0.1

Kuva 13. Itsevoitelevien kiinteiden aineiden kitkakertoimia. /16/

Tefloni (PTFE) on tärkeä polymeeripohjainen materiaali suunnittelussa. Kovaa pintaa vasten hangattuna teflon osoittaa alhaista kitkakerrointa mutta nopeaa kulumista, ideaalinen laakerimateriaaliksi, kun kuormituspaine on korkea tai alhainen keskitason tai alhaisen pintanopeuden kanssa. Voiteluaineena käytettynä se kestää muita kemikaaleja, omaa alhaisen kitkakertoimen sekä korkean palamispisteen ja on bioyhteensopiva. Nopean kulumisen takia tefloniin käytetään täyteaineina kulumista paremmin kestäviä aineita kuten molybdeenidisulfidia (MoS2) tai grafiittia (Kuva 14). /17/

Solid lubricant	Characteristics
MoS2	MoS2 has a low coefficient of friction both in vacuum and atmosphere, and it does not rely on adsorbed vapors or moisture. Its thermal stability in non oxidizing environments is acceptable to 1373 K, but in air the temperature limitation of MoS2 may be reduced to a range of 623 to 673 K by oxidation. Adsorbed water vapors and oxidizing environments may actually result in a slight, but insignificant, increase in friction. MoS2 has greater load-carrying capacity than other commonly used lubricants, such as graphite and PTFE. MoS2 has a hexagonal crystal structure with the intrinsic property of easy shear. The lubrication performance of MoS2 often exceeds that of graphite, and MoS2 is effective in vacuum where graphite is not.
Graphite	Graphite has a low coefficient of friction and very high thermal stability (2273 K and above). Graphite has a hexagonal crystal structure with the intrinsic property of easy shear, although graphite relies on adsorbed moisture or water vapors to achieve low friction. Use in dry environments, particularly in vacuum, may be limited. At temperatures as low as 373 K, the amount of water vapor adsorbed may be reduced to the point that low friction cannot be maintained, so sufficient water vapor may be deliberately introduced to maintain low friction. Practical application at high temperatures is limited to a range of 773 to 873 K because of oxidation. When necessary, additives composed of inorganic compounds may be added to enable use at temperatures to 823 K.
PTFE	PTFE has a low coefficient of friction both in vacuum and atmosphere because of a lack of chemical reactivity. PTFE does not rely on adsorbed vapors or moisture. It possesses low surface energy and does not have a layered structure. The macromolecules of PTFE slip easily along each other, similar to lamellar structures. Practical application temperatures range from 173 to 523 K. PTFE does not have greater load carrying capacity and durability than other alternatives. The low thermal conductivity of PTFE inhibits heat dissipation, which causes premature failure due to melting and limits use to low-speed sliding applications where MoS2 is not satisfactory. PTFE shows one of the smallest coefficients of static and dynamic friction, down to 0.04. Operating temperatures are limited to about 523 K.
Soft metals	Lead, gold, silver, copper, indium, and zinc possess relatively low coefficients of friction both in vacuum and atmosphere because of their low shear strengths. These metals are extremely useful for high temperature applications up to 1273 K and for rolling element applications, such as roller bearings, where sliding is minimal.

Kuva 14. Kuivavoiteluaineiden ominaisuuksia. /17/

Litiumsaippuarasva omaa hyvän leikkautumiskestävyyden ja on veteen liukenematon. Rasva tarttuu hyvin metallipinnoille ja mikäli rasvan tulee kestää kovempia kuormia, niin siihen voidaan lisätä molybdeenidisulfidia (MoS2). Rasvan käyttö soveltuu hyvin saranoihin ja laakereihin. /18/

3.5 Suojakaiteen kuormituksen testaaminen

Toiseen tasokaiteeseen tuli kohdistaa kuormitustesti, jotta nähdään kestääkö kaide epäedullisimpaan kohtaan asetettua kuormaa ja mitä vaaratilanteita murtumisen seurauksesta voisi johtua. SFS-EN ISO 14122-3:2016 -standardin mukainen testaus suoritetaan kulkutasoon asennetulle kolmitolppaiselle suojakaiteelle, joka pitää sisällään käsi- ja välijohteen. /19, s. 19–22/

Kuorma kohdistetaan pistekuormaisesti vaakasuoraan ilman dynaamista kuormitusta. Ensimmäinen testaus kohdistetaan keskimmäisen tolpan käsijohteen keskelle. Toisella testikerralla kuormitetaan käsijohteen epäedullisinta kohtaa, tämä kohta on kahden tolpan keskellä. Kuormituksen tulisi olla minimissään 300 N/m, jonka jälkeen molempien menettelyiden taipumat mitataan taipumamittarilla. /19, s. 19–22/

Asentovirheiden johdosta tulee käsijohteeseen ensin kohdistaa 75 N/m suuruinen kuormitus minuutin ajan, mittari nollataan kuormituksen jälkeen ja sitten sama prosessi toistetaan 300 N/m:n kuormalla, taipuma ei saa ylittää 30 mm:ä tässä vaiheessa. Viimeistä kuormitusta varten tulee huomioida kaiteen materiaalin ainekerroin, teräksen ja alumiinin arvoksi on luokiteltu 1,75. Tämän kertoimen lisäämällä 300 N/m · L:ään saadaan 525 N/m · L. Prosessi toistetaan samalla tavalla kuin aiemmin, mutta taipuma ei saa ylittää 0,3 % suojakaiteen tolpan korkeudesta. Metrin korkuiselle suojakaiteelle taipuma ei siis saisi ylittää 30 mm:ä. Epäedullisimpaan kohtaan kohdistetussa testissä toimintaperiaate on sama, mutta ainekertoimen kanssa tehtyä vaihetta ei tehdä. /19, s. 19–22/

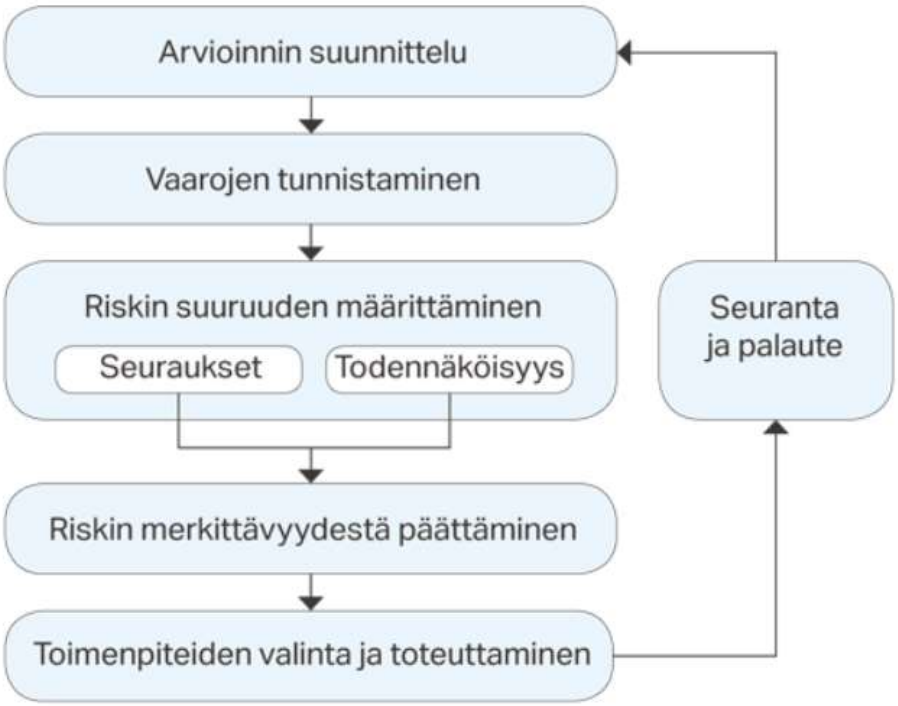
Työn viimeisenä vaiheena tuli kuormittaa tasokaidetta riittävällä kuormalla, jotta voidaan varmistua sen rakenteen kestävyydestä ja mitä vaikutuksia mahdollisella murtumisella voisi olla työturvallisuuteen. Kuormituksen aikana tehtyjä havaintoja käsitellään Liitteen 1 luvussa 8.

4 TYÖTURVALLISUUS

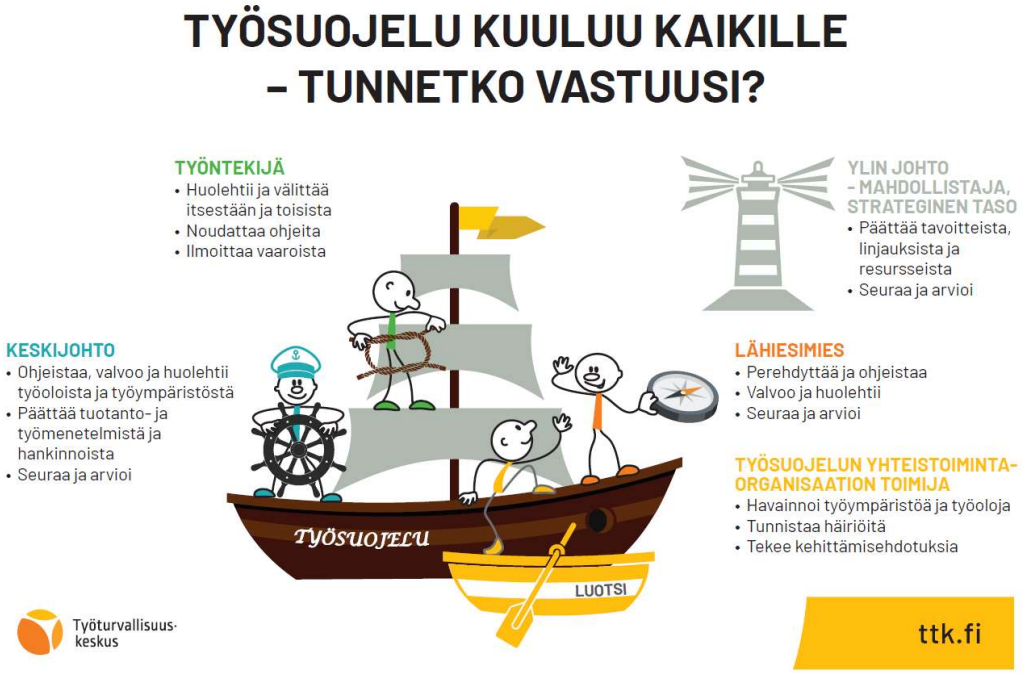
> ”Jokaisen työnantajan velvollisuus on tarkkailla työympäristöä jatkuvasti ja järjestelmällisesti, selvittää työstä aiheutuvat haitat ja vaarat sekä arvioida niiden riskit työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle. Vaarojen selvittämisen ja riskien arvioinnin avulla työnantaja saa selville, onko työoloissa puutteita, joita täytyy korjata. /20/” (Kuva 15).

> ”Työnantaja vastaa siitä, että työpaikka on turvallinen ja terveellinen. Tämä edellyttää, että työnantaja on tietoinen työpaikan haitta- ja vaaratekijöistä ja niiden hallinnasta. Lisäksi työnantajan tulee huolehtia siitä, että työntekijöillä on tarvittavat tiedot ja taidot tehdä työnsä turvallisesti. Työnantajan tulee järjestää työtekijöille työterveyshuolto. Työntekijöiden velvollisuutena on noudattaa työnantajan antamia määräyksiä ja ohjeita sekä huolehtia työssään omasta ja muiden työtekijöiden turvallisuudesta. /21/” (Kuva 16).

Yhteistoimintahenkilöiden vastuulla on tehdä havaintoja työympäristöstä sekä tunnistaa häiriöitä, näiden pohjalta heidän tulee tehdä kehittämisehdotuksia (Kuva 16). /20/



Kuva 15. Riskien arvioinnin vaiheet. /20/



Kuva 16. Työnantajan ja työntekijän velvoitteet. /21/

4.1 Työturvallisuus Wärtsilässä

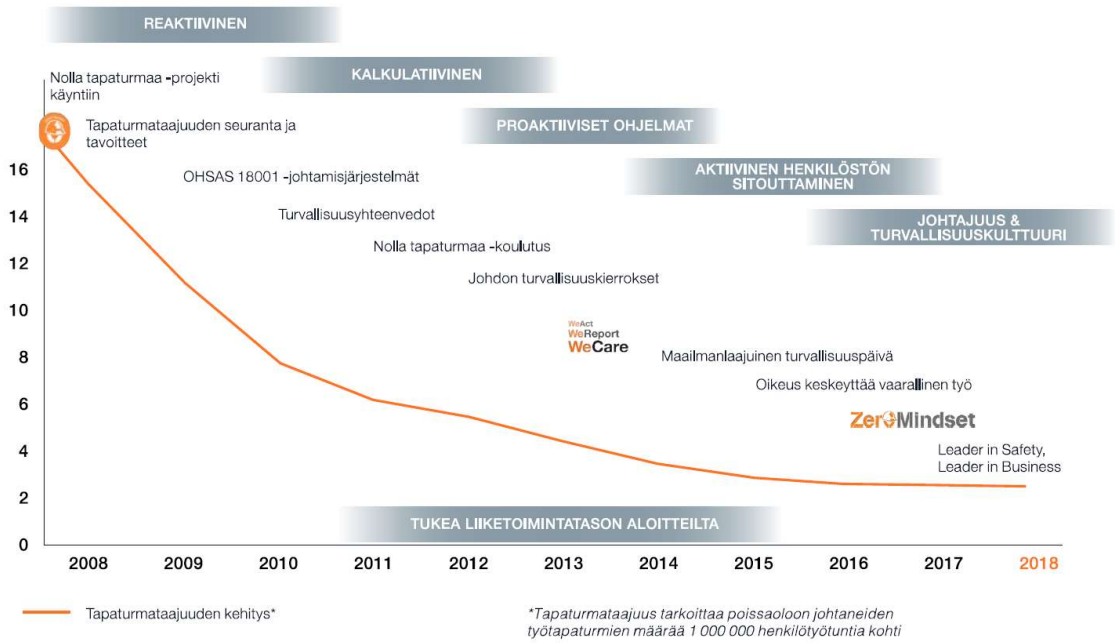
> ”Wärtsilän työterveys- ja turvallisuusperiaatteet määritellään yhtiön toimintaperiaatteissa, laatu-, työterveys- ja työturvallisuus- ja ympäristöpolitiikassa (QEHS) sekä ympäristö-, työterveys- ja työturvallisuusdirektiivissä (EHS). /22/”

> ”Johtamisjärjestelmien keskeisiä painopisteitä ovat toiminnan lainmukaisuus, työterveys- ja työturvallisuusriskien tunnistaminen ja minimointi, henkilöstön koulutus, tehokkaat terveys- ja turvallisuusohjelmat ja ohjeet, sattuneiden poikkeamien kirjaaminen ja selvittäminen sekä työterveys- ja työturvallisuustason jatkuva parantaminen. /22/”

Työn aikana ilmenneitä turvallisuushavaintoja käsitellään Liitteen 1 luvussa 7.1.

4.1.1 WeCare

WeCare-järjestelmä implementoitiin vuonna 2014 kannustamaan ja osallistamaan kaikkia yrityksen työntekijöitä ilmoittamaan vaara- ja läheltäpiti -tilanteista sekä tapaturmista, raportoituja tuloksia voidaan tutkia paikkakohtaisesti sekä liiketoiminta-alueittain. Vuoden loppuun mennessä oli toteutettu jo 3 342 toimenpidettä ympäristönsuojelun ja turvallisuuden parantamiseksi ympäri maailmaa, hyvästä tuloksesta huolimatta Wärtsilä jatkaa kohti Nolla-tapaturmaa tavoitettaan (Kuva 17). /23/



Kuva 17. Turvallisuuden kehittyminen Wärtsilässä. /23/

Vuonna 2018 tapaturmien esiintymistiheysluku oli kasvanut 1 %:lla vuodesta 2017, vuodelle asetettu sisäinen tavoiteluku ylittyi 0,2:lla tavoitteen ollessa 2,3. Edellisvuoteen verrattuna läheltä piti -tilanteista ilmoittaminen oli kasvanut 19 %. Ennaltaehkäiseviä toimia voidaan tehdä saatujen raporttien pohjalta. /24/

4.2 Melu

Työturvallisuuslaki ja valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta velvoittaa työnantajaa selvittämään, altistuvatko työntekijät haitalliselle määrälle melua joko melun ollessa impulssimainen tai pidemmällä aikavälillä jatkuva. Tällöin työnantajan tulee varmistaa työpaikkamelun mittauksilla altistumisriski. Mikäli altistumista melulle havaitaan, tulee työnantajan rajoittaa meluhaitat niin vähäisiksi, ettei siitä koidu työntekijän terveydelle haittaa. /25–27/

Melulle altistumiselle on määritelty raja- ja toiminta-arvot, alarajan toiminta-arvon ylittäessä 80 desibeliä työpäivän aikana (8h) tulee työnantajan hankkia kohdepaikalle kuulonsuojaimet ja ylärajan toiminta-arvon ylittäessä 85 desibeliä tulee työntekijän käyttää kuulonsuojaimia. Alaraja on määritetty altistumiselle ja ylärajassa on käytettävä kuulosuojaimia välttääkseen kuulovaurion riskin. Raja-arvoksi määritetyn 87 desibelin ylittyessä tulee työt keskeyttää välittömästi, työt voivat jatkua, kun työnantaja on onnistunut alentamaan melun takaisin toiminta-arvojen rajoille. (Kuva 18). /25–28/

Lukuarvo	Merkitys asetuksessa (meluasetus 85/2006)
80dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo (impulssimelu) **135dB(C)** Arvioidaan ilman kuulonsuojainten vaikutusta.	Alempi toiminta-arvo: Toiminta-alueen ylittyessä on tarpeen toteuttaa direktiivin tarkoittamia ehkäiseviä toimenpiteitä työntekijöiden kuulovaurioriskien estämiseksi: •Työntekijöillä on oikeus asianmukaisiin, hyvin istuviin kuulonsuojaimiin. •Työntekijöiden, joiden altistuminen ylittää alemmat toiminta-arvot, on voitava käydä ennaltaehkäisevässä audiometrisessä kuulotestissä. Työntekijöille on tiedotettava riskeistä ja oikeudesta kuulotesteihin tai tarkastuksiin.
85dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo **(impulssimelu) 137dB(C)** Arvioidaan ilman kuulonsuojainten vaikutusta.	Ylempi toiminta-arvo: Riskin vähentämiseksi alemman toiminta-arvon edellyttämien toimenpiteiden lisäksi tarvitaan lisätoimenpiteitä: •Työnantajan on laadittava meluntorjuntaohjelma ja annettava työntekijöiden käyttöön kuulonsuojaimet. •Työntekijä velvoitetaan kuulonsuojainten käyttöön.Työpaikalla on merkittävä alueet, joissa tällaista altistumista voi esiintyä ja pääsyä niille alueille on rajoitettava.
87dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo **(impulssimelu) 140dB(C)** Arviossa huomioidaan kuulonsuojainten vaikutus.	Raja-arvo: Tätä arvoa ei saa ylittää.

Kuva 18. Melun raja- ja toiminta-arvot. /28/

4.2.1 Äänen painetason laskenta

Työpaikan melua mitattaessa tulee huomioida kokonaismelun suhteen myös taustamelu, mikäli mitattavan kohteen tuottaman melun ja taustamelun muodostaman kokonaisäänenpainetason ja pelkän taustamelun välillä on vähäinen ero. Työssä mitattiin tasokaiteen kasvanutta melua kahden vuoden kulutusta vastaavassa testissä, äänenpainetaso oli kasvanut testin loputtua 20 desibeliä, joka johtui mekanismin väliin kertyneestä jäysteestä (Taulukko 1).

4.2.2 Suojakaiteen melumittaus

UNI-T UT353 äänitasomittaria käytettiin melun mittauksessa, käyttö kohdistettiin alalukituksen liukupinnoille ensimmäisen korvalla kuultavan poikkeavan äänen jälkeen. Alalukituksen suojapelti pidettiin erillään kontaktipinnoista, ettei se vääristäisi tuloksia ja taustamelun vaikutus sekä äänitasomittarin ±1,5 dB:n tarkkuus huomioitiin laskuissa, tuloksia käsitellään Liitteen 1 luvussa 4.

Taustamelun ja kokonaismelun erotus oli pienimmillään 13 dB ja suurimmillaan 37 dB, alla olevasta taulukosta näkee, ettei korjauslaskelmalla ole suurta vaikutusta lopputulokseen (Taulukko 1).

Taulukko 1. Korjaustaulukko kahdelle eri äänitasolle. /29/

Difference between two noise levels (dB)	Correction to be subtracted from higher of the levels (dB)
0	At least 10
1	6.9
2	4.3
3	3.0
4	2.2
5	1.7
6	1.3
7	1.0
8	0.7
9	0.6
10	0.5
11	0.4
12	0.3
13	0.2
14	0.2
15	0.1

Yllä olevan taulukon todenmukaisuus voidaan osoittaa toteen seuraavalla yhtälöllä:

$$L_2 = 10\ \mathrm{dB} \cdot \log\left(10^{\frac{L}{10\ dB}} - 10^{\frac{L_1}{10\ dB}}\right) \quad (1)$$

Jossa L on kahden yhteenlasketun osaäänen painetaso (dB) ja L_1 sekä L_2 osaäänen painetasoja (dB). /30/

Oletetaan äänen painetason olevan 68 dB ja osaäänen painetason olevan 55 dB, sijoittamalla arvot yhtälöön saadaan laskettua osaäänen L_2 painetaso:

$$L_2 = 10\ \mathrm{dB} \cdot \log\left(10^{\frac{68\ dB}{10\ dB}} - 10^{\frac{55\ dB}{10\ dB}}\right) = 67{,}77\ dB \quad (2)$$

Näin ollen kokonaisäänen painetason ja osaäänen painetason eron ollessa 13 dB, kasvattaa vähäisempi osaääni äänitasoa vain 0,23 dB. /30/

5 ERGONOMIA

”Ergonomia on ihmisen ja toimintajärjestelmän vuorovaikutuksen tutkimista ja kehittämistä toiminnan tuottavuuden, tehokkuuden ja hyvinvoinnin parantamiseksi. Ergonomian avulla työ, työvälineet, työympäristö ja muu toimintajärjestelmä sopeutetaan vastaamaan ihmisen ominaisuuksia ja tarpeita. Ergonomian avulla parannetaan ihmisen turvallisuutta, terveyttä ja hyvinvointia sekä järjestelmän häiriötöntä ja tehokasta toimintaa. /31/”

Näiden osa-alueiden kehittämisessä tarvitaan laaja-alaista perehtyneisyyttä ergonomiaan. /31/

Ergonomia voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään (Kuva 19):

Fyysinen ergonomia keskittyy fyysisen toiminnan sopeuttamiseen ihmisen anatomisten ja fysiologisten ominaisuuksien mukaisiksi. Fyysinen ergonomia ilmenee fyysisen työympäristön, työpisteiden, työvälineiden ja työmenetelmien suunnittelussa.

Kognitiivinen ergonomia keskittyy järjestelmien ja niiden käyttöliittymien sopeuttamiseen vastaamaan ihmisen tiedonkäsittelyn ominaispiirteitä. Kognitiivinen ergonomia ilmenee järjestelmien ja niiden käyttöliittymien (näytöt ja ohjaimet) ja tiedon esittämistapojen suunnittelussa.

Organisatorinen ergonomia keskittyy teknisen järjestelmän ja sosiaalisen järjestelmän yhteensovittamiseen. Organisatorinen ergonomia ilmenee mm. henkilöstön, työprosessien, työkokonaisuuksien ja työaikajärjestelyjen suunnittelussa, ja se liittyy myös tuotannon ja palveluiden kehittämiseen sekä henkilöstön yhteistyön kehittämiseen.

Kuva 19. Ergonomian osa-alueet. /31/

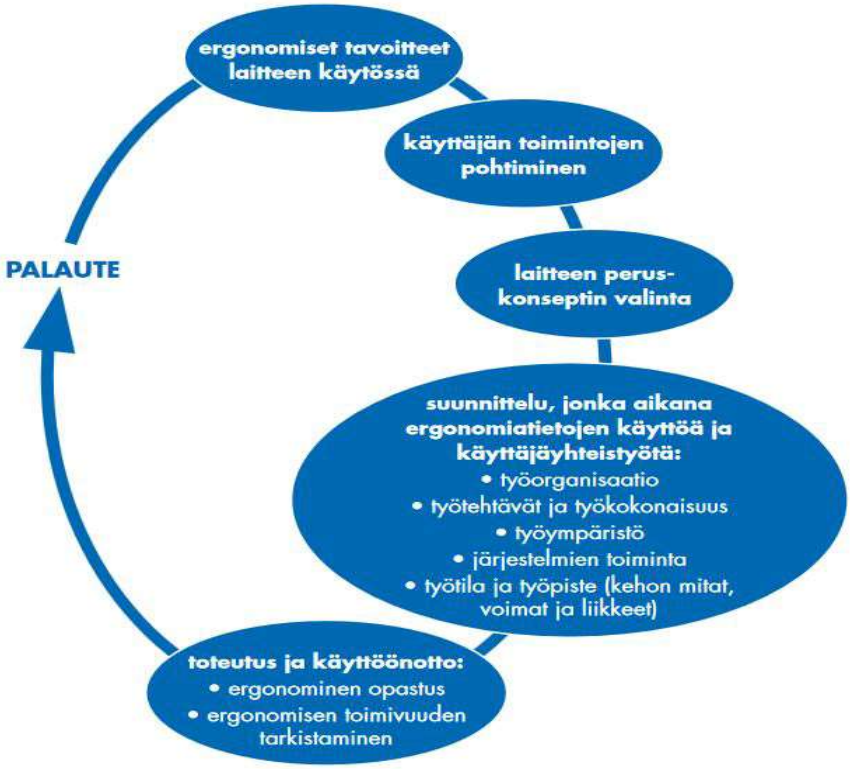
Ergonomian soveltamismuotoihin lukeutuu osallistuva suunnittelu, käytettävyys sekä esteettömyys. Osallistuvassa suunnittelussa käyttäjäkunnan tietämystä ja asiantuntemusta hyödynnetään prosessissa, etuna on tapahtumaketjun aikana syntynyt tieto. Käytettävyydessä ergonomiatietämystä sovelletaan niin, että lopputulos olisi mahdollisimman laajalle käyttäjäkunnalle vaivaton, tämä kategoria käsittää työssä käytettävät työvälineet, koneet, laitteet sekä palvelut havaintojen piirissä. Pääasiallisena kriteerinä käytettävyydessä on ammattitaito. /32/

Esteettömyydessä huomioidaan kaikki käyttäjäryhmät tilojen, tekniikan ja toiminnan suunnittelussa, tiloja ja laitteita suunnitellessa tulisi alusta alkaenkin pyrkiä luomaan mahdollisimman esteetön ympäristö ja käytettävyys. Esteettömyys tulee korostumaan lähitulevaisuudessa, kun väestön ikärakenne muuttuu. /32/

Perusperiaatteena laitteen tulisi olla ominaisuuksiltaan sellainen, että naisen fyysinen voima riittää operoimaan laitetta tehokkaasti ja turvallisesti. Ennen uuden laitteen käyttöönottamista olisi hyvä osallistaa mahdollisimman laajasti fyysisiltä ominaisuuksiltaan eriäviä käyttäjäkunnan henkilöitä testaamaan laitetta, tekemällä havaintoja heidän käyttäessään laitetta ja antaessaan kallisarvoista palautetta, voidaan parantaa epäkohtia. /32/

Tasokaidetta käyttäessäni kirjasin ergonomisia havaintoja ylös, niin tavanomaisen kulumisen vaikutuksesta kuin myös odottamattomien tapahtumaketjujen johdosta, viisi koehenkilöä kokeili myös tasokaidetta ja antoivat palautteensa käytettävyydestä. Liitteen 1 luvuissa 7.2, 7.3.3, ja 9 käsitellään ergonomisia vaikutuksia työn osalta.

Myös ergonomialle löytyy useita vaatimuksia valtioneuvoston asetuksesta koneiden turvallisuudesta 400/2008 sekä standardeista SFS-EN ISO 6385:2016:en, SFS-EN ISO 9241–11:2018:en ja SFS-EN ISO 9241–210. Ensimmäinen standardi pitää sisällään ergonomisuuden perusteet ja seuraavat standardit käsittelevät käytettävyyden perusteita. Eritoten uusissa laitteissa, joista ei ole saatavilla käyttäjäkohtaista tietoa tulisi soveltaa näitä kolmea standardia suunnitteluvaiheessa (Kuva 20). /33–37/



Kuva 20. Ergonomia suunnitteluvaiheessa. /37/

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä työssä tuli tarkasteltua tasokaiteen ominaisuuksia monesta eri näkökulmasta, tasokaiteen toimintavarmuuden tulisi olla kunnossa samalla, kun sille on asetettu työturvallisuuden ja ergonomisuuden vaatimia kriteereitä. Testin aikana saadut tulokset ovat enimmäkseen positiivisia tasokaiteen elinikään ja suojaaviin ominaisuuksiin suhteutettuna, löystyneiden liitosten korjaamisella, alalukituksen liukupintojen määräaikaisella puhdistamisella ja voitelulla olisi ollut merkittävä vaikutus lopputuloksiin. Työssä oli kuitenkin tärkeää huomioida minkälaisia yhteisvaikutelmallisia seuraamuksia huollon laiminlyömisellä voi olla tasokaiteen yleiseen käytettävyyteen ja turvallisuuteen.

Käytettävyydessä suurin ongelma johtui kolmen erillisen tekijän aiheuttamasta yhteisvaikutuksesta, suojapellin ylimpien kannatintukien hangatessa tolpan reunaan lasku- ja nostovaiheessa, alalukituksen huoltamattoman liukupinnan kasvaneesta lepo- ja liikekitkasta sekä suojapellin vasemman kulman hankaaminen säilytystilan vasempaan reunaan nostamisen yhteydessä, kun sen saranan oikeanpuoleinen liitos oli löystynyt. Tämä usein johti siihen, että suojapelti irtosi magneeteista ja tolppaa joutui laskemaan ja nostamaan tarpeettomasti 2–3 kertaa, jotta suojapelti kohdistuu paremmin keskelle tolppaa, tämän seurauksena alalukituksen liukupinnan tiettyyn kohtaan kohdistui suurempaa kulumista.

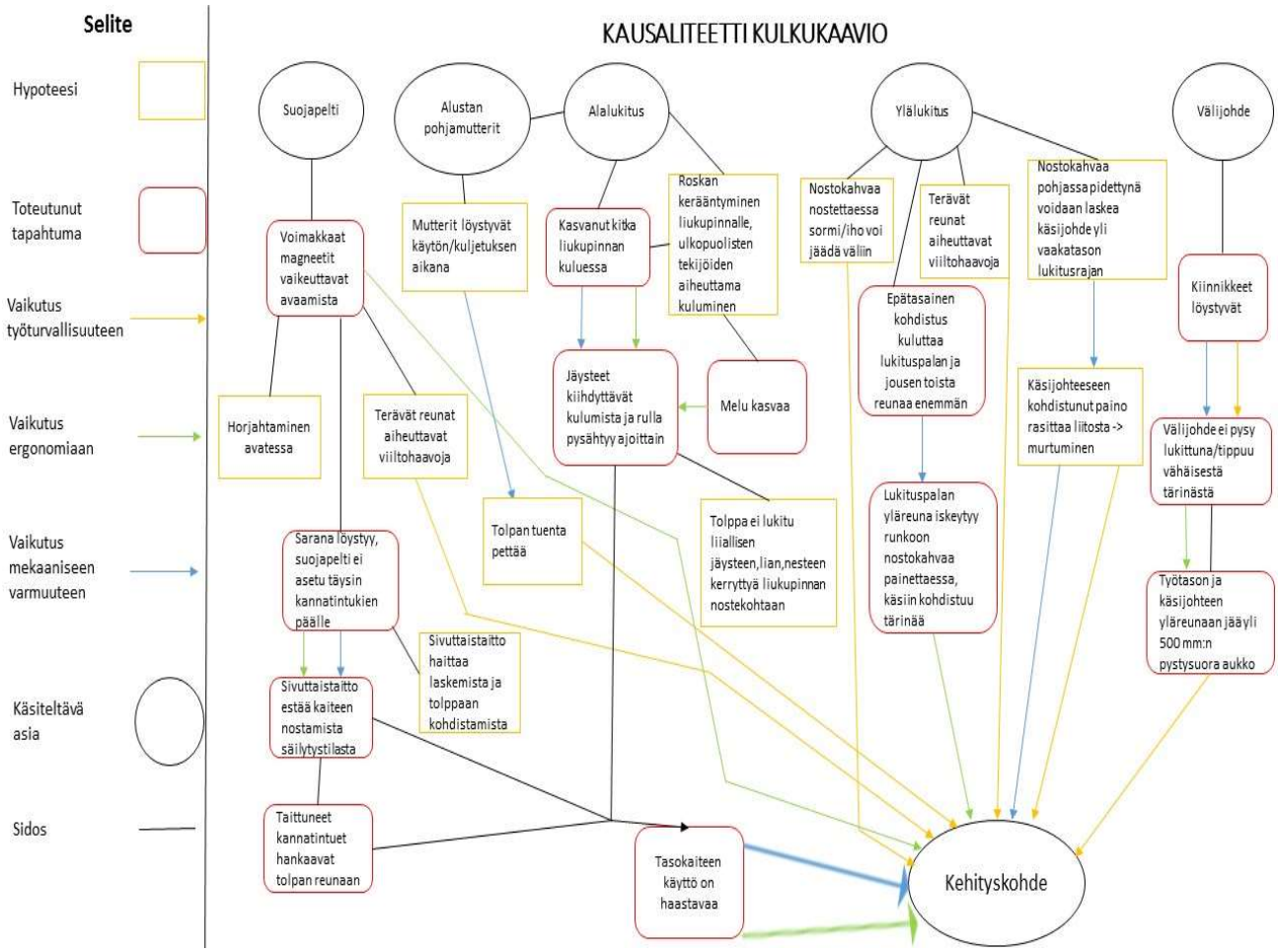
Havaintoihin on listattu todennäköisiä ja epätodennäköisiä skenaarioita, joita voi ilmetä käytön yhteydessä, mutta epätodennäköisille skenaarioille tulee myös antaa painoarvoa suunnittelun kannalta, sillä vaativassa ja toisinaan kiireellisessä työympäristössä näitä tapahtumaketjuja ei voida poissulkea. Tasokaiteen käyttäjän turvallisuus on ensisijaisen tärkeää ja työnantajalla sekä suunnittelijalla on velvollisuus minimoida käyttämisestä aiheutuvia riskejä. Työturvallisuuslaki luvut 2, 3, 5 ja 7. /27/

Tasokaiteen pitäen sisällään näin montaa eri liikkuvaa osaa ja ollessaan kuitenkin kompakti kokonaisuudeltaan sekä liikuteltavuudeltaan on vaikuttava taidonnäyte suunnittelun saralta, tämän toteamuksen sai kuulla usealta eri henkilöltä testien aikana, mutta

huollettavuusvälien työllistävä vaikutus otettiin usein myös puheeksi tasokaidetta tarkastelevien osalta.

Suojakaiteille asetetut standardi- ja lakivaatimukset vaihtelevat kohdemaasta, käyttötarkoituksesta ja sovellettavasta työympäristöstä riippuen. Osa standardeista määrittää vaatimuksia suojakaiteen käsijohteen ja välijohteen paksuudelle tai halkaisijalle. Erilaisia korkeuseroja on myös suojaavien elementtien korkeudelle sekä suojakaiteen käyttöönoton velvoittavalle putoamiskorkeudelle. /38/

Osa työn aikana ilmenneistä ongelmista on sidoksissa keskenään ja yhteisvaikutukseltaan vaikeuttavat käyttöä entisestään. Tein syy-seuraussuhde-kulkukaavion helpottamaan ja nopeuttamaan prosessin kokonaiskuvan ymmärtämistä, tapahtumat on jaettu kahteen osaan: Testin aikana todetut kohdat ja epätodennäköiset skenaariot. Vaikkakin hypoteettiset osat eivät toteutuneet, niin tulisi niiden suhteen tarkastella voidaanko listattuja kohtia parantaa. Molempien osien vaikutukset on arvioitu mekaanisen toimintavarmuuden, työturvallisuuden ja ergonomian kannalta (Kuva 21).



Kuva 21. Syy-seuraussuhde-kuvaaja.

LÄHTEET

/1/ Wärtsilä. The history of Wärtsilä. Viitattu 15.5.2019.
https://www.wartsila.com/about/history

/2/ Wärtsilä. Wärtsilä lyhyesti. Viitattu 15.5.2019.
https://www.wartsila.com/fi/wartsila

/3/ Wärtsilä. 2019. Markkinaosuudet. Viitattu 15.5.2019.
https://www.wartsila.com/fi/wartsila/markkinaosuudet

/4/ Wärtsilä. 2016. Marine Solutions -liiketoimintaympäristö. Viitattu 15.5.2019.
http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2016/ar/tama-on-wartsila/marine-solutions/liiketoimintaymparisto/

/5/ Wärtsilä. 2017. Energy Solutions. Viitattu 15.5.2019.
http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/tama-on-wartsila/energy-solutions/

/6/ Wärtsilä. 2017. Services. Viitattu 15.5.2019.
http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/tama-on-wartsila/services/

/7/ Wärtsilä. 2019. Wärtsilä Oyj Abp. Viitattu 15.5.2019.
https://www.wartsila.com/fi/sijoittajat/wartsila-sijoituskohteena/factsheet

/8/ Wärtsilä. Wärtsilä 32. Viitattu 15.5.2019.
https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32

/9/ L 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 15.5.2019.
https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205#Pidp447053360

/10/ Betoniteollisuus ry. 2010. Suojakaiteiden piirustukset RX001. Viitattu 15.5.2019
www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23147/R_X001.pdf

/11/ L 12.6.2008/403. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 15.5.2019.
https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403#L4P26

/12/ SFS-EN ISO 286-1. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Osa 1: Toleranssien, eromittojen ja sovitteiden perusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2010. 80 s. Viitattu 15.5.2019.

/13/ Bhushan, B. 2013. Introduction to tribology, 2nd edition. Print ISBN:9781119944539. John Wiley & Sons, Ltd.

/14/ Johnson Metall. Liukulaakerit. Viitattu 15.5.2019.
http://www.johnson-metall.com/fi/tuotteet-ja-palvelut/liukulaakerit

/15/ SKF. Steel/steel and steel/bronze sliding contant surface combinations, requiring maintenance. Viitattu 15.5.2019.
https://www.skf.com/my/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/selection-and-application/selecting-bearing-size/basic-rating-life-calc/steel-steel-steel-bronze/index.html

/16/ Erdemir, A. 2001. Solid Lubricants and Self-Lubricating Films. Viitattu 16.5.2019.
http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403_PDF_CH22.pdf

/17/ Sunil, T. Sandeep, M. Kumaraswami, R. & Shravan, A. 2016. A Critical Review On Solid Lubricants. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 7(5), 2016, pp. 193–199. Viitattu 16.5.2019.
http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=7&IType=5

/18/ Laukkanen, J. Turpeinen, A. 2017. Ei ole samantekevää, mitä voitelurasvaa käyttää - Asiaa rasvoista. Viitattu 16.5.2019.
https://www.koneviesti.fi/artikkelit/ei-ole-samantekev%C3%A4%C3%A4-mit%C3%A4-voitelurasvaa-k%C3%A4ytt%C3%A4%C3%A4-asiaa-rasvoista-1.177134

/19/ SFS-EN ISO 14122-3:2016. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. 3.painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2016. 52 s. Viitattu 2.5.2019.

/20/ Työsuojeluhallinto. 2019. Vaarojen arviointi. Viitattu 15.5.2019.
https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi/

/21/ Työturvallisuuskeskus. Työsuojelu työpaikan arjessa. Viitattu 15.5.2019.
https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/tyosuojelu_tyopaikalla/vastuut_ja_velvoitteet

/22/ Wärtsilä. 2017. Työterveys ja -turvallisuus. Viitattu 15.5.2019.
http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2017/ar/kestava-kehitys/kestavan-kehityksen-johtaminen/tyoterveys-ja-turvallisuus/

/23/ Wärtsilä. 2014. WeCare – seuraava askel kohti nollaa. Viitattu 15.5.2019.
http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2014/ar/tarinat/wecare--seuraava-askel-kohti/

/24/ Wärtsilä. 2018. Wärtsilä Oyj Abp vuosikertomus 2018. Viitattu 15.5.2019.
https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/investors/investors-fi/taloudellinen-aineisto/vuosikertomukset/w%C3%A4rtsil%C3%A4_vuosikertomus_2018.pdf?sfvrsn=fb5cef44_2

/25/ Työsuojeluhallinto. 2017. Melu. Viitattu 18.5.2019.
https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/melu

/26/ L 26.1.2006/85. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 18.5.2019.
https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738

/27/ L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 14.5.2019.
https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738

/28/ Työterveyslaitos. Melu. Viitattu 18.5.2019.
https://www.ttl.fi/tyoymparisto/altisteet/melu/

/29/ Casella USA. Adding and Subtracting decibels. Viitattu 11.5.2019.
http://www.ecston.com/PDFfiles/NoisedB.pdf

/30/ Inkinen, P. Manninen, R. & Tuohi, J. 2006. Momentti 2 – Insinöörifysiikka. 2.painos. Keuruu. Otava.

/31/ Suomen Ergonomiayhdistys ry. 2011. Mitä on ergonomia?. Viitattu 16.5.2019.
http://www.ergonomiayhdistys.fi/yhdistys/uusi-sivu/

/32/ Medirex. Työergonomia. Viitattu 16.5.2019.
http://medirex.fi/tyohyvinvointi/tyoergonomia

/33/ L 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 18.5.2019.
https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400

/34/ SFS-EN ISO 6385:2016:en. Ergonomics principles in the design of work systems (ISO 6385:2016). 2.painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2016. 22 s. Viitattu 18.5.2019.

/35/ SFS-EN ISO 9241-11:2018:en. Ergonomics of human-system interaction. Part 11: Usability: Definitions and concepts (ISO 9241-11:2018). 2.painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2018. 36 s. Viitattu 18.5.2019.

/36/ SFS-EN ISO 9241-210. Ihmisen ja järjestelmän vuorovaikutuksen ergonomia. Osa 210: Vuorovaikutteisten järjestelmien käyttäjäkeskeinen suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2011. 66 s. Viitattu 18.5.2019.

/37/ Suomen Standardoimisliitto SFS. 2011. Ergonomian ja käytettävyyden standardit. Viitattu 18.5.2019.
http://www.metsta.fi/julkaisut/esitteet/ergonomia.pdf

/38/ OSHA 1910.29(b). Walking-Working Surfaces - Fall protection systems and falling object protection-criteria and practices. Viitattu 14.5.2019.
https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.29

LIITE 1. Tasokaiteen testitulokset ja dokumentointi (Salainen)

LIITE 2. Erikoistöiden riskienarviointilomake (Salainen)