

TYÖSTÖKESKUKSEN SAVUKAASUJEN HALLINTA

Kukkurainen Mikko

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Kukkurainen	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	DI Petri Kesälahti		
Toimeksiantaja	Tormets Oy		
Työn nimi	Työstökeskuksen savukaasujen hallinta		
Sivumäärä	32		

Opinnäytetyön aiheena oli estää savukaasujen leviäminen työympäristöön suunnittelemalla työstökeskukselle tiivis kotelointi. Tavoitteena oli suunnitella malli ja piirustukset, joita hyödyntäen kehitetään koteloinnin lopullinen versio.

Työstökeskuksen koteloinnin tarkoituksena oli parantaa konepajan hengitysilman laatua, vähentää koneen melua ja estää metallisilpun leviäminen koneen ulkopuolelle. Koteloinnin täytyisi olla mahdollisimman tiivis, jotta savukaasut pystyttiin poistamaan.

Projekti aloitettiin suorittamalla kirjallisuustutkimus uusien tuotteiden suunnittelusta ja vaatimuksista, työergonomiasta ja työstökeskuksesta sekä sen terveysriskeistä. Esisuunnittelu aloitettiin luomalla useampi eri vaihtoehto koteloinnin mallin ratkaisuille. Sen valmistuttua käytiin konepajalla paikan päällä katsomassa työstökeskusta ja pidettiin suunnittelupalaveri, jossa valittiin paras mahdollinen ratkaisu. Malli suunniteltiin käyttämällä Solidworks-suunnitteluohjelmaa käyttäen.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin koteloinnin piirustukset ja sylinterien mitoitus voiman suhteen. Toimeksiantaja Tormets Oy käyttää tuloksia ja kehittää niitä eteenpäin ennen sen valmistamista.

Avainsanat

suunnittelu, työturvallisuus, lujuusoppi

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Mikko Kukkurainen	Year	2024
Supervisor(s)	Petri Kesälahti MSc (Tech)		
Commissioned by	Tormets Oy		
Title	Milling machine flue gas management		
Number of pages	32		

The subject of this thesis was to prevent the spread of flue gases into the working environment by designing tight encapsulation for the machining center. The goal was to design a model and its drawings that can be used for developing the final product.

The purpose of encapsulation was to improve quality of the air inside the milling shop, reduce noise generated by the machine and block metal shreds from spreading outside the machine. Encapsulation had to be sealed as tight as possible, so flue gases could be removed.

The project was started by literature research on designing new products and requirements, work ergonomics and machining center along with its health risk. The preliminary designing was started by generating multiple different options for the encapsulations model solution. After generating the options, the machining center was inspected and a designing meeting was held, where the best option was chosen. The model was designed by using Solidworks-design software.

The results of the thesis were drawings of the encapsulation and sizing of the cylinders in terms of force. The commissioner Tormets Oy will use these results and develop them further until the final product is manufactured.

Keywords

design, industrial safety, strength theory

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TORMETS OY	7
2.1	Yrityksen historia	7
2.2	Nykyhetki	8
3	TUOTTEEN SUUNNITTELU JA PROSESSI	9
3.1	Ohutlevytuotteet	10
3.2	Lujuusoppi	12
4	TYÖTURVALLISUUS	13
4.1	Työturvallisuus konepajoilla	13
4.2	Työergonomia	14
4.3	Työturvallisuuslaki	15
4.4	Koneturvallisuus	15
5	TYÖSTÖKESKUS	16
6	TYÖSTÖKESKUKSEN TERVEYSRISKIT	18
6.1	Savukaasut	18
6.2	Lastuamismesteet	19
6.3	Altistumisen terveysvaikutukset	19
6.4	Melu	20
7	METODIT	22
8	SUUNNITTELU	23
8.1	Esisuunnittelu	23
8.2	Koteloinnin esisuunnitelma	24
8.3	Sylinterin mitoitus	26
8.3.1	Länsi sylinteri	27
8.3.2	Itä sylinteri	28
9	TULOKSET	29
10	POHDINTA	31
	LÄHTEET	32

ALKUSANAT

Opinnäyte työ tehtiin Tormets Oy:lle ja haluan kiittää tästä mahdollisuudesta tuotantopäällikkö Joonas Mykkälää neuvoista ja ohjauksesta. Lisäksi kiitän työni ohjaa Lapin ammattikorkeakoulun DI Petri Kesälahtea hyvistä neuvoista ja avusta.

Keminmaa 5.12.2024

Mikko Kukkurainen

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella toimeksiantajalle kotelointi konepajassa olevalle työstökeskukselle. Koteloinnilla parannetaan konepajan sisäilman laatua, työntekijöiden työturvallisuutta ja se vaimentaa koneen aiheuttamaa melua. Työssä tutkitaan metallialan työturvallisuutta, uuden tuotteen suunnittelua ja sen prosessia, työstökeskuksia (jyrsijä) sekä sen käytöstä syntyviä savukaasuja että terveystriskejä.

Kotelointi kokonaisuudessaan koostuu kolmesta eri kokonaisuudesta ja toimintaperiaatteena on paineilma sylintereitä hyödyntäen sen aukeaminen, jolloin työstettäviä kappaleita saadaan nostettua työstökeskuksen sisälle. Kotelointiin sisältyy myös savukaasujen poistoilman imurin toiminnon sisällytys, mutta sitä ei oteta huomioon tässä työssä.

Opinnäytetyö sisältää koteloinnin esisuunnittelun eri vaiheita ja mallin kehittämistä. Työstökeskuksen koteloinnin esisuunnittelu aloitettiin luomalla useampi eri malli, jonka jälkeen valittiin paras mahdollinen ratkaisu suunnittelupalaverissa. Valinnan jälkeen alkoi itse koteloinnin mallintaminen ja sen osia paranneltiin useampaan kertaan. Työssä täytyy ottaa huomioon työstökeskuksen suuri koko ja rajallinen ilmapaineen suuruus, kun sylinterit mitoitetaan.

Kaikki työstökeskuksen osat ja kokoonpanot piirrettiin käyttäen Solidworks-suunnitteluohjelmalla. Sylinterit mitoitettiin voiman suhteen ja laskettiin käsin.

2 TORMETS OY

Tormets Oy on Torniossa sijaitseva konepaja, ja se valmistaa pääasiallisesti teollisuudessa tarvittavia yksittäisiä laitteita sekä koneiden osia. Vuonna 2011 Tormets sai historiansa suurimman tilauksen Outokummulta uudesta kuljetinjärjestelmästä Tornion tehtaalle (Kuvio 1) (Yle 2011).



Kuvio 1. Ferrokromin kuljetinjärjestelmä (Syrjänen 2024)

Yrityksen perustamisesta lähtien Tormets on ollut mukana suurteollisuuden ja kaivosalan prosessien kehityksessä. Tämä on toteutettu kehittämällä kestäviä, laadukkaita ja kustannustehokkaita ratkaisuja yrityksen kumppaneille. (Tormets 2024b.)

2.1 Yrityksen historia

Vuonna 1969 Yrjö Hiltunen perusti vaimonsa kanssa Tornion metallisorvaamon. Konepajan toiminta alkoi autotalissa Palosaassa yhdellä sorvauskoneella, jolla tuotettiin vaskooleja Lapin pajalle (Kuvio 2) (Tormets 2023a).



Kuvio 2. Tornion metallisorvaamo vuonna 1969 (Tormets 2023a)

Kahden vuoden kuluttua 1971 yhtiö rakennutti oman toimitilan ja osti toisen sorvin. Vuonna 1978 hallia laajennettiin ja konekantaa kasvatettiin kasvavan kysynnän vuoksi. (Tormets 2023a.)

Perustajien tytär miehensä kanssa osti yrityksen vuonna 1990, jolloin konepajan liikevaihto oli 343 600 euroa ja sillä oli 4 työntekijää. Kahden vuoden kuluttua yritys osti ensimmäisen CNC-ohjatun koneen, sillä yritys sai jatkuvasti uusia tilauksia eikä alkava lama vaikuttanut liiketoimintaan jatkuvan Outokummun investointien myötä. (Tormets 2023a.)

Uusia CNC-ohjattuja koneita ostettiin lähes vuosittain 1990-luvulla ja ensimmäiset CNC-sorvit saapuivat konepajalle 1995 ja 1996. Tormets jatkoi kasvamistaan seuraavina vuosina ja sai hankittua jatkuvasti lisää koneita sekä laajensi konepajaa useampaan kertaan Outokummun jatkuvan kysynnän myötä. Vuonna 2022 yrityksellä oli jo 22 työntekijää ja liikevaihdosta yli 90 % Outokummulta. (Tormets 2023a.)

Vuonna 2007 Tormets osti konepajan naapurissa olleet Lapmet Oy:n ja Lapmet Montage Oy:n kaikki toiminnot. Kaupan myötä yhtiö työllisti yli 80 henkilöä ja uutena aluevaltauksena yritys aloitti putkistourakointia ja hitsaustöitä. Vuonna 2008 liikevaihto oli 11,2 miljoonaa euroa ja työntekijöitä 110. Kuitenkin vuonna 2009 heikko ruostumattoman teräksen kysyntä aiheutti hetkellisiä ongelmia ja Tormets joutui lomauttamaan osan tuotannon työntekijöistä. Vuonna 2014 Tormets sai tilauksen Pajalan ja Kaunisvaaran kuljettimista, joka avasi yritykselle tien Ruotsin markkinoille. Yrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli 14,1 miljoonaa euroa ja työntekijöitä 75. (Tormets 2023a.)

2.2 Nykyhetki

Tormets Oy:llä on nykyään lähes 90 työntekijää (Tormets 2024a) ja liikevaihto vuonna 2023 18,52 miljoonaa euroa (Kauppalehti 2023).

Yrityksen palveluihin tällä hetkellä kuuluu teollisuuden huolto- ja kunnossapito, kuljettimet ja materiaalinkäsittelylaitteet, hydrauliiikka ja voitelujärjestelmät, koneistus, prosessi- ja kaasuputkistot sekä teräs- ja levytyöt (Tormets 2023b).

3 TUOTTEEN SUUNNITTELU JA PROSESSI

Uuden tuotteen suunnittelussa täytyy huomioida standardit, direktiivit, valmistettavuus, kokoonpantavuus, muotoilu ja muut vaatimukset. Suunnitteluprosessi yleisesti aloitetaan teknisellä vaatimusmäärittelyllä, jonka jälkeen sen toimintorakennetta kuvataan mahdollisimman laajasti. Kun prosessi on saatu käyntiin, aloitetaan esiselvitys ja arvioidaan eri vaihtoehdot toteutukselle. Sitten valitaan yksi vaihtoehto, jota ruvetaan kehittämään eli aloitetaan prototyyppi vaihe. Viimeisenä vaiheena on tuotteen viimeistely. Prosessin tavoitteena sekä tarkoituksena on tuottaa ratkaisu, joka täyttää sille määritetyt vaatimukset. (Pere 2016, 25-1.)

Tekninen suunnittelu toteutetaan nykyisin harvoin riippumattomana toimintona. Sen sijaan suunnittelutyö on yleisesti usean eri asiantuntijan ja toimijan rinnakkaisuunnittelua. Nykyaikaisten suunnitteluohjelmien ansiosta tuotteen kehitystä voi seurata kuka tahansa projektiin liittyvä toimija. On kuitenkin tärkeää, että kaikki mukana olevat toimijat käyttävät yhteensopivia järjestelmiä, jolla varmistetaan tiedostojen luettavuus. Tämä on myös luontaista testata heti projektin alkuvaiheilla. (Pere 2016, 25-1.)

Koko prosessin tärkein vaihe on itse konseptisuunnittelu, jolloin määritetään merkittävä osa lopullisista kustannuksista. Se on tehtävä huolella, koska muuten suunnittelun loppuvaiheessa vastaan saattaa tulla erinäisiä ongelmia ja kustannuksien kasvamisia, joka pahimmillaan johtaa jonkin toiminnon poistamisella. Tuotesuunnitteluvaiheessa määritetään jopa 90 % tuotteen lopullisesta hinnasta. Käyttämällä standardisoituja osia voidaan tehdä jopa huomattavia säästöjä, kun työstettävien osien määrä vähenee. (Pere 2016, 25-1.)

Tuotteen kehitystä ja suunnittelua varten on kehitetty Design for X (DFX) lähestymistapoja, joilla erityspainotukset on otettu huomioon. Valmistettavuuden huomioon ottamista varten Design for Manufacturing (DFM), Kokoonpanoa varten Design for Assembly (DFA) ja ympäristöä varten Design for Environment (DFE). (Pere 2016, 25-2.)

DFM-lähestymistapaa käyttämällä varmistetaan tuotteen valmistettavuus sille määritetyllä tavalla ja valmistusmenetelmillä. Tämä käytännössä suoritetaan val-

mistusmenetelmän käytettävyyden ja saatavuuden selvityksellä. Tutkitaan materiaalin soveltuvuutta valmistusmenetelmälle, eri materiaalien yhteensopivuutta ja valmistusmenetelmän tarkkuutta sekä laatua. Ohutlevytöiden valmistuksen suunnittelussa voidaan vaikuttaa sekä nopeuteen että materiaalihukan vähentämiseen optimaalisella sijoittelulla levyaihiolle. (Pere 2016, 25-3.)

DFA-lähestymistapaa käyttäen varmistetaan kokonaisuuden vaivaton kokoonpantavuus. Tuotteen suunnittelun alussa on otettava huomioon kokoonpantavuuteen merkittävät tekijät, kuten ohutlevyosien taivutuskulmat ja niiden taittojärjestys. Prosessilla vaikutetaan ja parannetaan lopullisen tuotteen laatua ja valmistettavuutta. Käytännössä se suoritetaan vähentämällä yksittäisiä osia, luomalla yksinkertaisia liitoksia ja käyttämällä realistisia toleransseja. (Pere 2016, 25-3.)

DFE-lähestymistapaa käytetään lopputuotteen ympäristötekijöiden vaikutusten selvitystä varten ja sen elinkaariajatteluun. Tekniikan kehittyessä on alettu kiinnittää huomiota myös tuotteiden valmistuksen vaikutuksia ympäristöön ja sen kierrätettävyyteen. Lähestymistavan tavoitteena on tuotteen valmistuksen, että elinajan aikaisten haitallisten ympäristövaikutusten vähentäminen. Tuote suunnitellaan niin pitkäikäiseksi kuin mahdollista valituilla materiaaleilla. Se täytyisi olla helposti huollettavissa, jolloin sen elinkaari pitenee. Käytännössä se suoritetaan tunnistamalla tuotteen ympäristövaikutukset, korvaamalla haitallisia prosesseja sekä materiaaleja vähemmän kuormittavilla ja mahdollistamalla tuotteen helppo huollettavuus. (Pere 2016 25-3-4.)

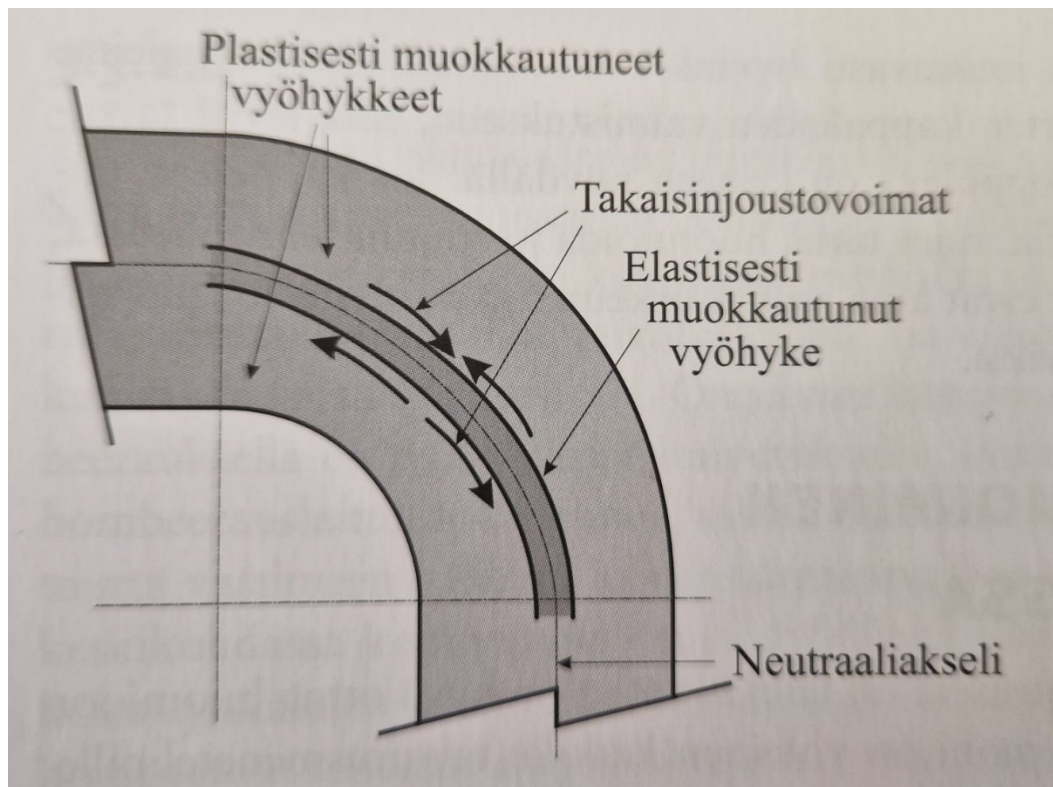
Opinnäytetyössä koteloinnin suunnittelussa käytetään Solidworks ohjelman simulointia vahvistettavien kohtien paikantamiseksi. Simuloinnin tuloksia varmistetaan kuitenkin myös käsin laskemalla. Kotelon liikkuvan osan sylinteri mitoitetaan käsin laskemalla.

3.1 Ohutlevytuotteet

Ohutlevytuotteella tarkoitetaan levyä tai kokonaisuutta, jonka aineenpaksuus on enintään 3 mm. Valmis tuote on valmistettu esimerkiksi taivuttamalla eli särmämällä tai liittämällä yhteen esimerkiksi hitsaamalla. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, 7.)

Ohutlevyä käytettäessä suunnittelussa täytyy ottaa useita eri asioita huomioon, kuten korroosionkestävyys ja lujuusominaisuudet eri teräslajeilla. Teräkselle suosittavia työstömenetelmiä ovat leikkaus, lävistys, taivutus, särmäys, rullamuovaus, syväveto, venytysmuovaus ja painosorvaus. Ferriittiset ruostumattomat teräkset alle 3 mm paksuisina ovat lujuudeltaan sekä sitkeydeltään samankaltaisia, joten sille voidaan soveltaa samoja työstömenetelmiä kuin perinteiselle teräkselle. Austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä on taas suuri murtovenymä, joka tekee niistä sitkeitä. Tämän takia on otettava huomioon niiden voimakas muokkauslujittuminen, joka aiheuttaa sitkeyden heikentymistä. (Matilainen ym. 2011, 50.)

Ohutlevytuotteiden valmistuksessa tarvitaan useasti taivuttamista. Yleisin ja monipuolisin menetelmä on särmääminen. Särmäyksessä on otettava huomioon etenkin takaisinjousto. Se on vaikeasti hallittava ilmiö, mutta sitä voidaan arvioida usealla eri tavalla. Ilmiö tapahtuu, kun särmäyskone lopettaa taivutuksen ja vapauttaa jännityspaineen levystä. Vaikka särmätty alue on saavuttanut plastisen muodonmuutoksen levyn keskelle, muodostuu kapea vyöhyke, jossa tapahtuu vain elastisia muutoksia. Tästä johtuvat jännitysvoimat pyrkivät palauttamaan levyn alkuperäiseen muotoon ja aiheuttaa takaisinjoustoilmiön (Kuvio 3). (Matilainen ym. 2011, 239, 245.)



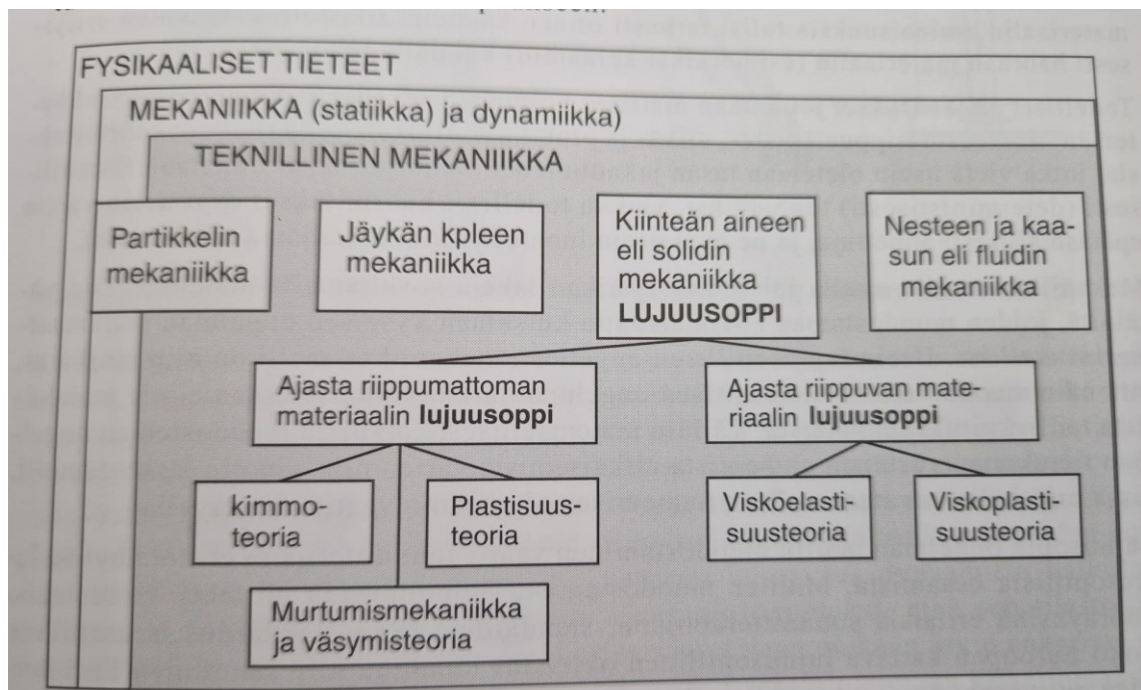
Kuvio 3. Takaisinjouston muodostuminen (Matilainen ym. 2011, 246)

Tässä opinnäytetyössä käytetään ohutlevyosien taivutuksessa työstömenetelmänä särmäystä.

3.2 Lujuusoppi

Systemaattisen lujuusopin teorian perustajana voidaan pitää Italialaista Galileo Galileita. Nykyään lujuusoppi on suuri osa ihmisten elämää ja sitä hyödynnetään monella eri tavalla. Se on fysikaalisten tieteiden ala, jota hyödyntäen voidaan tutkia kuormituksen alaisina olevia kappaleita esimerkiksi käyttäytymistä. Lujuusopin yhtenä tehtävänä on selvittää kappaleen sisäisiä voimajakautumisia ja niiden aiheuttamia muodonmuutoksia sekä kuormituksia. (Salmi & Pajunen 2010, 13, 19.)

Lujuusoppi on osa fysikaalisia tieteitä, joka haarautuu omaksi osa-alueeksi teknilliseen mekaniikkaan (Kuvio 4). Se on lakeja etsivä tieteenala. Teknillinen mekaniikka jaetaan osiin yleisesti aineen olomuodon perusteella. Kiinteän aineen ja nesteen sekä kaasun mekaniikkaan. (Salmi & Pajunen 2010, 15.)



Kuvio 4. Lujuusoppi osa fysikaalisia tieteitä (Salmi & Pajunen 2010, 15)

4 TYÖTURVALLISUUS

Työturvallisuuden sekä työsuojelun tavoite on varmistaa työntekijöiden turvallinen työskentely, henkinen jaksaminen ja motivointi. Työympäristö, joka on terveellinen ja turvallinen, työ sopivan kuormittava ja työn tekeminen mielekästä näkyy yrityksen tuloksissa positiivisesti. Tämä voidaan saavuttaa siten, että työpajalla on tehty kattava esityö töiden vaatimuksista, ympäristöstä, työoloista ja työprosessista. Tähän sisältyy myös selvitys työn vaaroista, haitoista ja kuormitus-tekijöistä. (Työturvallisuuskeskus 2019, 3.)

4.1 Työturvallisuus konepajoilla

Tekniikan kehittyessä työtaturmien riskit konepajoilla ja muualla teollisuudessa ovat lisääntyneet. Viime vuosina tapaturmia on tilastoitu enemmän kuin aiemmin, vaikka työpaikoilla on tehostettu esimerkiksi koneiden suojausta. Tämä johtuu osittain siitä, että tuotantolinjan työtapoihin voi liittyä useita eri vaaratekijöitä, joita ei ole vielä tiedostettu. Työturvallisuuskeskuksen asiantuntija Markku Tolvanen toteaa, että työturvallisuutta konepajoilla voidaan vielä kehittää paljon. Tapaturmaluvut olivat vielä alhaiset vuonna 2014, mutta lähiaikoina luvut ovat nousseet korkeiksi ja työturvallisuutta kannalta mieltien huonompaan suuntaan. Yleisesti tapaturmia sattuu enemmän, kun yrityksellä menee erityisen hyvin sekä on normaalia enemmän tilauksia ja siten vaikuttaa tilastoihin. (Mononen 2024.)

Konepajojen turvallisuutta voidaan kehittää usealla eri tavalla, kuten suunnittelemalla tuotantolinjat, että työpisteet loogisesti ja huolellisesti sekä ennakoida mahdollisia vaaratilanteita. Myös työntekijöiden ja työnantajien asenteissa, sekä koulutuksessa on suuri potentiaali kehitykseen. (Mononen 2024.)

Vuonna 2017 Teknologiateollisuus, Teollisuusliitto ja Ammattiliitto Pro toteuttivat kyselyn työpaikoilla työturvallisuuteen ja työsuojelutoimenpiteistä. Tuloksista ilmeni, että suuria ongelmia olivat kova melu, huono työasento ja ilmanvaihto-ongelmat. Joidenkin toimihenkilöiden mielestä jatkuva ylikuormitus työssä on työsuojeluongelma. Työpaikoille toivottiin lähtötilannetta suurempaa täydennyskoulutusta työsuojeluun ja seurantaan. Myös todettiin se, että työsuojeluun liittyviin

vääriin asenteisiin ja välinpitämättömyyteen sekä turhaan riskinottoon täytyisi kiinnittää enemmän huomiota. (Mononen 2024.)

4.2 Työergonomia

Ergonomia on laaja käsite, jonka määritelmä voidaan kuvailla tiivistettynä työn ja työympäristön vuorovaikutuksien tutkimista, kehittämistä ja järjestelmän suorituskyvyn parantamista. Uuden tuotteen suunnittelussa ergonomia on vahvasti mukana, koska laitetta on pystyttävä käyttämään turvallisesti ja tehokkaasti sekä se pitää suunnitella ihmisen ominaisuuksien mukaan. (Launis & Lehtelä 2011a, 17,19.)

Kun ergonomiaa ei ole otettu huomioon suunnittelussa syntyy tuotteita ja koneita, joita käytettäessä aiheutuu turhia haittoja kuten tehottomuutta, virheitä, terveysongelmia, tapaturmia ja onnettomuuksia (Launis & Lehtelä 2011a, 17).

Ergonomiaa käytetään hyväksi uusien menetelmien tai tuotteiden kehityksessä, jonka avulla mahdollistetaan ihmiselle sopiva toimintamenetelmä ja -ympäristö. Tämä käytännössä suoritetaan tarkkailemalla ihmisten toimintaa erilaisissa ympäristöissä, jolloin havaitaan eri työvaiheiden tai laitteiden mahdolliset puutteet ja kehityskohteet. Tiedoilla voidaan muodostaa tavoitteet uusien menetelmien ja laitteiden suunnittelulle sekä ratkaisuja pystytään mallintamaan että testaamaan. Tällä varmistetaan niiden sopivuus kaikkiin tilanteisiin. (Launis & Lehtelä 2011a, 20.)

Ergonomian käsite sisältää myös melun ja sen vaikutukset. Jatkuva kova melu aiheuttaa erilaisia kuulovaivoja iästä riippumatta, mutta lyhytaikainen altistus ei kuitenkaan aiheuta heti kuulovammaa. Melu vaikuttaa yksilöllisesti ja sillä on myös psyykkisiä vaikutuksia. (Launis & Lehtelä 2011b, 101.)

4.3 Työturvallisuuslaki

Suomessa on laadittu työturvallisuuslaki, jonka tavoitteena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi. Tarkoituksena on myös ennalta ehkäistä ammattitauteja, uupumusta ja työtapaturmia. Laissa määrätään sekä työnantajan että työntekijän oikeuksista ja velvollisuuksista työpaikalla. (Työturvallisuuslaki 2002/738 § 1.)

Työnantajan velvollisuuksiin kuuluu ohjelma, joka edistää turvallisuutta, työntekijöiden työkyvyn ylläpitämistä ja kattaa työympäristöön liittyvien tekijöiden vaikutukset sekä työolojen kehittämistarpeet (Työturvallisuuslaki 2002/738 § 8).

Työntekijän velvollisuuksiin kuuluu seurata työnantajan määrittämiä ohjeita ja määräyksiä, huolehdittava muiden työntekijöiden sekä omasta terveydestä ja turvallisuudesta, vältettävä muihin kohdistuvaa epäasiallista kohtelua ja häirintää, joka aiheuttaa turhaa vaaraa tai haittaa (Työturvallisuuslaki 2002/738 § 18).

4.4 Koneturvallisuus

Euroopan unionin direktiivillä 2006/42/EY määrätään koneiden turvallisuudesta ja se on saatettu Suomessa voimaan valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. Laki kuitenkin määrittää vain yleisen raamin turvallisuuteen riittävälle tasolle, jonka takia pelkästään sitä noudattamalla on koneensuunnittelijan vaikea tehdä oikeita päätöksiä turvallisuuteen liittyen. Konedirektiiviin liittyvät turvallisuusstandardit on jaettu kolmiportaisen hierarkian mukaan, jotka ovat A-, B- ja C-tyyppin standardit. A-tyyppin standardi SFS-EN ISO 12100 eli katostandardi määrittelee koneturvallisuuden perusfilosofiaa. B-tyyppin standardit käsittelevät suunnittelua varten tarvittavia perustietoja kuten ergonomiaa. C-tyyppin standardeilla määritellään yksityiskohtaisesti eri koneiden osien tai ryhmien turvallisuusvaatimuksia. (METSTA 2023, 6.)

SFS-EN ISO 12100 standardi määrittelee riskien arvioinnin, riskien pienentämisen ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Sen tavoitteena on esittää suunnittelijoille yleiset puitteet ja ohjeet päätöksientekoon koneita suunnitellessa. Niitä hyödyntämällä voidaan suunnitella koneita, jotka ovat turvallisia käyttää niille tarkoitettulla tavalla. (SFS-EN ISO 12100, 5.)

5 TYÖSTÖKESKUS

Koneistuskeskuksella tarkoitetaan konetta, jonka olennaisimmat ominaisuudet/toiminnot ovat automatisoitu työkalujen ja kappaleiden vaihto (Kuvio 5).



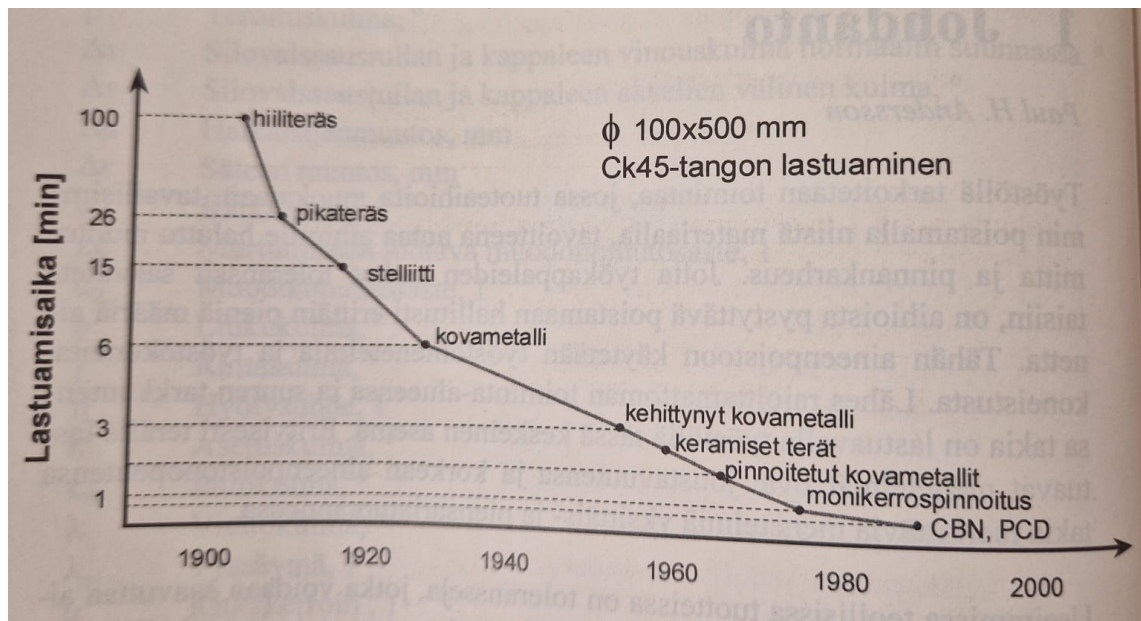
Kuvio 5. Työstökeskus (Soraluce 2024)

Konepajoilla on käytössä sekä pysty- että vaakakairaisia keskuksia. Pystykairaiset sopivat hyvin esimerkiksi valumuottien tekoon. Vaakakairaisilla voidaan periaatteessa työstää kaiken muotoisia ja mittaisia kappaleita sekä ne yleensä varustetaan paletinvaihtajilla. Koneella pyritään työstämään kappale kerralla valmiiksi, eli kappale nostetaan vain kerran paikalleen. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 231.)

Työstämistä voidaan kuvailla toiminnoksi, jossa kappaleesta poistetaan materiaalia esimerkiksi kovametalliterällä. Tarkoituksena on muovata työstettävä kappale haluttuun muotoon, pinnan laadun karheuteen ja sen mittaan. Kappaleen lopputuloksen laatuun vaikuttaa suuri määrä tekijöitä kuten käytettävä työkalu,

materiaali, muoto, ja lastuamismenest. Yleisesti työstettävillä töillä on tarkat toleranssit ja niiden saavuttamiseen on kappaleesta kyettävä poistamaan materiaalia hallitusti pieniä määriä. Monissa teollisuuden tuotteissa on erittäin tarkat toleranssit eikä niitä ei voida saavuttaa kuin ainoastaan työstämällä. (Aaltonen ym. 1997, 1, 3.)

Työstötekniikka on kehittynyt huimasti viimeisen sadan vuoden aikana. 1900-luvun alun hiiliterässorvauksesta nykypäivän teräsmateriaaleihin itse koneistusaika on jopa 100 kertaa nopeampaa (Kuvio 6). Ilman tekniikan nopeaa kehitystä nykyään helposti saatavilla olevien tuotteiden saatavuus, laatu ja hinta tekisi elämän vaikeaksi. (Aaltonen ym. 1997, 1–2.)



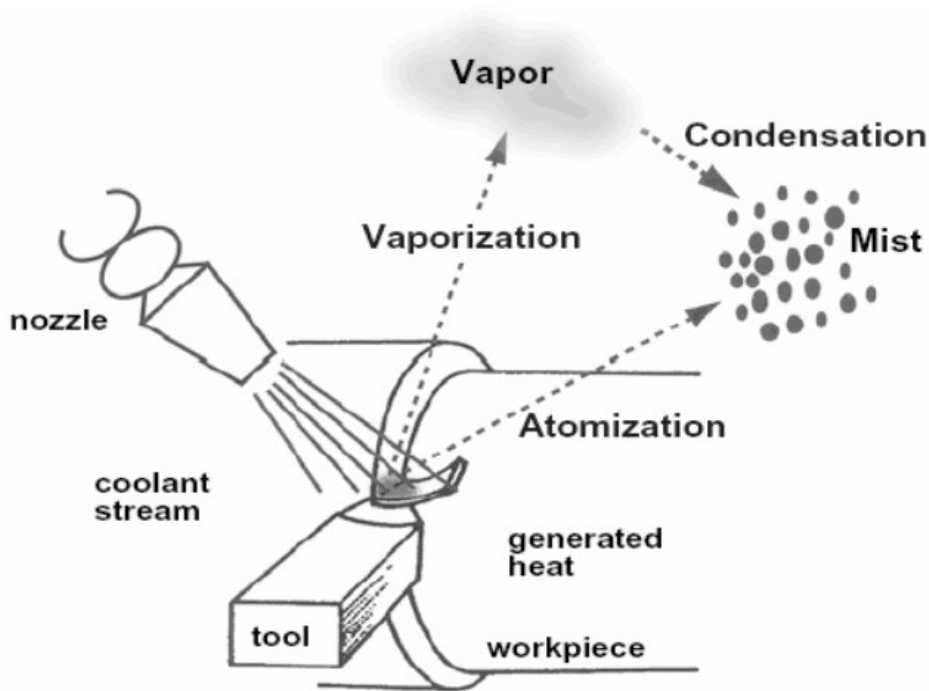
Kuvio 6. Työstötekniikan kehitys (Aaltonen ym. 1997, 2)

6 TYÖSTÖKESKUKSEN TERVEYSRISKIT

Työstökeskuksen käytöllä on lukuisia eri terveysriskejä kuten, aerosolin muodostuminen, leikkuunesteet ja melu.

6.1 Savukaasut

Metallia työstettäessä ilmaan muodostuu työstönestesumua sekä höyryä eli aerosolia, jonka seassa on terveydelle haitallisia yhdisteitä (Kuvio 7). Yhdisteet ovat aerosolin seassa yleisesti kaasun muodossa, mutta sen seassa esiintyy myös hiukkasia. (Ahonen ym. 2016, 3.)



Kuvio 7. Aerosolin muodostuminen (Adler, Dassisti, Hii & Sutherland 2006, 8)

Aerosolia muodostuu ilmaan, kun kappaletta työstetään ja siihen kohdistuu erilaisia dynaamisia voimia kuten keskipakois- ja törmäysvoimia. Se sisältää erilaisia altisteita, esimerkiksi työkalusta sekä työstettävästä kappaleesta irronneita kiinteitä tai siihen liuenneita metalleja. Työstönesteen mahdollisesta kontaminaatiosta höyryn seassa saattaa esiintyä myös mikrobeja, niiden osia ja erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Aerosolin määrän muodostumiseen vaikuttavat työstökoneen

työkalun pyörimisnopeus ja työstönesteen käytön määrä, sekä materiaalin poiston nopeus. (Ahonen ym. 2016, 11.)

6.2 Lastuamismesteet

Työstettäessä kappaletta käytetään lastuamismesteitä, jotta terän ja kappaleen lämpötila saadaan pysymään matalana, terän sekä lastun voitelun ja korroosiosuojan vuoksi. Joissain tapauksissa nesteitä käytetään kuitenkin vain varmuuden vuoksi. Lastunesteen hyvien ominaisuuksien tuoma etu on merkittävä, mutta niihin on alettu suhtautumaan kriittisesti koska on todettu niiden aiheuttavan ylimääräistä kuormitusta ympäristölle. On kuitenkin mahdollista työstää kappaletta ilman nesteitä, esim. korvaamalla lastuamismeste kaasujäähdytyksellä. (Aaltonen ym. 1997, 116.)

Lastuamismesteiden käytöllä on myös haittapuolia kuten epämiellyttävät tai jopa haitalliset pitoisuudet sisäilmassa, nesteen kierrätys ja hävittäminen on sekä kallista että hankalaa. Yleisesti lastuamismesteiden käytöstä johtuvat terveysongelmat työntekijöille ovat ihoärsytys, silmien kutina, hengitystieoireilu ja ihottuma. Oireet iholla johtuvat siitä, että nesteeseen on päässyt työstön aikana imeytymään erilaisia metalleja kuten kromia, nikkeliä ja kobolttia. Ihmisen ihoa suojaa rasvainen kerros mutta on mahdollista, että nesteessä on rasvaa liuottavaa ainetta ja tämä voi aiheuttaa ärsytystä. (Aaltonen ym. 1997, 123.)

6.3 Altistumisen terveysvaikutukset

Aerosolille altistuminen joko suoraan ihokontaktilla tai sitä hengittäessä aiheuttaa erilaisia vaivoja kuten kosketusihottumaa ja hengitystieoireita. Yleisimmät vaivat ovat metallintyöstäjillä on hengitystieoireet nuhan, yskän, hengenahdistuksen, limmannousun ja astman. Aerosolille altistuneilla on nelinkertainen riski saada ylähengitystieoireita kuin niille altistumattomilla. (Ahonen ym. 2016, 13–14.)

Aerosolin pitoisuudelle ei ole määritelty haitallista pitoisuuden raja-arvoa. Öljysumun raja-arvoa on kuitenkin käytetty yleisesti altistusmittausten tulkinnessa. (Ahonen ym. 2016, 14). Työterveyslaitoksen tavoitetasomuistiossa aerosolin altistumisen yhdisteeksi esitetään alkanoliamiinien yhteenlaskettu pitoisuus ja sen

tavoite taso 8 tunnin aikana 0,1 mg/m³. Merkittävimpien altisteiden tavoitetasot ja nykyiset haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP) on esitetty taulukossa 1. (Henriks-Eckerman & Suuronen 2009, 10).

Taulukko 1. HTP-arvot ja tavoitetaso (Henriks-Eckerman & Suuronen 2009, 1)

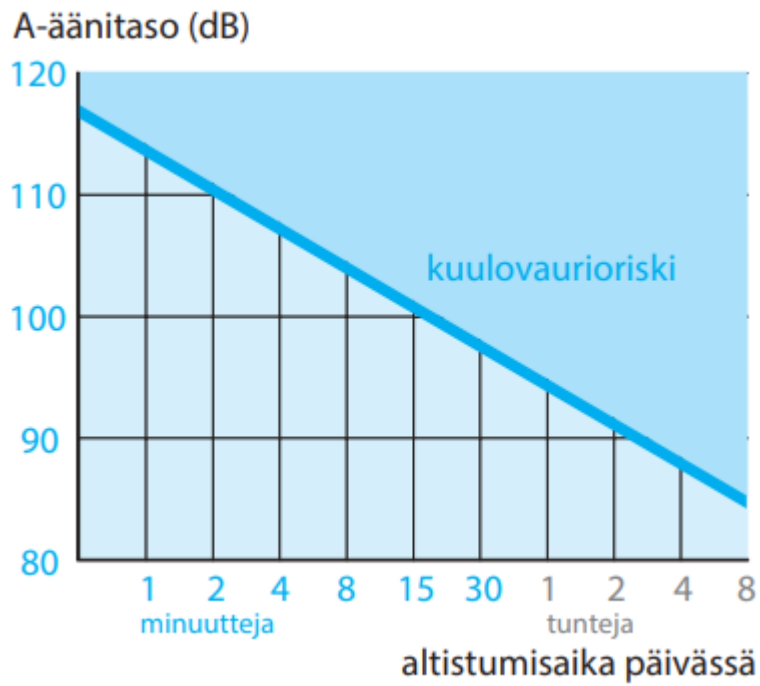
Aine tai aineryhmä	HTP-arvot		Tavoitetaso
	8 h, mg/m ³	15 min, mg/m ³	8 h, mg/m ³
2-Aminoetanol* (monoetanoliamiini)	2,5	7,6	-
Dietanoliamiini*	2	-	-
Trietanoliamiini	5	-	-
Morfoliini*	36	72	-
Öljysumu	5		-
Formaldehydi	0,37	1,2**	-
Alkanoliamiinit (yhteenlaskettu pitoisuus)	-	-	0,1

* huomautus "iho"

** katto-arvo

6.4 Melu

Altistuessa kovalle melulle lyhyellä aikavälillä kuulo voi heiketä hetkellisesti, mutta saattaa vaikuttaa useamman päivän. Pitkäaikaisen altistuksen seurauksena on kuitenkin aina pysyvä kuulovaurio, joka alkaa vähitellen ja usein sitä ei itse huomaa. Yleensä alussa kuulo heikkenee varsinkin yläpään taajuusalueen äänissä. Joissain tapauksissa kuulon heikkenemisen lisäksi melun sietokyky heikkenee ja korvat alkavat soimaan. Kuulovaurioriskin mahdollisuutta voidaan arvioida, kun tiedetään melun taso (dB) ja altistumisaika (Kuvio 8). (Noro ym. 2011, 101.)

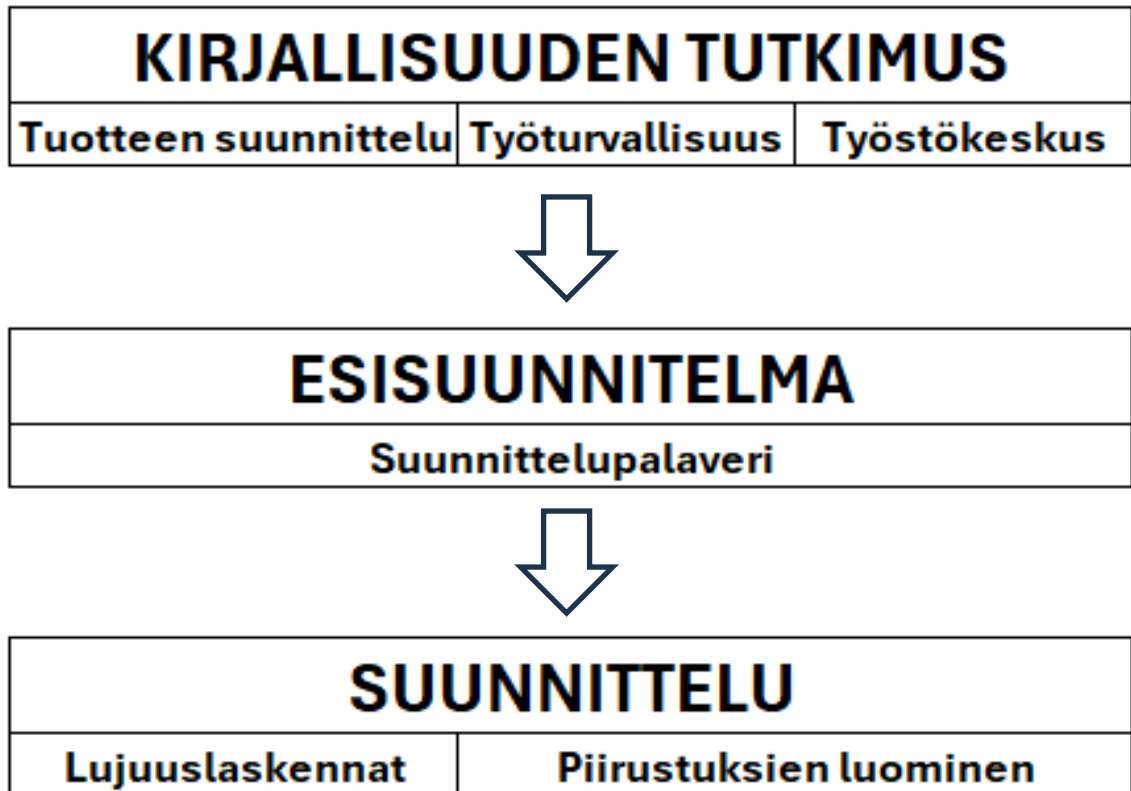


Kuvio 8. Kuulovaurioriskin suuruus (Launis & Lehtelä 2011b, 101)

Metallin työstön aikana melua syntyy etenkin itse koneesta, kun terä pyörii ja lastuaa kappaletta, työstön aikana tehtävästä puhdistuksesta, kun puhalletaan ilmaa korkealla paineella ja kappaleen siirtojen aikana (Kallio 2009, 3).

7 METODIT

Tässä kappaleessa on kuvailtu opinnäytetyössä käytettyjä menetelmiä ja miten työtä on viety eteenpäin projektin edetessä (Kuvio 9).



Kuvio 9. Opinnäytetyön menetelmäpolku

Opinnäytetyö aloitettiin kirjallisuuden tutkimuksella, jossa pääpainona on uuden tuotteen suunnittelu, työturvallisuus ja työstökeskus sekä terveysriskit. Tavoitteena on ymmärtää työturvallisuuden merkitys konepajoilla, työstökeskuksen toiminta ja uuden tuotteen suunnittelu.

Tutkimuksen jälkeen aloitettiin työstökeskuksen koteloinnin esisuunnittelu. Sen valmistuttua pidetään yhdessä toimeksiantajan kanssa suunnittelupalaveri, jossa katsastetaan työn tilanne ja mahdolliset vaihtoehdot ratkaisulle.

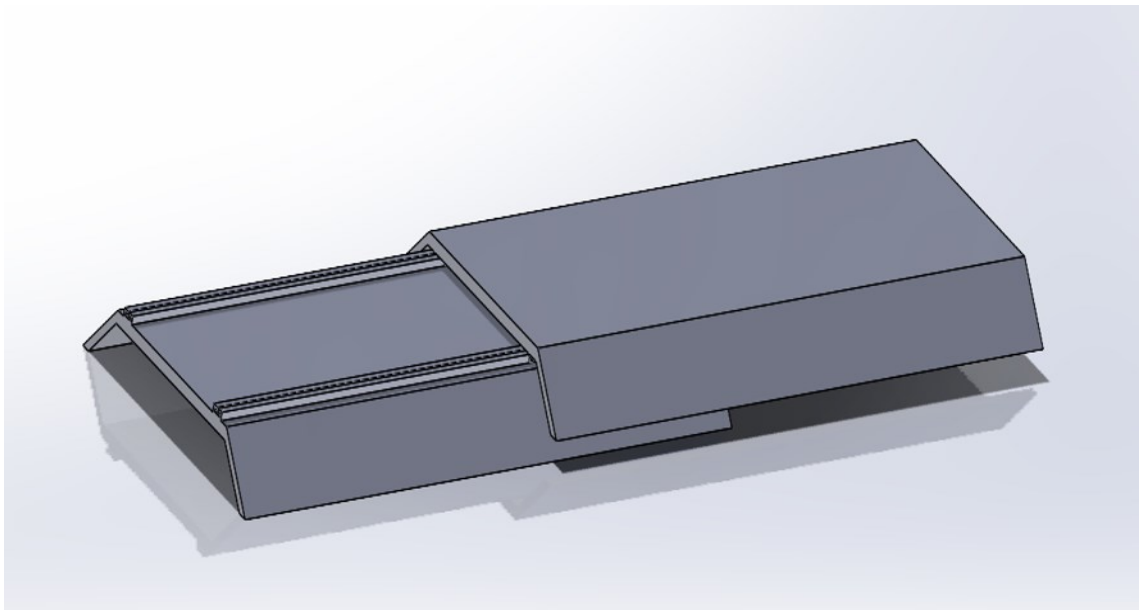
Tapaamisen jälkeen aloitettiin itse koteloinnin osien suunnittelu käyttäen SolidWorks-2023 ohjelmistoa.

8 SUUNNITTELU

Suunnittelua aloitettaessa tehdään selvitys, minkälaisia toimintoja tuotteen tarvitsee toteuttaa. Osalle/koneelle voidaan asettaa useita eri vaatimuksia, kuten lujuusominaisuudet. Yleisesti yksi vaatimuksista on tärkeämpi kuin muut. (Koivisto ym. 2010, 9.)

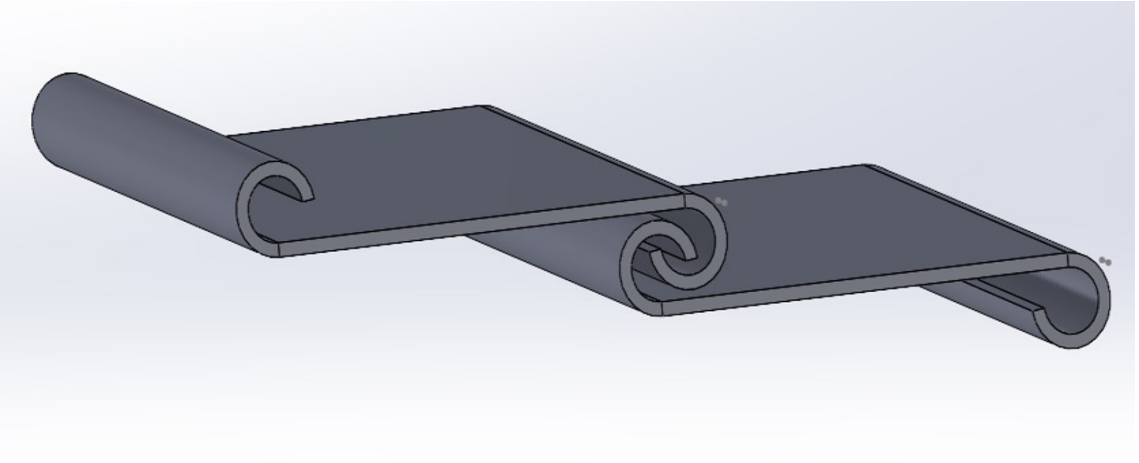
8.1 Esisuunnittelu

Esisuunnittelu aloitettiin luomalla useampi eri vaihtoehto keskuksen koteloinnille. Ensimmäinen ratkaisu koostui kolmesta erillisestä osasta, pohjoispääty, joka ei liiku, länsi ja itäpuoli, jossa sisempi osa aukeaa (Kuvio 10).



Kuvio 10. Ensimmäinen ratkaisu koteloinnille

Toinen ratkaisu koostui kahdesta erillisestä osasta ja toimintaperiaate oli autotalin oven mekanismi ja materiaali olisi palonkestävää kangasta. Kolmannessa ratkaisussa toimintaperiaate oli sama kuin toisessa, mutta materiaalina käytettäisiin särmättyä metallia (Kuvio 11).



Kuvio 11. Kolmas ratkaisu koteloinnille

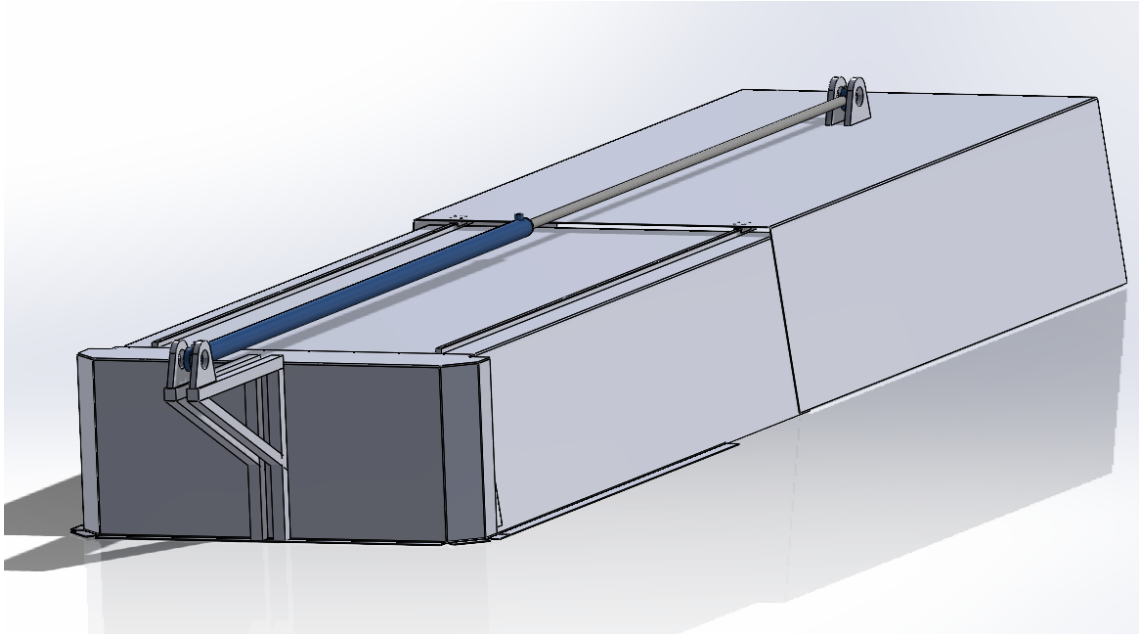
Yhdessä toimeksiantajan kanssa todettiin, että ratkaisu numero 1 on näistä paras. Esisuunnittelussa huomiottiin yksi päävaatimus ja kaksi muuta vaatimusta (Kuvio 12).

Vaatimukset Soraluuce-huuva koteloinnille	
1	Katon aukeaminen vähintään 4 metriä
2	Mahdollisimman tiivis kotelointi
3	Valmistettavuus

Kuvio 12. Koteloinnin vaatimuslista

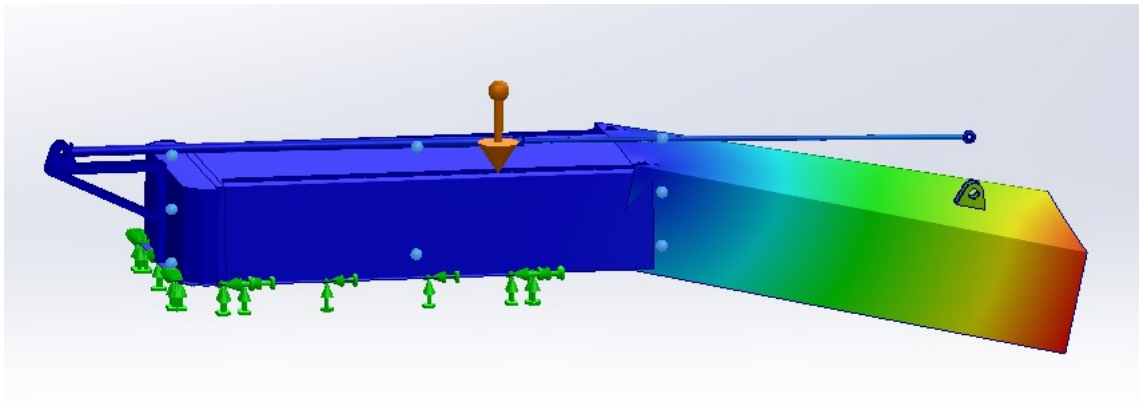
8.2 Koteloinnin esisuunnitelma

Koteloinnin esisuunnitelma valmistui kesän aikana ja pidettiin suunnittelutapaaminen yhdessä toimeksiantajan kanssa (Kuvio 13).



Kuvio 13. Länsipuolen kotelon osan kokonaisuus

Esisuunnitelman esityksen aikana selvisi useita eri parannuskohteita kuten, materiaalin vahvuuden muutos 1 mm ohuemmaksi koska liikkuvan osan painoa täytyi vähentää. Ohentamisen myötä selvisi myös, että kotelointia täytyy vahvistaa käyttäen rimoja. Etenkin lineaarijohteen ja kelkan alueelta (Kuvio 14).



Kuvio 14. Solidworks suunnitteluohjelman simulointitulokset

Kotelon sivujen suoristus, sylinterin korvakkeen ohentaminen sillä esisuunnitelmassa ne oli valittu lujuusominaisuuksiltaan liian vahvoiksi. Sekä sylinterien iskupituuksien optimointi, siten että kotelon auetessa sylinteri on kokonaan sisällä. Särmättävien osien R-arvoa eli taivutussädettä muutettiin suositellusta arvosta

levyn aineenpaksuuteen, sillä Tormets on todennut sen toimivaksi ratkaisuksi, jolloin ei tule ongelmia taivutuksia tehdessä.

Koteloinnin seuraavassa versiossa mallia paranneltiin lisäämällä lineaarijohtimille toinen kelkkapari, koska olisi ollut epätodennäköistä sen kestävyys, kun momenttivoimat olisi kohdistuneet vain kahteen kohtaan. Mallille valittu lineaarijohdin sekä -kelkka on ABBA lineartech valmistama BRH20A malli, jonka kantavuus Newtonina on -14,5 Kn dynaamisena ja 25,6 Kn staattisena. Mallin päämitat sekä sen kantavuus ja staattinen momentti löytyy taulukosta 2.

Taulukko 2. Lineaarijohteen ja -kelkan tiedot. (Masino 2024)

Malli	Päämitat (mm)				BR kelkka (mm)							BR johde (mm)				Vakiomitat		Kantavuus (N)		Staatt.momentti (Nm)			Paino	
	H	W	W2	E	L	BxJ	MQxl	L1	Ölly reikä	T1	N	W1	H1	F	dxDxh	Lmax	G	Dyn. (C)	Saattinen (CO)	Mx	My	Mz	Kelkka (kg)	Johde (kg/m)
BRH15A	24	47	16	4,6	66	38x30	M5x8	40	∅3	4,3	5	15	14	60	4,5x7,5x5,3	4000	20	8500	16500	100	80	80	0,21	1,4
BRH20A	30	63	21,5	5	77,8	53x40	M6x9	48,8	M6x1	5	6,5	20	18	60	6x9,5x8,5	4000	20	14500	25600	220	180	180	0,4	2,6
BRH20AL					92,4			63,4										19000	33300	286	234	234	0,52	
BRH25A	36	70	23,5	7	88	57x45	M8x12	57	M6x1	5	6,5	23	22	60	7x11x9	4000	20	21400	40000	360	320	310	0,57	3,6
BRH25AL					110,1			79,1										29960	56000	504	448	434	0,72	
BRH30A	42	90	31	9	109	72x52	M10x12	72	M6x1	7	6,5	28	26	80	9x14x12	4000	20	29800	54900	600	500	490	1,1	5,2
BRH30AL					131,3			94,3										39000	71900	785	650	650	1,4	
BRH35A	48	100	33	9,5	109	82x62	M10x13	80	M6x1	8	6,5	34	29	80	9x14x12	4000	20	39600	70100	960	750	730	1,6	7,2
BRH35AL					134,8			105,8										52300	92700	1250	950	950	2	
BRH45A	60	120	37,5	14	138,2	100x80	M12x15	105	M8x1	10	13	45	38	105	14x20x17	4000	22,5	67400	121000	2160	1700	1680	2,7	12,3
BRH45AL					163			129,8										83300	149500	2670	2100	2100	3,6	

8.3 Sylinterin mitoitus

Koteloinnissa käytettävät pneumaattiset sylinterit mitoitettiin voiman suhteen. Tuloksen perusteella valitaan standardi sylinteri, jonka halkaisija on laskettua arvoa suurempi. Mallissa on kaksi eri sylinteriä länsi ja itä, jotka sijaitsevat vastakkaisissa päädyissä ja ne siirtävät eri painoisia kokonaisuuksia.

Sylinterin koon määrittämiseksi ensin täytyi selvittää sylinteriin kohdistuva kuormitus, jota varten käytettiin kaavaa

$$F = m * g \quad (1)$$

missä

F on Voima [N]

m	on	Massa [kg]
g	on	Putoamiskiihtyvyys [m/s ²]

Kuormituksen laskun jälkeen selvitettiin tarvittava sylinterin työpinta-ala A, joka laskettiin paineen avulla, jonka suuruus on 0,4 MPa käyttäen kaavaa

$$A = \frac{F}{P} \quad (2)$$

missä

A	on	Pinta-ala [mm ²]
F	on	Voima [N]
P	on	Paine [MPa]

Työpinta-alan laskun jälkeen selvitettiin pienin mahdollinen sylinterin halkaisija, joka laskettiin kaavalla

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3)$$

missä

d	on	sylinterin halkaisija
A	on	Pinta-ala [mm ²]

$$F = 105kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 1030,05N$$

8.3.1 Länsi sylinteri

Länsipuolen sylinteri liikuttaa 139 kg painavaa kokonaisuutta, joten voima F lasketaan kaavalla 1.

$$F = 138kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 1369,59N$$

Sylinteriin kohdistuvan kuormituksen tuloksen avulla lasketaan työpinta-ala A kaavalla 2.

$$A = \frac{1369,59N}{0,4MPa} = 3408,975 mm^2$$

Työpinta-alan tuloksen avulla lasketaan sylinterin minimihalkaisija d kaavalla 3.

$$d = \sqrt{\frac{3408,975 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 65,898 \text{ mm} \sim 65,9 \text{ mm}$$

8.3.2 Itä sylinteri

Itäpuolen sylinteri liikuttaa 120 kg painavaa kokonaisuutta, joten voima F laske-
taan kaavalla 1.

$$F = 120 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1177,2 \text{ N}$$

Sylinteriin kohdistuvan kuormituksen tuloksen avulla lasketaan työpinta-ala A
kaavalla 2.

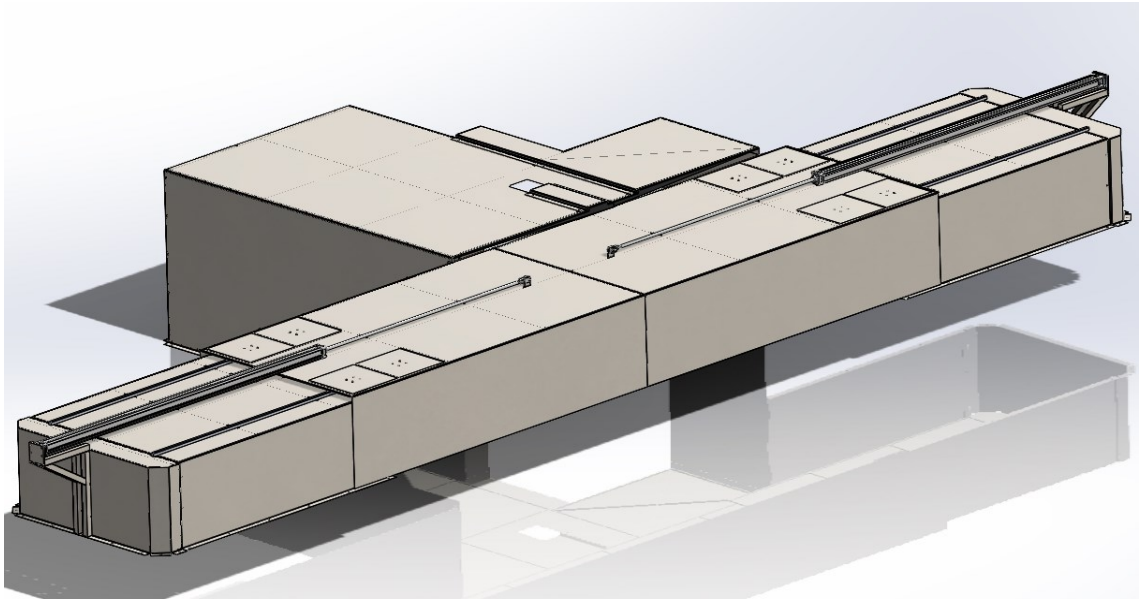
$$A = \frac{1177,2 \text{ N}}{0,4 \text{ Mpa}} = 2943 \text{ mm}^2$$

Työpinta-alan tuloksen avulla lasketaan sylinterin minimihalkaisija d kaavalla 3.

$$d = \sqrt{\frac{2943 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 61,229 \text{ mm} \sim 61,2 \text{ mm}$$

9 TULOKSET

Projektin tuloksina saatiin suunniteltua kokonaisuus työstökeskuksen koteloinnille (kuvio 15) ja mitoitettua voiman suhteen sylinterit. Kotelointia tulee työn tilaaja Tormets Oy kehittämään ja tekemään muutoksia, jotta se saadaan asennettua työstökeskukselle.



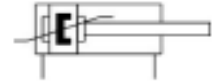
Kuvio 15. Koteloinnin pääkoonpano

Mitoitus laskujen perusteella valittiin Festo DSBC-80-32-2100 joka on ISO15552 standardin mukainen pneumaattinen kaksitoiminen sylinteri. Sylinteri soveltui hyvin koteloinnille, sillä iskupituus, käyttöpaine ja teoreettinen voima oli riittävä (taulukko 3).

Taulukko 3. Festo sylinterin tietotaulukko (Festo 2024)

ISO cylinder
DSBC-80- -PPSA-N3

Part number: 1463500

FESTO
 [General operating condition](#)
Data sheet

Overall data sheet – Individual values depend upon your configuration.

Feature	Value
Stroke	1 mm ... 2800 mm
Piston diameter	80 mm
Piston rod thread	M20x1.5
Cushioning	Self-adjusting pneumatic end-position cushioning
Mounting position	optional
Conforms to standard	ISO 15552
Piston-rod end	Male thread
Design	Piston Piston rod Profile barrel
Position detection	Via proximity switch
Symbol	00992970
Variants	Piston rod at one end
Operating pressure	0.04 MPa ... 1.2 MPa
Operating pressure	0.6 bar ... 12 bar
Mode of operation	Double-acting
Operating medium	Compressed air to ISO 8573-1:2010 [7:4-4]
Note on operating and pilot medium	Lubricated operation possible (in which case lubricated operation will always be required)
Corrosion resistance class CRC	2 - Moderate corrosion stress
LABS (PWIS) conformity	VDMA24364-B1/B2-L
Ambient temperature	-20 °C ... 80 °C
Impact energy in end positions	1.8 J
Cushioning length	31 mm
Theoretical force at 0.6 MPa (6 bar, 87 psi), return stroke	2721 N
Theoretical force at 0.6 MPa (6 bar, 87 psi), advance stroke	3016 N
Moving mass for 0 mm stroke	810 g
Additional moving mass per 10 mm stroke	39 g
Basic weight for 0 mm stroke	2660 g
Additional weight per 10 mm stroke	92 g
Type of mounting	Either: Via female thread With accessories
Pneumatic connection	G3/8
Note on materials	RoHS-compliant
Material cover	Die-cast aluminium, coated

10 POHDINTA

Työn tarkoitus oli vähentää työstökeskuksen toiminnosta johtuva savukaasujen leviäminen työympäristöön ja tavoitteena oli suunnitella koteloinnin esiversio ja sen toiminnallisuudet työstökeskukselle, joka saavutettiin. Valmistuneista piirustuksista on hyvä lähteä kehittämään lopullista mallia. Opinnäytetyön aikana tuli opittua paljon uutta tuotteen suunnittelusta sekä sen vaatimuksista, työturvallisuudesta ja työstökeskuksesta.

Opinnäytetyössä mitoitettiin sylinterien minimi halkaisijat voiman suhteen, josta on hyvä lähteä tekemään tarkempia laskuja. Sillä työssä käytetyt kaavat antavat vain osittaisen vastauksen sylinterin koosta. Muita jatkotoimia on sylinterien tukirakenteen mitoitus, lineaarikiskojen ja -johtimiin vaikuttavien voimien laskeminen, levyosien heikkojen kohtien selvitys ja vahvikkeiden tarve sekä paikoitus.

Projekti oli pitkä ja opettavainen, joka olisi voinut mennä paremminkin. Kaiken kaikkiaan työtä oli mielenkiintoista tehdä ja saada se valmiiksi.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Adler, D., P., Dassisti, M., Hii, W. & Sutherland, J. 2006. Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns. *Journal of Machining Science and Technology*, Volume 10, Feb 2007, 23-58. Viitattu 15.4.2024
<https://doi.org/10.1080/10910340500534282>

Ahonen, I., Kalliohaka, T., Kanerva, T., Lehtimäki, M., Linnainmaa, M., Niemeläinen, M., Pihlajamaa, P. & Säämänen, P. 2016. Metallintyöstön kohdepoistoilman hallinta. Työterveyslaitos 2016. Viitattu 18.3.2024
https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131328/Metallinty%C3%B6st%C3%B6n_kohdepoistoilman_hallinta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Henriks-Eckerman, M, L. & Suuronen, K. 2009. Metallityönesteiden alkanoliamiinien tavoitetasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. Viitattu 12.4.2024 <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/878>

Festo 2024. ISO cylinder DSBC-80- -PPSA-N3. Viitattu 27.11.2024
<https://www.festo.com/fi/en/a/download-document/datasheet/1463500>

Kallio, N. 2009. Malliratkaisuja metallin työstöön. Työterveyslaitos. Viitattu 10.9.2024 <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/2382>

Kauppalehti 2024. Tormets Oy. Viitattu 3.9.24
<https://www.kauppalehti.fi/yriykset/yritys/tormets+oy/24722323>

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2010. Konetekniikan materiaalioppi. 12. painos. Helsinki: Edita prima Oy.

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011a. Ergonomian periaatteet ja käyttöalueet. Teoksessa M. Launis & J. Lehtelä (toim.) *Ergonomia*. Tampere: Työterveyslaitos, 17–37. Viitattu 13.4.2024 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-059-1>

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011b. Näkeminen ja kuuleminen. Teoksessa M. Launis & J. Lehtelä (toim.) *Ergonomia*. Tampere: Työterveyslaitos, 87–102. Viitattu 13.4.2024 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-059-1>

Masino 2024, ABBA -lineaarijohteet ja -kelkat. Viitattu 20.11.2024
https://masino-prod.vaimo.net/media/catalog/product/27671_MaKo_ABBA-lineaarijohteet-ja-kelkat.pdf

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Jyväskylä: Teknologiateollisuus ry.

- METSTA 2023. Koneenrakentajan tärkeimmät standardit. Viitattu 28.4.2024
https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/10/Koneenrakentajan_t%C3%A4rkeimm%C3%A4t_standardit.pdf
- Mononen, A. 2024. Turvallisuutta konepajoille. Prometalli. Viitattu 28.2.2024
<https://www.prometalli.fi/natiivi/343/turvallisuutta-konepajoille>
- Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy
- RajatOn 2015. Tutkijan ABC. Viitattu 23.2.2024
<https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>
- Salmi, T & Pajunen, S. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy
- SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskien arviointi ja riskien pienentäminen. Viitattu 28.4.2024
- Soraluce 2024. Soraluce tam multitasking centre. Viitattu 1.9.2024
<https://www.soraluce.com/en/tam-multitasking-centre>
- Syrjänen, T. 2024. Ferrokromitehtaan kuljetinjärjestelmän suunnittelu. Viitattu 3.9.2024
<https://www.comatec.fi/ferrokromitehtaan-kuljetinjärjestelman-suunnittelu/>
- Tormets 2023a. Historiasta nykypäivään: 50-vuotiaan metallisorvaamon tarina. Viitattu 28.3.2023
<https://tormets.fi/historiasta-nykypaivaan-50-vuotiaan-metallisorvaamon-tarina/>
- Tormets 2023b. Palvelut. Viitattu 28.3.2023
<https://tormets.fi/palvelut/>
- Tormets 2024a. Pohjoinen asenne. Viitattu 3.4.2024
<https://tormets.fi/pohjoinen-asenne/>
- Tormets 2024b. Yhdessä kohti kestäviä ratkaisuja. Viitattu 3.4.2024
<https://tormets.fi/tormets/>
- Työturvallisuuskeskus 2019. Työturvallisuus ja työsuojelu. Viitattu 5.2.2024
<https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Tyoturvallisuus-ja-tyosuojelu.pdf>
- Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Viitattu 28.2.2024
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- Yle 2011. Torniolaiselle Tormetsille iso tilaus Outukummulta. Viitattu 2.4.2024
<https://yle.fi/a/3-5305143>