



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Peltokangas

# ERGONOMIAMENETELMÄT TYÖNTUTKIMUKSESSA

Case Danfoss

Tekniikka  
2023

## TIIVISTELMÄ

|                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| Tekijä             | Petri Peltokangas                     |
| Opinnäytetyön nimi | Ergonomiamenetelmät työntutkimuksessa |
| Vuosi              | 2023                                  |
| Kieli              | suomi                                 |
| Sivumäärä          | 38 + 2 liitettä                       |
| Ohjaaja            | Minna Uimonen                         |

---

Opinnäytetyössä tutkittiin kahden eri ergonomiamenetelmän käyttämistä työn-  
tutkimuksen apuna. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää Danfoss Power Electro-  
nics and Drivesin Vaasan yksikön tarpeisiin sopiva ergonomiamenetelmä. Työssä  
oli tarkoituksena arvioida RULA- ja BORG CR10 -menetelmien soveltuvuutta elpy-  
misaikojen tarkasteluun ja saada selville menetelmien vahvuudet ja heikkoudet.  
Tarkasteltaviksi esimerkkikohteiksi valittiin kaksi tuotantolinjaa, joista toisella val-  
mistetaan suuritehoisia ja toisella pienitehoisia taajuusmuuttajia. Työkohteissa  
tehdään kevyttä kokoonpanotyötä.

Opinnäytetyössä käsitellään ergonomian ja työntutkimuksen periaatteita ja kehiti-  
mistä nykymuotoonsa ja selvitetään RULA- ja BORG CR10 -arviointimenetelmien  
käyttötavat. Tutkimus toteutettiin käyttämällä näitä menetelmiä esimerkkikoh-  
teiksi valittujen tuotantolinjojen työasentojen arvioinnissa. Kaikki työvaiheet vide-  
oitiin ja työasennot pisteytettiin molemmilla ergonomiamenetelmillä.

Analyysien jälkeen voitiin todeta BORG CR10 -menetelmän soveltuvan huonosti  
kevyen kokoonpanotyön tutkimiseen. BORG CR10 -menetelmän etuna on, että  
tehtyihin tutkimuksiin voidaan palata helposti uudelleen. RULA-menetelmä sopii  
BORG CR10 -menetelmää paremmin kevyeen kokoonpanotyöhön, joten sen käyt-  
töä kannattaa jatkojalostaa Danfossilla. RULA-menetelmän vahvuuksia ovat sel-  
keät arviointikriteerit sekä käytön helppous ja nopeus. Lisäksi sitä on mahdollista  
käyttää ilman ostettavia ohjelmistoja ja lisenssejä.

## ABSTRACT

|                    |   |
|--------------------|---|
| Author             | Petri Peltokangas                             |
| Title              | Ergonomic Evaluation Methods for Time Studies |
| Year               | 2023  |
| Language           | Finnish                                       |
| Pages              | 38 + 2 Appendices                             |
| Name of Supervisor | Minna Uimonen                                 |

---

The thesis explored the use of two different ergonomic evaluation methods as an aid when conducting time studies. The objective of the thesis was to find an ergonomic evaluation method suitable for the needs of Danfoss Power Electronics and Drives' Vaasa factory. The aim was to evaluate the suitability of the RULA and BORG CR10 methods for assessing recovery times and to discover the strengths and weaknesses of the methods. Two production lines were selected to be used as examples for the evaluations, one producing high-power frequency converters and the other producing low-power frequency drives. Work at each production line is light assembly work.

The thesis discusses the principles and development of ergonomics and labour research into their current form and explores the uses of the RULA and BORG CR10 evaluation methods. A study was conducted using these methods to evaluate working positions of production lines selected as examples. All work stages were videotaped and working positions scored using both ergonomic evaluation methods.

After the analyses, the BORG CR10 method was found to be poorly suited for assessing light assembly work. The advantage of the BORG CR10 method is that it is easy to return to the studies done later. The RULA method is better suited for assessing light assembly work, so it is worth further studies at Danfoss. The strengths of the RULA method include clear evaluation criteria as well as ease and speed of use. In addition, it is possible to use it without purchasing software and licenses.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

|   |                                       |    |
|---|---------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO.....                         | 8  |
| 2 | TYÖNTUTKIMUS.....                     | 11 |
|   | 2.1 Työntutkimuksen kehittyminen..... | 11 |
|   | 2.2 Työntutkimuksen periaatteet ..... | 13 |
|   | 2.3 Elpymisaika .....                 | 15 |
|   | 2.4 AVIX-ohjelmisto .....             | 16 |
| 3 | ERGONOMIA.....                        | 18 |
|   | 3.1 Ergonomian kehittyminen .....     | 18 |
|   | 3.2 Ergonomian periaatteet.....       | 18 |
|   | 3.3 RULA.....                         | 20 |
|   | 3.4 BORG CR10.....                    | 22 |
| 4 | TUOTANTOLINJAT.....                   | 25 |
|   | 4.1 Työntutkimus Danfossissa .....    | 25 |
|   | 4.2 Tutkimusmenetelmät.....           | 26 |
|   | 4.3 Tuotantolinja A.....              | 28 |
|   | 4.4 Tuotantolinja B.....              | 30 |
| 5 | TULOKSET .....                        | 33 |
| 6 | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....      | 36 |
|   | LÄHTEET .....                         | 38 |
|   | LIITTEET .....                        | 39 |

## KÄSITE -JA LYHENNELUETTELO

|                   |  |
|-------------------|--|
| JOUTUISUUS        | Työn etenemisvauhti                                  |
| JOUTUISUUSKERROIN | Mitatun ajan normalisointi havaitulla joutuisuudella |
| APUAIKA           | Elpymiseen tarvittava aika työvuorossa               |
| NORMAALIAIKA      | Joutuisuuskertoimella normalisoitu aika              |
| STANDARDIAIKA     | Normaaliaika, joka sisältää apuajan                  |
| PÄIVÄVAKIO        | Normaalisuorituksella työhön tarvittava aika         |
| AVIX              | Työntutkimusohjelmisto                               |
| BORG CR10         | Ergonomiamenetelmä                                   |
| RULA              | Ergonomiamenetelmä                                   |
| ELPYMINEN         | Tarvittava aika työsuorituksesta palautumiseen       |
| ERGONOMIA         | Ihmisen ja tekniikan välistä vuorovaikutusta         |
| MTM               | Liikeaikatutkimus                                    |

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| <b>Kuva 1.</b> Danfoss Drives Vaasan taajuusmuuttajatehdas. ....            | 9  |
| <b>Kuva 2.</b> Danfoss Power Electronics and Drivesin avainluvut.....       | 10 |
| <b>Kuva 3.</b> Hezbergin kaksifaktoriteorian perusajatus.....               | 12 |
| <b>Kuva 4.</b> Aikalajien jakautuminen työpäivän tai työjakson aikana. .... | 14 |
| <b>Kuva 5.</b> AVIX-näkymä tehdystä työntutkimuksesta.....                  | 17 |
| <b>Kuva 6.</b> RULA -arviointimenetelmä.....                                | 22 |
| <b>Kuva 7.</b> BORG CR10 -arviointimenetelmä.....                           | 24 |
| <b>Kuva 8.</b> BORG CR10 -arviointimenetelmä.....                           | 27 |
| <b>Kuva 9.</b> RULA -arviointimenetelmä.....                                | 28 |
| <b>Kuva 10.</b> Tuotantolinja A:n layout. ....                              | 29 |
| <b>Kuva 11.</b> Tuotantolinja A:n valittuja työasentoja. ....               | 30 |
| <b>Kuva 12.</b> Tuotantolinja B:n layout. ....                              | 31 |
| <b>Kuva 13.</b> Tuotantolinja B:n valittuja työasentoja. ....               | 32 |
| <br>  |    |
| <b>Taulukko 1.</b> Tuotantolinja A, RULA. ....                              | 34 |
| <b>Taulukko 2.</b> Tuotantolinja A, Borg CR10.....                          | 34 |
| <b>Taulukko 3.</b> Tuotantolinja B, RULA. ....                              | 35 |
| <b>Taulukko 4.</b> Tuotantolinja B, BORG CR10. ....                         | 35 |

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Elpymisaikojen kuormitusluokat 1–4

**LIITE 2.** Elpymisaikojen kuormitusluokat 5–7

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Danfoss Power Electronics and Drivesin Vaasan yksikölle, jossa valmistetaan taajuusmuuttajia. Vaasan yksikön työntutkijat ovat tehneet työntutkimusta vuodesta 2013 saakka. Työsuorituksia on videoitu ja analysoitu tuotekohtaisesti. Tehtyjen työntutkimusten perusteella on saatu muodostettua tuotekohtaiset ajat kaikille tuotteille.

Vaasan yksikössä on käytetty RULA-menetelmää (Rapid Upper Limb Assessment) ja BORG CR10 -menetelmää, jotka ovat ergonomian tutkimiseen tarkoitettuja menetelmiä. Työterveyshoitaja ja työsuojeluvaltuutettu tekivät tuotantolinjoilla muutamia kokeiluja RULA-menetelmän käytöstä tuotantolinjojen ergonomian parantamiseksi. Nämä kokeilut eivät kuitenkaan johtaneet konkreettisiin jatkotoimiin menetelmän käyttöön ottamiseksi. BORG CR10 -menetelmää käyttäen tehtiin vuonna 2021 kahden viikon testijakso tuotantolinjalla. Lopputuloksena oli ohjelmiston käytön oppiminen, eikä testijakso johtanut silloin jatkotoimenpiteisiin menetelmän käyttöönottamiseksi Vaasan tehtaalle. Vaasan yksikössä tuli tarve päivittää elpymisaikoja, mikä toi esille nämä kokeilut ja johti opinnäytetyön aiheen valintaan. Toimeksiantaja halusi löytää tavan, jolla ergonomia ja työntutkimus voidaan yhdistää, ja samalla hyödyntää jo olemassa olevaa videoitua materiaalia uudessa tarkoituksessa.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää toimeksiantajan tarpeisiin sopiva ergonomiamenetelmä. Työssä on tarkoituksena arvioida RULA- ja BORG CR10 -menetelmien soveltuvuutta elpymisaikojen tarkasteluun ja saada selville menetelmien vahvuudet ja heikkoudet. Työ on rajattu koskemaan kevyttä kokoonpanotyötä. Työssä käytetään esimerkkikohteina kahta tuotantolinjaa, joista toisella kootaan suuritehoisia ja toisella pienitehoisia taajuusmuuttajia.

Danfoss Power Electronics and Drives kuuluu Danfoss-konserniin. Mads Clausen perusti Danfossin vuonna 1933 vanhempiensa maatilalla Tanskassa. Yhden miehen yritys on kasvanut konserniksi, jolla on yli 7 miljardin liikevaihto ja 42 000 työntekijää. Tehtaita on 97 ja ne toimivat 20 maassa. Myyntitoimintaa yli 100 maassa. Liiketoiminta on jakautunut kolmeen segmenttiin; Danfoss Power Solutions, Danfoss Climate Solutions ja Danfoss Power Electronics and Drives. Kuvassa 1 näkyy Vaasan taajuusmuuttajatehdas.<sup>1</sup>



**Kuva 1.** Danfoss Drives Vaasan taajuusmuuttajatehdas.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Danfoss 2022 a

<sup>2</sup> Danfoss 2022 a

Danfoss Power Electronics and Drives aloitti toimintansa vuonna 1968. Se on ensimmäinen yhtiö, joka valmisti taajuusmuuttajia massatuotantona. Nykyään Danfoss Power Electronics and Drives toimii yli sadassa maassa. Se on yksi alansa suurimmista toimijoista työllistäen yli 7 800 henkilöä. Danfoss Power Electronics and Drives valmistaa taajuusmuuttajia 0,18 kW teholuokasta aina 5,3 MW teholuokkaan saakka. Kuvassa 2 on esitetty Danfoss Power Electronics and Drivesin vuosi 2022 avainlukuina.<sup>3</sup>



**Kuva 2.** Danfoss Power Electronics and Drivesin avainluvut.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Danfoss 2022b

<sup>4</sup> Danfoss 2022b

## 2 TYÖNTUTKIMUS

### 2.1 Työntutkimuksen kehittyminen

Työntutkimuksen alkuvaiheet voidaan ajoittaa 1900-luvun vaihteeseen, jolloin Frederick W. Taylorin kehittämät tieteellisen liikkeenjohdon opit olivat hallitsevia menetelmiä teollisuus- ja toimistotöiden organisoinnissa. Näiden oppien perusajatus oli pitkälle viety erikoistuminen. Työvaiheet pilkottiin lyhyisiin helposti omaksettaviin osatehtäviin. Nopean ja tehokkaan työntekotavan saavuttamiseen hyödynnettiin työntutkimusta. Tarkoituksena oli poistaa kaikki ylimääräiset työliikkeet. Seurauksena oli työn yksipuolistuminen ja sisällöllinen köyhtyminen, mikä aloitti osaltaan suuntauksen pakkotahtisuuteen konelinjojen äärellä. Taylorismi jatkui aina 1970-luvulle saakka, ja se oli toisen maailmansodan jälkeen voimissaan voimakkaan teollisen kasvun ja teknisen kehityksen edetessä. Taylorismin pääajatus oli, että työntekijää motivoi vain ja ainoastaan raha, eikä työn sisältö.<sup>5</sup>

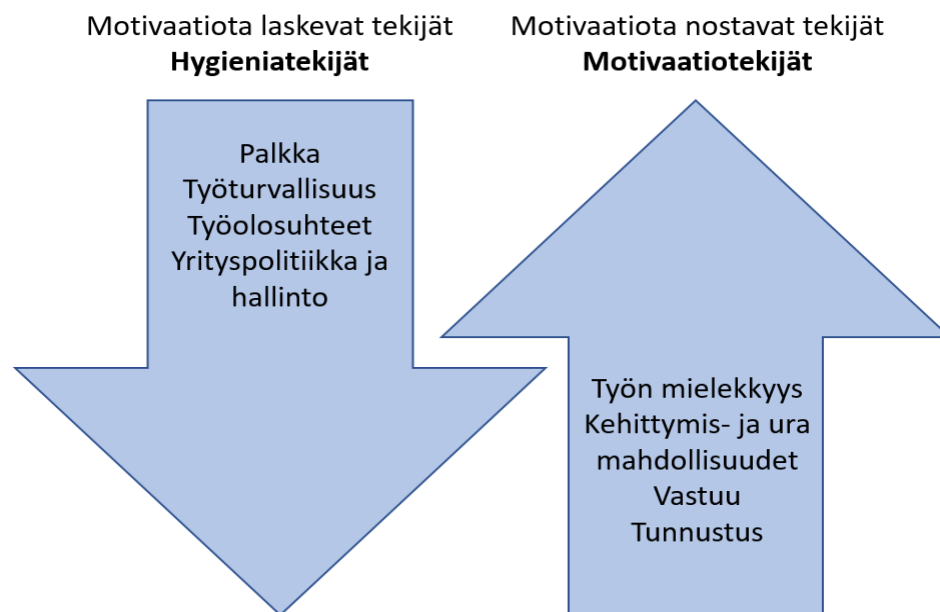
1970-luvulla tuli esille työn laajentamista ja monipuolistamista painottavia oppeja. Yksi näistä oli kuvassa 3 esitetty Herzbergin kaksifaktoriteoria eli motivaatio-hygieniateoria, jonka mukaan ihmistä kannustaa työssä motivaatiotekijät, kuten kehittyminen, vastuu, tunnustuksen saaminen sekä aikaansaamisen kokeminen. Kaksifaktoriteorian mukaan hygieniatekijöiden ei uskottu nostavan motivaatiota, vaan niiden ajateltiin olevan lähinnä perusedellytyksiä, joiden tulee työpaikalla olla kunnossa.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Ergonomia

<sup>6</sup> Ergonomia

## Herzbergin kaksifaktoriteoria



**Kuva 3.** Herzbergin kaksifaktoriteorian perusajatus.

Työntutkimuksen tavoitteena on parempi tuottavuus, kannattavuus ja työhyvinvointi. Työntutkimuksen avulla voidaan löytää tuotannosta pullonkaulat ja mahdolliset valmistuksen ongelmat. Saatuja aikatietoja voidaan hyödyntää myös tuotteiden hinnoittelussa ja kustannuslaskennassa. Työntutkimus mielletäänkin helposti perinteiseksi ”kellottamiseksi”, jossa vain ajan mittaus on pääasia, mutta työntutkimus pitää sisällään useita eri osa-alueita:

- Työolot
- Työtavat
- Prosessit
- Työhyvinvointi
- Kannattavuus
- Turvallisuus

- Työergonomia.<sup>7</sup>

## 2.2 Työntutkimuksen periaatteet

Työntutkimuksen avulla työmenetelmiä voidaan kehittää turvallisemmiksi ja vähemmän kuormittaviksi sekä parantaa ergonomiaa. Työntutkimuksella saadaan myös ajankohtaista dataa työvaihekohtaisista ajoista ja tuotteiden läpimenoajoista. Työvaihekohtaisten aikojen ja läpimenoajan avulla saadaan selville jalostavan työn osuus ja sen perusteella voidaan arvioida, voiko tuotteiden valmistettavuutta parantaa.<sup>8</sup>

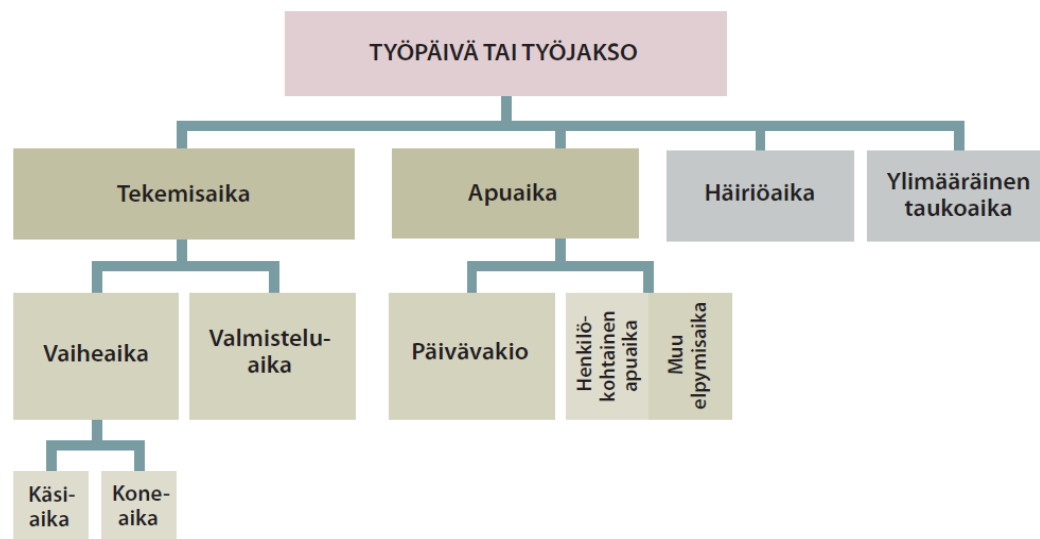
Työntutkimuksessa käytetään tavanomaisesti kolmea aikalajia: tekemisaikaa, apuaikaa ja häiriöaikaa. Tekemisaika on arvoa tuottavaa työtä, joka edistää tuotteen valmistumista. Apuaikaan kuuluvat ne välttämättömät tehtävät, jotka eivät suoraan edistä työn valmistumista, mutta jotka on kuitenkin tehtävä, jotta varsinaisen työn tekemistä voidaan jatkaa. Häiriöaikaa ovat esimerkiksi odottamattomat keskeytykset, konerikot, osien ja työkalujen etsiminen sekä aputyöt. Kuvassa 4 on esimerkki siitä, kuinka aikalajit voivat jakautua työpäivän tai työjakson aikana.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

<sup>8</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

<sup>9</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen



**Kuva 4.** Aikalajien jakautuminen työpäivän tai työjakson aikana.<sup>10</sup>

Työnmittaustekniikoita on useita erilaisia: liikeaikatutkimus MTM, ajankäyttötutkimus, normaaliaikatutkimus ja havainnointitutkimus. Liikeaikatutkimus MTM tutkii kehonliikkeitä. Kaikille liikkeille on olemassa yleispätevät ajat, joten MTM-ajat ovat käytettävissä kaikissa työpaikoissa. Ajankäyttötutkimuksessa seurataan tietyn työn tapahtumia pidemmältä ajalta kerrallaan, jolloin voidaan selvittää esimerkiksi työntekijän ja koneen välisiä riippuvuustekijöitä. Normaaliaikatutkimus on perinteisin työntutkimustapa, joka tehdään työntutkimuskellolla. Normaaliaikatutkimus on menetelmänä monikäyttöinen ja joustava. Havainnointitutkimuksessa tehdään tasavälihavaintoja, jolloin valittua kohdetta katsotaan esimerkiksi minuutin välein ja havainnot kirjataan ylös.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

<sup>11</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

Joutuisuuden arviointi on yksi työnmittauksen tärkeimpiä asioita. Työn joutuisuus tarkoittaa työntekijän suorittamaa työmäärää lyhyenä mittausaikana, johon ei esimerkiksi sisälly taukoja. Joutuisuus kuvaa työn tehokkuutta, jonka osatekijöitä ovat työtaito, nopeus ja työolosuhteet. Joutuisuuden arviointi on menetelmä, jolla mitattu aika saadaan muutettua normaaliajaksi. 100 %:n joutuisuus on työnopeus, jota työhön harjaantunut henkilö pystyy ylläpitämään koko työvuoron, kun hänen tekemänsä työn intensiteetti ja työtaito ovat 100 %. Suomessa joutuisuuskertoimet määritetään 5 %:n tarkkuudella. Esimerkiksi, jos työntekijän joutuisuudeksi on mitattu 95 % se tarkoittaa, että työntekijä on ollut noin 5 % hitaampi kuin 100% normaaliaikaista työvauhtia tekevä työntekijä.<sup>12</sup>

### 2.3 Elpymisaika

Kokonaiselpymisaika määrittelee Suomessa sen, kuinka paljon työvuoron aikana henkilöllä tulee olla aikaa kuormituksesta palautumiseen. Elpymisaika onkin pitkälti sidoksissa työn kuormittavuuteen, johon vaikuttavat sekä fyysinen että henkinen rasitus. Elpymisaika on työkohtainen. Elpymisaikaan vaikuttavat esimerkiksi kuumat olosuhteet ja työn yksitoikkoisuus. Elpymisaikaa voidaan vähentää työnkierrolla, mutta silloin työtehtävien on oltava selvästi kevyempiä tai erilaisia edelliseen verrattuna ja vaihtojen on tapahduttava säännöllisesti sekä riittävän usein.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

<sup>13</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

Elpymisluokkaan vaikuttavia fyysisen rasituksen tasoja on seitsemän ja ne merkitään A1–A7. Henkisen kuormituksen tasoja on kuusi ja ne merkitään B2–B7. Liitteissä 1 ja 2 on määritelty jokaisen kuormitusluokan vaatima elpymisaika sekä kuvaus työnsisällöstä.<sup>14</sup>

## 2.4 AVIX-ohjelmisto

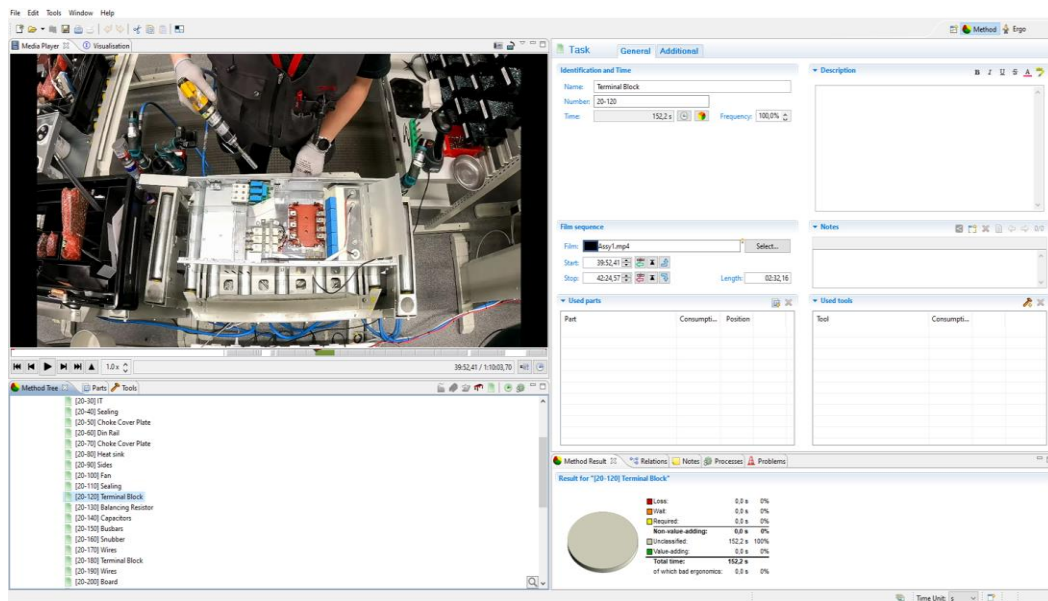
AVIX-ohjelmisto on tuotannon tehostamiseen tarkoitettu työkalu. Videoanalyysia voidaan käyttää erilaisten moduulien avulla tuotannon eri kehittämistarpeisiin. Saatavilla olevia moduuleita ovat esimerkiksi menetelmäkehitys, työohjeet, työntutkimus, LEAN ja Ergonomia. AVIX:n isona etuna on kuvatun videomateriaalin hyödyntäminen moneen eri tarkoitukseen AVIX:n moduuleissa. Aiemmin tehtyihin tutkimuksiin voidaan helposti palata myöhemmin ja selvittää esimerkiksi tarkka tekotapa, mikä pelkän havainnointitutkimuksen avulla ei olisi mahdollista. AVIX:n avulla voidaan tekeminen työvaiheissa pilkkoa haluttuun ajalliseen mittaan, aina liikeaikatutkimuksesta suurempiin työneriin tarpeen mukaan. Valmiista työntutkimuksesta saadaan selville työvaiheiden normaaliaika sekä työvaiheiden tasapaino ja pullonkaulat.<sup>15</sup>

Kuvassa 5 näkyy AVIX:n työntutkimusmoduulin näkymä. Tutkittava video näkyy vasemmalla ylhäällä. Vasemmalla alhaalla on tutkimuksen tulos, joka on leikattu tutkittavasta videosta halutun kestosiin osiin. Oikealla puolella näkyy valikot, joissa voi määritellä videon sijaintia, joutuisuutta ja esiintyvyyttä. Oikealle alhaalla on ympyrädiagrammi, joka kuvaa työn eri aikalajeja ja valitun työvaiheen ajan.

---

<sup>14</sup> TTS tuottavuuden kehittäminen

<sup>15</sup> AVIX Cimteam



Kuva 5. AVIX-näkymä tehdystä työntutkimuksesta.<sup>16</sup>

## 3 ERGONOMIA

### 3.1 Ergonomian kehittyminen

Teollistumisen myötä ergonomiaan aloitettiin kiinnittämään huomiota. 1800-luvun lopulla tehtiin tutkielmia työasunnoista. 1900-luvun alussa työntutkimuksen alkaessa yleistymään, tutkittiin työväsymystä ja työmotivaatiota. Voimakkain kehitys alalla alkoi kuitenkin vasta toisen maailmansodan jälkeen. Tämän aikakauden nopea teknologinen kehitys oli luonut usein ongelmia sotateknologian käytössä. Oli havaittu, ettei laitteita suunniteltaessa ollut otettu huomioon ihmisten toimintarajoituksia. Tämä johti erilaisiin tutkimuksiin, joiden kautta human factors engineering eli inhimilliset tekijät huomioon ottava suunnittelu, sai alkunsa.<sup>17</sup>

1960-luvun alussa Englannissa otettiin käyttöön termi ergonomia, joka tarkoitti eurooppalaisessa ajattelumallissa optimaalisen kuormituksen löytämistä ihmiselle. Suomessa julkaistiin samoihin aikoihin ensimmäinen ergonomiaa käsittelevä suomalainen oppikirja, joka osaltaan auttoi kehittämään ergonomiaa työpaikoilla. Ensimmäiset tutkittavat kohteet keskittyivät fyysisesti raskaiden töiden ja yksitoikkoisten toistojen löytämiseen ja näistä aiheutuvien epäkohtien poistamiseen. 1980-luvulla tietotekniikan yleistyessä, aloitettiin ergonomiassa kiinnittämään huomiota fyysisesti kevyempiin töihin. Myös koneiden käytettävyyden ja hallinta nousivat esille.<sup>18</sup>

### 3.2 Ergonomian periaatteet

Ergonomian voidaan sanoa olevan tieteenala, jonka avulla voimme ymmärtää ihmistä erilaisissa työympäristöissä. Hyvän ergonomian avulla pystytään tukemaan

---

<sup>17</sup> Ergonomia

<sup>18</sup> Ergonomia

ja kehittämään ihmisten terveyttä ja hyvinvointia sekä voidaan mahdollistaa turvallinen ja tuottava työ. Fyysinen ergonomia pyrkii sopeuttamaan fyysisen toiminnan ihmisen anatomisten ja fysiologisten ominaisuuksien mukaisiksi.<sup>19</sup>

Ergonomiaa tarkastellessa tulee ottaa huomioon ympäristötekijät, kuten melu, valaistus ja lämpötila. Nämä kaikki vaikuttavat omalta osaltaan elimistön kuormittamiseen. Työasentoja tarkastellessa tulee huomioida myös, ettei kehoa kuormiteta vain yksipuolisesti ja että nivelten ääriasentoja tulee välttää. Työn fyysisiä kuormitustekijöitä ovat liikkuminen, työasennot, fyysisen voiman käyttö ja työliikkeet. Työn kuormituksen mitoittamisessa on otettava huomioon kohdehenkilön terveys ja toimintakyky.<sup>2021</sup>

Kognitiivinen ergonomia tarkastelee ohjelmistojen ja järjestelmien suunnittelua, jotta se vastaisi ihmisen oppimista ja havainnointia. Nykyisen digitalisaation aikana kognitiivinen ergonomia on noussut merkittävään asemaan. Voidaankin sanoa, että monissa töissä ergonominen päätarkastelunäkökulma on siirtynyt fyysisestä psyykkiseen.<sup>22</sup>

Ergonomian kehittämiseen liittyvät hyödyt ovat havaittavissa monella tavalla. Osa hyötyihin liittyvistä kustannuksista voidaan laskea selkeästi, mutta osa on välillisiä, jolloin kustannusvaikutusta ei välttämättä saada helposti selville. Helposti laskettavia ovat poissaolokustannukset ja sairauskulut. Tuotannon virheet ja häiriöt voivat aiheuttaa tuotannon tehottomuutta ja vaikuttaa esimerkiksi asiakassuhteisiin ja imagoon. Näiden liittymistä ergonomiaan ei aina huomata ja niiden kustannusvaikutusta on vaikea laskea. Ergonomialla on myös osuutensa riskienhallinnassa ja

---

<sup>19</sup> Ergonomiayhdistys

<sup>20</sup> ttk/työturvallisuus

<sup>21</sup> Työturvallisuuskeskus

<sup>22</sup> Ergonomia

onnettomuuksien ennaltaehkäisyssä. Kaikkien tekijöiden yhteisvaikutuksen selvittäminen ja laskeminen on tärkeää kehittämishankkeissa ja laiteinvestoinneissa.<sup>23</sup>

### 3.3 RULA-menetelmä

RULA-menetelmä (Rapid Upper Limb Assessment) on Corlett & Mcatamneyn vuonna 1993 kehittämä ergonomian arviointimenetelmä. Se ei vaadi erillisiä työkaluja tai lisensejä. Menetelmän pääpaino on ylävartalon työskentelyasentojen arvioinnissa. Työskentelyasennot pisteytetään arviointipohjan avulla. Mitä suurempi pistemäärä on, sitä suurempi riski on tuki- ja liikuntaelinten vammaan tai sairauteen. RULA-menetelmässä annetaan pisteitä yhdestä seitsemään. Toimenpidetasoja on neljä. Pistetasot ilmaisevat toimenpiteiden kiireellisyyden seuraavalla tavalla:

- Taso 1. Pisteet 1–2 = Hyväksyttävä
- Taso 2. Pisteet 3–4 = Tarkkailu
- Taso 3. Pisteet 5–6 = Tarkkailu ja muutos
- Taso 4. Pisteet 7 = Muutoksia tarvitaan.<sup>24</sup>

RULA-menetelmä on suunniteltu nopeaksi ja helppokäyttöiseksi työkaluksi. Arvioinnin suorittaminen vie vähän aikaa, ja saadut pisteet ilmaisevat tarvittavat toimenpiteet. Pisteytysjärjestelmän avulla saadaan nopeasti tilannekuva työpisteen työasunnoista.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> Ergonomia

<sup>24</sup> RULA 1993 method

<sup>25</sup> RULA 1993 method

RULA-menetelmässä käytettävä arviointipohja on esitetty kuvassa 6. Se sisältää viisitoistakohtaisen kehon asennon arviointimenetelmän. Kohta yksi arvioi käsi-varren kulman kehoon suhteutettuna. Kohdassa kaksi arvioidaan kyynärvarren kulma kehoon suhteutettuna. Kohdassa kolme ranteen kulmaa verrataan kyynärvarren asentoon. Kohdat neljä, kuusi ja seitsemän ottavat kantaa kiertymään, voimaan ja kuormaan. Kohdassa viisi katsotaan pistearvo taulukosta A kohdista 1–4 saadun pistemäärän mukaan. Niskan astekulmaa arvioidaan kohdassa yhdeksän. Kohta kymmenen arvioi ylävartalon kallistuskulmaa. Kohta yksitoista arvioi jalkojen asentoa ja käyttöä. RULA-arviointipohjassa on kehon asentojen arvioinnin lisäksi kohdat kolmetoista ja neljätoista, joilla arvioidaan voiman ja kuorman määrää. Kohdassa 15 lasketaan lopullinen pistemäärä tarkasteltavalle työasennolle.

**ERGONOMICS PLUS**      **RULA Employee Assessment Worksheet**      Task Name: \_\_\_\_\_      Date: \_\_\_\_\_

---

### A. Arm and Wrist Analysis

**Step 1: Locate Upper Arm Position:**

Step 1a: Adjust...  
If shoulder is raised: +1  
If upper arm is abducted: +1  
If arm is supported or person is leaning: -1

**Step 2: Locate Lower Arm Position:**

Step 2a: Adjust...  
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

**Step 3: Locate Wrist Position:**

Step 3a: Adjust...  
If wrist is bent from midline: Add +1  
If wrist is twisted in mid-range: +1  
If wrist is at or near end of range: +2

**Step 4: Wrist Twist:**  
If posture is mainly static (i.e. held >10 minutes): +1  
If action repeated occurs 4X per minute: +2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A:**  
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

**Step 6: Add Muscle Use Score**  
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

**Step 7: Add Force/Load Score**  
If load < .4.4 lbs. (intermittent): +0  
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1  
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2  
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

**Step 8: Find Row in Table C**  
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

**Scores**

| Table A   |             | Wrist Score |   |   |   |   |
|-----------|-------------|-------------|---|---|---|---|
|           |             | 1           | 2 | 3 | 4 |   |
| Upper Arm | Lower Arm   | 1           | 2 | 3 | 4 |   |
|           | Wrist Twist | 1           | 2 | 3 | 4 |   |
| 1         | 1           | 2           | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2         | 2           | 2           | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 3         | 2           | 3           | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 4         | 1           | 2           | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 5         | 2           | 3           | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 6         | 3           | 3           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 7         | 1           | 3           | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 8         | 2           | 3           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 9         | 3           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 10        | 1           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 11        | 2           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 12        | 3           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 13        | 1           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 14        | 2           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 15        | 3           | 4           | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 16        | 1           | 5           | 5 | 5 | 5 | 6 |
| 17        | 2           | 5           | 6 | 6 | 6 | 7 |
| 18        | 3           | 6           | 6 | 6 | 6 | 7 |
| 19        | 1           | 7           | 7 | 7 | 7 | 8 |
| 20        | 2           | 8           | 8 | 8 | 8 | 9 |
| 21        | 3           | 9           | 9 | 9 | 9 | 9 |

**Table C**

| Wrist / Arm Score | Neck, Trunk, Leg Score |   |   |   |   |     |
|-------------------|------------------------|---|---|---|---|-----|
|                   | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6-7 |
| 1                 | 1                      | 2 | 3 | 3 | 4 | 5   |
| 2                 | 2                      | 2 | 3 | 4 | 4 | 5   |
| 3                 | 3                      | 3 | 3 | 4 | 4 | 5   |
| 4                 | 3                      | 3 | 3 | 4 | 5 | 6   |
| 5                 | 4                      | 4 | 4 | 5 | 6 | 7   |
| 6                 | 4                      | 4 | 5 | 6 | 6 | 7   |
| 7                 | 5                      | 5 | 6 | 6 | 7 | 7   |
| 8                 | 5                      | 5 | 6 | 7 | 7 | 7   |

**Scoring: (final score from Table C)**  
 1-2 = acceptable posture  
 3-4 = further investigation, change may be needed  
 5-6 = further investigation, change soon  
 7 = investigate and implement change

### B. Neck, Trunk and Leg Analysis

**Step 9: Locate Neck Position:**

Step 9a: Adjust...  
If neck is twisted: +1  
If neck is side bending: +1

**Step 10: Locate Trunk Position:**

Step 10a: Adjust...  
If trunk is twisted: +1  
If trunk is side bending: +1

**Step 11: Legs:**  
If legs and feet are supported: +1  
If not: +2

**Table B: Trunk Posture Score**

| Neck Posture Score | Legs |   |   |   |   |   |
|--------------------|------|---|---|---|---|---|
|                    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1                  | 1    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2                  | 2    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3                  | 3    | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| 4                  | 4    | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| 5                  | 7    | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 6                  | 8    | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B:**  
Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

**Step 13: Add Muscle Use Score**  
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

**Step 14: Add Force/Load Score**  
If load < .4.4 lbs. (intermittent): +0  
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1  
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2  
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

**Step 15: Find Column in Table C**  
Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

Upper Arm Score      Lower Arm Score      Wrist Twist Score      Posture Score A      Muscle Use Score      Force / Load Score      Wrist & Arm Score      RULA Score

Original Worksheet Developed by Dr. Alan Hedge. Based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

Kuva 6. RULA -arviointimenetelmä.<sup>26</sup>

### 3.4 BORG CR10 -menetelmä

BORG CR10 -menetelmän kehitti Gunnar Borg 1960-luvulla. Hän kehitti asteikkoja, jotka mittaavat liikunnan intensiteettiä. BORG CR10 -asteikkoa käytetään koetun hengästymisen ja rasituksen mittaamiseen. Koettu rasitus on sitä, kuinka kovasti ihminen kokee kehonsa työskentelevän. BORG CR10:n lisäksi on olemassa Borg RPE 6-20 -menetelmä, joka hyödyntää henkilön sykkeen mittaamista. Ero BORG CR10 -menetelmään verrattuna on asteikon pisteytyksessä. Asteikko on muutettu

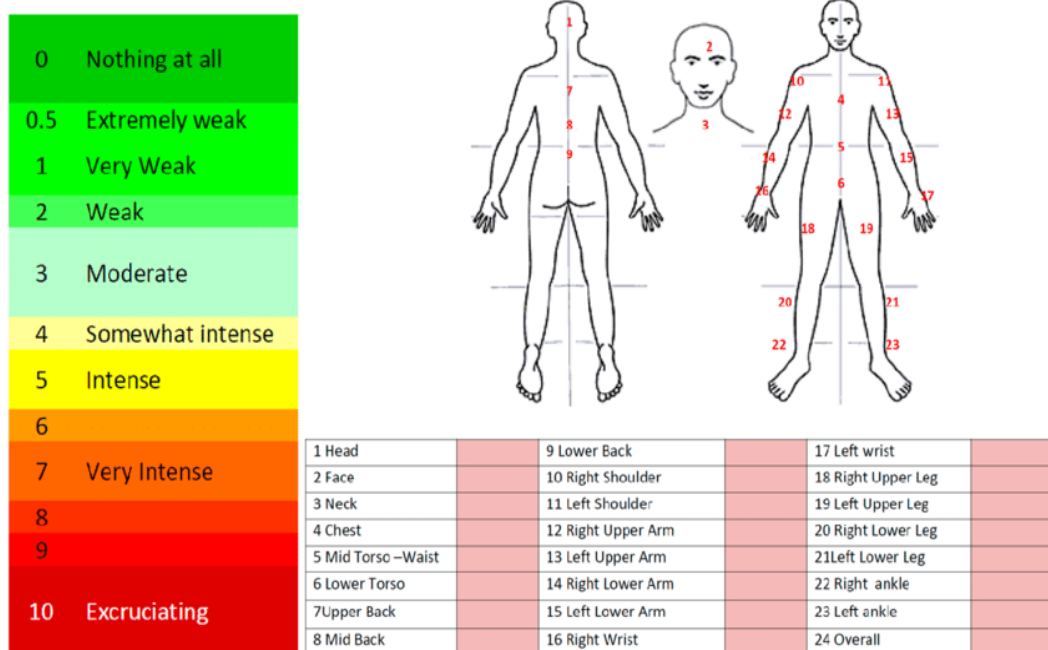
<sup>26</sup> Ergo-plus

vastaamaan sykealueita 60–200. Rasituksen pisteytys saadaan selville, kun mitattu syke jaetaan kymmenellä.<sup>27</sup>

BORG CR10 -menetelmä ottaa huomioon 23 kehonkohtaa kuten kuvasta 7 voidaan nähdä. Työsuoritus videoidaan ja videosta valitaan tutkittavat työasennot, joita voivat olla esimerkiksi ääriasennot tai usein toistuvat haastavat liikkeet. Käytettävässä arviointiasteikossa pisteytys on nollan ja kymmenen pisteen välillä, ja jokainen piste kuvaa miten fyysisesti haastavana henkilö on kokenut valitun liikkeen.

---

<sup>27</sup> BorgCR10



**Kuva 7.** BORG CR10 -arviointimenetelmä.<sup>28</sup>

Pisteytetyistä kohdista muodostuu kokonaispistemäärä. Kokonaispistemäärää arvioidaan arviointiasteikolla, jossa pisteytys on 0–10. Arviointiasteikko sisältää neljä eri toimenpidetasoa:

- Taso 1. Pistet 0–2 = Hyväksyttävä
- Taso 2. Pistet 3–4 = Tarkkailu
- Taso 3. Pistet 5 = Tarkkailu ja muutos
- Taso 4. Pistet 6–10 = Muutoksia tarvitaan.<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Cimteam

<sup>29</sup> BorgCR10

## 4 TUOTANTOLINJAT

### 4.1 Työntutkimus Danfossissa

Työntutkimusta Danfossin Vaasan tehtaalla on tehty nyky menetelmällä vuodesta 2013 saakka. Ennen vuotta 2013 tehdyt työntutkimukset on ostettu ulkoiselta toimijalta. Vuonna 2013 otettiin käyttöön videointi tutkimusmenetelmänä ja tutkimusohjelmistoksi valittiin AVIX. Samalla alkoi ensimmäisten talon sisäisten työntutkijoiden koulutus. Koulutuksen jälkeen aloitettiin tuotantolinjojen työntutkimukset ja apuaikojen määrittäminen jokaiselle tuotantolinjalle.

Työntutkimusten valmistuttua 2013, jokaiselle tuotantolinjalle luotiin käytäntö vuosikierrosta, mikä tarkoittaa työntutkimuksen tekemistä jokaiselle tuotantolinjalle kahden vuoden välein. Työntutkimus tehdään kuitenkin aikataulusta poiketen aina silloin, kun esimerkiksi layout muuttuu tai teko tavassa tapahtuu muutoksia. Vuonna 2013 tehdyissä työntutkimuksissa selvitettiin vaiheajat, pullonkaulat, tuotantolinjan tasapaino ja osakohtaiset ajat.

Vuonna 2013 suurimmalle osalle tuotantolinjoista arvioitiin elpymisajaksi kuormitusluokka 3A, joka tarkoittaa pääasiassa seisten tehtävää kevyttä työtä. Jokaisen tuotantolinjan elpymisaika määriteltiin liitteissä 1 ja 2 mainittujen kuvausten perusteella. Kuvaukset ovat kohtalaisen suppeita, mutta ergonomiamenetelmiä käyttämällä oli tarkoitus helpottaa määritysten tekemistä. Lisäksi ergonomiamenetelmien käyttämisellä haluttiin yhtenäistää arviointeja siten, että jokainen arviointikerta on mahdollisimman samanlainen.

## 4.2 Tutkimusmenetelmät


Opinnäytetyössä oli kaksi tutkittavaa tuotantolinjaa A ja B. Tuotantolinja A on suuritehoisten taajuusmuuttajien kokoonpanolinja ja B pienitehoisten. Näitä käsitellään jatkossa nimillä A ja B. Molempien linjojen kaikki työvaiheet videoitiin ja käytiin läpi ergonomiatyökaluilla. Analysoinneissa käytettiin apuna myös kokoonpanijoiden omia arvioita työn raskaudesta. Käsiteltävien osien painot selvitettiin ja luokiteltiin kolmeen kategoriaan:

- 1 = alle 0,5 kg
- 2 = 0,5–10 kg
- 3 = yli 10 kg.

Ympäristötekijät huomioitiin valon, lämmön ja melun suhteen. Säädettävät työpisteet sekä muut suunnitellut apuvälineet kuten jiggit ja nostimet olivat kokoonpanijoilla käytössä. Ergonomian asiantuntijoina olivat työterveyshoitaja ja työsuojeluvaltuutettu. Heidän kanssa käytiin läpi arviointikriteerit sekä arviointityökalujen käyttö ja tulkinta. RULA-menetelmän käyttöohjeissa oli ohjeena, että on yksi tutkittava kohde työpisteessä. Tämän katsottiin työterveyshoitajan ja työsuojeluvaltuutetun kanssa olevan liian vähän pitkien työvaiheiden takia, joten käyttöön otettiin kaksi valittua kohdetta työpistettä kohden.

Kaikkien työpisteiden työvaiheet videoitiin. Näiden videoiden kuvausten aikana tarkkailtiin työasentoja ja keskusteltiin kokoonpanijan kanssa, miten hän kokee työvaiheiden rasittavuuden ja ergonomian. Kuvattu videomateriaali käytiin läpi, ja sieltä valittiin yleisimmät ja epäergonomisimmat työasennot tutkittaviksi. Kuvassa 8 ja 9 on esitetty esimerkkinä tuotantolinja A:n työpiste numero 6:n arvioinnin tulokset RULA- ja BORG CR10 -menetelmillä. Tuotantolinjoilla oli raskaille osille (yli 10 kg) käytössä kevennin. Kohdelinjoilla käytettiin työnkiertoa työpisteiden välillä.

BORG CR10 -arviointipohjassa kuvassa 8 näkyy tuotantolinjan A työpisteen numero 6:n tulokset. Vasemmalla puolella on viisi tarkasteltavaksi valittua työasentoa ja kehon kohdat, joihin kyseinen työasento on vaikuttanut. Jokainen asento on pisteytetty sen mukaan, paljonko rasiusta on koettu. Korkeimpien pisteiden saaneiden kohtien määrä lasketaan yhteen. Kohdat kolme ja viisi saivat arvion kolme, joten pisteiksi määräytyy kaksi ja toimenpideluokaksi keltainen. Oikealla puolella on kuvattuna ihmiskeho ja siihen vaikuttaneet arviot kaikista viidestä työasennosta. Kuva ihmiskehosta havainnollistaa kehoon kohdistuvan kuormituksen visuaalisesti ja siitä voidaan havaita esimerkiksi kuormituksen toispuolisuus tai muu epätasaisuus.

| Workstation Ergo Report |      |             |           |                    |          | AVIX  |
|-------------------------|------|-------------|-----------|--------------------|----------|---|
| <b>Line:</b>            |      | AR10        |           | <b>Total Time:</b> |          | 31.01 min   |
| <b>Variant:</b>         |      | -           |           | <b>Takt:</b>       |          | 1.00 min  |
| <b>Workstation:</b>     |      | Assy12 ERGO |           | <b>Version:</b>    |          |   |
| <b>Resource:</b>        |      | -           |           | <b>Issued by:</b>  |          |   |
| Situation               | Task | Duration    | Frequency | Body part          | Strain   | Body map with strained areas<br> |
| IT                      |      | 1,77 min    | 10 / day  | Right elbow        | 2        |   |
|                         |      |             |           | Right hand         | 2        |   |
|                         |      |             |           | Neck               | 1        |   |
| Ruuvaus                 |      | 1,99 min    | 10 / day  | Left elbow         | 2        |   |
|                         |      |             |           | Left hand          | 1        |   |
|                         |      |             |           | Left shoulder      | 1        |   |
|                         |      |             |           | Right hand         | 1        |   |
| Ruuvaus sivusta         |      | 3,36 min    | 10 / day  | Back               | 2        |   |
|                         |      |             |           | Neck               | 3        |   |
|                         |      |             |           | Left elbow         | 1        |   |
|                         |      |             |           | Right elbow        | 1        |   |
|                         |      |             |           | Left shoulder      | 1        |   |
|                         |      |             |           | Right shoulder     | 1        |   |
|                         |      |             |           | Left hand          | 1        |   |
|                         |      |             |           | Right hand         | 1        |   |
| konkkapatteri           |      | 6,30 min    | 10 / day  | Right shoulder     | 2        |   |
|                         |      |             |           | Right elbow        | 1        |   |
|                         |      |             |           | Right hand         | 2        |   |
|                         |      |             |           | Left hand          | 1        |   |
|                         |      |             |           | Left elbow         | 1        |   |
|                         |      |             |           | Left shoulder      | 1        |   |
| Ruuvaus ylhäältä        |      | 2,08 min    | 10 / day  | Right shoulder     | 3        |   |
|                         |      |             |           | Right elbow        | 2        |   |
|                         |      |             |           | Right hand         | 2        |   |
|                         |      |             |           | Neck               | 1        |   |
|                         |      |             |           |                    | 2 points |   |

Kuva 8. BORG CR10 -arviointimenetelmä.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Cimteam

RULA-arviointipohjasta oli käytössä valmis taulukko, johon tarvitsi lisätä vain pisteytetty työasento. Pisteytys tehtiin kuvan 6 kriteereillä, missä arvioitiin ylävartalon kallistuskulmia ja voimankäyttöä. Arviointipohja laski täyttämisen jälkeen väli-vaiheet automaattisesti, ja arvioidun asennon lopullinen pistemäärä tulee riville final score. Kuvassa 9 näkyy arviointinäkymä.

| Arm & Wrist Analysis                          |   | Neck, Trunk & Leg Analysis                 |   |
|---|---|--|---|
| <b>Step 1: Locate Upper Arm Position:</b><br> | <b>Upper Arm</b><br><b>2</b><br><b>Upper Arm Adjustment</b><br><b>1</b> | <b>Step 9: Locate Neck Position:</b><br>   | <b>Neck</b><br><b>3</b><br><b>Neck Adjustment</b><br><b>0</b>   |
| <b>Step 2: Locate Lower Arm Position:</b><br> | <b>Lower Arm</b><br><b>2</b><br><b>Lower Arm Adjustment</b><br><b>0</b> | <b>Step 10: Locate Trunk Position:</b><br> | <b>Trunk</b><br><b>3</b><br><b>Trunk Adjustment</b><br><b>1</b> |
| <b>Step 3: Locate Wrist Position:</b><br>     | <b>Wrist</b><br><b>2</b><br><b>Wrist Adjustment</b><br><b>0</b>         | <b>Wrist Twist</b><br><b>1</b>             | <b>Legs</b><br><b>1</b>   |
| <b>Arm Muscle Use</b><br><b>0</b>             | <b>Force Load Score A</b><br><b>0</b>                                   | <b>Upper Body Muscle Use</b><br><b>0</b>   | <b>Force Load Score B</b><br><b>0</b>                           |
| <b>Final Score</b>                            |   | <b>5</b>                                   | 5   |

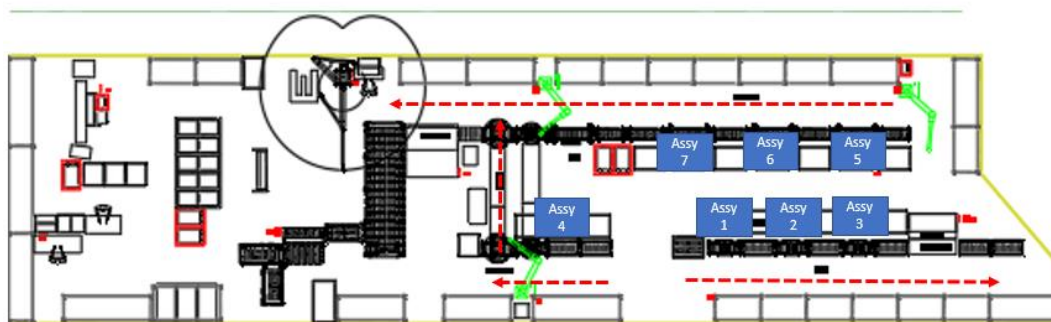
Kuva 9. RULA -arviointimenetelmä.<sup>31</sup>

### 4.3 Tuotantolinja A

Tuotantolinja A on suuritehoisten taajuusmuuttajien kokoonpanolinja. A on useista peräkkäisistä kokoonpanopisteistä ja rullaradoista koostuva linja. Kokoonpanopisteissä käytettävät osat on sijoitettu työpisteen edessä olevaan hyllykköön

<sup>31</sup> RULA 1993

sekä takana olevaan kuormalavahyllyyn. Tuote etenee rullaradalla työpisteeltä toiselle ja työpisteiden välissä on puskuri yhdelle tuotteelle. Työpisteet ovat korkeussäädettäviä ja työpöytä on käännettävissä ympäri, joten tuotteen yli ei tarvitse kurkottautua. Valmis tuote on painoltaan 200–400 kg ja korkeudeltaan yli metrin. Yhden työvaiheen kesto vaihtelee 15 ja 45 minuutin välillä. Tuotantolinja A:n layout on esitetty kuvassa 10. Kuvaan on merkitty tuotteiden virtaus punaisilla nuolilla ja tutkitut työpisteet sinisillä laatikoilla.



**Kuva 10.** Tuotantolinja A:n layout.

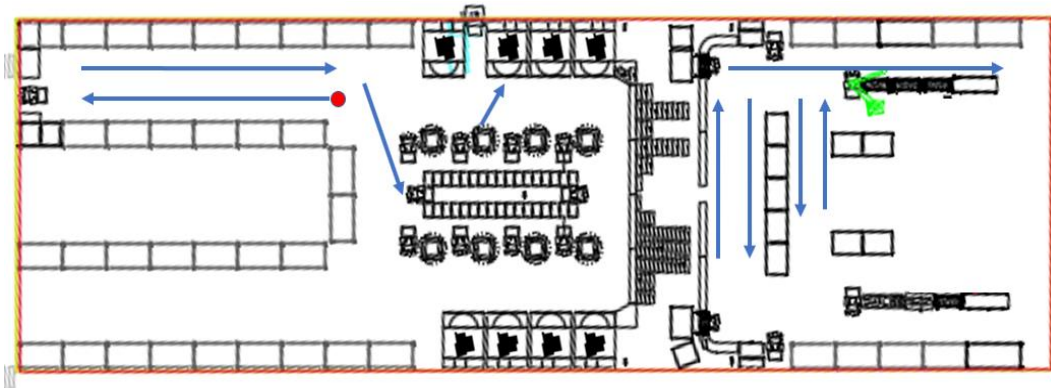
Tutkittavia työpisteitä oli yhdeksän, ja jokainen niistä käytiin työtehtävien osalta läpi ja videoitiin. Videoiden perusteella valittiin ergonomisesti epäedulliset liikkeet ja asennot, ja katsottiin niiden toistuvuus ja kesto. Jokaiselta työpisteeltä valittiin kaksi liikettä RULA-arviointiin. Mukaan otettiin työasennot, joita oli työvaiheen keston nähden paljon tai jotka olivat epäergonomisia. BORG CR10 -arviointia varten jokaiselta työpisteeltä valittiin 4–7 eri työasentoa tutkittavaksi. Esimerkkejä tuotantolinja A:n valituista työasunnoista on esitetty kuvassa 11. Kuvissa näkyvät asentoja, joita on valittu tutkittaviksi. Mukana on kuormalavan vetämistä, erilaisia nostoja ja ruuvauksia niin sivusta kuin ylhäältäkin.



**Kuva 11.** Tuotantolinja A:n valittuja työasentoja.

#### 4.4 Tuotantolinja B

Tuotantolinja B on pienitehoisten taajuusmuuttajien kokoonpanolinja, joka poikkeaa tuotannon muista linjoista. Tuote tehdään liikuteltavalla työpöydällä. Liikuteltavaa työpöytää, eli kärryä, työnnetään läpi linjan keräillen osia ja kokoonpanemalla laitetta samalla. Tuote virtaa kolmen kokoonpanopisteen läpi, ja näiden välissä on suuret puskurit seuraavaan vaiheeseen pääsyä odottaville tuotteille. Työpisteet ovat korkeussäädettäviä ja työtaso on pyöriteltävä. Valmis tuote painaa 20–40 kg ja on korkeudeltaan 40–60 cm. Yhden työvaiheen kesto vaihtelee 5 ja 45 minuutin välillä. Tuotantolinjan B layout on esitetty Kuvassa 12. Tuotteen kulku on kuvattu sinisillä nuolilla.



**Kuva 12.** Tuotantolinja B:n layout.

Tutkittavia työpisteitä oli kuusi. Tutkittavien työpisteiden työtehtävät käytiin läpi ja videoitiin. Ideoiden ja ehdotusten perusteella valittiin ergonomisesti epäedulliset liikkeet ja asennot, sekä katsottiin niiden toistuvuus. RULA-menetelmään otettiin työpisteiltä 1–2 arvioitavaa kohdetta ja BORG CR10 -menetelmään 1–7 kohdetta. Kohteiksi valikoitui vääntimen käyttöä, osien ottamista hyllystä, kokoonpanokärryn työntäminen ja tuotteen liikuttelua rullaradalla. Valitut työasennot toistuvat työvuorossa kymmeniä kertoja. Esimerkkejä valituista työasennoista on esitetty kuvassa 13.



**Kuva 13.** Tuotantolinja B:n valittuja työasentoja.

## 5 TULOKSET

Tuotantolinjan A kokoonpanossa suurin määrä pisteitä kertyy asennosta, jossa henkilö ruuvaa hieman kumarassa sivulle tulevia osia. Korkeussäädettävästä työpisteestä huolimatta kokoonpanijat joutuvat monesti hiukan kumartumaan. Toisaalta liike on paljon maltillisempi kuin se olisi ilman korkeussäätöä. Toiseksi suurin pistemäärä tulee osien ottamisesta joko ylhäältä tai alhaalta. Tätä on optimoitu siten, että yleisimmin tarvittavat ruuvit ja osat olisivat kokoonpanijaan nähden ihannekorkeudella.

Tuloksia tarkastellessa huomataan RULA:n ja BORG CR10:n keskittyvän hieman eri asioihin. RULA keskittyy puhtaasti ergonomiaan, kun BORG CR10 puolestaan arvioi fyysistä ponnistusta. Päätelmissä tulee esille, miten rasittavuus henkilökohtaisesti koetaan. Kokemukseen vaikuttavat merkittävästi esimerkiksi kohdehenkilön ikä ja fyysinen kunto. BORG CR10:n heikkous on se, että arvio rasittavuudesta perustuu kokoonpanijan ja tutkijan päätelmään rasituksesta.

RULA:n pisteistä taulukosta 1 ilmenee, että puolet pisteistä on tasolla tarkkailu / muutos. Valitut työasennot näyttävätkin olevan kohteen vaativimpia. BORG CR10 -menetelmällä saman tuotantolinjan taulukosta 2 ilmenee, että pisteet eivät ole yhtä korkeita ja toimenpidetaso on tarkkailu. BORG CR10-menetelmällä arvioitu työasento on voinut olla hetkellisesti haastava, mutta kokoonpanija ei ole kokenut sitä kovinkaan suureksi fyysiseksi ponnistukseksi, ja tällöin pistemäärät jäävät RULA:n menetelmään verrattuna matalammalle, kuten taulukosta 1 ja taulukosta 2 voidaan todeta.

**Taulukko 1.** Tuotantolinja A, RULA.

| Linja A | Työpiste 1 | Työpiste 2 | Työpiste 3 | Työpiste 4 | Työpiste 5 | Työpiste 6 | Työpiste 7 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| RULA 1  | 4          | 6          | 5          | 4          | 5          | 4          | 5          |
| RULA 2  | 4          | 5          | 4          | 3          | 5          | 4          | 5          |

|     |                     |
|-----|---------------------|
| 1-2 | Ok                  |
| 3-4 | Tarkkailu           |
| 5-6 | Tarkkailu / Muutos  |
| 7-  | Muutoksia tarvitaan |

**Taulukko 2.** Tuotantolinja A, BORG CR10.

| Linja A           | Työpiste 1 | Työpiste 2 | Työpiste 3 | Työpiste 4 | Työpiste 5 | Työpiste 6 | Työpiste 7 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BORG CR10 1       | 3          | 4          | 3          | 3          | 4          | 4          | 3          |
| BORG CR10 2       | 3          | 3          | 3          | 3          | 3          | 3          | 3          |
| BORG CR10 3       | 2          | 3          | 2          | 2          | 3          | 3          | 2          |
| BORG CR10 4       | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 3          |            |
| BORG CR10 5       |            | 2          | 2          |            | 2          | 3          |            |
| BORG CR10 6       |            | 2          |            |            |            | 2          |            |
| BORG CR10 7       |            |            |            |            |            | 2          |            |
| BORG CR10 Pisteet | 3          | 5          | 2          | 5          | 4          | 11         | 9          |

|      |                     |
|------|---------------------|
| 0-2  | Ok                  |
| 3-4  | Tarkkailu           |
| 5    | Tarkkailu / Muutos  |
| 5-10 | Muutoksia tarvitaan |

Tuotantolinjan B kokoonpanossa pisteitä kertyy asennoista, joissa henkilö ottaa osia hyllystä tai kuormalavalta. Pisteitä kertyy myös ruuvaustyöstä, joka tapahtuu pääasiassa ylhäältä alaspäin. Tuotantolinja B:n pisteet on RULA- ja BORG CR10 -menetelmillä tutkittuna alemmat kuin tuotantolinjan A vastaavat. Tuotantolinja B:n pisteissä näkyy, kuinka pienet osat helpottavat kokoonpanoa ja kuinka ras- kaaksi se koetaan.

Tuloksissa näkyy BORG CR10 -menetelmän soveltuvan tuotantolinja B tutkimiseen huonommin kuin RULA-menetelmän. BORG CR10 -menetelmä keskittyy fyysisen ponnistuksen arviointiin, ja siksi se soveltuu huonosti kevyeen kokoonpanotyöhön. RULA-menetelmällä suurin osa tuotantolinja B:n tutkittavana olleista työ- asennoista sai arvioksi tarkkailutason, kuten taulukosta 3 ilmenee. BORG CR10 -

menetelmän arviot jakautuivat tasaisesti hyvän ja tarkkailun välillä, eikä suurta hajontaa näkynyt, kuten taulukosta 4 ilmenee.

**Taulukko 3.** Tuotantolinja B, RULA.

| Linja B | Työpiste 1 | Työpiste 2 | Työpiste 3 | Työpiste 4 | Työpiste 5 | Työpiste 6 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| RULA 1  | 5          | 4          | 4          | 6          | 3          | 3          |
| RULA 2  | 3          | 2          |            | 4          | 2          |            |

|      |                     |
|------|---------------------|
| 1-2. | Ok                  |
| 3-4. | Tarkkailu           |
| 5-6. | Tarkkailu/ Muutos   |
| 7-.  | Muutoksia tarvitaan |

**Taulukko 4.** Tuotantolinja B, BORG CR10.

| Linja B           | Työpiste 1 | Työpiste 2 | Työpiste 3 | Työpiste 4 | Työpiste 5 | Työpiste 6 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BORG CR10 1       | 3          | 3          | 2          | 4          | 3          | 2          |
| BORG CR10 2       | 2          | 2          |            | 3          | 3          |            |
| BORG CR10 3       | 2          | 2          |            | 3          | 3          |            |
| BORG CR10 4       |            | 2          |            | 3          | 2          |            |
| BORG CR10 5       |            |            |            | 2          | 2          |            |
| BORG CR10 6       |            |            |            |            | 2          |            |
| BORG CR10 Pisteet | 2          | 2          | Ok         | 5          | 4          | Ok         |

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 0-2.  | Ok                  |
| 3-4.  | Tarkkailu           |
| 5.    | Tarkkailu/ Muutos   |
| 5-10. | Muutoksia tarvitaan |

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Soveltuvuus työntutkimuksen tarpeisiin RULA- ja BORG CR10 -menetelmillä ei ole täydellinen, mutta RULA-menetelmän vahvuuksiin voidaan lukea selkeät arviointikriteerit ja soveltuvuus kevyeen kokoonpanotyöhön. Valitut kohteet olivat jokaisen työpisteen haastavimmat ergonomialtaan, minkä vuoksi työvaihe voi näyttää paljon haastavammalta kuin se on todellisuudessa. RULA-menetelmä ei ota kantaa työvaiheen kestoon, jolloin valittu työasento voi olla yksi toisto koko työvaiheen aikana tai huomattavan usein toistuva, mikä ei välttämättä selviä tutkimuksesta. Arviointilomakkeen käyttö on selkeiden kriteereiden ansiosta nopeaa ja helppoa. RULA:a käytettäessä on kirjattava tutkimuksen jälkeen selkeästi tiedot siitä mitä on tutkittu ja miten, koska jälkikäteen näihin palaaminen voi olla haastavaa.

BORG CR10 -menetelmän soveltuvuus Danfossin tarpeisiin ei täyty joka osa-alueella toivotulla tavalla. Vaikka tämä on AVIX-työntutkimusohjelmiston lisäosa, soveltuvuus kevyeen kokoonpanotyöhön on huono. BORG CR10 -menetelmä perustuu todella raskaaseen fyysiseen suoritukseen, jota voidaan seurata esimerkiksi korkean sykkeen avulla. Arviointikriteerit eivät tällä menetelmällä kuitenkaan toimi toivotusti kevyessä työssä, jossa ei tule suoritteita lähelle maksimivoimaa. BORG CR10:n etuna on helppo saman videoidun materiaalin käyttäminen kuin työntutkimuksissa, sekä mahdollisuus palata siihen mitä on tehty ja miten. Borg CR10 -menetelmän etuihin kuuluu myös toistojen määrien ja keston tietäminen työvuoron aikana.

Molemmat menetelmät sopivat osaltaan työntutkimuksen apuvälineeksi, eikä kumpikaan sulje toista pois. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ihannetilanteessa käytettäisiin molempia, jolloin saataisiin selville työasennot sekä rasittavuus. BORG CR10 -menetelmän etu on jo olemassa olevan työntutkimusmateriaalin käyttäminen samassa ohjelmistossa. RULA-menetelmän etu Danfossin kannalta

on löytää yksittäisetkin haastavat työasennot ja pisteyttää ne aina samoilla kriteereillä.

Elpymisajan määrittämisen apuvälineeksi molemmilla menetelmillä olisi mahdollista luoda matriisi, joka kuvaisi kuinka nopeasti työpisteen liikkeet ja asennot alkaisivat menemään pisteytyksissä hyväksyttävälle tasolle. Mitä enemmän tuotantolinjoja ja vertailutuloksia saisi tutkittua samoilla menetelmillä, sitä helpommin jatkossa näkisi, jos jokin tuotantolinja poikkeaa muista rasittavuuden ja ergonomiansa puolesta.

Tulevina vuosina on tulossa useita uusia tuotantolinjoja ja olemassa olevia muutetaan, joten jatkossa RULA-menetelmän käytöstä tulisi olemaan hyötyä niin työntutkimuksen, työsuojelun kuin työterveyden osalta. Mitä useampi arviointikierros tehdään, sitä helpompi kehityskohteita on tuotannosta jatkossa valita. Ensimmäisen arvioinnin voisi tehdä nykyisille tuotantolinjoille RULA-menetelmän avulla jo nyt, jotta layout-muutosten yhteydessä voitaisiin verrata uuden ja vanhan layoutin vaikutusta ergonomiaan. Tekemällä uusi RULA-arviointi heti layout-muutoksen jälkeisissä koekokoonpanoissa mahdolliset ergonomiapuutteet voitaisiin havaita jo varhaisessa vaiheessa.

## LÄHTEET

BORG CR10. Razberem. Viitattu 2.10.2022 <https://razberem.com/fi/kuinka-k%C3%A4ytt%C3%A4%C3%A4-koettua-rasitusasteikkoa-parempaan-harjoitte-luun/>

Cimteam. Avix. Viitattu 18.9.2022 <https://www.cimteam.fi/site/avix/>

Danfoss. 2022 a. Mads Clausen. Viitattu 19.4.2023. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/company/history/>

Danfoss. 2022 b. business. Viitattu 18.9.2022 <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/about-danfoss-drives/>

Ergonomia. Launis, M. 2011. Ergonomia. Tampere. Tammerprint Oy

Ergonomiayhdistys. Ergonomia. Viitattu 30.10.2022 <https://www.ergonomiayhdistys.fi/ergonomia/mita-ergonomia-on/>

Ergo-plus. Viitattu 25.5.2023 <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA-A-Step-by-Step-Guide1.pdf>

RULA. Corlett,N., McAtamney,L. 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics 24(2), 91-99. Institute for Occupational Ergonomics, University of Nottingham. [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM211/Exercicios%20%20Ergonomia%202014/RULA\\_original%201993.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM211/Exercicios%20%20Ergonomia%202014/RULA_original%201993.pdf)

Työtehoseura. Tuottavuuden kehittäminen. Viitattu 18.9.2022 [https://www.tts.fi/yrityksille/tuottavuuden\\_kehittaminen/osallistava\\_tyontutkimus](https://www.tts.fi/yrityksille/tuottavuuden_kehittaminen/osallistava_tyontutkimus)

Työturvallisuuskeskus. Fyysinen kuormitus. Viitattu 2.10.2022 <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/tyohyvinvointi/fyysinen-kuormitus/#51517da0>

## LIITTEET

### LIITE 1.

Määritelmä A tarkoittaa fyysistä kuormitusta.

Määritelmä B tarkoittaa henkistä kuormitusta.

Taulukko I

| Kuormitusluokka | Vaihtoehtoinen määritelmä  | Elpymisaika min/8 h |
|-----------------|--|---------------------|
| 1A              | Työssä ei esiinny fyysistä ponnistusta   | 25                  |
| 2A              | Kevyt työ: käsiteltävät esineet ovat keveitä tai liikevastus pieni. Työtä tehdään istuen tai vaihtelevasti istuen ja seisten   | 35                  |
| 2B              | Työ vaatii normaalia tarkkaavaisuutta, valppautta ja keskittymistä   |                     |
| 3A              | Pääasiassa seisten tehtävä kevyt työ.<br><br>Työ, jossa ajoittain mutta pitkäköin väliajoin joudutaan käsittelemään keskiraskaita esineitä. Työ on muuten kevyttä ja sitä tehdään yleensä istuen.<br><br>Kevyt työ, jossa joudutaan kävelemään yli puolet työajasta. | 45                  |
| 3B              | Työ vaatii tavanomaista suurempaa tarkkaavaisuutta ja keskittymistä.<br><br>Yksitoikkoinen työ, jossa samankaltaiset lyhyehköt työvaiheet toistuvat koko työpäivän ajan.   |                     |
| 4A              | Työssä esiintyy lyhyin väliajoin keskiraskaita ponnistuksia, muu osa työstä seisten tehtävää kevyttä työtä.<br><br>Työ sisältää jatkuvaa liikkeessä oloa, ajoittain portaissa nousua ja keskiraskaiden taakkojen kantamista.   | 55                  |
| 4B              | Työ vaatii tarkkaavaisuutta ja jatkuvaa valmiutta rajoitettuun toimintaan.<br><br>Työ koostuu samanlaisina toistuvista lyhyistä työvaiheista koko päivän ajan ja sidonnaisuusaste on korkea.   |                     |

## LIITE 2.

Määritelmä A tarkoittaa fyysistä kuormitusta.  
Määritelmä B tarkoittaa henkistä kuormitusta.

| Kuormitus-<br>luokka | Vaihtoehtoinen määritelmä   | Elpymis-<br>aika min/8 h |
|----------------------|---|--------------------------|
| 5A                   | Keskiraskas työ, käsiteltävät esineet tai liikevastus keskiraskasta tai työajasta korkeintaan 25 % raskasta nostamista, työntämistä tai vetämistä.<br><br>Työ tehdään koko ajan seisten ja liikuteltavat esineet ovat keskiraskaita, työasennon ollessa korkeintaan 25 % työajasta kuormittava. | 70                       |
| 5B                   | Työ vaatii melko kuormittavaa tarkkaavaisuutta ja keskittymistä.<br><br>Työ vaatii alituista valmiutta nopeaan toimintaan tarkkailun kohteena olevalla alueella.<br><br>Työ koostuu samanlaisina toistuvista lyhyitä työvaiheista ja on täysin sidottua.  |                          |
| 6A                   | Raskas ruumiillinen työ: työajasta korkeintaan 50 % raskasta nostamista, kantamista, työntämistä tai vetämistä.<br><br>Korkeintaan 50 % työajasta on suoritettava kuormittavassa työasennossa ja liikutellen keskiraskaita esineitä.  | 85                       |
| 6B                   | Työ edellyttää jatkuvaa herpaantumaton tarkkaavaisuutta ja keskittymistä.   |                          |
| 7A                   | Hyvin raskas työ: työajasta yli 50 % raskasta nostamista, kantamista, työntämistä tai vetämistä.<br><br>Raskasta työtä poikkeuksellisen epämukavissa asennoissa.  | 100                      |
| 7B                   | Työ vaatii kuormittavaa keskitettyä tarkkaavaisuutta siinä määrin, että sitä voidaan suorittaa yhtäjaksoisesti vain lyhyehkön ajan työn tuloksen kärsimättä.  |                          |