



# Iskupalkkimurskaimen huollettavuuden kehittäminen

Antti Lapp

OPINNÄYTETYÖ  
Elokuu 2023

Insinööri (ylempi AMK)  
Automaatioteknologian koulutus

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Insinööri (ylempi AMK)  
Automaatioteknologian koulutus

LAPP ANTTI:

Iskupalkkimurskaimen huollettavuuden kehittäminen

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Elokuu 2023

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Metso Minerals Oy:n vuonna 2013 lanseerattujen tela-alustaisten Lokotrack LT1213 ja Lokotrack LT1213S murskauslaitosten iskupalkkimurskaimen huollettavuutta ja huoltotoimenpiteiden turvallisuutta. Murskauslaitosten esisuunnitteluvaiheessa arvioitiin, ettei murskaimen huoltotoimenpiteitä varten tarvita erillisiä työskentelytasoja. Huoltotoimenpiteet ajateltiin tehtävän telojen päällä seisten, ja tarvittaessa asiakkaan omilta siirettäviltä työskentelytasoilta. Edellä mainitut ratkaisut eivät kuitenkaan osoittautuneet riittäviksi viimeisimpien konedirektiivissä ja koneturvallisuusstandardeissa määritettyjen turvallisuusvaatimusten näkökulmasta ja tästä syystä päätettiin toteuttaa tähän opinnäytetööhön sisältyvät parannukset.

Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin jo toimitettuihin koneisiin soveltuvat, murskaimen molemmille puolille jälkeenpäin asennettavat huoltotasot, jotta käytettävyys saatiin riittävälle tasolle. Toisessa vaiheessa suunniteltiin sarjatuotantoon soveltuvat, koneeseen täysin integroidut huoltotasot, sähköhydraulinen huoltokoneikko huollon aikana tarvittavia hydraulisia toimintoja varten ja murskaimen rungon avaukseen tarvittavat turvalukitukset rajakytkimineen. Viimeisessä vaiheessa tehtiin kyselytutkimus, jossa selvitettiin parannusten vaikutusta turvallisuuteen.

Koneen turvallisuus ja käytettävyys saatiin nostettua hyvälle tasolle ja uudet ratkaisut ovat osoittautuneet helppokäyttöisiksi, turvallisiksi ja luotettaviksi. Poikkeuksena murskaimen turvalukitus, joka osoittautui käytettävyydeltään liian monimutkaiseksi ja kehitys sen osalta jatkuu.

---

Asiasanat: iskupalkkimurskain, huollettavuus, koneturvallisuus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master of Engineering  
Automation Technology

LAPP ANTTI:  
Development of Serviceability in Impactor Crusher

Master's thesis. 69 pages, appendices 3 pages  
August 2023

---

The main goal of this thesis was to develop safety and serviceability of the impactor crusher in Metso Minerals Oy's 2013 launched Lokotrack LT1213 and Lokotrack LT1213S mobile crushing plants. In the pre-planning phase, it was estimated that no separate service platforms are needed for crushers maintenance tasks. The maintenance tasks were thought to be done by standing on the track chains, and if necessary, from the customer's own movable service platforms. However, it turned out that those solutions were not sufficient from the safety point of view defined in the latest machine directive and machine safety standards, and for this reason it was decided to implement the improvements included in this thesis.

In the first phase for already delivered machines in the field environment, installable service platforms were designed to the both sides of the crusher to improve safety. In the second phase, fully integrated service platforms were designed for serial production, electro-hydraulic service machinery and the hydraulic safety locking with needed position sensors for crusher frame openings. In the last phase, a survey was conducted to find out the impacts of the improvements on safety.

The safety and usability of the machine was raised to a high level and the new solutions have proven to be cost efficient and reliable. The exception is the crusher's safety locking mechanism, which turned out to be too complicated to use, and it needs further development.

---

Key words: impactor crusher, serviceability, machine safety

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	LOKOTRACK LT1213 ISKUPALKKIMURSKAUSLAITOS .....	8
2.1	Iskupalkkimurskauslaitoksen toimintaperiaate .....	8
2.2	Iskupalkkimurskauslaitoksen rakenne .....	9
2.3	NP1213M ISKUPALKKIMURSKAIN .....	10
2.3.1	Iskupalkkimurskaimen toimintaperiaate .....	10
2.3.2	NP1213M Iskupalkkimurskaimen rakenne .....	11
2.3.3	Iskupalkkimurskaimen käyttö ja huolto .....	11
3	TURVALLISUUSVAATIMUKSET .....	15
3.1	Konedirektiivi .....	15
3.1.1	Kulkuteiden askelmat ja kädensijat .....	15
3.1.2	Liukastumis-, kompastumis- ja putoamisriski .....	15
3.1.3	Pääsy käyttö- ja huoltopaikkoihin .....	16
3.1.4	Erottaminen energialähteistä .....	16
3.1.5	Suojuksia koskevat erityisvaatimukset .....	16
3.2	Koneturvallisuuden standardit ja standardien tyypit .....	17
3.2.1	A-tyyppin standardi (turvallisuuden perusstandardi) .....	18
3.2.2	B-tyyppin standardi (turvallisuuden ryhmästandardi) .....	18
3.2.3	C-tyyppin standardi (konekohtainen turvallisuusstandardi) ..	18
3.3	Koneiden kulkuteihin liittyvät standardit .....	19
3.3.1	ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems	20
3.3.2	SFS-EN ISO 14122-1 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta .....	25
3.3.3	SFS-EN ISO 14122-2 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot ....	26
3.3.4	SFS-EN ISO 14122-3 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet .....	27
3.3.5	SFS-EN ISO 14122-4 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat .....	29
3.4	Riskin arviointi ja yhdenmukaistetut standardit .....	29
4	TURVALLISUUSPARANNUSTEN SUUNNITTELU .....	31
4.1	Tuotekehitysprosessi .....	31
4.2	Suunnittelumenetelmät .....	32
4.2.1	Benchmarking .....	32
4.2.2	3D-mallinnus .....	32
4.2.3	Lujuustarkastelu .....	32

4.2.4 Riskin arviointi .....	35
4.3 Huoltotasot.....	36
4.3.1 Lähtötilanne .....	36
4.3.2 Jälkiasennettavat huoltotasot .....	36
4.3.3 Huoltotasot sarjatuotantoon.....	41
4.4 Huoltokoneikko.....	47
4.5 Turvalukitus.....	47
5 KYSELYTUTKIMUS.....	50
5.1 Kyselytutkimuksen päätavoite ja tutkimusongelma .....	50
5.2 Kyselytutkimuksen muotoilu ja toteutus.....	51
5.2.1 Ensimmäinen tutkimuskysymys ja sen alaväittämät .....	51
5.2.2 Toinen tutkimuskysymys ja sen alakysymykset.....	52
5.2.3 Kolmas tutkimuskysymys ja sen alakysymykset.....	52
6 TULOKSET .....	53
6.1 Turvallisuus- ja käytettävyyssparannukset.....	53
6.1.1 Parannukset koneen oikealle puolelle .....	53
6.1.2 Parannukset koneen vasemmalle puolelle .....	56
6.2 Kyselytutkimuksen tulokset .....	56
6.2.1 Roottorin iskupalkkejen vaihtamisen turvallisuus.....	57
6.2.2 Iskulevyn kulutusosan vaihtamisen turvallisuus.....	58
6.2.3 Murskauskammion kulutusosien vaihtamisen turvallisuus..	59
6.2.4 Rungon lukituspulttejen avaamisen ja kiristämisen turvallisuus .....	60
6.2.5 Asetuksen mittaamisen ja säädön turvallisuus .....	61
6.2.6 Iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus kokonaisuutena .....	62
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	64
LÄHTEET.....	65
LIITTEET.....	67
Liite 1. Kyselylomake .....	67

**LYHENTEET JA TERMIT**

CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD engl. <i>Computer-aided Design</i> )
DEF	Diesel Exhaust Fluid. DEF (kauppanimi AdBlue) on neste, jota käytetään vähentämään dieselmoottorin päästöjä
FAT	Väsymisluokka (FAT, engl. <i>Fatigue strength class</i> )
FEM	Elementtimenetelmä (FEM, engl. <i>Finite Element Method</i> )
Konedirektiivi	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY
LT1213	NP1213M iskupalkkimurskaimella varustettu mobiilimurskauslaitos
LT1213S	NP1213M iskupalkkimurskaimella sekä seulontayksiköllä varustettu mobiilimurskauslaitos
MPa	Megapascali
NP1213M	Nordperg Lokomon valmistama iskupalkkimurskain
RPM	Pyörimisnopeus minuutissa (RPM, engl. <i>Rounds Per Minute</i> )

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli parantaa Metso Mineralsin LT1213 ja LT1213S mobiilimurskailaitoksissa käytettävän NP1213M -iskupalkkimurskaimen käytettävyyttä, huollettavuutta ja huoltotoimenpiteiden turvallisuutta. Työ koostuu iskupalkkimurskaimen käytettävyyss- ja turvallisuusparannusten suunnittelusta ja kyselytutkimuksesta.

Suunnittelu toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin jo olemassa olevaan konekantaan huoltotasot, kulkutiet ja turvakaiteet, joilla turvallisuus saatiin riittävälle tasolle. Toisessa vaiheessa suunniteltiin sarjatuotantoon soveltuvat, koneisiin täysin integroidut ratkaisut. Lisäksi huollon aikana tarvittavia hydraulisia toimilaitteita varten suunniteltiin koneeseen integroitu, akkuvirralla toimiva huoltokoneikko ja murskaimen huoltoluukkuun hydraulisesti toimiva turvalukitus. Viimeisessä vaiheessa selvitettiin kyselytutkimuksen avulla suunniteltujen parannusten vaikutusta iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuteen.

Tuotemuutosten suunnittelu, validointi ja käyttöönotto tehtiin Metso Mineralsin tuotekehitysprosessin mukaisesti, sekä konedirektiiviä (2006) ja koneturvallisuusstandardeja noudattaen. Suunnittelumenetelminä hyödynnettiin 3D-mallinnusta, vertailuanalyysiä (benchmarking), elementtimenetelmää (FEM), kestoikälaskentaa, ja riskianalyysiä.

Oma osuuteni suunnittelutyöstä koostui huoltotasojen, huoltokoneikon ja turvalukituksen mekaniikkasuunnittelun toteutuksesta ja koordinoinnista sekä käyttöönoton tukemisesta. Huoltokoneikko ja turvalukitukset suunniteltiin yhteistyössä sähkö- ja automaatio suunnittelutiimien kanssa. Toisessa samaan aikaan toteutetussa opinnäytetyössä (Janne Raikunen) murskaimeen lisävarusteena myytävä huoltonostin uudelleensuunniteltiin hydraulisesti toimivaksi.

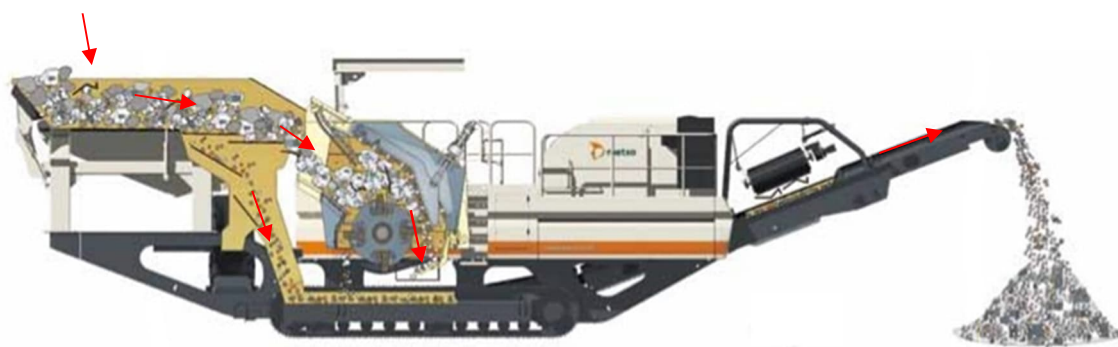
Apuna työssä oli Tampereen ammattikorkeakoululta opinnäytetyöni ohjaaja Markus Aho ja Metso Mineralsilta esimieheni Marko Nuora sekä lujuuslaskenta-, koneturvallisuus-, ja tuoteasiantuntijoita.

## 2 LOKOTRACK LT1213 ISKUPALKKIMURSKAUSLAITOS

LT1213 on telojen avulla liikuteltava lisävarusteista riippuen noin 50 tonnia painava mobiili-iskupakkimurskauslaitos. LT1213 soveltuu parhaiten pehmeämpien ja keskikovien kivimateriaalien esim. kalkkikiven murskaamiseen sekä kierrätysmurskaukseen. Kierrätysmurskauksessa syötemateriaali on tyypillisesti purettujen rakennusten betonirakenteita tai asfalttiteiden kunnostamisesta kertyvää pinnoitetta. Murskattu materiaali uudelleenkäytetään sellaisenaan tai tarvittavan jatkokäsittelyn jäkeen.

### 2.1 Iskupalkkimurskauslaitoksen toimintaperiaate

Syötemateriaali syötetään syöttösuppilon, josta se liikkuu tärysyöttimen avulla täryvälppien päälle. Ennen murskaimeen päätymistä syötteestä erotellaan välppien avulla hienoaines, jonka ei haluta päätyvän murskaimeen tai loppulopputuotteeseen. Hienoaines siirretään sivukuljettimella omalle kasalleen. Tuotteeseen sopivan kokoiset kivet ohjataan murskaimen ohi suoraan pääkuljettimelle ja liian suuret kivet murskaimeen. Kivien murskauduttua halutun kokoisiksi ne putoaa pääkuljettimelle, joka kuljettaa ne joko tuotekasalle (kuva 1) tai prosessin seuraavaan vaiheeseen.

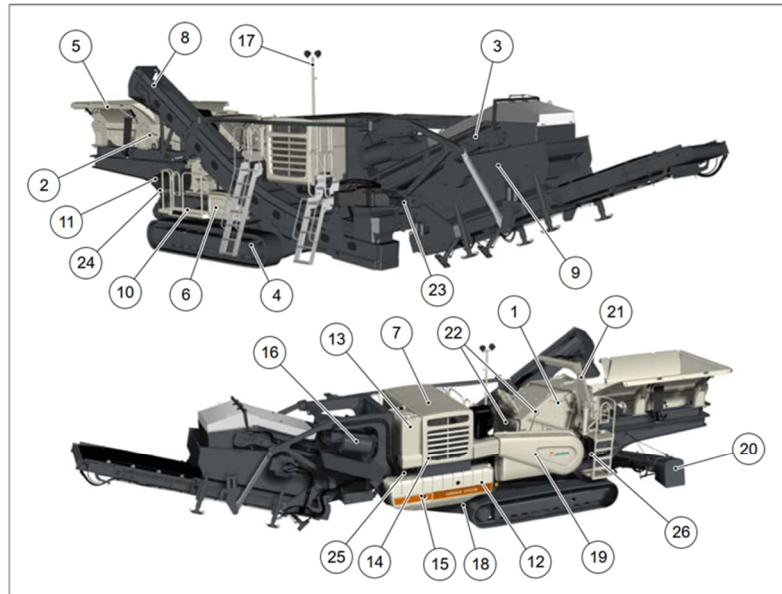


KUVA 1. Materiaalivirta Iskupalkkimurskauslaitoksessa  
(Metso Outotec 2022)



## 2.2 Iskupalkkimurskauslaitoksen rakenne

LT1213 voidaan varustaa seulontayksiköllä (numero 9 kuvassa 2), jolloin mallinimeen lisätään S-kirjain. Seulontayksikön avulla voidaan tuottaa raekooltaan tarkasti määriteltäviä lopputuotteita. Prosessi toimii ns. suljetussa kierrossa, jossa ylisuuret partikkelit ohjataan paluukuljettimen avulla takaisin murskaimeen.



Número	Kuvaus
1	Murskain
2	Täryvälppäsyötin / levysyötin + välppä
3	Pääkuljetin
4	Telat
5	Syöttösuppilo
6	Päähajauskeskus ja laitekaappi
7	Mootorimoduuli
8	Paluukuljetin
9	Seulayksikkö
10	Työkalulaatikko (tehdassijoituspaikka)
11	Apuhydrauliyksikkö
12	Polttoainesäiliö
13	Hydrauliöljysäiliö
14	Hydrauliöljyn sulkuventtiilit
15	Hydrauliikkaventtiilit
16	Magneettierotin (lisävaruste)
17	Valomasto
18	Polttoainepumppu (lisävaruste)
19	Murskaimen kiilahihnan suojus
20	Sivukuljetin
21	Murskaimen huoltonosturi
22	Huoltonosturin työkalut
23	Paluukuljettimen ohjausvivut
24	Yhteenkytkentäliitäntä (vastasuunta)
25	Yhteenkytkentäliitäntä (virtausuunta)
26	Urealiiosäiliö

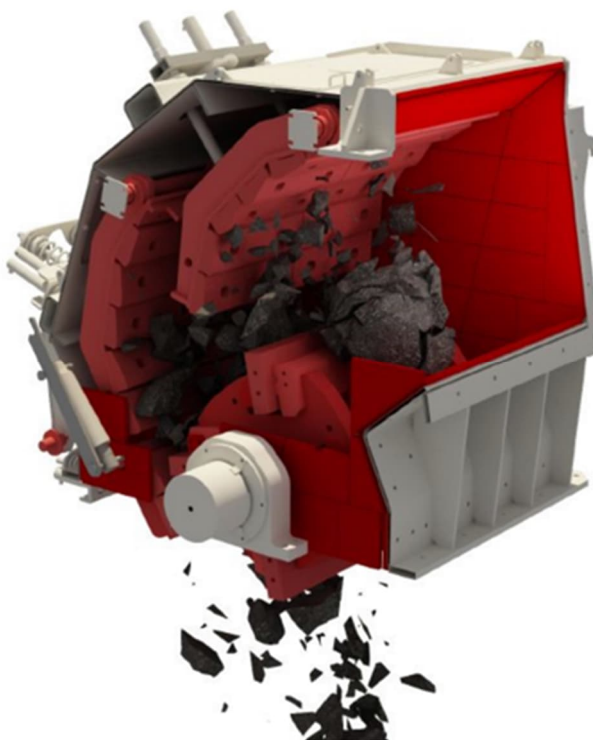
KUVA 2. Lokotrack LT1213S murskauslaitoksen pääkomponentit  
(Metso Outotec 2022)

## 2.3 NP1213M ISKUPALKKIMURSKAIN

NP1213M on mobiilimurskauslaitokseen tarkoitettu, horisontaalisella roottorilla varustettu iskupalkkimurskain. Numerot nimessä kuvaavat roottorin halkaisijaa 1200 mm ja leveyttä 1300 mm. M kuvaa mobiilimurskauslaitokseen optimoitua versiota.

### 2.3.1 Iskupalkkimurskaimen toimintaperiaate

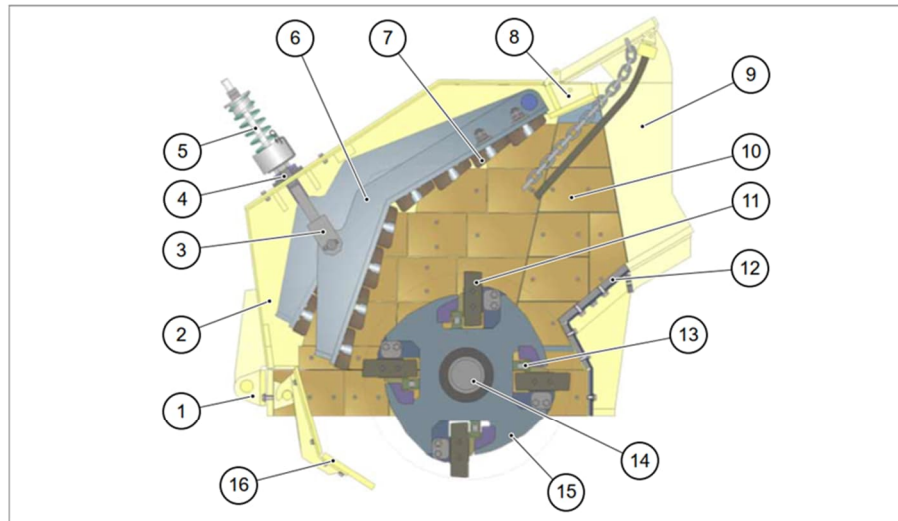
Syötemateriaali tulee murskaimen sisään syöttöaukon kautta ja se poistuu murskaimen alapään kautta. Murskaimen roottoria pyöritetään kiilahihnojen ja hihnapyörien välityksellä. Roottorissa kiinni olevat iskupalkit, iskulevyt ja kivi-kiveä vasten -menetelmä (kuva 3) murskaavat syötemateriaalin.



KUVA 3. Iskupalkkimurskaimen halkileikkaus (Metso Outotec 2022)

### 2.3.2 NP1213M Iskupalkkimurskaimen rakenne

Jos murskaimeen joutuu murskautumatonta materiaalia, palautinjousijärjestelmä (osa 5 kuvassa 4) päästää iskuleyn kauemmaksi roottorista ja tukoksen poistuttua palauttaa sen takaisin alkuasentoonsa.



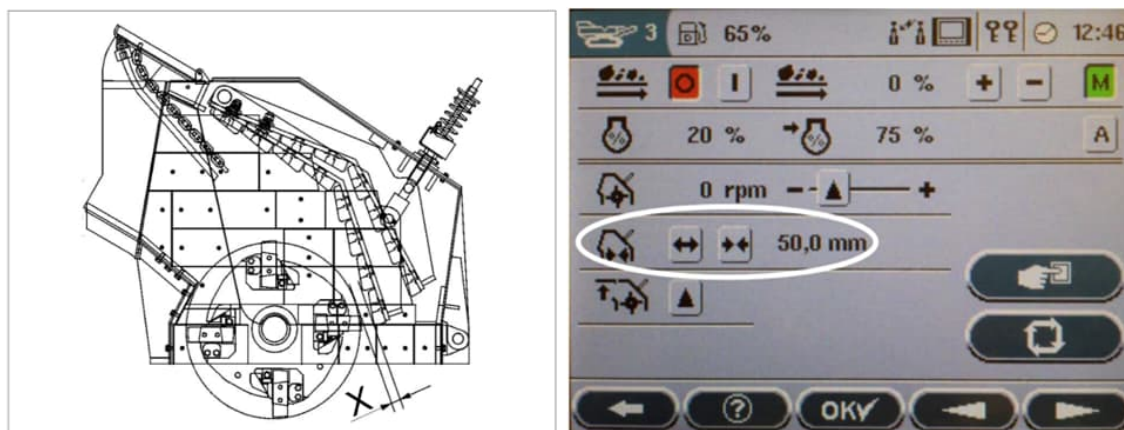
Numero	Kuvaus	Numero	Kuvaus
1	Rungon sarana	9	Eturunko
2	Takarunko	10	Sivukulutuslevyt
3	Reikälevyn tangot	11	Vasara
4	Reikälevyn säätöjärjestelmä	12	Syöttölevy
5	Reikälevyn palautusjousi	13	Vasaran lukitusjärjestelmä
6	Reikälevy	14	Roottorin akseli
7	Reikälevyn kulutusosa	15	Roottori
8	Rungon poikkipalkki	16	Poistosuppilon vaimennuslevy

KUVA 4. NP1213M murskaimen pääkomponentit (Metso Outotec 2022)

### 2.3.3 Iskupalkkimurskaimen käyttö ja huolto

#### Asetuksen säätö

Murskaimen asetuksella tarkoitetaan iskupalkin ja iskulevyn väliin jäävää rakoa (X) kuvassa 5. Raon suuruudella muutetaan murskaimesta ulos tulevan materiaalin raekokoa. Asetusta säädetään nuolinäppäimillä ohjauskeskuksen näytöltä.






KUVA 5. Iskupalkkimurskaimen asetuksen säätö (Metso Outotec 2022)

### Pyörimisnopeuden säätö

Roottorin pyörimisnopeus säädetään murskattavalle syötemateriaalille soveltuvaksi (taulukko 1). Liian pieni tai suuri pyörimisnopeus voi aiheuttaa iskuvasaroiden tarpeetonta kulumista. Nopeutta säädetään liukusäätimellä ohjauskeskuksen näytöltä.

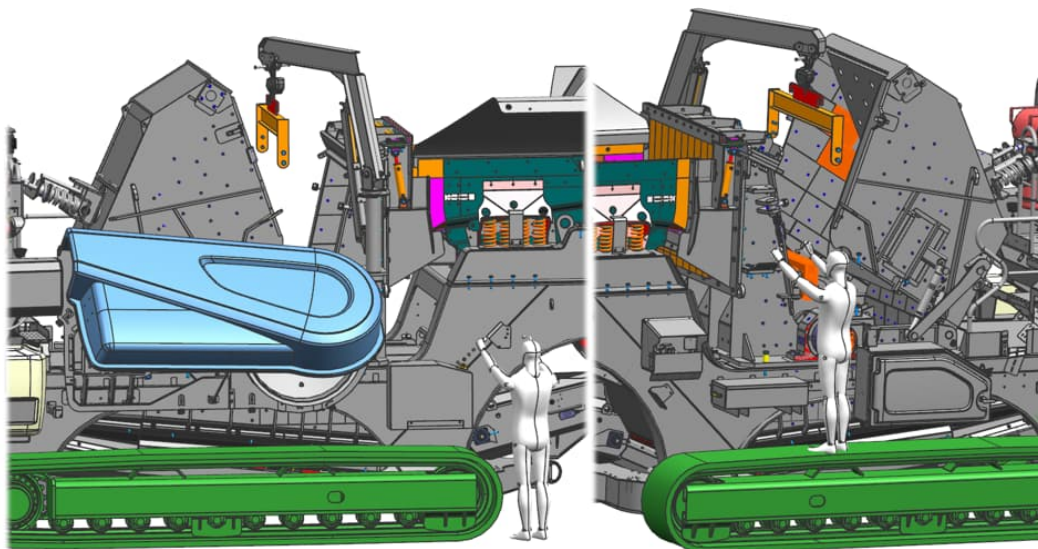
TAULUKKO 1. Iskupalkkimurskaimen roottorin suositellut pyörimisnopeudet (Metso Outotec 2022)

Liukusäätimen asento	Syöttö	Murskaimen nopeus (RPM)	Vasaran nopeus (m/s)
	Asfaltti / hiova metalli	500	28
	Kierrätys / keskitasoinen hiova materiaali	540	32
	Kivien syöttö / ei-hiova materiaali	580	37

### Kulutusosien vaihto

Murskaimeen vaihdettavat kulutusosat näkyy kuvassa 4. Kulutusosia ovat roottoriin kiinnitetyt iskupalkit (osa 11), iskulevyn pinnan peittävät kulutusosat (osa 7) sekä murskauskammion kyljet peittävät kulutuslevyt (osa 10). Iskupalkkejen vaihto tehdään iskupalkkiin kiinnitettävän nostotötyökalun ja

huoltonostimen avulla (kuva 6). Kaivuria tai muuta soveltuvaa nostolaitetta voi myös hyödyntää vaihtotyössä.



KUVA 6. Huoltonostin ja iskupalkin nostotyökalu (Kuva: Antti Lapp 2022)

Iskulevyn kulutusosat (kuva 4, osa 7) vaihdetaan omalla nostotyökalullaan (kuva 7) samaan tapaan kuin iskupalkit.

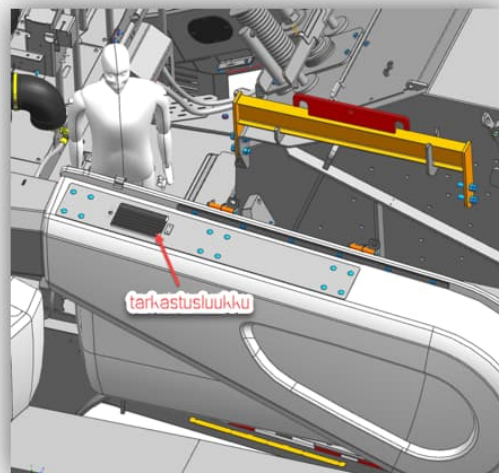
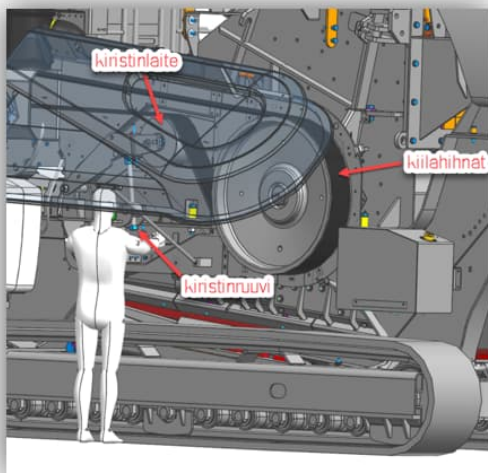


KUVA 7. Iskulevyn kulutusosan vaihtotyökalu (Metso Outotec 2022)



## Kiilahihnojen vaihto ja kireyden tarkastus

Murskaimen roottoria pyöritetään kiilahihnojen välityksellä. Kiilahihnat kiristetään ruuvisäätöisen kiristinlaitteen avulla (kuva 8). Kireyden tarkastus tehdään kireysmittarilla hihnasuojan päällä olevasta luukusta.



KUVA 8. Kiristinlaite ja tarkastusluukku (Kuva: Antti Lapp 2022)

### 3 TURVALLISUUSVAATIMUKSET

Koneensuunnittelun yleiset suunnitteluperiaatteet on kuvattu konedirektiivissä (2006) ja tarkemmat turvallisuusvaatimukset koneturvallisuusstandardeissa. Näistä tärkeimmät tässä työssä huomioitavat osuudet on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

#### 3.1 Konedirektiivi

**Konedirektiivi** (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY). Konedirektiivi sisältää olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset rakennettavalle koneelle. Konedirektiiviä noudatettaessa on myös otettava huomioon turvallisuustekninen nykytaso, että kone voidaan saattaa turvalliseksi nykyaikainen tekninen taso huomioiden. Kun konedirektiiviä noudatetaan koneen suunnittelussa sekä valmistuksessa ja koneen kylkeen kiinnitetään CE-merkintä, voidaan sanoa koneen omaavan vaatimustenmukaisuus oletaman. Tämä siis tarkoittaa sitä, että voidaan olettaa koneen täyttävän kaikki ajantasaiset sitä koskevat direktiivit ja standardit. (Arkko 2021.)

Konedirektiivin soveltamisen helpottamiseksi on luotu soveltamisopas (EU 2010), josta oleellimmat tähän työhön liittyvät kohdat esitetään seuraavissa kohdissa.

##### 3.1.1 Kulkuteiden askelmat ja kädensijat

Kulkutiet ohjaustilaan ja muihin käyttöpaikkoihin on suunniteltava ja sijoitettava niin, etteivät käyttäjät käytä askelmina tai kädensijoina osia, kuten rakenteessa olevia aukkoja, suojuksia tai liikkuvia osia, joita ei ole tarkoitettu tähän tarkoitukseen. Kädensijat ja askelmat on suunniteltava, rakennettava ja sijoitettava siten, että käyttäjät käyttävät niitä vaistomaisesti, eivätkä käytä ohjauslaitteita kulkemisen apuna. (EU 2010.)

##### 3.1.2 Liukastumis-, kompastumis- ja putoamisriski

Koneiden osat, joiden päällä voi liikkua tai seisoa, on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, ettei niillä ollessa voi liukastua, kompastua tai kaatua tai ettei niiltä voi pudota. Nämä osat on tarvittaessa varustettava kädensijoilla, jotka on kiinnitetty käyttäjää varten ja joiden avulla tämä voi säilyttää vakaan asennon. (EU 2010.)

### 3.1.3 Pääsy käyttö- ja huoltopaikkoihin

Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että turvallinen pääsy tehdään mahdolliseksi kaikille sellaisille alueille, joilla käyttäjän toimintaan puuttuminen on välttämätöntä koneen käyttötoiminnan, säädön ja kunnossapidon aikana. (EU 2010.)

### 3.1.4 Erottaminen energialähteistä

Koneessa on oltava laitteet, joilla se voidaan erottaa kaikista energialähteistä. Näiden erotuslaitteiden on oltava selvästi tunnistettavissa. Ne on voitava lukita, jos energialähteeseen uudelleen kytkeminen voi aiheuttaa vaaran henkilöille. Erotuslaitteet on voitava lukita myös silloin, kun käyttäjä ei voi mistään sellaisesta paikasta, johon hänellä on pääsy, tarkistaa, että energiansyöttö on edelleen katkaistuna. Jos kone voidaan liittää pistokkeella energialähteeseen, pistokkeen irrottaminen riittää edellyttäen, että käyttäjä voi mistä tahansa paikasta, johon hänellä on pääsy, tarkistaa, että pistoke pysyy irrotettuna. Energiansyötön katkaisun jälkeen on voitava normaalilla tavalla purkaa koneen piireihin jäänyt tai varastoitunut energia ilman, että henkilöille aiheutuu riski. Sellaiset piirit, joiden tarkoituksena on esimerkiksi osien kiinnipito, tiedon säilyttäminen tai sisäosien valaiseminen, saavat edellisten kohtien vaatimuksesta poiketen jäädä kytketyiksi energialähteisiinsä. Tällöin on toteutettava erityistoimenpiteitä käyttäjän turvallisuuden varmistamiseksi. (EU 2010.)

### 3.1.5 Suojaus koskevat erityisvaatimukset

#### Kiinteät suojukset

Kiinteiden suojusten kiinnitysjärjestelmän avaaminen tai irrottaminen saa olla mahdollista vain työkaluilla. Kiinnitysjärjestelmien on pysyttävä kiinnitettynä suojuksiin tai koneeseen, kun suojukset irrotetaan. Suojusten on mahdollisuuksien mukaan oltava sellaisia, etteivät ne pysy paikallaan ilman kiinnittimiään. (EU 2010.)

#### Toimintaankytketyt avattavat suojukset

Toimintaankytkettyjen avattavien suojusten on

- mahdollisuuksien mukaan jäätävä kiinni koneeseen, kun ne ovat auki,
- oltava suunniteltu ja rakennettu siten, että niitä voidaan säätää ainoastaan tarkoituksellisin toimin.

Toimintaankytketyissä avattavissa suojuksissa on oltava toimintaankytkentälaitte, joka



- estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen, kunnes suojus on kiinni, ja
- antaa pysäytyskäskyn, kun suojus ei enää ole kiinni.

Jos käyttäjä voi ulottua vaaravyöhykkeelle, ennen kuin koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva riski on poistunut, avattavissa suojuksissa on toimintaankytkentälaitteen lisäksi oltava suojuksen lukituslaite, joka

- estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen, kunnes suojus on kiinni ja lukittu, ja
- pitää suojuksen kiinni ja lukittuna, kunnes koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva vammautumiskiriski on poistunut.

Toimintaankytketyt avattavat suojukset on suunniteltava siten, että yhdenkin niiden komponentin puuttuminen tai vikaantuminen estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen tai pysäyttää ne. (EU 2010.)

### **Pääsyä rajoittavat aseteltavat suojukset**

Aseteltavien suojusten, jotka rajoittavat pääsyn vain niihin liikkuvien osien kohtiin, joita ehdottomasti tarvitaan työskenneltäessä, on oltava

- käsin tai automaattisesti aseteltavissa suoritettavan työn tyypin mukaan, ja
- helposti aseteltavissa ilman työkaluja. (EU 2010.)

### **Turvalaitteita koskevat erityisvaatimukset**

Turvalaitteet on suunniteltava ja liitettävä ohjausjärjestelmään siten, että

- liikkuvat osat eivät voi käynnistyä, kun ne ovat käyttäjän ulottuvilla henkilöt eivät voi ulottua liikkuviin osiin, kun osat liikkuvat, ja
- turvalaitteen yhdenkin komponentin puuttumisen tai vikaantumisen on estettävä käynnistyminen tai pysäytettävä liikkuvat osat. Niiden on oltava säädettävissä vain tarkoituksellisella toimella. (EU 2010.)

## **3.2 Koneturvallisuuden standardit ja standardien tyypit**

Koneturvallisuuden standardeissa kuvataan konedirektiiviä yksityiskohtaisemmin suunnittelussa huomioitavia vaatimuksia. Standardeja voi käyttää sellaisenaan, tai soveltaen suunnittelun apuna. Koneturvallisuuden standardit koostuu A-, B- ja C-tyypin standardeista. Standardin tyyppi ilmenee koneturvallisuusstandardien johdannoista.

### 3.2.1 A-tyyppin standardi (turvallisuuden perusstandardi)

Standardi, jossa esitetään perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökohdat, joita voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. HUOM: Ainoa A-tyyppin standardi on EN ISO 12100. ISON tekninen raportti ISO/TR 14121-2 sisältää lisäopastusta standardin EN ISO 12100 soveltamiseen. (Metsta 2020.)

### 3.2.2 B-tyyppin standardi (turvallisuuden ryhmästandardi)

Standardi, jossa käsitellään yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai yhtä sellaista suojausteknistä laitetta, jota voidaan käyttää useissa erilaisissa koneissa:

- B1-tyyppin standardit koskevat tiettyjä yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia (esim. turvaetäisyyksiä, pintalämpötiloja, melua)
- B2-tyyppin standardit koskevat suojausteknisiä laitteita (esim. kaksinkäsinhallintalaitteita, toimintaankytkentälaitteita, kosketuksen tunnistavia laitteita, suojuksia). (Metsta 2020.)

### 3.2.3 C-tyyppin standardi (konekohtainen turvallisuusstandardi)

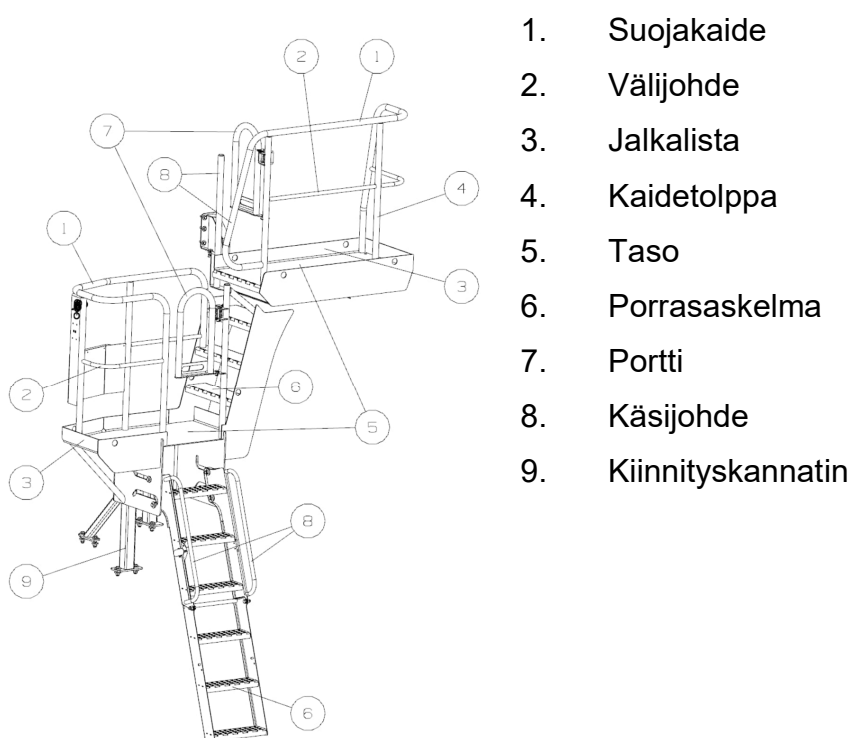
Standardi, jossa käsitellään tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. HUOM. käsite ”koneryhmä” tarkoittaa koneita, joilla on samanlainen tarkoitettu käyttö ja joiden vaarat, vaaratilanteet ja vaaralliset tapahtumat ovat samanlaisia. **C-tyyppin standardeissa esitettävät vaatimukset ovat aina ensisijaisia ja ”vahvempia” B-tyyppin standardissa esitettäviin ja samaa aihetta sivuaviin vaatimukseen nähden. Jos C-tyyppin standardeissa esitettävät vaatimukset poikkeavat A- tai B-tyyppin standardeissa esitettävistä, ovat C-tyyppin standardissa esitettävät vaatimukset aina ensisijaisia.** (Metsta 2020.)

C-tyyppin standardin soveltajan on tehtävä yksityiskohtaisempi riskin arviointi (ja sitä seuraava riskin pienentäminen) vain niiden vaarojen osalta, joita C-tyyppin standardi ei kata. Suunnittelijan itse tekemään riskin arvioinnin perustuva riskin pienentäminen ei automaattisesti takaa vaatimustenmukaisuutta – juuri tässä

piilee yhdenmukaistettujen standardien suurin hyöty: yhdenmukaistetuissa standardeissa kuvattu riskin pienentäminen kuuluu automaattisen vaatimustenmukaisuusosoittamuksen piiriin. (Metsta 2020.)

### 3.3 Koneiden kulkuteihin liittyvät standardit

Koneiden kulkutiet koostuu vaakatasossa olevista tasoista ja kahden eri tason välissä olevasta kaltevasta tai pystysuorasta osuudesta ja tarvittavista turvavarusteista (kuva 9). Kulkuteiden mitoitus- ja lujuusvaatimukset on esitetty C-tyyppin maanrakennuskonestandardissa ISO 2867 ja neliosaisessa B-tyyppin koneturvallisuusstandardissa SFS-EN ISO 14122. Näistä on oleellimmat tähän työhön liittyvät kohdat on kuvattu seuraavaksi.



KUVA 9. Kulkuteiden pääkomponentit (Kuva: Antti Lapp 2022)

### 3.3.1 ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems

Tässä C-tyyppin standardissa määritellään mitoitukselliset vaatimukset koneen huoltokohteiden kulkuteiden osille. Mitoituksen avulla pyritään ehkäisemään vaaroja, vaaratilanteita ja tapaturmia esim. liukastuminen, kompastuminen, kaatuminen, epäergonimiset työskentelyasennot ja liiallinen rasitus. Talukossa 2 on esitetty mitoitukselliset vaatimukset kulkutasoille, kulkuaukoille, turvakaiteille ja jalkalistoille.

TAULUKKO 2. Tasojen, kulkuaukkojen, turvakaiteiden ja jalkalistojen mitoitus  
(ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems)

Symbol	Description	Dimension		
		Min.	Max.	Target
A	Platform width	300 <sup>a e</sup>	—	600
	Walkway width	300 <sup>a b</sup>	—	600
	Passageway width — Forward-facing passage of user <sup>c</sup>	550	—	650
	Passageway width — Sideways passage of user	330	—	450
	Passageway width — Users passing from opposite directions	900	—	1 300
B	Head clearance — Standing	2 000	—	—
	Head clearance — Kneeling <sup>d</sup>	1 500	—	—
	Head clearance — Crawling <sup>d</sup>	1 000	—	—
C	Guardrail height	1 000	1 100	1 100
D	Foot barrier height	50	—	100
E	Foot barrier to floor clearance	0	10	0
G	Platform width — Less than 2 m height	300 <sup>e</sup>	—	—
<p><sup>a</sup> Minimum width A is dependent on head clearance, B, as defined in the graph at right.</p> <p><sup>b</sup> See 6.3.1.</p> <p><sup>c</sup> Use target dimension as minimum for crawling.</p> <p><sup>d</sup> For routine maintenance points only.</p> <p><sup>e</sup> See 6.3.1 and 6.3.2.</p>				

Muut vaatimukset tasoille, kulkuaukoille turvakaiteille ja jalkalistoille (oma käännös standardista):

- Tasojen avoin puoli on varustettava suojakaiteella, jos korkeus maanpinnasta, tai toisesta tasosta on yli 3 m.
- Tasoille joiden korkeus on 2–3 m maanpinnasta, toisesta tasosta, tai kulkuaukosta, ja jos tason seisoma- tai kävelyalueen raja on alle 1,5 m avoimesta sivusta koneeseen sovelletaan seuraavaa:
- Tasojen avoin puoli on varustettava suojakaiteella, jos säännöllistä huoltoa täytyy tehdä seisten molempia käsiä käyttäen;
- Tasojen avoin puoli on varustettava suojakaiteella tai (katso taulukko 4), tai sisäpuolelle on asennettava käsijohteet tai kädensijat kolmipistetukea varten (taulukko 2, mitta G). Kiinteät suojakaiteet voidaan korvata käännettävillä suojakaiteilla, tai käsijohteilla ja kädensijoilla helpon kuljetuksen varmistamiseksi.
- Jalkalista vaaditaan aina jos liukastumisesta tai ohiastumisesta voi aiheutua vamma jalkaan, edellyttäen että se aiheuta kompastumisvaaraa. Jalkalistoja suositellaan, jos on olemassa vaara, että materiaalia (esim. työkalu) putoaa tason reunalta henkilön päälle.
- Tason minimipituus on 400 mm

Huom! Poikkeuksena edellisiin vaatimuksiin, tässä työssä on noudatettu tiukempaa SFS-EN ISO 14122-2 + A1:ssa kuvattua vaatimusta: **Jos työskentelytasoilta tai kulkutasoilta on mahdollista pudota vähintään 500 mm korkeudelta, tasot on varustettava standardin EN ISO 14122-3 mukaisilla suojakaiteilla.**

Vaatimukset tasojen ja kulkuaukkojen pinnoille (oma käännös standardista):

- Estää halkaisijaltaan 20 mm tai sitä suuremman pallomaisen esineen putoaminen alueella, jonka alla ihmisten on tavallisesti tarkoitus kävellä, seisoa tai työskennellä;
- Estää halkaisijaltaan 40 mm tai suuremman pallomaisen esineen putoaminen alueella, jonka alla ihmiset eivät normaalisti kävele, seiso tai työskentele.

- Tasoilla on tarvittaessa käytettävä aukkottomia pintoja estämään materiaalin kulkeutuminen, joka voi aiheuttaa henkilövahinkoja ylä- tai alapuolella.

Kaikkien kävelemiseen, ryömimiseen, kiipeämiseen, astumiseen tai seisomiseen käytettyjen pintojen, mukaan lukien portaat, on kestävä alla annetut voimat ilman pysyvää muodonmuutosta. Näitä voimia on kohdistettava erikseen, ei samanaikaisesti:

- a) 2 000 N kohdistetaan epäsuotuisimpaan kohtaan halkaisijaltaan 125 mm:n kiinteän kiekon kautta;
- b) jos pinta-ala on alle 1 m<sup>2</sup>, kuormituksena voidaan käyttää suhteellista 4500 N tasaisesti jakautunutta voimaa neliometriä kohden.

Kattojen ja katosten (esim. ohjaamon), joita käytetään henkilöiden tukemiseen huollon aikana, on täytettävä vain yllä olevan kohdan a) vaatimus. Varmentaminen laskennallisesti on hyväksyttävää.

- Huoltotason minimileveys on 300 mm, jos tason korkeus maanpinnasta on alle 2 m, ja se on varustettu käsijohteilla, tai kädensijoilla (taulukko 2, mitta G).
- Kädensijat ja käsijohteet tulee sijaita tasojen minimileveyden ulkopuolella.

Talukossa 3 on esitetty mitoitukselliset vaatimukset tikkaille ja tikasaskelmille.

TAULUKKO 3. Tikkaiden ja tikasaskelmien mitoitus  
(ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems)

Symbol	Description	Dimension		
		Min.	Max.	Target
A	Height of first step above ground, platform, walkway, or passageway	—	600 <sup>a</sup>	400
B	Riser height	230 <sup>b</sup>	400 <sup>c</sup>	300
C	Step width — For one foot	160	—	200
	Step width — For both feet	320	—	400
D <sub>1</sub>	Tread depth — Circular <sup>d</sup>	19	—	60
D <sub>2</sub>	Tread depth — Square or rectangular	12	—	50
D <sub>3</sub>	Tread element depth — Multiple element step	3	—	—
D <sub>4</sub>	Tread element spacing — Multiple element step	—	50	50
E	Vertical instep clearance	100 <sup>e</sup>	—	150
F	Toe clearance (free space behind outer edge of step or centreline of circular step)	150	—	200

<sup>a</sup> The first step height for skid steer loaders with large buckets or attachments may be up to 700 mm. This also applies to compact excavators, tractor-dozers, landfill compactors and derivative machines with steel wheels and pad feet.  
Dimension A may be increased up to 700 mm for steps used for routine maintenance points where there is a risk of damage.

<sup>b</sup> 150 mm from top step of ladder to platform.

<sup>c</sup> If track systems are used as steps, the riser height may be increased to 500 mm from the track to the platform. This also applies to wheeled excavators or other machines with a rotating upper structure for the step from the lower structure.

<sup>d</sup> Circular steps to have slip-resistant surfaces.

<sup>e</sup> The minimum vertical instep clearance for compact excavators for stepping on the track shall be 70 mm if the step height is less than 600 mm.

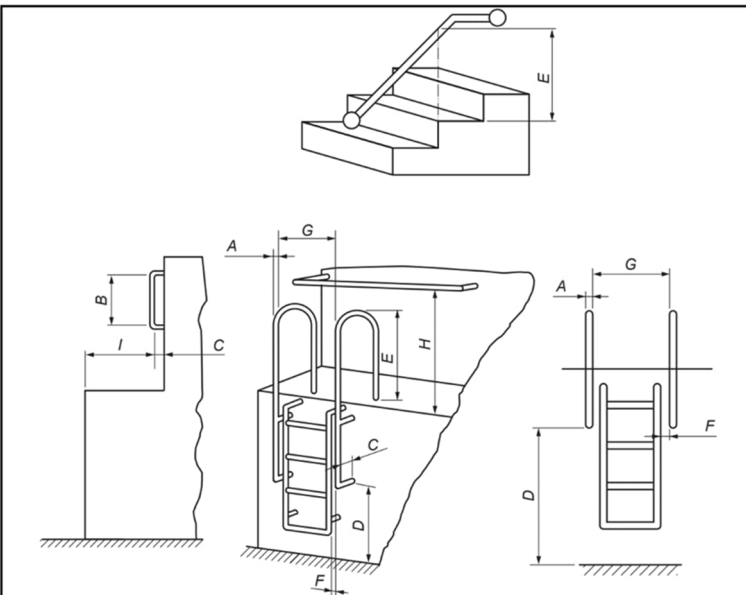
Muut vaatimukset tikkaille ja tikasaskelmille (oma käänös standardista):

- Kaikkien samassa tikkaassa olevien askelmien etäisyys täytyy olla vakio.
- Askelman täytyy olla tarpeeksi leveä kahdelle jalalle, ellei muista syistä (esim. askelman vaurioitumisriski, tai koneen kuljetusmitat) ole välttämätöntä käyttää yhden jalan askelmia.
- Jos jalka voi osua askelman takana olevaan liikkuvaan osaan, askelman ja liikkuvan osan väliin täytyy laittaa suoja.
- Askelmat täytyy suunnitella siten, että riski jalan lipeämiseen on minimoitu.
- Askelmia ei saa suunnitella käytettäväksi kädensijoina.

- Askemat on suunniteltava siten, ettei niihin kerry materiaalia esim. mutaa tai jäätä.
- Askelmia voidaan käyttää seisontapintana huoltokohteissa, tai lepotasoina alle 2 metrin korkeudella maanpinnasta tai muulta sopivalla pinnalta, jos portaat täyttävät taulukon 3 mukaiset askelleveysvaatimukset molemmille jaloille.

Talukossa 4 on esitetty mitoitukselliset vaatimukset käsijohteille ja kädensijoille.

TAULUKKO 4. Käsijohteiden ja kädensijojen mitoitus  
(ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems)



Symbol	Description	Dimension		
		Min.	Max.	Target
A	Ladder or step — Handrail diameter (or width across flats)	15 <sup>a</sup>	38	25
	Stairway, walkway, platform or ramp — Handrail diameter (or width across flats)	15	80	50
B	Length between bend radii for support legs of handholds	150	—	250
C	Hand clearance to mounting surface	50	—	75
D	Distance above standing surface or ground	—	1 700	900
E	Vertical distance of handrail continuation above step, platform, stairway or ramp	850	1 100 <sup>c</sup>	900
F	Offset distance of handrail or handhold from edge of ladder/steps (if ladder/steps and handrail are separate parts)	50	200	150
G	Ladder — Width between parallel handrails	300 <sup>d</sup>	950 <sup>b</sup>	600
	Stairway and ramp — Width between parallel handrails	460	—	700
H	Distance above walkway, passageway, step or stairway step	850	1 400 <sup>c</sup>	900
I	Forward reach to handhold from the ground, step, platform or walkway	—	765	500

<sup>a</sup> 19 mm if orientation is vertical and the standing position for the handrail or handhold is greater than 3 m above the ground.  
<sup>b</sup> Up to 1 100 mm maximum when the handrails/handholds are an integral part of a door opening.  
<sup>c</sup> May be increased to 1 700 mm for handrails and handholds located above the cab door.  
<sup>d</sup> 300 mm up to a maximum height of 450 mm (see E); over 460 mm height, a width of 460 mm is required.

Muut vaatimukset ja suositukset käsijohteille ja kädensijoille (oma käänös standardista):

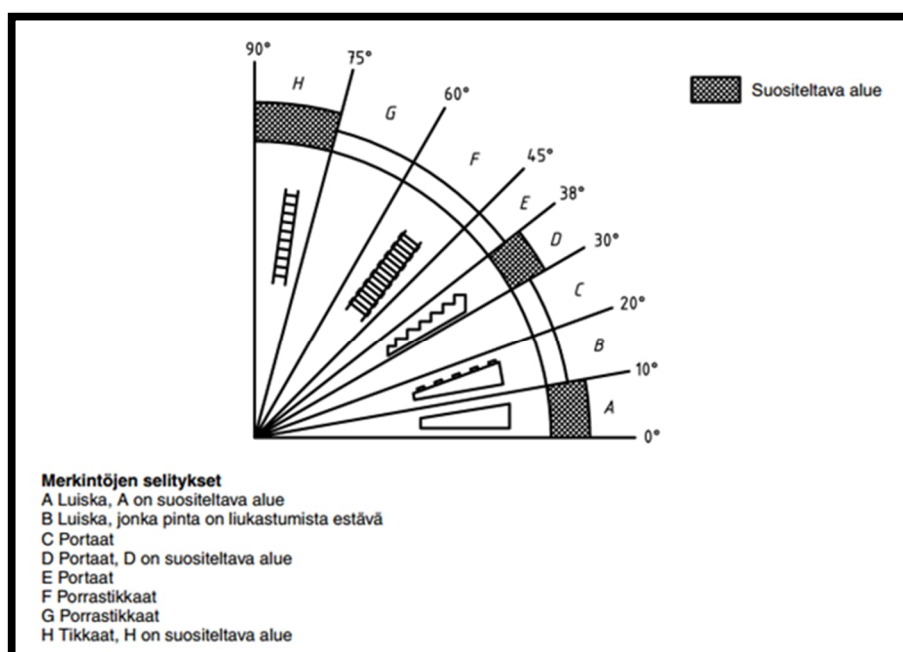
- Kaiteet ja kädensijat on sijoitettava asianmukaisesti siten, että ne tarjoavat intuitiivisesti kahden, tai kolmen pisteen tukea tarpeen mukaan.



- Yhteneisiä kaiteita ja käsijohteita suosittava erillisten kädensijojen sijaan
- Kaiteen ja kädensijan suositeltu poikkileikkaus on pyöreä. Neliön tai suorakaiteen muotoinen poikkileikkaus pyöristetyillä kulmilla on sallittu ISO 12508:n mukaisesti.
- Jos kaiteen tai kädensijan tartuntapinta päättyy tukipisteen jälkeen, siinä on oltava käden lipeämistä estävä muoto
- Kaiteiden ja kädensijojen on kestävä vähintään 1000 N:n voima, joka kohdistetaan mihin tahansa suuntaan mistä tahansa suunnasta ilman näkyvää pysyvää muodonmuutosta ja siirtymä saa olla enintään 80 mm kuormittamattomasta asennosta.

### 3.3.2 SFS-EN ISO 14122-1 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta

Tässä (B-tyyppin) standardin osassa esitetään eri korkeudella olevien tasojen väliin tulevan kulkutien vaatimukset ja opastetaan oikean tyyppisen kulkutien valinnassa (kuva 10).



KUVA 10. Kulkutien kaltevuus ja tyyppi (SFS-EN ISO 14122-1 + A1.  
 Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet.  
 Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta)

Standardissa kuvatut vaatimukset kahden tason väliin tuleville kulkutasoille:

- Pääsy hallintalaitteisiin ja koneen muihin osiin suoraan maan tasolta tai lattialta on ensisijainen vaihtoehto aina kun se on mahdollista. Tämä on erityisen tärkeää, kun pääsyä tarvitaan usein.
- Koneiden kulkuteitä suunniteltaessa porrastikkaita ja tikkaita on vältettävä niin pitkälle kuin käytännössä on mahdollista niistä aiheutuvan suuremman putoamisriskin ja niiden käytöstä aiheutuvan suuremman fyysisen rasituksen vuoksi.

Esimerkkejä tapauksista, joissa porrastikkaat tai tikkaat voidaan valita kulkutiekse: Useimmissa tapauksissa useamman kuin yhden luettelossa mainitun edellytyksen on täyttyttävä, jotta porrastikkaiden tai tikkaiden valinta olisi mahdollista.

- a) pieni korkeusero
- b) kulkutietä ennakoidaan käytettävän vain harvoin HUOM. Kun käytön taajuutta arvioidaan, koneen koko elinkaari otetaan huomioon. Sen vuoksi porrastikkaat tai tikkaat eivät ole riittävä ratkaisu, jos kulkutietä käytetään usein esim. koneen kokoonpanon tai asennuksen aikana tai ajoittaisten suurten kunnossapitotöiden aikana.
- c) kulkutien käyttäjällä ei ole kannettavanaan suurikokoisia työkaluja tai muita tavaroita
- d) vain yhden henkilön kerrallaan ennakoidaan käytettävän kulkutietä
- e) loukkaantuneiden henkilöiden ei ennakoida käytettävän kulkutietä poistumistienä
- f) koneen rakenne ei tee mahdolliseksi portaiden tai muiden perusratkaisujen käyttämistä. HUOM. Esimerkkejä ovat torninosturi ja **liikkuvat koneet**.

HUOM! Lopullinen valinta on tehtävä aina tapauskohtaisesti riskien arvioinnin perusteella. (SFS-EN ISO 14122-1 + A1 2010.)

### 3.3.3 SFS-EN ISO 14122-2 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot

Tässä (B-typin) standardin osassa esitetään vaatimukset kiinteästi asennetuille koneen osana oleville työtasoille ja kulkutasoille sekä käsin käytettäville säädettäville tai liikuteltaville kiinteästi asennettujen kulkuteiden osille.

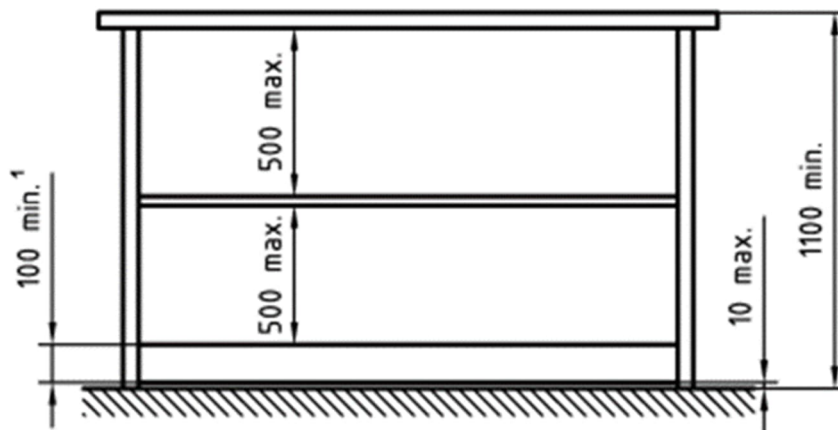
Standardissa kuvatut vaatimukset työskentelytasoille ja kulkutasoille:

- Jos työskentelytasoilta tai kulkutasoilta on mahdollista pudota vähintään 500 mm korkeudelta, tasot on varustettava standardin EN ISO 14122-3 mukaisilla suojakaiteilla.
- Lattiapinnan on oltava ominaisuuksiltaan liukastumisvaaraa vähentävä. Tarkempia ohjeita standardin liitteessä A.

- Työskentelytasoja ja kulkutasoja koskevissa teknisissä tiedoissa on kerrottava mille kuormalle ne on suunniteltu. Tasanteiden, työskentelytasojen ja kulkutasojen mitoituksessa huomioon otettavat vähimmäiskuormat ovat seuraavat:
  - rakenteeseen tasaisesti kohdistuva kuormitus 2 kN/m<sup>2</sup>
  - lattiarakenteen epäedullisimpaan kohtaan kohdistuva 1,5 kN kuorma jakautuneena 200 mm x 200 mm suuruiselle alueelle.
- Kun lattiapintaa kuormitetaan suunnittelukuormalla, lattiapinnan taipuma ei saa ylittää 1/200 osaa jännevälistä eikä korkeusero kuormitetun ja viereisen kuormittamattoman lattiapinnan välillä saa ylittää 4 mm. Työskentelytasojen ja kulkutasojen rakenteen lujuuden turvallisuus on todennettava laskelmilla tai testeillä. (SFS-EN ISO 14122-2 + A1 2010.)

### 3.3.4 SFS-EN ISO 14122-3 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet

Tässä (B-tyypin) standardin osassa esitetään vaatimukset kiinteästi asennetun koneen osana oleville portaille, porrastikkaille ja suojakaiteille (kuva 11) sekä käsin käytettäville säädettäville tai liikuteltaville kiinteästi asennettujen kulkuteiden osille.



KUVA 11. Suojakaiteen mitoitus (SFS-EN ISO 14122-3 + A1 2010.)

Standardissa kuvatut vaatimukset suojakaiteille ja porteille:

- Suojakaidetta on käytettävä vaarallisten alueiden puolella, kun tason ulkopuolella on uppoamisen tai läpi putoamisen vaara (esim. kulkutie heikkorakenteisella katolla olevalle poistopuhaltimelle).
- Suojakaide on oltava, kun mahdollinen putoamismatka on yli 500 mm.
- Suojakaide on oltava, jos tason ja koneen rakenteen tai seinän välinen aukko on yli 200 mm tai jos rakenne ei suojaa putoamiselta yhtä hyvin

kuin suojakaide. Jalkalista on kuitenkin oltava, kun tason ja viereisen rakenteen välinen aukko on suurempi kuin 30 mm.

- Käsijohteen korkeuden on oltava vähintään 1100 mm.
- Suojakaiteessa on oltava vähintään yksi välijohde tai muu vastaavan suojan antava rakenne. Käsijohteen ja välijohteen samoin kuin välijohteen ja jalkalistan välinen vapaa tila ei saa ylittää 500 mm.
- Kun välijohteen sijasta käytetään pystypienoja, saa pienojen välinen vaakasuora vapaa väli olla korkeintaan 180 mm.
- Vähintään 100 mm korkea jalkalista on asennettava korkeintaan 10 mm etäisyydelle kävelytasosta ja tason reunasta (ks. kuva 13).
- Kaidetolppien välisen etäisyyden olisi oltava korkeintaan 1500 mm. Jos väli on tätä pitempi, on erityistä huomiota kiinnitettävä kaidetolppien kiinnityskohtien lujuuteen ja kiinnityselimiin.
- Jos käsijohde ei ole yhtenäinen, olisi vapaan välin kahden johdejaksen välissä oltava vähintään 75 mm käden takertumisen estämiseksi. Väli saa olla korkeintaan 120 mm. Jos johteiden välinen aukko on suurempi, on käytettävä itsestään sulkeutuvaa porttia.
- Kun suojakaiteen läpi on päästävä kulkemaan, on aukossa käytettävä itsestään sulkeutuvaa porttia. Portissa on oltava käsijohde ja välijohde samalla korkeudella kuin sen yhteydessä olevassa suojakaiteessa. Porttien on oltava itsestään sulkeutuvia ja niiden avautumissuunnan on oltava tasolle tai lattialle päin. Niiden on sulkeuduttava tukevaa estettä vasten niin, että portti ei avaudu ja käyttäjä putoa sitä vasten nojattaessa. Portteja koskevat samat lujuusvaatimukset kuin kaiteita.
- Käsijohteen päät on muotoiltava niin, että niistä ei ole vahingon vaaraa terävien reunojen tai käyttäjien vaatteiden takertumisen vuoksi.
- Suojakaiteen on kestävä ilman havaittavissa olevaa pysyvää muodonmuutosta vaakasuorassa vaikuttava pistekuorma, joka on yhtäsuuri tai suurempi kuin käyttökuormitus ja joka kohdistetaan ensin kaidetolpan yläpäähän ja sitten epäedullisimpaan kohtaan käsijohdetta. Kummassakaan tapauksessa taipuma ei saa kuormitettuna olla yli 30 mm.
- Vähimmäiskäyttökuormitus  $F_{min} = 300 \text{ N/m} \times \text{kahden peräkkäisen kaidetolpan keskiakselin välinen suurin etäisyys metreinä (L kuvassa 9)}$ .

HUOM. 1 Käyttöolosuhteiden perusteella kuormaa  $F_{min}$  olisi tarvittaessa suurennettava ylittämättä edellä esitettävää taipuman arvoa.

HUOM. 2 On olennaisen tärkeää testata suojakaiteen lujuus varmuuskertoimella kerrotuilla kuormilla, jos vaaditaan todentamaan se, että mitään havaittavissa olevia pysyviä muodonmuutoksia ei aiheudu.

Turvallisuusvaatimusten toteutuminen voidaan arvioida mittauksilla, tarkastuksilla, laskelmilla tai testaamalla. Kun käytetään testausta, se on tehtävä tässä luvussa esitettyä testausmenetelmän mukaisesti. (SFS-EN ISO 14122-3 + A1 2010.)

### **3.3.5 SFS-EN ISO 14122-4 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat**

Tässä (B-tyypin) standardin osassa esitetään vaatimukset kiinteästi asennetun koneen osana oleville tikkaille sekä käsin käytettäville säädettäville tai liikuteltaville kiinteästi asennettujen tikasjärjestelmien osille. HUOM. Liikkuviin koneisiin voidaan soveltaa vaihtoehtoisia vaatimuksia johtuen niiden mitoista ja erityisistä käyttöolosuhteista.

Kaksijohteinen kiinteä tikas on standardin EN ISO 14122-1 kohdan 3.1 mukainen kiinteä tikas, jossa puolat ovat johteissa kiinni kahden pystyjohteen välissä; pystyjohteet kantavat kuorman. Saapumisalueella olevasta kulkuaukosta putoamisen estämiseksi aukossa on oltava portti.

Portin on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- a) portin avautumissuunta ei saa olla reunalle päin (alueelta ulospäin)
- b) portti on suunniteltava siten, että se voidaan avata helposti
- c) portin on sulkeuduttava automaattisesti, esim. jousen tai painovoiman avulla
- d) portissa on oltava ainakin standardin EN ISO 14122-3 vaatimusten mukainen käsijohde ja välijohde. (SFS-EN ISO 14122-4 + A1 2010.)

### **3.4 Riskin arviointi ja yhdenmukaistetut standardit**

Koneen valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on varmistettava, että suoritetaan riskin arviointi, jotta koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Kone on sen jälkeen suunniteltava ja rakennettava ottaen huomioon riskin arvioinnin tulokset. Riskin arviointi ja riskin pienentäminen on iteratiivinen prosessi, jonka aikana valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on:

- Määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.
- Tunnistettava koneen mahdollisesti aiheuttamat vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet.
- Arvioitava riskin suuruus ottaen huomioon mahdollisen vamman tai terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys.

- Arvioitava riskin merkitys sen määrittämiseksi, onko riskiä tämän direktiivin tavoitteiden mukaisesti pienennettävä.
- Poistettava vaarat tai pienennettävä näihin vaaroihin liittyviä riskejä soveltamalla suojaustoimenpiteitä konedirektiivin 1.1.2 kohdan b alakohdassa määrätyssä ensisijaisuusjärjestyksessä (Konedirektiivi 2006).

Yhdenmukaistettujen standardien soveltaminen helpottaa riskin arviointia, sillä koneita koskevissa C-tyyppin standardeissa määritetään ne merkittävät vaarat, jotka liittyvät tavallisesti kyseessä olevaan koneluokkaan, ja täsmennetään niiden osalta toteutettavat suojaustoimenpiteet. Yhdenmukaistettujen standardien soveltaminen ei kuitenkaan vapauta koneen valmistajaa velvollisuudesta suorittaa riskin arviointi.

Riskin suuruuden arvioinnissa hyödynnetään arviointimatriisia (taulukko 5), jossa otetaan huomioon vahingon esiintymistodennäköisyys ja vakavuus. Riskin arvioinnin menetelmiä on kuvattu tarkemmin standardissa SFS-ISO/TR 14121-2:2013 Riskin arvioinnin menetelmät ja esimerkit.

TAULUKKO 5. Riskin suuruuden arviointimatriisi (SFS-ISO/TR 14121-2:2013)

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	<b>Suuri</b>	<b>Suuri</b>	<b>Suuri</b>	<b>Keskimääräinen</b>
Todennäköinen	<b>Suuri</b>	<b>Suuri</b>	<b>Keskimääräinen</b>	<b>Pieni</b>
Epätodennäköinen	<b>Keskimääräinen</b>	<b>Keskimääräinen</b>	<b>Pieni</b>	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	<b>Pieni</b>	<b>Pieni</b>	Merkityksetön	Merkityksetön

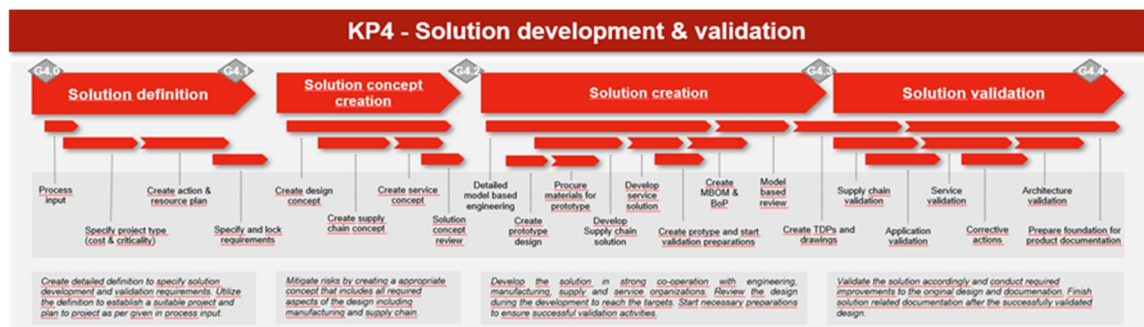
## 4 TURVALLISUUSPARANNUSTEN SUUNNITTELU

Tuotemuutosten suunnittelu, validointi ja käyttöönotto tehtiin Metso Mineralsin tuotekehitysprosessin mukaisesti, sekä konedirektiiviä ja koneturvallisuusstandardeja noudattaen. Suunnittelussa hyödynnettiin 3D-mallinnusta, vertailuanalyysiä (benchmarking), elementtimenetelmää (FEM), kestoikälaskentaa, ja riskianalyysiä.

### 4.1 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessi alkaa idean tai tarpeen tunnistamisella, jonka jälkeen toteutukselle määritellään tekniset vaatimukset (Cooper 2010; Pahl & Beitz 1990). Tuotekehitysprosessissa (kuvio 1) on määritetty vaiheet uuden tuotteen, tai tuote-ominaisuuden luomiselle.

Jos on useampia kilpailevia toteutusvaihtoehtoja, luodaan kaikista suunnittelukonseptit ja valitaan paras konseptiarvioinnin perusteella. Konseptiarvionnissa tehdään yhteistyössä tarvittavien sidosryhmien kanssa ja pisteytetään ratkaisun ominaisuudet yrityksen sisäisten, sekä markkinalähtöisten kriteerien perusteella, kuten kustannukset, valmistettavuus, luotettavuus, turvallisuus, käytettävyys jne. Parhaan vaihtoehdon löydyttyä tehdään yksityiskohtainen suunnittelu, prototyypin valmistus, sekä tarvittavat testaukset vaatimusten täyttymisen todentamiseksi. Kun ratkaisu täyttää asetetut vaatimukset, se implementoidaan sarjatuotantoon ja lanseerataan markkinoille.



KUVIO 1. Metson tuotekehitysprosessia mukaillen (Metso Outotec 2021)

## 4.2 Suunnittelumenetelmät

Suunnittelumenetelmät vaihtelevat riippuen suunnittelutyön tavoitteista ja käytettävissä olevista resursseista. Tässä työssä käytetyt menetelmät on kuvattu seuraavissa luvuissa.

### 4.2.1 Benchmarking

**Benchmarking** (esikuva-analyysi/vertailuanalyysi) tarkoittaa oman toiminnan, tai teknisen ratkaisun vertaamista kilpailijoiden vastaaviin ratkaisuihin (Tuominen 2016). Benchmarking on hyvä menetelmä uusien ratkaisujen ideointivaiheessa. Hyviä paikkoja vertailuanalyysin tekemiseksi on esimerkiksi erilaiset konemessut, joissa on esillä useiden valmistajien tuotteita ja erilaisia ratkaisuja. Konevalmistajien nettisivuilla ja tuote-esitteissä on myös nähtävillä koneiden ominaisuuksia, dimensioita ja suoritusarvoja. Edellämainittuja tietolähteitä hyödynnettiin myös tässä työssä.

### 4.2.2 3D-mallinnus

3D-mallinnus tarkoittaa tietokoneavusteista kolmiulotteista suunnittelua (3D CAD). Tuloksena syntyvän virtuaalisen mallin avulla voidaan tarkistaa koneen toiminnallisuus, kokoonpantavuus ja osien valmistettavuus jo ennen osien valmistusta. 3D-mallin pohjalta luodaan myös koneen valmistus- ja kokoonpanodokumentaatio. Tässä työssä 3D-mallinnukseen käytettiin Siemensin NX-ohjelmää (Siemens 2023).

### 4.2.3 Lujuustarkastelu

Lujuustarkastelun (Salmi & Pajunen 2010) avulla varmistetaan, että tuote kestää siihen kohdistuvat rasitukset eri kuormitustilanteissa. Lujuustarkastelussa hyödynnetään mm. tietokonesimulaatioita (FEM), kokeellisia menetelmiä (veto-, taivutus-, iskukokeita) ja analyysilaskentaa (kestoikä). Kulkuteille ja kulkuteiden

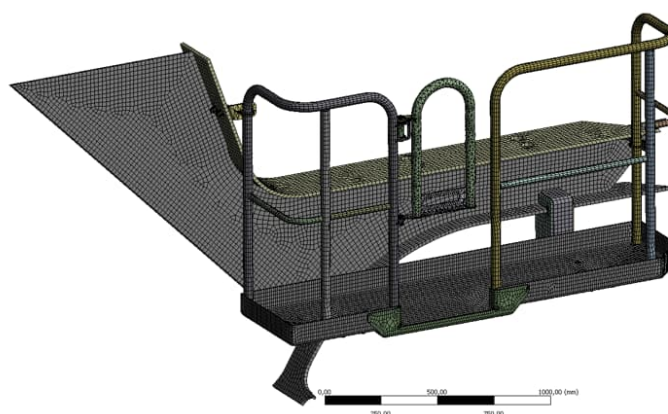


osille on määritetty lujuusvaatimukset staattisten kuormitusten aiheuttamien siirtymien perusteella standardeissa ISO 2867:2011 ja SFS-EN ISO 14122. Jännitysrajat määritetään perusaineen myötörajan (esim. 355 MPa) ja sopivien turvakertoimien perusteella turvalliselle alueelle. Suuntaa vaihtavassa (tykyttävässä) kuormituksessa hitsien alueella käytetään rajana 35 MPa maksimijännitystä ja polttoleikattujen levyreunojen alueella 65 MPa maksimijännitystä. Ominaistaajuudet säädetään rakenteen jäykkyydellä kohdalleen siten, että alimmat ominaistaajuudet ei osu murskaimen (500-580 rpm) tai tärysyöttimen (1200 rpm) pyörimisnouseuden kohdalle. Tällä varmistetaan, että rakenteeseen ei synny rakenteen väsymistä aiheuttavaa resonanssia.

## **FEM-laskenta**

FEM-laskennassa (Zienkiewicz & Taylor 2005) selvitetään laskennallisesti rakenteen maksimijännitykset, maksimisiirtymät ja ominaistaajuudet. Laskennassa huomioidaan staattiset ja dynaamiset kuorimitustapaukset, sekä materiaaliominaisuudet. FEM-laskennassa laskentamallin luomiseen ja siinä käytettäviin elementtityyppeihin kiinnitettävä riittävästi huomiota. Riittävän tarkkoja tuloksia antava laskentamalli edellyttää mm. sopivan tyyppisten elementtien käyttöä, oikeaa verkon tiheyttä rakenteen eri osissa ja tarpeeksi säännöllisen geometrian omaavien elementtien käyttöä.

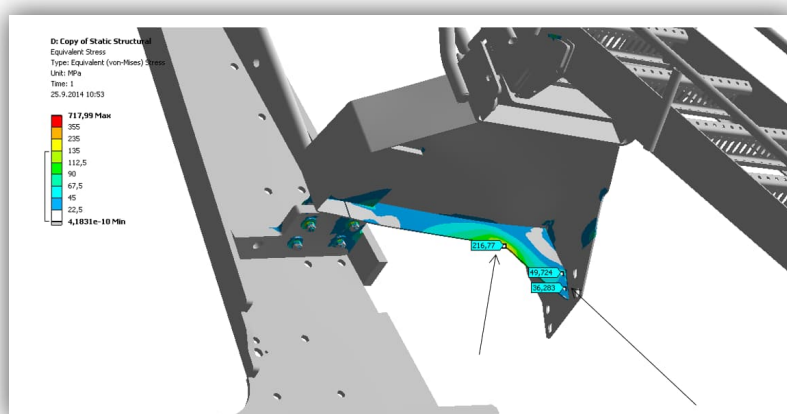
Laskennassa käytettävällä geometrialla on pystyttävä toteuttamaan myös laskennan kannalta tehokas elementtiverkko (kuva 12). Useimmat FEM-ohjelmat, esimerkiksi Ansys (Ansys 2023), pystyvät lukemaan joitakin CAD-ohjelmien tuottamia geometrisia tiedostomuotoja, jotka ne sitten muuntavat omassa tietokannassaan käyttämäänsä muotoon. 3D-solidielementtejä käytetään kolmiulotteisten kappaleiden mallinnukseen. Ne ovat neli-, viisi- ja kuusitahokkaita, joita sanotaan tetraedri-, kiila- ja tiilikivielementeiksi.



KUVA 12. Elementtiverkko oikean puolen huoltotason laskentamallissa (Sutti 2015)

### Kestoikälaskelmat

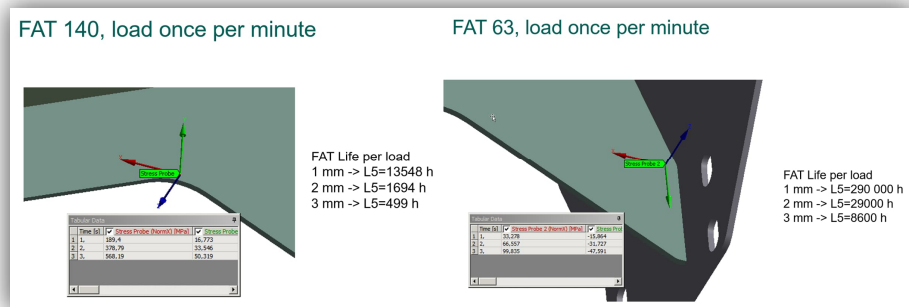
Murskausprosessissa hyödynnetään usein pyöriviä epäkeskeisiä massoja ja siitä aiheutuu rankenteisiin voimakasta suuntaa vaihtavaa kuormitusta. Kivien lastaaminen syöttimelle aiheuttaa myös rakenteisiin toistuvia jännityspiikkejä (kuva 13). Tämä aiheuttaa rakenteiden väsymistä ja se täytyy huomioida rakenteita suunniteltaessa. Kestoikälaskelman avulla voidaan arvioida rakenteen kestoikää ko. pinnanmuodolle tyypillisen väsymislukon (FAT-luokka), siihen kohdistuvien kuormitusyklejen määrän ja voimakkuuden perusteella.



KUVA 13. Kivien kuormaamisesta aiheutuvat jännitykset (Sutti 2015)

Laskennallinen kestoikä kivien kuormaamisesta aiheutuvan jännityshuipun kohdalla polttoleikatussa levyreunassa ja hitsin kohdalla (kuva 14) 1 mm, 2 mm

ja 3 mm siirtymillä kiinnitysruuvejen kohdalla ja 1 x min kuormitusykyllä (tavoite 40000 tuntia).



KUVA 14. FAT-luokka ja kestoikä plasmaleikatun levyn reunassa ja hitsissä (Sutti 2015)

#### 4.2.4 Riskin arviointi

Riskin arviointi tehdään aina tuotemuutoksen yhteydessä. Jos tuotemuutos koskee olemassa olevan ominaisuuden muutosta, arviointi voidaan usein tehdä päivittämällä olemassa olevaa arviointia. Riskin arvioinnin perusteella tehdään tarvittavat toimenpiteet riskien pitämiseksi riittävän alhaisella tasolla. Taulukossa 6 on esimerkki oikean puolen huoltotason riskin arvioinnista. Riskin arvioinnin menetelmiä on kuvattu tarkemmin standardissa SFS-ISO/TR 14121-2:2013 Riskin arvioinnin menetelmät ja esimerkit.

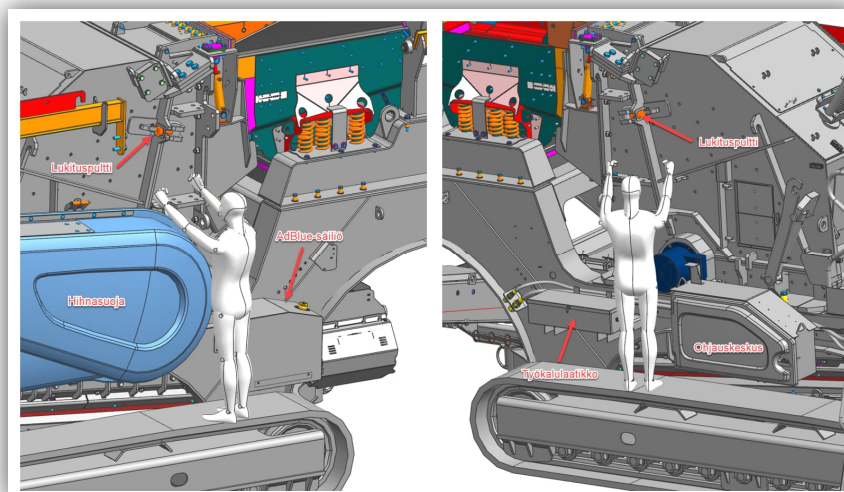
TAULUKKO 6. Riskinarviointimatriisi

LT1213/S murskaimen huoltotaso (oikea)						
Vaaratilanne	Vaaratyyppi	Seuraukset	Todennäköisyys	Riski	Korjaustoimenpide	Std kohta
Käyttö						
Kompastuminen tasolla	Luunmurtumia, ruhjeita	30	0,3	9 Siedettävä		SFS-EN ISO 14122-2
Putoaminen rapuilta	Luunmurtumia, ruhjeita	40	0,2	8 Siedettävä	Helppokulkuiset, käsihoiteet, liukuesteet askelmissa	SFS-EN ISO 14122-4
Putoaminen tasolta	Luunmurtumia, ruhjeita	50	0,1	5 Vähäinen	Itsestään sulkeutuva portti ja kaitteet estää putoamisen. Tasolla on potkulistat	SFS-EN ISO 14122-2
Henkilö seisoo rapuilla ja paluukuljetin käännetään paluusasentoon, jolloin henkilö putoaa tai kaatuu	Luunmurtumia, ruhjeita	50	0,2	10 Siedettävä	Murskaimen korvattava muutetaan, siten ettei käsi puristu väliin	

## 4.3 Huoltotasot

### 4.3.1 Lähtötilanne

Kiilahihnojen vaihtoa lukuunottamatta kaikki murskaimen käyttö- ja huoltotoimenpiteet edellyttävät joko tejojen päälle nousemista (kuva 15), tai murskaimen sisään menemistä. Murskaimen ympärillä työskentely ja liikkuminen osoittautui liian hankalaksi ja epäturvalliseksi. Tästä syystä murskaimen ympärille päätettiin asianmukaiset kulkutiet ja apuvälineet huoltotoimenpiteitä varten.



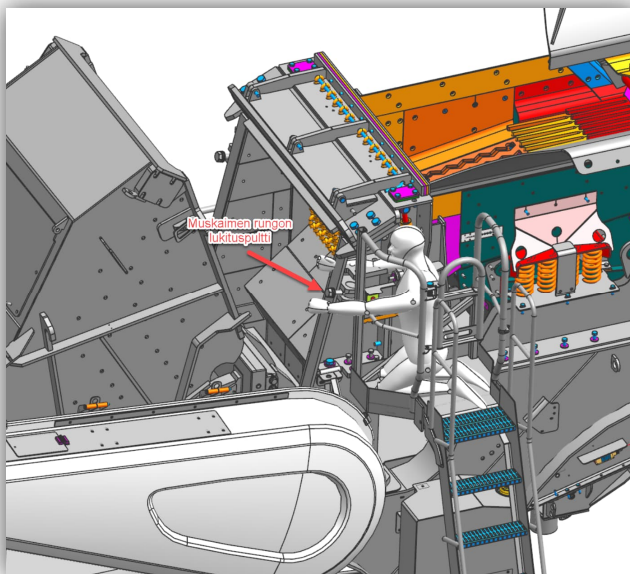
KUVA 15. Luoksepääsy lukituspultille (Kuva: Antti Lapp 2022)

### 4.3.2 Jälkiasennettavat huoltotasot

Koneita oli jo toimitettu muutamia kymmeniä kun puutteet huollettavuudessa todettiin. Ensin ko. koneisiin suunniteltiin jälkeinpäin kenttäolosuhteissa asennettavat huoltotasot.

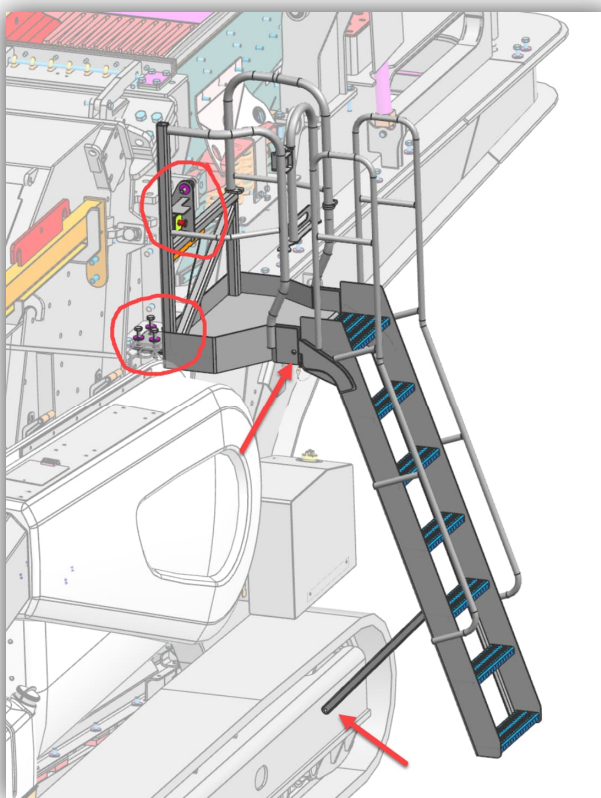
#### Vasen puoli

Huoltotasolta on hyvä luoksepäästävyys lukituspultille (kuva 16), näköyhteys murskaimen sisään ja syöttimelle.



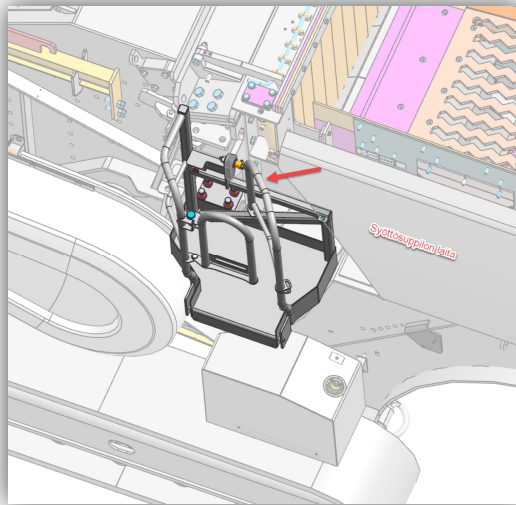
KUVA 16. Vasemman puolen huoltotaso (Kuva: Antti Lapp 2022)

Huoltotaso kiinnitetään ruuviliitoksella (kuva 17) murskaimen runkoon ja porrastikkaat tukitangon avulla telapalkkiin hitsattaviin korvakkisiin. Irroitettavat porrastikkaat kiinnittyy huoltotasoon koukkumaisten tukilevyjen avulla.



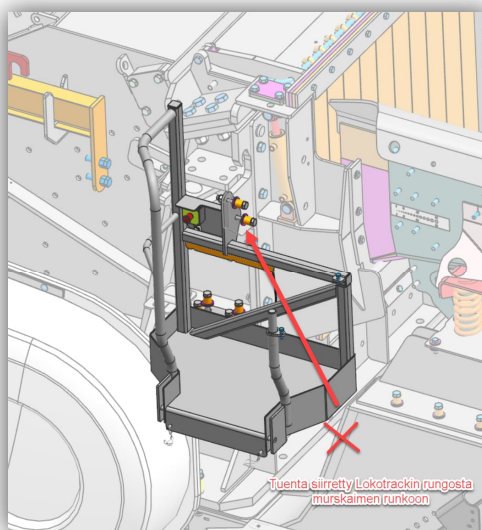
KUVA 17. Huoltotason tuenta käyttöasennossa (Kuva: Antti Lapp 2022)

Kuljetusta varten porrastikkaat irroitetaan ja pakataan koneen mukaan. Oikean puoleinen nivelöity kaide (kuva 18) käännetään pois syöttösuppilon laidan tieltä.



KUVA 18. Huoltotaso kuljetusasennossa (Kuva: Antti Lapp 2022)

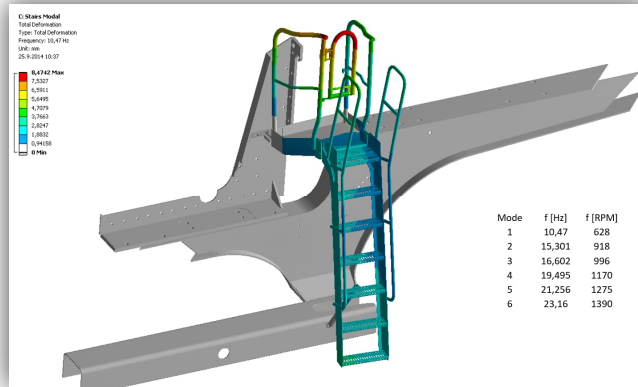
Ensimmäisessä versiossa (kuva 16) huoltotaso tuettiin murskaimen runkoon ja koneen runkoon. Tässä tuentatavassa haastetta aiheutti kivien kuormaamisesta aiheutuva siirtymä koneen runkoon kiinnitettyyn kannattimeen. Huoltotason tuenta siirrettiin kokonaan murskaimen rakenteisiin (kuva 19), jolla saatiin poistettua kivien kuormaamisesta aiheutuvat jännitykset ja rakenteen väsyminen.



KUVA 19. Uusi tuentapiste (Kuva: Antti Lapp 2022)



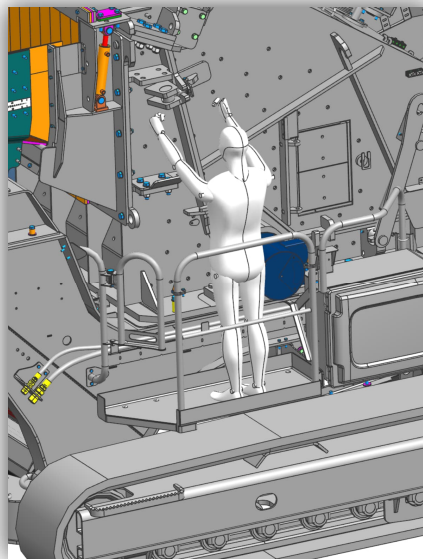
Alimmat ominaistajuuudet (mode 1-6) eivät ole murskaimen (500-580 rpm), eikä tärysyöttimen (1200 rpm) pyörimisnopeuden kohdalla (kuva 20). Huom! Lujuusanalyysistä tuloksena saatavassa animaatioissa rakenteessa ilmeneviä siirtymiä liioitellaan tilanteen havainnollistamisen helpottamiseksi.



KUVA 20. Siirtymät ja ominaistajuuudet (Sutti 2015)

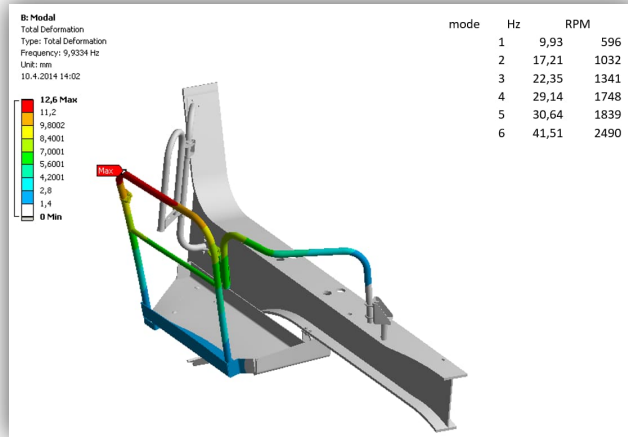
## Oikea puoli

Työkalulaatikko ja laatikon kannattimet täytyi poistaa (kuva 15), jotta huoltotasolle saatiin tarpeeksi tilaa koneen sivustalle (kuva 21). Seulontayksikön paluukuljetin on käännettyvä sivuun huollon aikana.



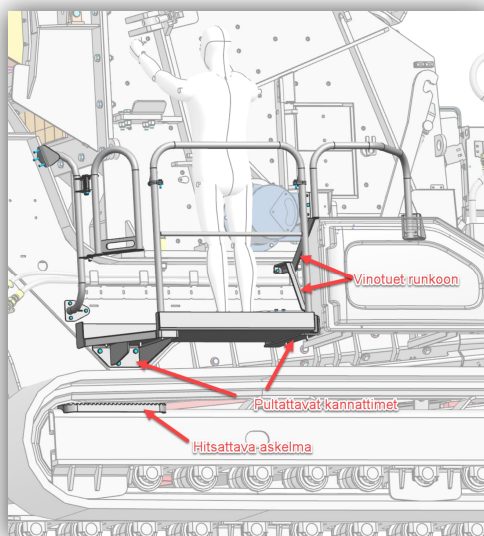
KUVA 21. Oikean puolen jälkiasennettava huoltotaso (Kuva: Antti Lapp 2022)

Alin ominaistajuus (mode 1, kuva 22) oli liian lähellä murskaimen pyörimisnopeutta (500rpm - 580rpm). Huoltoasolle ja kaiteelle lisättiin vinotuet koneen runkoon (kuva 23), jotta alin ominaistajuus saatiin korkeammaksi.



KUVA 22. Siirtymät ja ominaistajuudet (Sutti 2015)

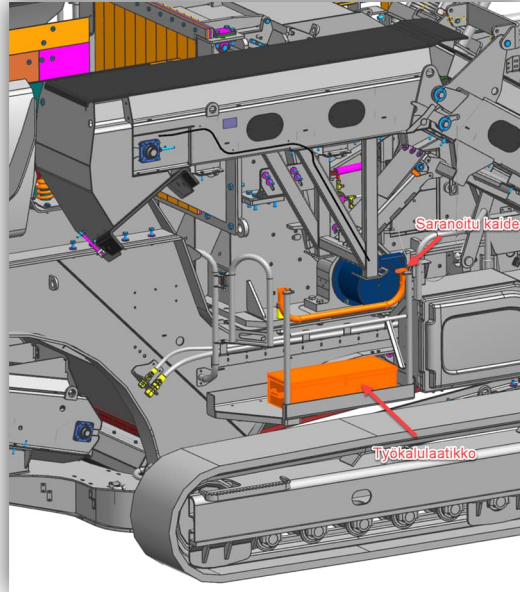
Ennen asennusta työkalulaatikon kannattimet poistetaan polttoleikkaamalla tai hiilitalttaamalla, jonka jälkeen huoltotason kannattimille ja kaiteille porataan kiinnitysreiät runkoon. Telapalkkiin hitsataan askelma huoltotasolle nousua helpottamaan (kuva 23).



KUVA 23. Hitsattava askelma ja huoltotason tuenta koneen runkoon  
(Kuva: Antti Lapp 2022)



Kaide on saranoitu yläosastaan (kuva 24), jotta se voidaan kääntää kuljetusasennossa pois paluukuljettimen kannattimen tieltä. Työkalulaatikko sidotaan huoltotasolle kuljetuksen ajaksi.



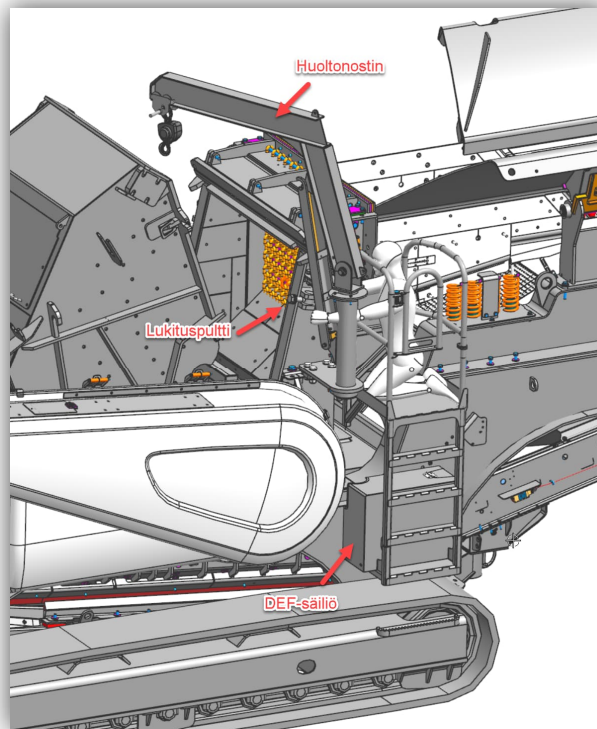
KUVA 24. Kone kuljetusasennossa (Kuva: Antti Lapp 2022)

#### 4.3.3 Huoltotasot sarjatuotantoon

Sarjatuotantoon suunnitellut huoltotasot on täysin integroidut, eikä osia tarvise irroittaa koneen kuljetuksen ajaksi. Suunnitteluvaiheessa kiinnitettiin myös enemmän huomiota asennettavuuteen valmistettavuuteen ja visuaaliseen ulkonäköön

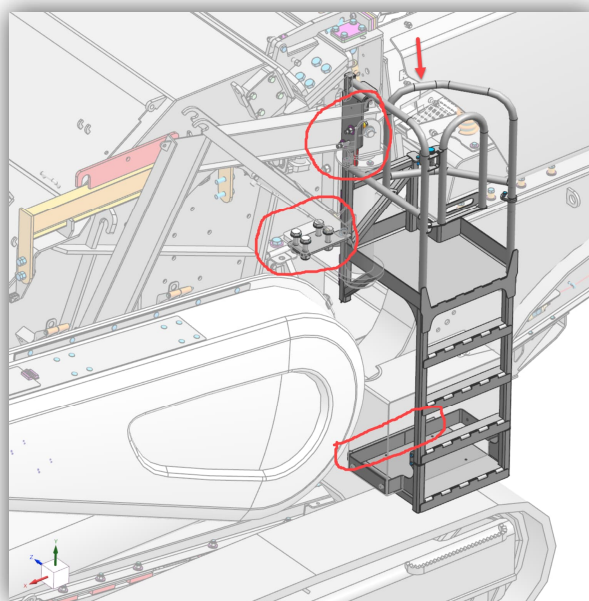
##### Vasen puoli

DEF-säiliö ja tikkaat integroitiin huoltotason tukirakenteisiin (kuva 25). Huoltotason kanssa on myös mahdollista valita lisävarusteena hydraulinen huoltonostin.



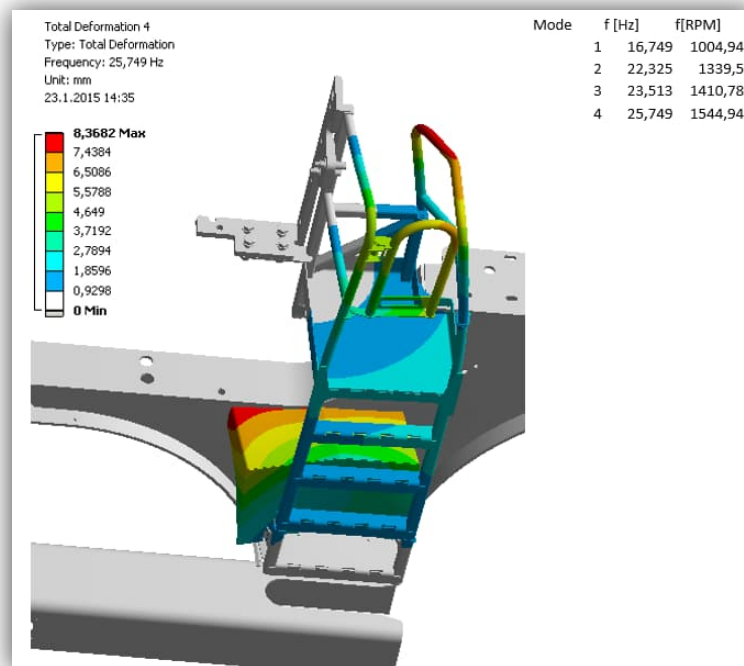
KUVA 25. Lukituspultin avaus huoltotasolta (Kuva: Antti Lapp 2022)

Huoltotaso on tuettu yläosastaan murkaimen runkoon ja alaosastaan Lokotrackin runkoon. Saranoitu kaide käännetään pois syöttösuppilon laidan tieltä kuljetusasennossa (kuva 26).



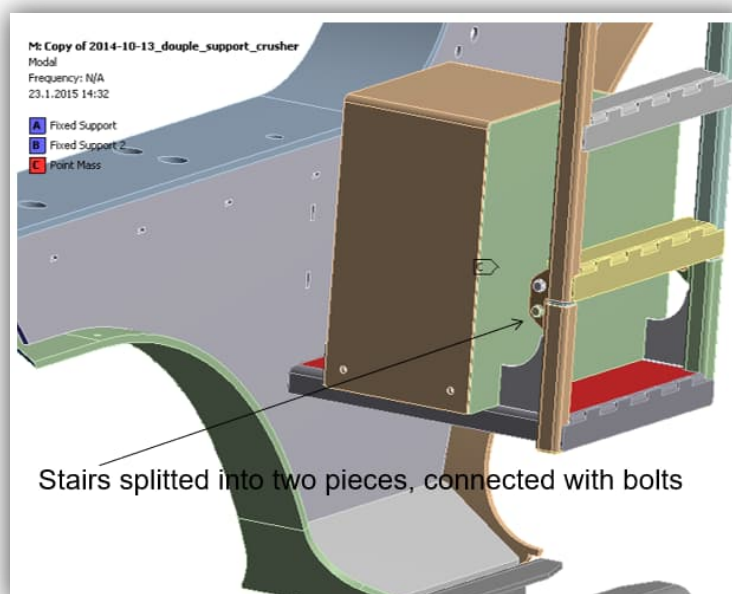
KUVA 26. Huoltotason tuenta ja kuljetusasento (Kuva: Antti Lapp 2022)

Ominaistaajuudet (kuva 27) ovat turvallisella alueella, eli riittävän kaukana herätetaajuuksista (murskain 500-580 rpm ja tärysyötin 1200 rpm).



KUVA 27. Siirtymät ja ominaistaajuudet (Sutti 2015)

Tikkaiden alaosa ja DEF-säiliön asennus suojuksineen yhdistettiin omaksi alikokoonpanokseen (kuva 28).



KUVA 28. Yhdistetty DEF-säiliö ja tikkaiden alaosa (Sutti 2015)

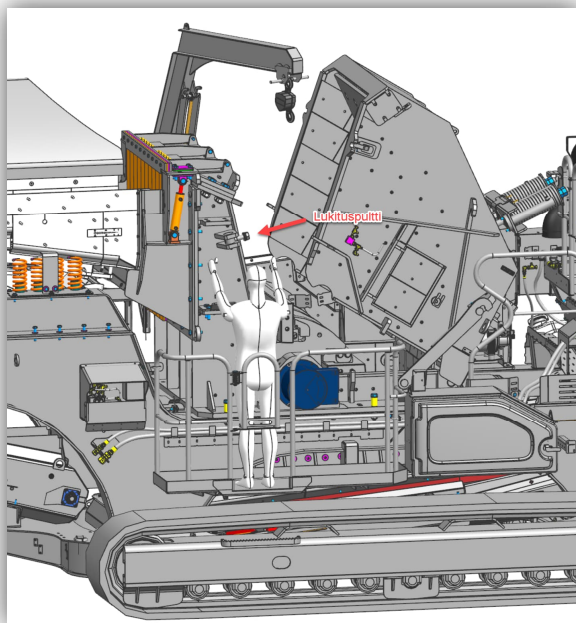
Huoltotason yläosa eriytettiin muusta rakenteesta, jotta se on mahdollista esiasentaa jo murskaimen varusteluvaiheessa (kuva 29).



KUVA 29. Murskaimen varustelukokoonpano (Kuva: Antti Lapp 2022)

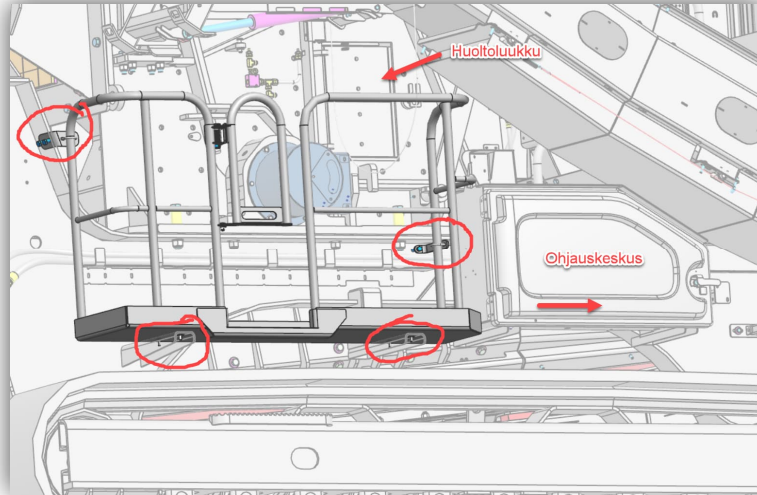
### Oikea puoli

Huoltotasolta (kuva 30) on hyvä luoksepääsy lukituspultille, kulutusosien vaihtoon ja huoltoluukulle murskaimen asetusta mittaamaan.



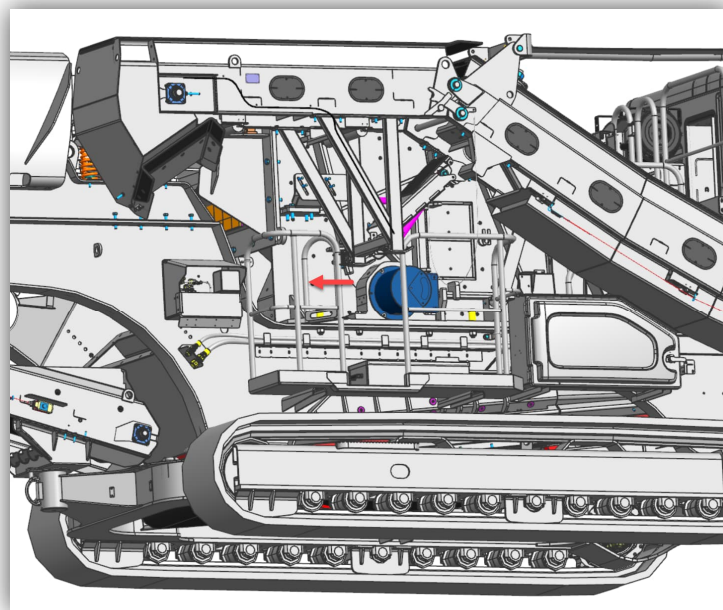
KUVA 30. Luoksepääsy huoltokohteisiin (Kuva: Antti Lapp 2022)

Huoltotaso pultataan runkoon hitsattujen kannattimien päälle (kuva 31). Kaiteiden siirtymä pienennettiin runkoon pulttavilla kiinnikkeillä. Ohjauskeskusta siirrettiin 400 mm oikealle päin, jotta huoltoluukulle saatiin kunnollinen luoksepäästävyys.



KUVA 31. Huoltotason tuenta (Kuva: Antti Lapp 2022)

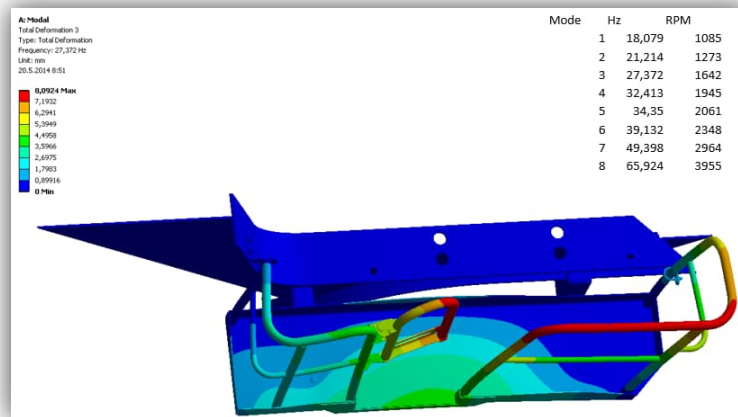
Portti (kuva 32) sijoitettiin siten, että paluukuljettimen kannatin osuu kuljetusasennossa kulkuaukkoon. Kuljetusasennossa portti lukitaan auki-asentoon.



KUVA 32. Huoltotaso kuljetusasennossa (Kuva: Antti Lapp 2022)



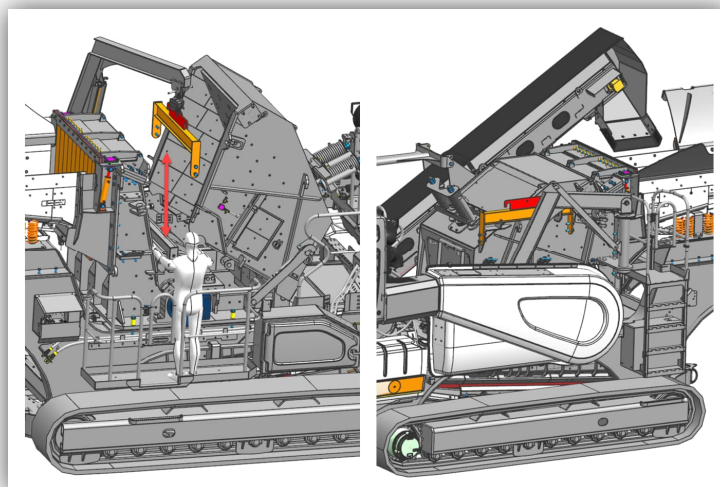
Ominaistaajuuudet (kuva 33) ovat turvallisella alueella, eli riittävän kaukana herätetaajuuksista (500-580 rpm ja 1200rpm).



KUVA 33. Siirtymät ja ominaistaajuuudet (Sutti 2015)

## Huoltonostin

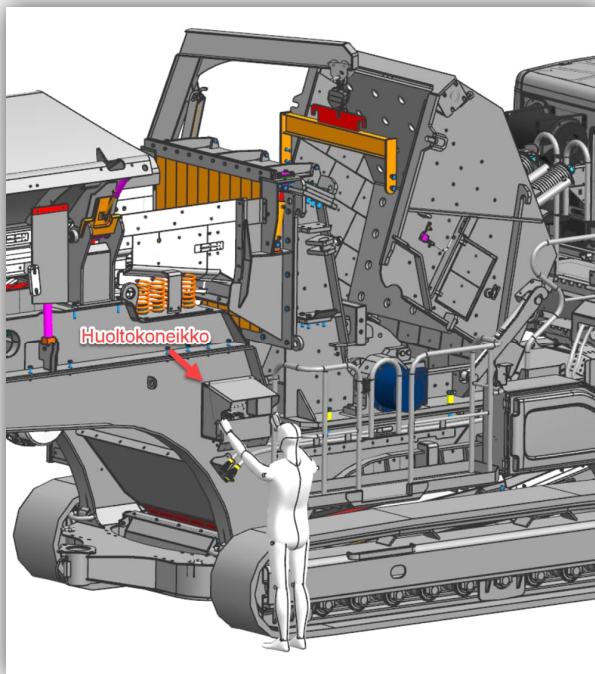
Koneeseen integroidun huoltonostimen (kuva 34) avulla on mahdollista tehdä kulutusosien vaihtotyö, jos käytettävissä ei ole muita nostovälineitä esim. kaivuria. Huoltonostin on valittavissa koneeseen lisävarusteena. Nostimen puomi liikkuu hydraulisesti, mutta itse nosto tehdään puomiin kiinnitetyn ketjutaljan avulla.



KUVA 34. Huoltonostin käyttöasennossa ja kuljetusasennossa  
(Kuva: Antti Lapp 2022)

#### 4.4 Huoltokoneikko

Huoltokoneikko (kuva 35) mahdollistaa murskaimen turvalliset huoltotoimet. Huoltokoneikon ansiosta kone voidaan erottaa kokonaan pääenergianlähteistä (dieselmoottori tai verkkovirta) huollon ajaksi ja estää tahaton koneen liikuttelu. Huoltokoneikkoa käytetään murskaimen asetuksen säätämiseen, rungon avaamiseen ja sulkemiseen, murskaimen roottorin kääntämiseen sekä huoltoluukun turvalukituksen avaamiseen. Huoltokoneikon aktivointi sammuttaa dieselmoottorin ja käynnistää hälytyssignaalin. Turvallisuussyistä huoltokoneikko on tarkoitettu käytettäväksi kaksin käsin.

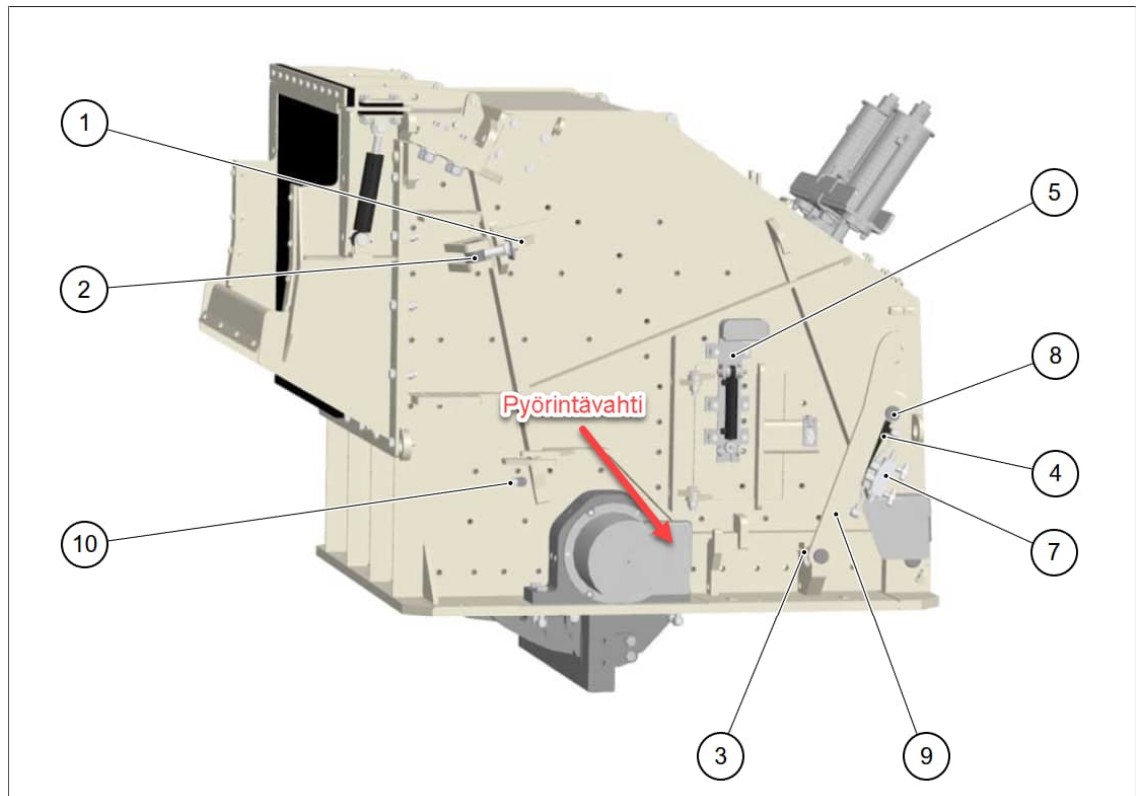


KUVA 35. Huoltokoneikko ja käyttöpaikka (Kuva: Antti Lapp 2022)

#### 4.5 Turvalukitus

Turvalukitus vaaditaan, jotta konedirektiivissä kuvatut vaatimukset (ks. 3.1.5 *Suojuksia koskevat erityisvaatimukset*) täyttyvät. Turvalukituksen avulla varmistetaan murskaimen säädön ja tarkastusten aikainen turvallisuus ja tahaton väärinkäyttö. Murskaimen rungon avaaminen (kuva 37, osat 4, 7 ja 8) ja huoltoluukun avaaminen (kuva 37, osa 5) on estetty, jos roottori ei ole

pysähdyksissä. Roottorin pyörimistä seurataan pyörintävahdin (induktiivinen anturi, kuva 36) avulla. Vastaavasti murskaimen käynnistäminen on estetty, jos rungon tai huoltoluukun avauksen rajakytkimet (kuva 38) ovat aktivoituneena.

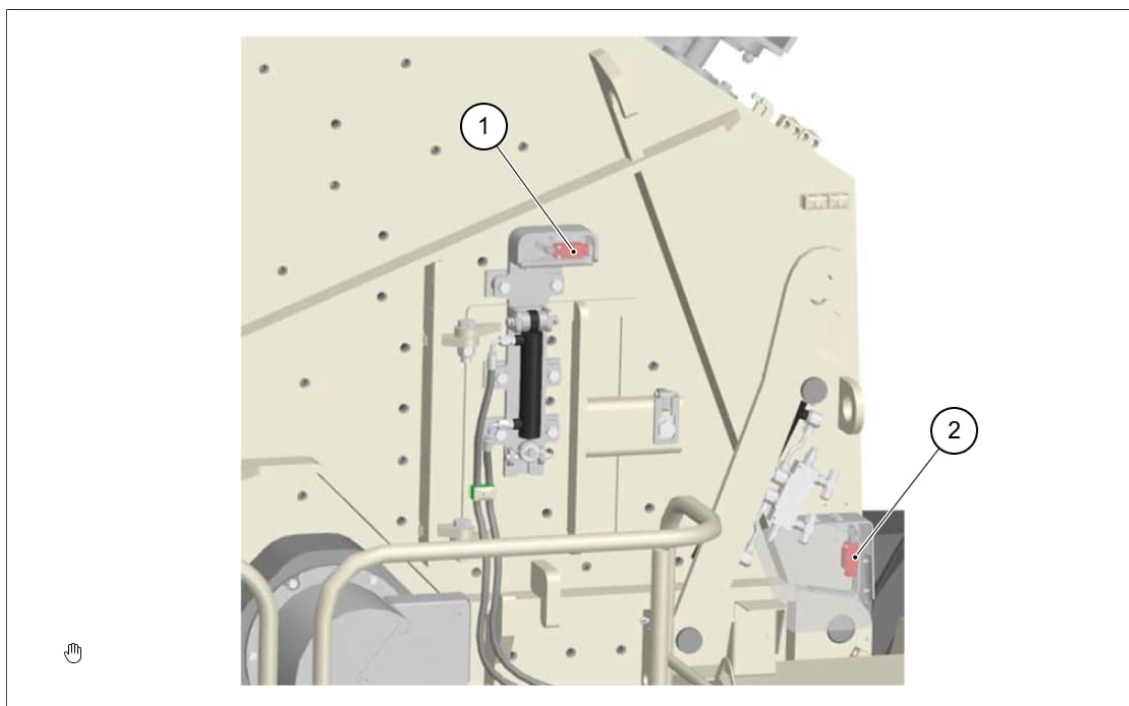


Numero	Kuvaus
1	Lukitushaarukka
2	Rungon lukituksen nivelpultti
3	Turvavarren pysäytin
4	Rungon avaussylinteri
5	Tarkastusluukun lukitusmekanismin asetus
7	Turvaventtiilit
8	Sylinterin varren kara
9	Turvavarsi
10	Lukitustapin reikä

KUVA 36. Turvalukituksen komponentit (Metso Outotec 2022)

Hydraulisylinterillä liikutettava salpa estää mekaanisesti huoltoluukun avaamisen ja aktivoi rajakytkimen 1 (kuva 37). Murskaimen rungon avaaminen aktivoi rajakytkimen 2.





Numero	Kuvaus
1	Murskaimen asetuksen tarkistusluukun tunnistin
2	Murskaimen rungon asennon tunnistin

KUVA 37. Turvalukituksen rajakytkimet (Metso Outotec 2022)

## 5 KYSELYTUTKIMUS

Kyselytutkimus voi sisältää sekä määrällistä, että laadullista tutkimusta (taulukko 7), jossa sovelletaan tilastollisia menetelmiä. Määrällisen tutkimuksen avulla selvitetään lukumääriin ja prosenttiosuuksiin liittyviä kysymyksiä ja saadaan kartoitettua olemassa oleva tilanne. Kysymykset esitetään sanallisesti ja vastaukset ilmaistaan numeerisesti. Laadullisen tutkimuksen avulla saadaan täydentäviä tietoja tai vastauksia kysymyksiin, joiden esittäminen numeroina olisi epäkäytännöllistä ja voidaan selvittää yksityiskohtaisemmin olemassa olevaan tilanteeseen johtaneita syitä.

TAULUKKO 7. Määrällinen ja laadullinen tutkimus (Heikkilä 2014)

KVANTITATIIVINEN (määrällinen)	KVALITATIIVINEN (laadullinen)
<ul style="list-style-type: none"> <li>vastaa kysymyksiin: Mikä? Missä? Paljonko? Kuinka usein?</li> <li>numeerisesti suuri, edustava otos</li> <li>ilmiön kuvaus numeerisen tiedon pohjalta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vastaa kysymyksiin: Miksi? Miten? Millainen?</li> <li>suppea, harkinnanvaraisesti koottu näyte</li> <li>ilmiön ymmärtäminen ns. pehmeän tiedon pohjalta</li> </ul>

### 5.1 Kyselytutkimuksen päätavoite ja tutkimusongelma

Kyselytutkimuksen päätavoitteena oli selvittää mielipiteitä suunniteltujen parannusten toimivuudesta ja jatkokehitysideoita iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuden parantamiseksi LT1213 ja LT1213S mobiilimurskauslaitoksissa. Tutkimusongelma päätavoitteen ratkaisemiseksi muotoiltiin seuraavien kolmen tutkimuskysymyksen avulla:

- 1) Millaiseksi nykyisen iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus koetaan?
- 2) Mitkä asiat heikentävät iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta?

- 3) Millaisia keinoja iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuden parantamiseksi on?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen haettiin vastausta kvantitatiivisella (määrällisellä) ja toiseen ja kolmanteen kvalitatiivisella (laadullisella) tutkimuksella. Tutkimuskysymysten alakysymykset on esitetty seuraavassa luvussa tarkemmin.

## 5.2 Kyselytutkimuksen muotoilu ja toteutus

Tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia muodostamalla viiteen yleisimpään käyttö- ja huoltotilanteeseen liittyvät alaväittämät ja -kysymykset. Yleisimpiä käyttö- ja huoltotilanteita ovat (1) roottorin iskupalkkejen vaihtaminen, (2) iskulevyn kulutusosien vaihtaminen, (3) murskauskammion kulutusosien vaihtaminen, (4) murskaimen rungon lukituspulttejen avaaminen ja (5) murskaimen asetuksen mittaaminen ja säätö. Kuudennessa kohdassa haettiin vastausta murskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuteen kokonaisuutena. Tutkimuskysymykset aliväittämineen väittämät koottiin kyselylomakkeelle (liite 1). Kysely kohdennettiin Metson koekäyttäjille, tuoteasiantuntijoille ja loppuasiakkaille. Kysely toteutettiin henkilökohtaisina haastatteluina. Haastattelun kesto oli noin 45 - 60 minuuttia.

### 5.2.1 Ensimmäinen tutkimuskysymys ja sen alaväittämät

#### 1. Millaiseksi iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus koetaan?

- 1.1) Roottorin iskupalkkejen vaihtaminen on turvallista
- 1.2) Iskulevyn kulutusosien vaihtaminen on turvallista
- 1.3) Murskauskammion kulutusosien vaihtaminen on turvallista
- 1.4) Murskaimen rungon lukituspulttejen avaaminen on turvallista
- 1.5) Asetuksen säätäminen ja mittaaminen on turvallista
- 1.6) Iskupalkkimurskaimen käyttö ja huoltaminen kokonaisuutena on turvallista

Edellisiin väittämiin vastattiin Likertin asteikolla 1-5: 1 = täysin eri mieltä, 3 = neutraali, 5 = täysin samaa mieltä.

### 5.2.2 Toinen tutkimuskysymys ja sen alakysymykset

#### 2. Mitkä asiat heikentävät iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta?

- 2.1) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta roottorin iskupalkkia vaihdettaessa?
- 2.2) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskulevyn kulutusosan vaihtamisessa?
- 2.3) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta murskauskammion kulutusosia vaihdettaessa?
- 2.4) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta murskaimen rungon lukituspultteja avatessa ja/tai kiristäessä?
- 2.5) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta murskaimen asetusta säädettäessä tai mitattaessa?
- 2.6) Mitkä asiat heikentävät iskupalkkimurskaimen käytön ja/tai huoltamisen turvallisuutta kokonaisuutena?

Edelliset alakysymykset esitettiin haastateltaville avoimina kysymyksinä.

### 5.2.3 Kolmas tutkimuskysymys ja sen alakysymykset

#### 3. Mitä keinoja iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuden parantamiseksi on?

- 3.1) Millaisilla keinoilla iskupalkin vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?
- 3.2) Millaisilla keinoilla iskulevy kulutusosan vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?
- 3.3) Millaisilla keinoilla murskauskammion kulutusosien vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?
- 3.4) Millaisilla keinoilla murskaimen rungon lukituspulttejen avaamisesta ja kiristämisestä voisi tehdä turvallisempaa?
- 3.5) Millaisilla keinoilla murskaimen asetuksen mittaamisesta ja säätämisestä voisi tehdä turvallisempaa?
- 3.6) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta voisi parantaa kokonaisuutena?

Edelliset alakysymykset esitettiin haastateltaville avoimina kysymyksinä.

## **6 TULOKSET**

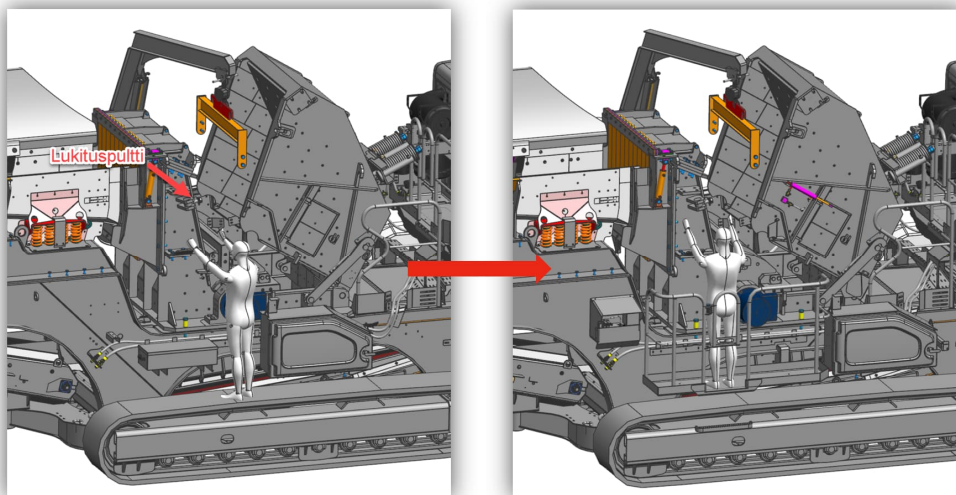
Tämän työn tuloksena LT1213- ja LT1213S- iskupalkkimurskauslaitoksiin suunniteltiin turvallisuusparannuksia ja selvitettiin kyselytutkimuksen avulla mielipiteitä parannusten vaikutuksista ja toimivuudesta. Tässä luvussa esitetään tulokset tiivistetysti ilman työn ensimmäisessä vaiheessa suunniteltuja jälkiasennusratkaisuja ja toisessa opinnäytetyössä toteutettua huoltonostimen uudelleensuunnittelua. Tuloksissa ei esitellä myöskään normaaleiden koneensuunnittelun käytäntöjen mukaan luotuja 3D-malleja, valmistus-, kokoonpano- ja asennusdokumentaatioita.

### **6.1 Turvallisuus- ja käytettävyyssparannukset**

Turvallisuus- ja käytettävyyssparannukset toteutettiin pääosin konedirektiivin ja maarakennuskonestandardi ISO 2867:n mukaisesti. Parannukset keskittyivät murskaimen ympäristössä työskentelyyn murskaimen huollon, ylläpidon ja operoinnin aikana. Tulokset on eritelty koneen oikealle- ja vasemmalle puolelle tehtyihin parannuksiin.

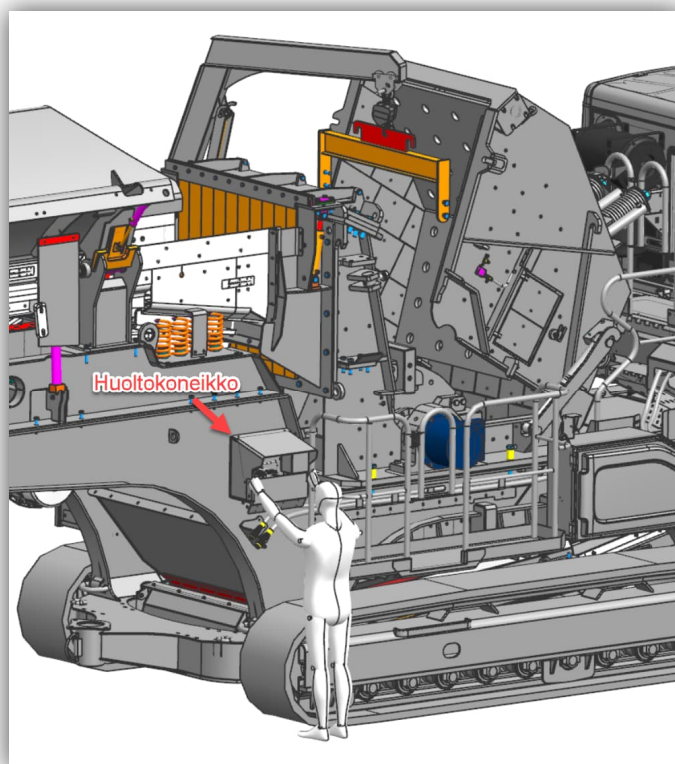
#### **6.1.1 Parannukset koneen oikealle puolelle**

Työskentelyn turvallisuus ja huoltokohteisiin luoksepäästävyys koneen oikealla puolella parani huomattavasti huoltotason ja huoltokoneikon ansiosta. Kuvassa 38 näkyy tilanne ennen muutoksia ja muutosten jälkeen.



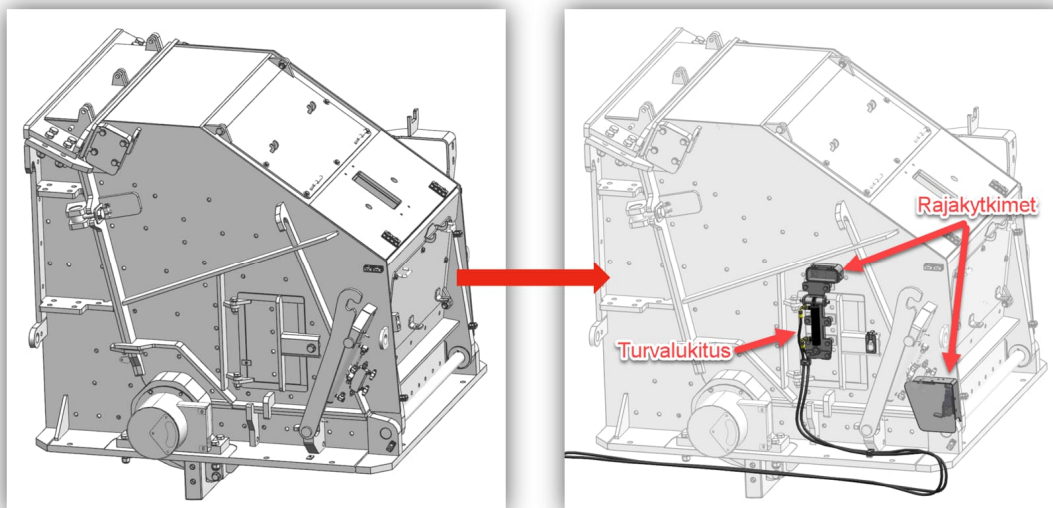
KUVA 38. Rungon lukitus ja Iskupalkin vaihto (Kuva: Antti Lapp 2022)

Huoltokoneikon (kuva 39) avulla murskaimen rungon avaus, roottorin pyöritys, asetuksensäätöluukun turvalukitus (kuva 40), asetuksensäätö ja huoltonostimen käyttö voidaan tehdä maan tasolta dieselmoottorin ollessa sammutettuna.



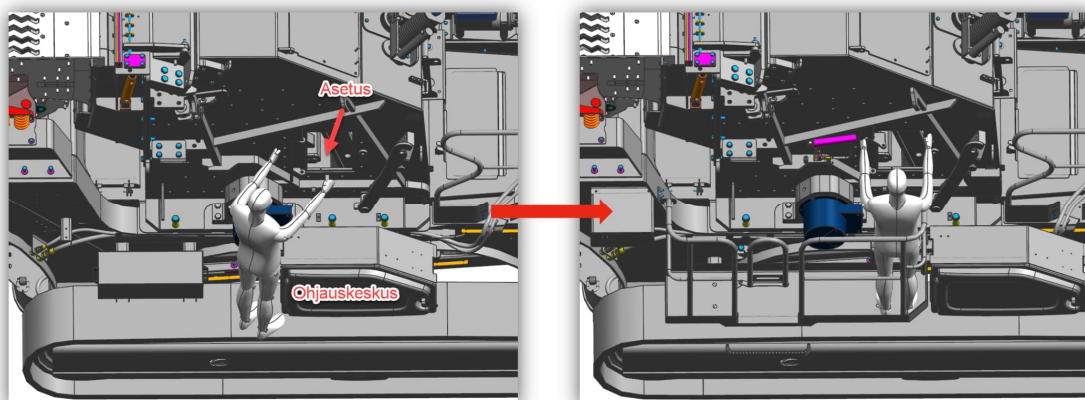
KUVA 39. Huoltokoneikko (Kuva: Antti Lapp 2022)

Kuvassa 40 on kuvattu asetuksensäätöluukun hydraulinen turvalukitus ja rajakytkimet. Turvalukituksen ja ohjausautomaation avulla varmistetaan että roottori on pysähtynyt ennen luukun ja/tai rungon avaamista. Vastaavasti roottorin käynnistys on estetty jos jompikumpi rajakytkimistä on aktivoituneena.



KUVA 40. Turvalukitus (Kuva: Antti Lapp 2022)

Ohjauskeskus oli alunperin hiukan asetuksensäätöluukun tiellä. Keskusta siirrettiin 400 mm koneen purkupäätä kohden ja saatiin parempi luoksepääsy asetuksen mittausta varten. Kuvassa 41 näkyy tilanne ennen muutoksia ja muutosten jälkeen.

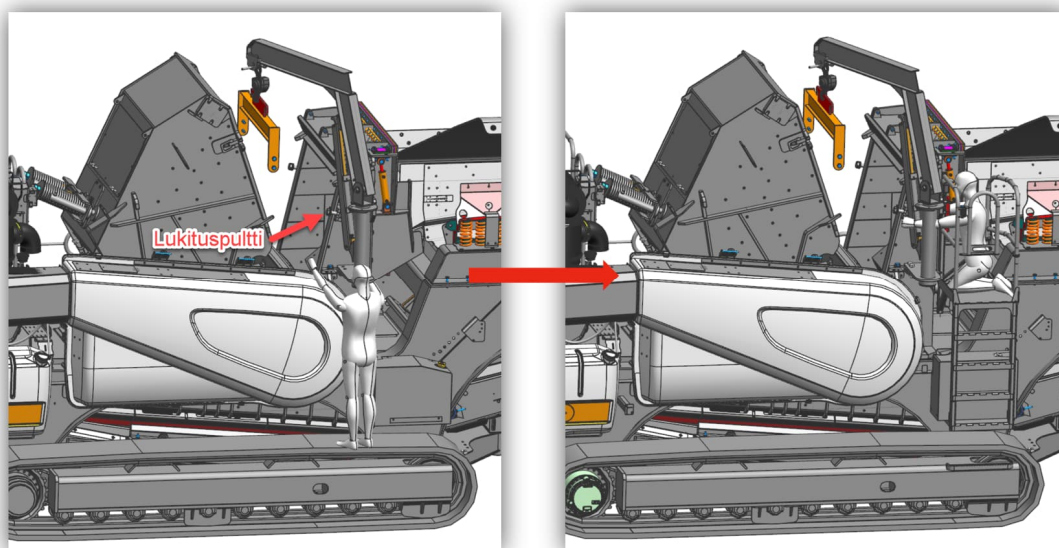


KUVA 41. Asetuksen mittaus (Kuva: Antti Lapp 2022)



### 6.1.2 Parannukset koneen vasemmalle puolelle

Vasemman puolen huoltotasolta on parempi luoksepääsy rungon lukituspultille ja tarvittaessa myös näköyhteys murskaimen sisään ja tärysyöttimelle. Kuvassa 42 näkyy tilanne ennen muutoksia ja muutosten jälkeen.



KUVA 42. Pääsy lukituspultille (Kuva: Antti Lapp 2022)

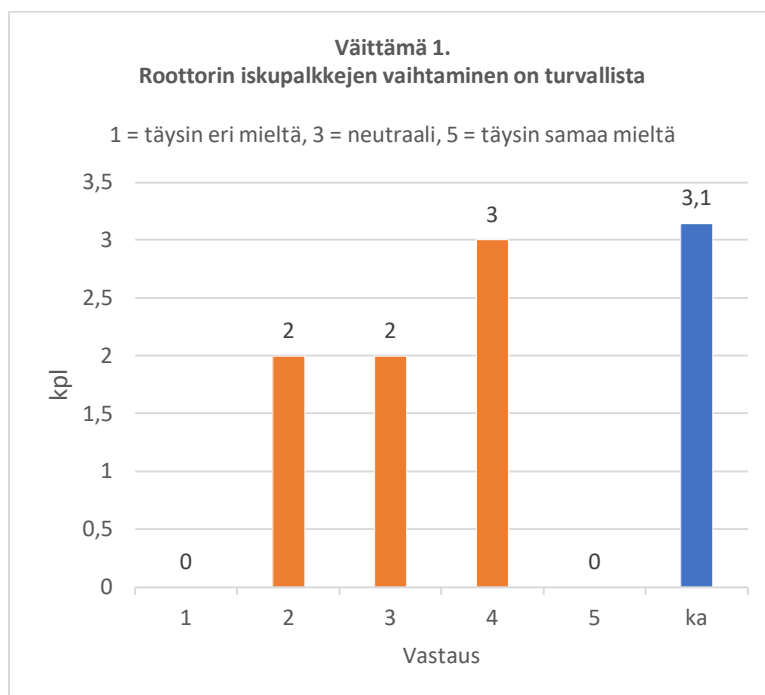
## 6.2 Kyselytutkimuksen tulokset

Kyselytutkimuksen tulokset on jaoteltu viiden yleisimmän huoltotoimenpiteen, sekä turvallisuuden kokonaisarvion mukaan. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen aliväittämällä selvitettiin kokemusta turvallisuuden nykytilasta. Väittämiin vastattiin numeerisesti (Likertin asteikolla 1-5: 1 = täysin eri mieltä, 3 = neutraali, 5 = täysin samaa mieltä) ja vastausjakumille laskettiin keskiarvot. Toisen ja kolmannen tutkimuskysymyksen alikysymyksiin vastattiin sanallisesti ja vastauksilla haettiin yksityiskohtaisempaa kuvausta turvallisuuteen vaikuttavista asioista. Sanallisista vastauksista on nostettu esiin usein toistuvia seikkoja.



### 6.2.1 Roottorin iskupalkkejen vaihtamisen turvallisuus

Vastauksien keskiarvo on 3,1 (kuvio 2). Roottorin iskupalkkejen vaihtamista ei koeta erityisen vaaralliseksi, eikä turvalliseksi.



KUVIO 2. Roottorin iskupalkkejen vaihtamisen turvallisuus

#### Roottorin iskupalkkejen vaihtamisen turvallisuutta heikentävät asiat

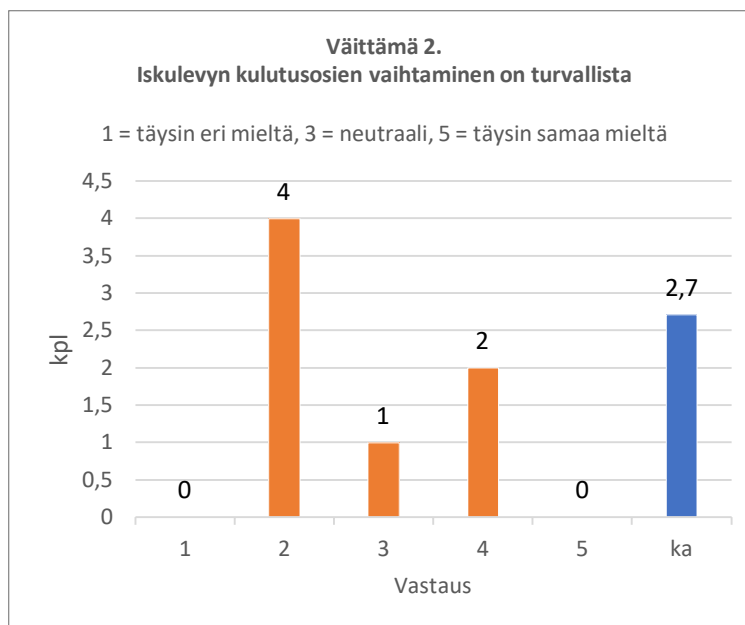
- Liian pieni rungon avautumiskulma / ahtaat työskentelytilat
- Roottorin lukitus muistin varassa
- Rungon aukipitotuki jää lukittumatta
- Roottorin päällä / murskaimen sisällä työskentely
- Katkenneen tai ylikuluneen iskupalkin nostaminen

#### Keinoja iskupalkkejen vaihtamisen turvallisuuden parantamiseksi

- Suurempi rungon avautumiskulma / paremmat työskentelytilat
- Automaattinen roottorin lukitus ja asennontunnistus
- Irroitettava huoltotaso murskaimen sisään
- Ylimääräinen kierre nostosilmukalle katkenneen tai ylikuluneen iskupalkin nostoa varten
- Hydraulinen tunkki iskupalkin irroitusta varten

## 6.2.2 Iskulevyn kulutusosan vaihtamisen turvallisuus

Vastauksien keskiarvo on 2,7 (kuvio 3). Iskulevyn kulutusosan vaihtamista ei koeta erityisen vaaralliseksi, eikä turvalliseksi.



KUVIO 3. Iskulevyn kulutusosien vaihtamisen turvallisuus

### Iskulevyn kulutusosien vaihtamisen turvallisuutta heikentävät asiat

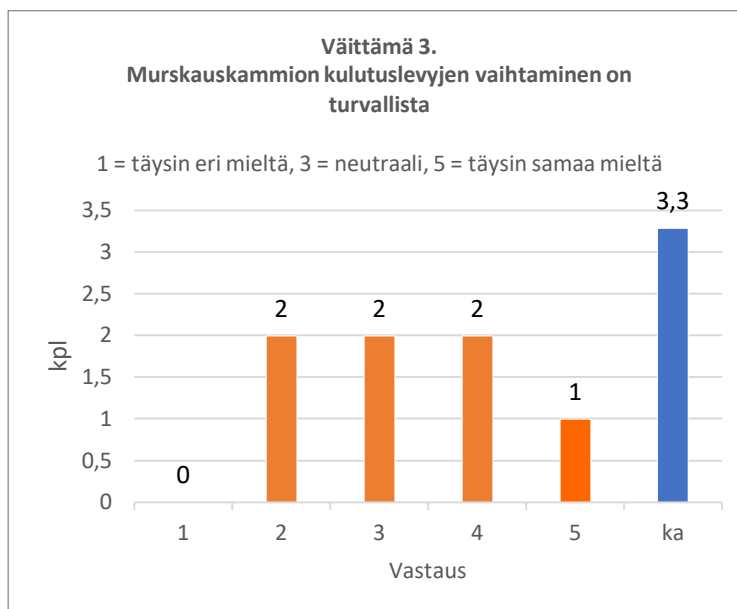
- Liian pieni rungon avautumiskulma / ahtaat työskentelytilat
  - Kulutusosaa ei pysty nostamaan painopisteen yläpuolelta
    - nostotyökalun kiinnittäminen hankalaa
    - taakan hallinta hankalaa
- Roottorin lukitus muistin varassa
- Roottorin päällä / murskaimen sisällä työskentely huteraa
- Huoltonostimen ulottuvuus ei riitä kunnolla kauimmaisiin kulutusosiin
- Rungon aukipitotuki voi jäädä lukittumatta
- Terävien kulutusosien käsittely

### Keinoja iskulevyn kulutusosien vaihtamisen turvallisuuden parantamiseksi

- Suurempi rungon avautumiskulma / paremmat työskentelytilat
  - Rungon nivelpiste ylemmäksi, niin mahtuu aukeamaan enemmän
- Irroitettava huoltotaso murskaimen sisään
- Huoltonostimen kunnollinen ulottuvuus kauimmaisiin kulutusosiin
- Kulutusosat pois nostettaviin kasetteihin
  - Vaihtotyö mahdollista tehdä maassa

### 6.2.3 Murskauskammion kulutusosien vaihtamisen turvallisuus

Vastauksien keskiarvo on 3,3 (kuvio 4). Murskauskammion kulutuslevyjen vaihtaminen koetaan kohtalaisen turvalliseksi.



KUVIO 4. Murskauskammion kulutusosien vaihtamisen turvallisuus

#### Murskauskammion kulutuslevyjen vaihtamisen turvallisuutta heikentävät asiat

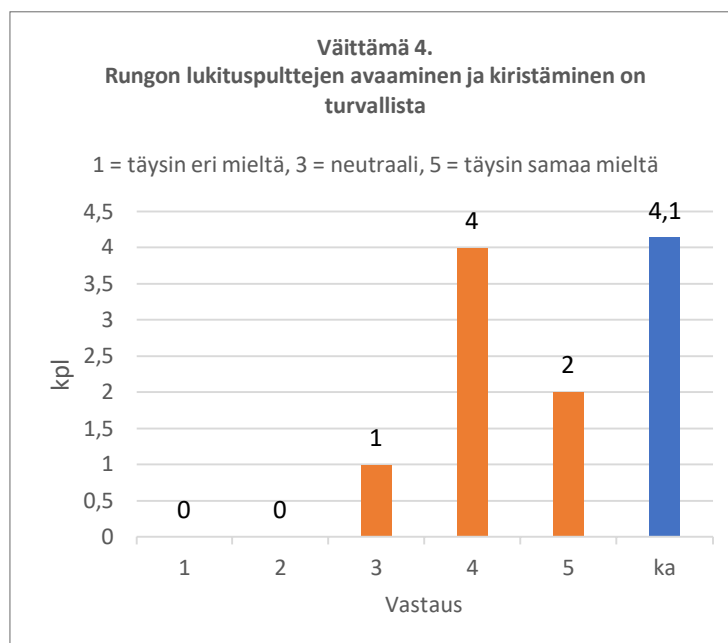
- Roottorin lukitus muistin varassa
- Roottorin päällä / murskaimen sisällä työskentely
- Rungon aukipitotuki voi jäädä lukittumatta
- Roottorin takana olevien kulutuslevyjen luoksepääsy edellyttää roottorin pyörittämistä

#### Keinoja murskauskammion kulutuslevyjen vaihtamisen turvallisuuden parantamiseksi

- Suurempi rungon avautumiskulma / paremmat työskentelytilat
  - Rungon nivelpiste ylemmäksi, niin mahtuu aukeamaan enemmän
- Irroitettava huoltotaso murskaimen sisään
- Kestävämmät tai paksummat kulutuslevyt vaatisivat harvemmin vaihtoa

#### 6.2.4 Rungon lukituspulttejen avaamisen ja kiristämisen turvallisuus

Vastauksien keskiarvo on 4,1 (kuvio 5). Rungon lukituspulttejen avaaminen ja kiristäminen koetaan turvalliseksi.



KUVIO 5. Rungon lukituspulttejen avaamisen ja kiristämisen turvallisuus

#### Rungon lukituspulttejen avaamisen ja kiristämisen turvallisuutta heikentävät asiat

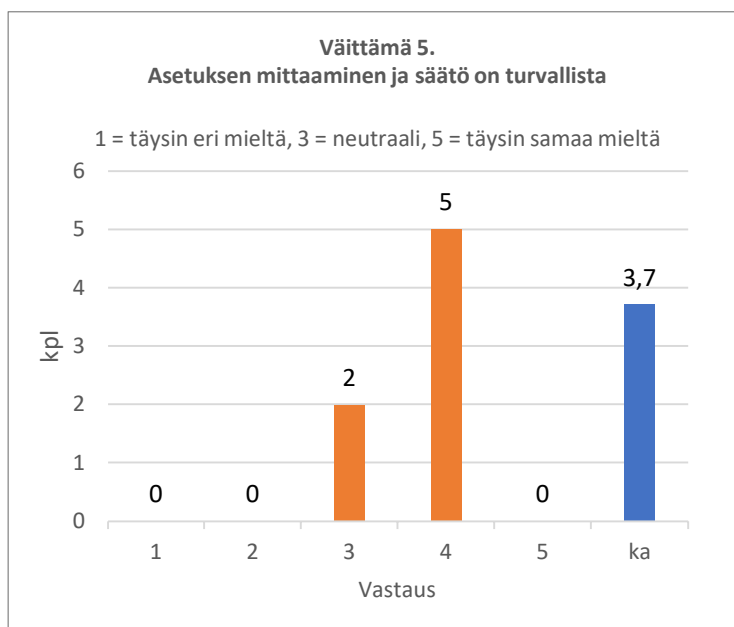
- Huoltonostin tulee hiukan vasemman puolen lukituspultin tielle ja joutuu kurottamaan
- Työkalujen kanssa huoltotasoille kiipeäminen

#### Keinoja rungon lukituspulttejen avaamisen ja kiristämisen turvallisuuden parantamiseksi

- Automaattinen lukitus, ei tarvetta kiipeillä työkalujen kanssa
- Saman tapainen leveämpi huoltotaso kuin oikealla puolella
- Olake niveltappiin, jotta tapin paino ei makaa kierteen päällä ja aiheuta kitkaa ruuviin

### 6.2.5 Asetuksen mittaamisen ja säädön turvallisuus

Vastauksien keskiarvo on 3,7 (kuvio 6). Asetuksen mittaamisen ja säätö koetaan kohtalaisen turvalliseksi.



KUVIO 6. Asetuksen mittaamisen ja säädön turvallisuus

#### Asetuksen mittaamisen ja säädön turvallisuutta heikentävät asiat

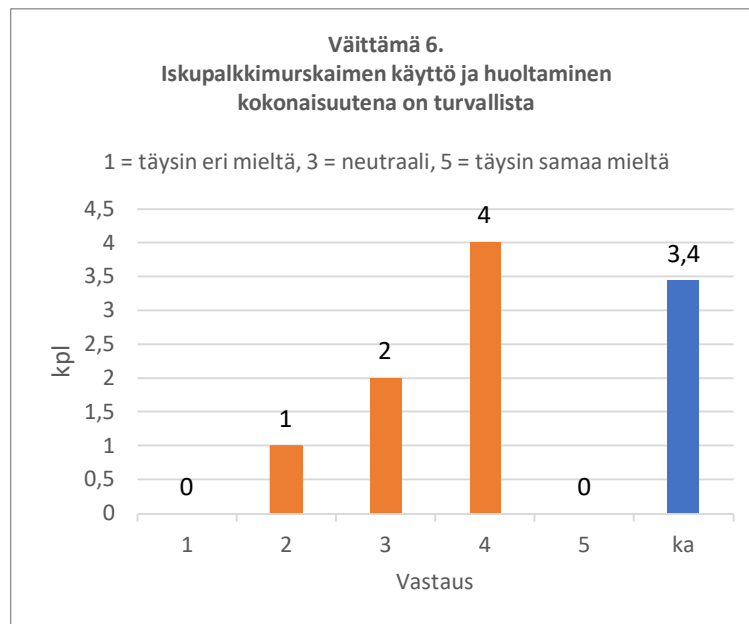
- Rajakytkimien löystyminen tärinässä ja siitä johtuva virheellinen toiminta
- Iskulevyn liikkeen estyessä palautinjousiin varastoitunut energia saattaa vapautua yllättäen
- Asetuksensäädön helpotuksessa pitää muistaa käyttää turvapalikoita.
- Letkunippu tulee jalkoihin/tielle asetusta mitattaessa
- Iskupalkin terävät reunat
- Rullamitalla mittatessa sormet täytyy laittaa lähelle iskupalkkia ja iskulevyä

#### Keinoja asetuksen mittaamisen ja säädön turvallisuuden parantamiseksi

- Täyshydraulinen asetuksensäätö kontaktikalibroinnilla
- Rajakytkimien toimintavarmuuden parantaminen
- Turvalukituksen hydrauliletkutus yläkautta, niin se olisi vähemmän tiellä
- Parempi pääsy säätömuttereille
- Huoltoluukun avaus ja asetuksensäätö olisi hyvä pystyä tekemään ilman paluukuljettimen siirtelyä tai tikkaiden irroitusta

### 6.2.6 Iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus kokonaisuutena

Vastauksien keskiarvo on 3,4 (kuvio 7). Iskupalkkimurskaimen käyttäminen ja huoltaminen kokonaisuutena koetaan kohtalaisen turvalliseksi.



KUVIO 7. Iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus kokonaisuutena

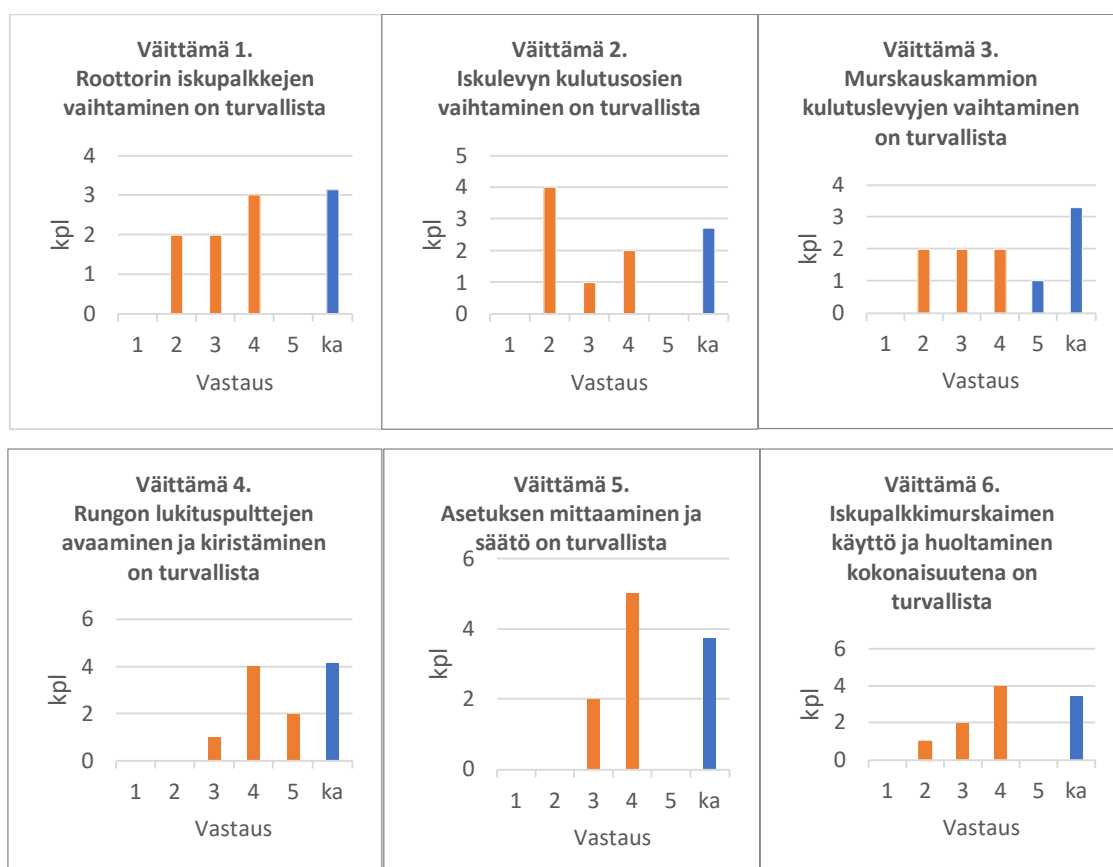
#### Iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta kokonaisuutena heikentävät asiat

- Ruonko aukeaa liian vähän
  - o Ahtaat huoltotilat
  - o Nostot hankalia koska ei pysty nostamaan painopisteen yläpuolelta
- Roottorin päällä työskentely hankalaa
- Turvallisuus- ja lukituslaitteiden epävarman toiminnan takia ne ohitetaan tai poistetaan käytöstä
  - o Murskaimen rungon rajakytkimen toiminta epätarkkaa
- Murskaimen rungon lukituslevyn paikallaan pysyminen painovoimaisesti arvelluttaa
- Mistään ei tiedä onko huoltokoneikko käynnissä
- Huoltonostimen puomi jää jumiin rakenteisiin nostettaessa pois kuljetusasennosta
- Mikään ei estä käyttämästä huoltonostinta nosturina. Oletetun väärinkäytön turvallisuus?
- Huoltonostin ei yllä kauimmaisiin kulutusosiin

## Keinoja iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuden parantamiseksi kokonaisuutena

- Runko avautumaan enemmän
- Irroitettava huoltotaso murskaimen sisään
- Automaattinen roottorin lukitus
- Murskaimen rungon lukituslevylle mekaaninen varmistus
- Esim. valo huoltokoneikon käyttöpainikkeessa kertoisi että koneikko on käynnissä.
- Huoltonostimen puomille ohjuri/lepuutuskotelo hihnasuojan taakse, jotta se ei jumiudu rakenteisiin ylös nostettaessa.
- Rungon avauksen rajakytkimen siirto lukituspultin yhteyteen (kun pultti ei ole hahlossa, murskainta ei voi käynnistää)
- Irralliset pois nostettavat kumiverhot. Ei tarvetta avalla pultteja kumeja vaihdettaessa.

Kuviossa 8 on esitetty yhteenveto vastaujaskaumista ja vastausten keskiarvoista.



KUVIO 8. Yhteenveto vastausjakaumista

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kahdeksan vuoden seurantajakson ansiosta voidaan todeta, että tämän opinnäytetyön tuloksena syntyneet ratkaisut ovat osoittautuneet pääosin toimiviksi ja luotettaviksi, eikä muutostarpeita ole ilmaantunut. Poikkeuksena murskaimen turvalukitus, josta on tehty useampi kehitysversio käytettävyyden yksinkertaistamiseksi ja luotettavuuden parantamiseksi. Turvalukituksen toteutus on osoittautunut haastavaksi myös kilpailijoiden ja asiakkaiden keskuudessa ja joidenkin osalta se on jätetty kokonaan pois. Konedirektiivissä voisi olla tämän osalta päivitettävää, jotta se ohjaisi koneiden suunnittelua turvallisempaan suuntaan ilman kohtuutonta heikennystä käytettävyyteen.

Kyselytutkimuksen tuloksista ilmenee, että murskaimen huollon ja käytön turvallisuus koetaan kohtalaisen hyväksi, mutta parannettavaakin riittää. Huonoimman keskiarvon sai iskulevyn kulutusosien vaihto ja hyviä kehitysehdotuksia kertyikin useampi. Tuloksia ja kehitysehdotuksia voidaan hyödyntää nykyisen tuotteiden lisäksi juuri aloitetun, seuraavan sukupolven mobiili-iskupalkkimurskauslaitoksen suunnittelussa.

Jatkoa ajatellen konedirektiivissä ja koneturvallisuusstandardeissa kuvatut turvallisuusvaatimukset kannattaa huomioida paremmin jo uuden tuotteen konseptisuunnitteluvaiheessa. Tällä varmistetaan ratkaisujen integroituvuus muihin rakenteisiin ja vältetään mahdollisia jälkeenkäytön suunnittelusta aiheutuvia kompromisseja. Huomioitavaa on myös, että arvioilta vuonna 2025-2026 on tulossa voimaan uusi mobiilimurskaus- ja seulontalaitoksia koskeva turvallisuusstandardi PREN 1009-6 (Machines for mechanical processing of minerals and similar solid materials - Safety - Part 6: Specific requirements for mobile machinery), joten tässä työssä kuvattuihin turvallisuusvaatimuksiin tulee todennäköisesti muutoksia.



## LÄHTEET

Anslys. 2023. Ansys Mechanical. Finite Element Analysis (FEA) Software for Structural Engineering. Luettu 25.8.2023.

<https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical>

Arkko, J 2021. SeAMK- verkkolehti. Viitattu 25.8.2023.

<https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/koneiden-turvallisuus-on-kaikkien-asia/>

Cooper, R., G. 2010. The Stage-Gate Idea to Launch System. Wiley Online Library. Luettu 25.8.2023. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781444316568.wiem05014>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781444316568.wiem05014>

EU. 2010. Euroopan komission www-sivut. Konedirektiivin soveltamisopas.

Viitattu 25.7.2023. <http://ec.europa.eu>

Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. Viitattu 20.9.2022.

<http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>

ISO 2867:2011 Earth-Moving Machinery. Access Systems

Konedirektiivi. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY

Metso Outotec. 2021. Metson tuotekehitysprosessi. Sisäinen dokumentti.

Metso Outotec. 2022. LT1213 käyttöohjekirja. Asiakasdokumentti. Viitattu 19.12.2022

Metso Minerals. 2016. Nordberg-murskaimet. Viitattu 3.2.2016.

<https://www.mogroup.com/fi/portfolio/nordberg-np-sarja>

METSTA. 2020. Koneturvallisuusstandardien hierarkia. Viitattu 20.12.2022.

<https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/standardien-hierarkia/>

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

PREN 1009-6 (Machines for mechanical processing of minerals and similar solid materials - Safety - Part 6: Specific requirements for mobile machinery)

Salmi, T. & Pajunen, S. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy.

Sutti, R. 2015. Lujuuslaskentaraaportti. Huoltotasojen lujuustarkastelu. Metso Minerals Oy. Tampere.

SFS-EN ISO 14122-1 + A1: 2010. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulutien valinta

SFS-EN ISO 14122-2 + A1: 2010. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot

SFS-EN ISO 14122-3 + A1: 2010. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet

SFS-EN ISO 14122-4 + A1: 2010. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat

SFS-ISO/TR 14121-2: 2013 Riskin arvioinnin menetelmät ja esimerkit.

Siemens. 2023. NX software. Luettu 20.8.2023. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/>

TUOMINEN, Kari 2016. Kehityksen tie – Benchmarking-käsikirja. Turku: Oy Benchmarking Ltd

Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2005). The Finite Element Method: its basis and fundamentals (6th ed). Elsevier Science.

## LIITTEET

### Liite 1. Kyselylomake

#### Kyselytutkimus LT1213(S) mobiilimurskauslaitoksen iskupalkkimurskaimen turvallisuudesta

Tämän kyselyn tarkoitus on selvittää mielipiteitä NP1213M iskupalkkimurskaimen käytön ja huollettavuuden turvallisuudesta, turvallisuuspuutteista ja kehitysideoita turvallisuuden parantamiseksi. Tulokset käsitellään luottamuksellisesti YAMK-opintojen päättötyössä ja tuloksia käytetään nykyisten ja tulevien iskupalkkimurskauslaitosten kehittämiseen.

#### 1. Millaiseksi iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuus koetaan?

Vastaa seuraaviin väittämiin asteikolla 1-5: 1 = täysin eri mieltä, 3 = neutraali, 5 = täysin samaa mieltä.

---

##### 1.1) Iskupalkkimurskaimen roottorin iskupalkkejen vaihtaminen on turvallista.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

---

##### 1.2) Iskupalkkimurskaimen iskulevyn kulutusosien vaihtaminen on turvallista.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

---

##### 1.3) Iskupalkkimurskaimen murskauskammion kulutusosien vaihtaminen on turvallista.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

---

##### 1.4) Iskupalkkimurskaimen rungon lukituspulittejen avaaminen ja kiristäminen on turvallista.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

---

##### 1.5) Iskupalkkimurskaimen asetuksen mittaaminen ja säätö on turvallista.

1.	2	3	4	5
----	---	---	---	---

---

##### 1.6) Iskupalkkimurskaimen käyttö ja huoltaminen kokonaisuutena on turvallista.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

---

**2. Mitkä asiat heikentävät iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta?**

Vastaa seuraaviin kysymyksiin sanallisesti.

---

**2.1) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskupalkkimurskaimen roottorin iskupalkkeja vaihdettaessa?**

---

**2.2) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskupalkkimurskaimen iskulevyn kulutusosien vaihtamisessa?**

---

**2.3) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskupalkkimurskaimen murskauskammion kulutusosia vaihdettaessa?**

---

**2.4) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskupalkkimurskaimen rungon lukituspultteja avatessa ja/tai kiristäessä?**

---

**2.5) Mitkä asiat heikentävät turvallisuutta iskupalkkimurskaimen asetusta säädettäessä tai mitattaessa?**

---

**2.6) Mitkä asiat heikentävät heikentävät iskupalkkimurskaimen käytön ja/tai huollon turvallisuutta kokonaisuutena?**

---

**3. Mitä keinoja iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuuden parantamiseksi on?**

Vastaa seuraaviin kysymyksiin sanallisesti.

---

**3.1) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen iskupalkin vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?**

---

**3.2) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen iskulevyn kulutusosan vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?**

---

**3.3) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen murskauskammion kulutusosien vaihtamisesta voisi tehdä turvallisempaa?**

---

**3.4) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen rungon lukituspulttejen avaamisesta ja kiristämisestä voisi tehdä turvallisempaa?**

---

**3.5) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen asetuksen mittaamisesta ja säätämisestä voisi tehdä turvallisempaa?**

---

**3.6) Millaisilla keinoilla iskupalkkimurskaimen käytön ja huoltamisen turvallisuutta voisi parantaa kokonaisuute?**

---



