

TUNNELIPORALAITTEEN ELINJAKSON KUNNOSSAPI- TOKUSTANNUKSET

Sandvik DT923i

Agnico Eagle Finland Oy

Hettula Jere

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jere Hettula	Vuosi	2023
Ohjaaja	TkT Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland Oy Heikki Kumpumäki		
Työn nimi	Tunneliporalaiteen elinjakson kunnossapitokustannukset, Sandvik DT923i		
Sivumäärä	66 + 3		

Tämän opinnäytetyön aiheena oli määrittää Kittilän kaivoksella tehtyyn investointipäätökseen liittyvät pitkän aikajänteen kunnossapitokustannukset. Tutkimuksen kohteena oli Sandvikin valmistama DT923i-tunneliporalaite. Investointipäätös sisälsi kyseisiä laitteita kaksi kappaletta.

Tutkimuksessa selvitettiin tunneliporalaiteen kunnossapidon kustannustekijät ja niiden vaikutus vuosittaisessa kunnossapitobudjetissa. Kustannustekijöiden määrittämisessä hyödynnettiin referenssilaitteen historiatutkimusta sekä RCM-analysoinnin avulla luotua huolto-ohjelmaa. Vaikutukset kohdennettiin tunneliporalaiteen elinjaksoille vuosikohtaisesti suunniteltujen työmäärien avulla.

Tutkimustyön pääaiheinen ongelmanasettelu oli tulevaisuuden ennustaminen. Tulevaisuuden ennustamiseen käytettiin empiiristä havainnointia poralaiteen tekniikkaan. Lopulliset tulokset rakennettiin monimenetelmäisyydellä, jossa hyödynnettiin kvantitatiivista ja kvalitatiivista menetelmää sekä historiatutkimusta.

Opinnäytetyön tärkeimmäksi tulokseksi saatiin vuosikohtainen kustannusjakaumataulukko. Taulukko on kunnossapito-organisaatiolle hyödyllinen työkalu vuosittaisessa budjetointiprosessissa. Valmiista taulukosta on luettavissa kaivoksen elinkaaren loppuun saakka vuosikohtaisesti tunneliporalaiteen kunnossapitoon tarvittava pääoma. Opinnäytetyöstä syntyi myös sivutuloksia, jotka sisälsivät hyödyllistä tietoa toimeksiantajan toiminnan kehittämiseen.

Avainsanat	elinkaariarviointi, kunnossapito, tuotantotalous, kustannukset, kaivokset, tunnelinrakennus, louhinta.
Muita tietoja	opinnäytetyön varsinaiset kustannuslaskelmat on toimitettu erikseen toimeksiantajalle.

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jere Hettula	Year	2023
Supervisor	Ari Pikkarainen, D.Sc (Tech.)		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy Heikki Kumpumäki		
Title	Lifetime Maintenance Costs of the Tunnel Boring Machine, Sandvik DT923i		
Number of pages	66 + 3		

The subject of this thesis was to determine the long-term maintenance costs related to the investment decision made at the Kittilä mine. The object of the study was the DT923i tunnel boring machine manufactured by Sandvik. The investment decision included two pieces of the equipment in question.

The research examines the cost factors of tunnel boring machine maintenance operations and their impact on the annual maintenance budget. In determining the cost factors, historical research of the reference machine and the maintenance program created with the help of RCM analysis were used. The effects were targeted for the lifetime of the tunnel boring machine by means of annual planned work volumes.

The main topic of the research was the problem statement predicting the future. Empirical observation of tunnel boring machine's technology was used to predict the future. The main results were built by using a multi-method approach, which utilized quantitative and qualitative methods and historical research.

The most important result of the thesis is an annual cost distribution table. The table is a useful tool for the maintenance organization in the annual budgeting process. The finished table shows the annual capital required for the maintenance of tunnel boring machine until the end of the mine's life cycle. The thesis also produced side results that contained useful information for the development of the client's operations.

Keywords	life cycle analysis, maintenance, industrial management, costs, mines (quarries), tunnel construction, rock excavation.
Special remarks	the actual cost calculations of the thesis have been delivered separately to the client.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
1.1	Rajaus.....	9
1.2	Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset	9
2	TOIMEKSIANTAJA JA LAITEVALMISTAJA.....	10
2.1	Agnico Eagle Finland Oy	10
2.2	Sandvik Mining and Construction Oy.....	11
3	TUNNELIPORALAITTE	12
3.1	Käyttötarkoitus	13
3.2	Iskuporaus	15
3.3	Tekniikka.....	17
3.3.1	Puomisto	18
3.3.2	Alusta	19
4	KUNNOSSAPITO	22
4.1	Kunnossapito maanalaisessa kaivoksessa.....	22
4.1.1	Laitekanta ja tuotanto	23
4.1.2	Resurssit	25
4.2	Suunniteltu kunnossapito.....	26
4.2.1	Jaksotettu kunnossapito.....	27
4.2.2	Kunnonvalvonta.....	28
4.3	Häiriökorjaus.....	29
4.4	RCM – luotettavuuskeskeinen kunnossapito	32
5	MENETELMÄLLINEN TOTEUTUS.....	34
5.1	Monimenetelmällisyys.....	35
5.2	Toteutus.....	36
6	ELINJAKSONAIKAISET KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET	37
6.1	Alustan vikaantumiset.....	38
6.2	Puomiston RCM-analysointi.....	40
6.2.1	Toiminnallinen mallinnus ja rajaus.....	41
6.2.2	Vikaantumiset, vikamuodot ja kriittisyysanalyysi	41
6.2.3	Toimenpiteet	43

6.3	Huolto-ohjelma.....	44
7	TULOKSET.....	45
7.1	Suunnitellut työmäärät ja mittariarvot.....	45
7.2	Ennustettavat alustan vikaantumiset	48
7.3	RCM-analysoinnin tulos	49
7.4	Huolto-ohjelma.....	50
7.5	Toimenpidekortit	52
7.6	Iskuvasaroiden kunnostus	53
7.7	Elinjakson kunnossapitokustannukset	54
7.7.1	Ensimmäinen neljännes 2022-2025	56
7.7.2	Peruskunnostusjakso 2026-2031	57
7.7.3	Viimeinen neljännes 2032-2035	58
8	POHDINTA	60
	LÄHTEET	63
	LIITTEET	66

ALKUSANAT

Tahdon kiittää kaikkia opinnäytetyötäni tukeneita yrityksiä, organisaatioita ja henkilöitä. Kiitokset kohdentuvat siten TkT Ari Pikkaraiselle (Lapin AMK), Heikki Kumpumäelle (AEF), Pasi Luotolalle (AEF), Antti Nikulalle (Suomen Kunnossapitotekniikka Oy), Juuso Mattilalle (Sandvik Mining and Construction Oy), kaivososaston kunnossapito-organisaation mekaniikoille, Sandvikin asiakaspalvelu-, huolto- sekä koulutushenkilöstölle ja omalle kotiväelleni.

E erityiskiitos Agnico Eagle Finland Oy:n kunnossapito-organisaatiolle opinnäytetyön resurssoinnista ja laadukkaiden tulosten mahdollistamisesta, sekä Suomen Kunnossapitotekniikka Oy:lle opinnäytetyön ohjausryhmään liittymisestä.

Rovaniemellä 01.03.2023



Jere Hettula

.....

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AEF	Agnico Eagle Finland Oy
AEM	Agnico Eagle Mines Limited
JDE	JD Edwards (toiminnanohjausjärjestelmä)
JUM05	JDE:issa käytettävä laitetunnus ensimmäisenä käyttöönotetulle DT923i-poralaitteelle
JUM06	JDE:issa käytettävä laitetunnus jälkimmäisenä käyttöönotetulle DT923i-poralaitteelle
Katko	Katkolouhintamenetelmällä aikaansaatu uusi tunneli- osuus
LIKU	Liikkuvan kaluston kunnossapito-organisaatio
LOM	Life Of Mine (kaivoksen elinkaarisuunnitelma)
OEM	Original Equipment Manufacturer (alkuperäinen laitevalmistaja)
RCM	Reliability Centered Maintenance (luotettavuuskeskei- nen kunnossapito)
VVA	Vika- ja vaikutusanalyysi
VVKA	Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi
VYK	Porasähköpistorasiakeskus

1 JOHDANTO

Pitkään suomalaisessa teollisuudessa vaikuttanut perinne kunnossapidon järjestämisestä on ollut sen tekeminen itse omilla resursseilla. Perinne on ollut myös osittain kunnia-asia suuryrityksille. Vuosikymmenien aikana kunnossapidon tehtäväkenttä on muuttunut korjaavasta kunnossapidosta pääpainoltaan ennakkoivaan ja kuntoon perustuvaan toimintamalliin. Nykyaikaisen toimintamallin tueksi on kehittynyt erilaisia kunnossapidon palveluprosesseja sekä kehittyneitä kunnonvalvontamenetelmiä. Nykykäsityksen mukaan teollisen kunnossapidon ensisijainen tehtävä on pitää koneet ja laitteet jatkuvasti käyttökunnossa, toimien tuotannolle tärkeänä tukifunktiona sen asettamien reunaehtojen mukaisesti. (Mikkonen 2009, 25, 30, 105.)

Näin kunnossapidon toiminta toteutetaan myös Agnico Eagle Finland Oy:n (AEF) omistamassa Suomen Lapissa sijaitsevassa Kittilän kultakaivoksessa, jossa maanalaisen kaivoksen kunnossapito-organisaatio toimii tuotannolle tärkeänä tukiyksikkönä. AEF, tarkemmin kuvattuna sen kunnossapito-organisaatio, toimii myös tämän opinnäytetyön toimeksiantajana.

Kaivosyhtiö investoi kesällä 2022 kaksi uutta Sandvik DT923i-poralaitetta. Opinnäytetyön tarkoituksena on rakentaa näille laitteille Life Cycle Costs (LCC) -tyylinen taulukko, joka mukailee ennustettavia elinjakokustannuksia. Poralaitteiden elinjakso jatkuu kaivoksen elinkaaren loppuun, eli vuoteen 2035.

Opinnäytetyössä tavoiteltava lopputulos on kunnossapito-organisaatiolle hyödyllinen työkalu vuosittaisessa budjetointiprosessissa. Kulurakennetaulukosta on nähtävissä vuosikohtaiset kunnossapitokustannukset ja opinnäytetyöraportti toimii tarvittaessa perusteluna budjetoitavalle pääomalle. Opinnäytetyön toteutuksessa sivutuotoksena syntyy laitteen määräaikaishuolloille toimenpidekortit, joista voidaan lukea kunkin määräaikaishuollon sisältö, kesto ja kustannukset.

Opinnäytetyön laatija työskentelee kaivosyhtiön kunnossapito-organisaatiossa asiantuntijan työtehtävissä. Aikaisempi tuntemus kaivoslaitteista, työkokemus kunnossapidosta sekä kaivosympäristöstä antavat opinnäytetyölle vankemman tietoperustan. Projektin alussa poralaitteeseen liittyvää tietoperustaa vahvistettiin viikon mittaisella koulutuksella Sandvikin Tampereen tehtaalla.

1.1 Rajaus

Perinteisesti elinjaksokustannukset määritetään kaikista laitteen välillisistä tai välittömistä kustannuksista (Kortelainen, Komonen, Laitinen & Hanski 2021, 43). Perinteisestä LCC-laskelmasta poiketen opinnäytetyön LCC-laskelma laaditaan pelkästään kunnossapidon toiminnan kustannuksista. Laskelman aikajaksona on poralaitteiden elinjakso. Laskelman ulkopuolelle jäävät poralaitteen investointi-, käyttö- ja hävittämiskustannukset.

Kunnossapitokustannuksiksi luokitellaan suunnitellun huoltotyön kautta syntyvät kustannukset. Kulurakennetaulukon ulkopuolelle jätetään kaikki käyttäjäperäisistä virheistä tapahtuneet kustannukset. Taulukointiin sisällytetään tavanomaisen huoltotoiminnan, puomiston kunnostussuunnitelman sekä ennustettavissa olevien vikaantumisien kustannukset.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset

Opinnäytetyön ongelmanasetteluna on tulevaisuuden ennustaminen. Tutkimusstrategiana on empiirinen tutkimus, jossa hyödynnetään monimenetelmällisyyttä. Ennustaminen toteutetaan konkreettisesti havainnoimalla poralaitetta, referenssilaitteen historiatutkimuksella sekä aineistolähtöisellä tutkimisella. Entuudestaan tuntematonta puomistoa tutkitaan laadullisella menetelmällä, josta saatuja tuloksia hyödynnetään määrällisessä menetelmässä.

Työtä ohjaavat seuraavat tutkimuskysymykset:

- Paljonko laitevalmistajan huolto-ohjelman mukaisesta huoltotoiminnasta aiheutuu vuosittain kustannuksia?
- Mitkä ovat laitteen yleisimmät vikaantumismuodot ja kuinka suuria kustannuksia voidaan ennustaa referenssilaitteen vikahistoriasta?
- Mikä on poralaitteen SB110i-puomiston arvioitu käyttöikä ja paljonko sen kunnostaminen maksaa?
- Kuinka suuri vuosittainen kunnossapitobudjetti tarvitaan yhdelle Sandvik DT923i-poralaitteelle?

2 TOIMEKSIANTAJA JA LAITEVALMISTAJA

2.1 Agnico Eagle Finland Oy

Agnico Eagle Finland Oy on kanadalaisomisteisen Agnico Eagle Mines Limitedin (AEM) tytäryhtiö. AEM juuret yltävät aina vuoteen 1953, kun tuolloin Kanadassa toiminnassa olleet viisi kaivosyhtiötä yhdistyivät yhdeksi yhtiöksi nimeltään Cobalt Consolidated Mining Company. Viisi vuotta myöhemmin yhtiö muutti nimensä Agnico Mines Limitediksi. Yhtiö aloitti myöhemmin samana vuonna julkisen osakekaupan Toronton pörssissä. Vuonna 1972 kaivosyhtiö yhdistyi Eagle Gold Mines Limitedin kanssa, jolloin yhtiön nimi vaihtui nykyiseen Agnico Eagle Mines Limitediin. (Agnico Eagle Mines Ltd 2022a.)

Kuuden vuosikymmenen aikana yhtiö on aloittanut useita kaivosprojekteja ympäri maailmaa sekä kasvattanut omaa toimintaansa erilaisten yrityskauppojen ja kaivosyhtiöiden fuusioitumisien avulla. Viimeisin suuri fuusioituminen toteutui vuonna 2021, jolloin AEM ja Kirkland Lake Gold yhdistyivät. Yhdistymisen jälkeen AEM omistuksessa olevien aktiivisten kaivosten lukumäärä kasvoi 11 kappaleeseen ja kokonaishenkilöstömäärä ylitti 14 000 lukeman. (Agnico Eagle Mines Ltd 2022b.)

AEF operoi Kittilän kunnassa sijaitsevaa kultakaivosta. Kaivosyhtiö on operoinut kaivosta vuodesta 2005 alkaen, kun yhtiö osti malmiesiintymään liittyvät oikeudet ruotsalaiselta Riddarhyttan Resources AB:lta. Kittilän kultakaivos aloitti kaivostoinnin vuonna 2008 ja vuonna 2012 tuotanto siirrettiin maanalaiseen kaivokseen. Nykyään kaivos tuottaa vuosittain yli 200 000 unssia, eli yli 6 000 kiloa kultaa. Kaivoksen toiminta jatkuu nykytietojen mukaisesti vuoteen 2035 saakka. (Agnico Eagle Finland 2022b.)

Kaivosyhtiö viimeistelee suurta laajennusprojektia, jonka seurauksena odotetaan jopa 25 %:n tuotannon kasvua. Laajennusprojekti sisältää maanalaisen kaivoksen nostokuilun rakentamisen 1 044 metrin syvyyteen sekä rikastamon malmin käsittelykyvyn noston 6 000 tonniin vuorokaudessa. Koko hankkeen arvioitu kustannus on 190 – 200 miljoonaa euroa. (Agnico Eagle Mines Ltd 2022c.)

Vuonna 2021 koko konserni tuotti 2 086 405 unssia kultaa, josta Kittilän kaivoksen osuus oli noin 0,24 miljoonaa unssia, eli 11,47 %:a kokonaistuloksesta (Agnico Eagle Mines Ltd 2022c; Agnico Eagle Mines Ltd 2022d). Kittilän kaivoksen liikevaihto oli vuonna 2021 noin 351 miljoonaa euroa, josta Suomen valtiolle maksettavien rojaltien osuus oli 5,9 miljoonaa euroa (Agnico Eagle Finland 2022a).

2.2 Sandvik Mining and Construction Oy

Ruotsalaislähtöinen teollisuuskonserni Sandvik Group toimittaa asiakkailleen korkean teknologian ratkaisuja, joilla parannetaan asiakkaan toiminnan tuottavuutta, kannattavuutta sekä vastuullisuutta valmistus-, kaivos- ja infrastruktuuri-teollisuudessa. Vuonna 2021 konsernissa työskenteli noin 39 000 työntekijää ja jatkuvien toimintojen liikevaihto oli noin 86 miljardia Ruotsin kruunua. Kaupallista toimintaa konserni toteuttaa yli 150 maassa. (Sandvik 2022d.) Konserni harjoittaa toimintaa muun muassa kaivos- ja urakointiteollisuudessa, lastuamisteknologian, materiaaliteknologian ja ainetta lisäävän valmistusteknologian sektoreilla (Sandvik 2022c).

Sandvik Mining and Construction Oy on Sandvik Groupin tytäryhtiö. Vuonna 2021 yhtiön liikevaihto oli 41,409 miljardia Ruotsin kruunua, joka vastaa liki 41,8 %:n osuutta koko konsernin tuloksesta (Sandvik 2022b). Yhtiön liiketoiminta-alueena on kaivos- ja urakointiteollisuudelle tarjottavat laitteet, palvelut ja tekniset ratkaisut. Ratkaisuja ovat muun muassa kallioporaus, jyrshintä, murskaus ja seulonta, lastaus ja kuljetus, tunnelinteko, louhinta sekä riktus ja purku. Kaivosalan palveluihin kuuluvat muun muassa digitaaliset huoltoratkaisut, kunnossapito-ohjelmistot, laitetarkastukset, kunnostusratkaisut, turvallisuusratkaisut sekä rahoitusratkaisut. (Sandvik 2022a.) Lisäksi yhtiö kehittää aktiivisesti kaivosautomaatioon liittyviä ratkaisuja ja tarjoaa niitä asiakkailleen.

Kaivos- ja urakointialalla yhtiö on erityisen tunnettu poraus- ja lastauslaitteista. Avolouhoksilla yleisesti tavattava yhtiön valmistama laitemalli on päältäiskevä porauslaite Ranger™ ja maan alla DT-malliston poralaitteet. Maanalaisessa kiven lastauksessa yhtiön Toro™-tuoteperheeseen kuuluvat laitteet ovat kaivosalalla laajasti tunnettuja 50-vuotisen historiansa ansiosta (Konepörssi 2021).

3 TUNNELIPORALAITTE

Sandvikin valmistamaa DT923i-poralaitetta käytetään maanalaisen tunnelin rakentamiseen. Laite tunnetaan ammattipiireissä myös nimellä ”jumbo”, kuten myös Sandvikin kilpailijayrityksen (Epiroc) valmistama vastaava porauslaite. Kittilän kaivoksella on käytössä kummankin laitevalmistajan valmistamia poralaitteita. Kuviossa 1 esitetään kummankin laitevalmistajan poralaitteet.



Kuvio 1. Vasen Sandvik DT923i (Sandvik Mining and Construction 2022b) & oikea Epiroc E2 C (Epiroc 2022)

Poralaitteen mallinimi DT923i muodostuu seuraavasti (DT923i koulutusmateriaali 2022, 14.):

DT	on	Drilling, Tunneling
9	on	tunnelin suurin porauskorkeus metreissä
2	on	porapuumien lukumäärä
3	on	laitteen revisionumero, eli kolmas malliversio
i	on	intelligent control system, eli automaattiporaus.

Ensimmäiset DTi-tuoteperheen laitteet ovat saapuneet markkinoille vuonna 2009. Tuolloin ensimmäinen malli oli nimeltään DT920i. Seuraava uuden sukupolven i-mallisto uudella SICA-käyttöjärjestelmällä julkaistiin vuonna 2015, johon sisältyi muun muassa poralaite DT922i. Kyseinen poralaitemalli on ollut käytössä myös Kittilän kaivoksella julkaisustaan saakka. Muutama vuosi myöhemmin julkaistiin nykyinen revisio laitteesta, DT923i. Toisen ja kolmannen revisiomallin suurimpana erona on päivitetty porapuumisto SB110i ja syöttölaite TF535i. (Suokkola 2022.)

3.1 Käyttötarkoitus

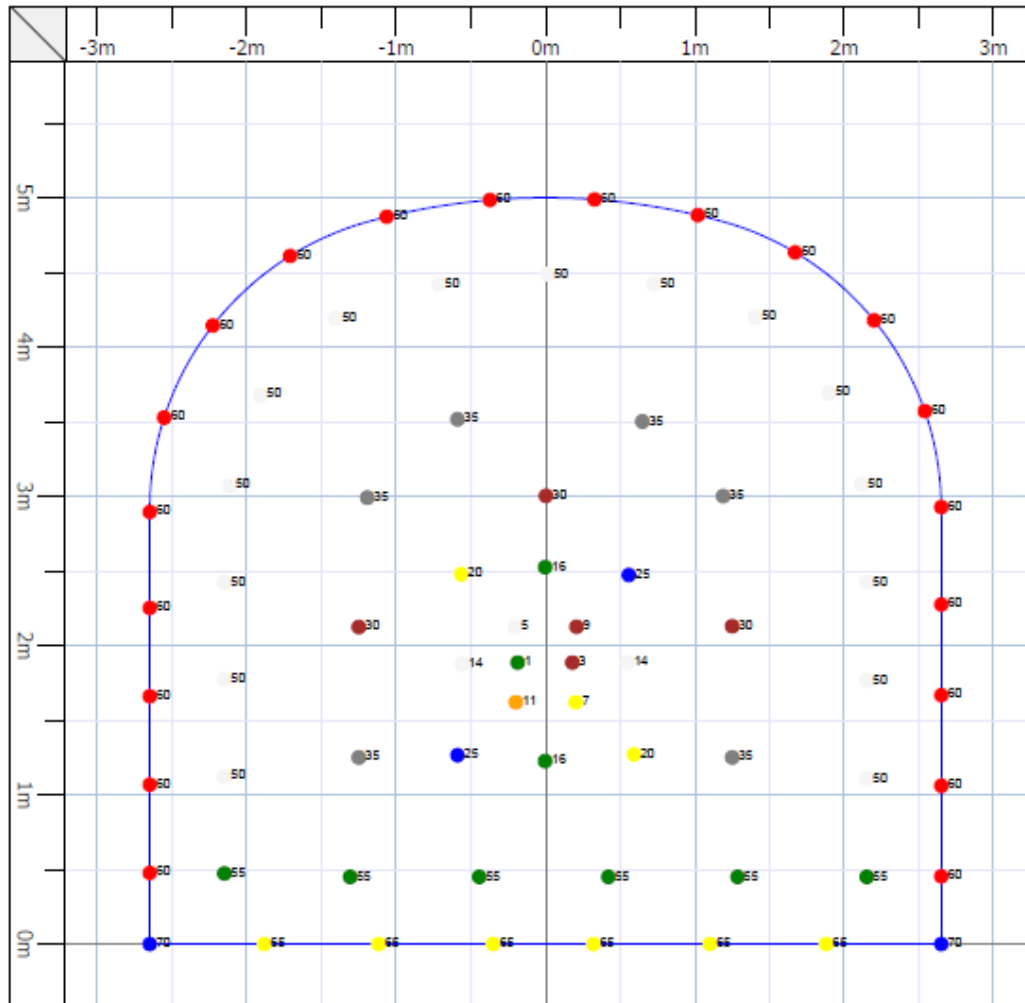
Laitteen pääasiallinen rooli tunnelin rakentamisessa on tunnelin perällä olevan seinän, eli peräseinän, poraaminen. Porauksella valmistetaan räjäytystyölle riittävät edellytykset työn suorittamiseen. Panostuksessa porattuihin reikiin asetetut räjähdaineet laukaistaan, jonka ansiosta reikien ympärillä oleva kivimassa rikkoutuu. Yhdessä poraus- ja panostustyövaiheiden seurauksena syntyy uusi tunneliosuus, joka on pituudeltaan lähes sama kuin porattujen reikien syvyys. Kuviossa 2 esitetään näkymää ohjaamosta DT922i-laitteella poratessa.



Kuvio 2. Kuva ohjaamosta peräseinän porauksen aikana

Porauksessa peräseinän pintaan tehdään reikiä poraus- ja panostussuunnitelman mukaisesti. Suunnitelmassa on erikseen määritetty porauksessa käytettävä reikä koko, reikäväli, porattavien reikien määrä, reikien sijainnit peräseinällä sekä avaruusreikien määrä ja koko. Tunnelikorkeuden tai -leveyden kasvaessa tarvittavien reikien lukumäärä kasvaa ja reikien sijoittelu muuttuu.

Kuviossa 3 esitetään yksi Kittilän kaivoksella käytössä olevista poraus- ja panostussuunnitelmista. Kuviossa sinisellä merkattu alue kuvastaa tunneliprofiilia, ja pisteet alueen sisällä ovat suunniteltuja porareikiä. Lukemat pisteiden vieressä ovat millisekunteja, joilla kuvastetaan reikään sijoitetun panoksen räjähdys viivettä syttymissignaalin vastaanoton jälkeen.



Kuvio 3. Poraus- ja panostussuunnitelma (Mattanen 2022)

Porauksen vaikutus tunnelirakentamisen laatuun ja kokonaiskustannuksiin on merkittävässä roolissa. Suunnitelmaa leveämmin porattu tunneli kasvattaa kustannuksia tarvittavan lisätuennan kautta. Liian kapeaksi porattu tunneli pahimmassa tapauksessa haittaa liikennettä tai seuraavia työvaiheita. (Sorsa & Lindeman 2015, 153.) Kapeaksi jääneet tunneliosuudet tulee korjata uudelleen poraamalla. Korjaus on aina ylimääräinen suunnittelematon työvaihe, joka aiheuttaa tuotannonmenetystä sekä ylimääräisiä käyttö- ja kunnossapitokustannuksia.

Kittilän kaivoksella tarvitaan keskimäärin 75 porametriä yhtä tunnelimetriä kohden. Tämä tarkoittaa, että kaikkien käytössä olevien porakaavioiden keskiarvoinen reikämäärä peräseinällä on 75 reikää. Porattavien katkojen pituus keskiarvoisesti on 4,7 m, mikä velvoittaa vähintään samanpituisen porareian porauksen. Käytössä oleva porareikä koko on halkaisijaltaan 48 mm. (Mattanen 2022.)

3.2 Iskuporaus

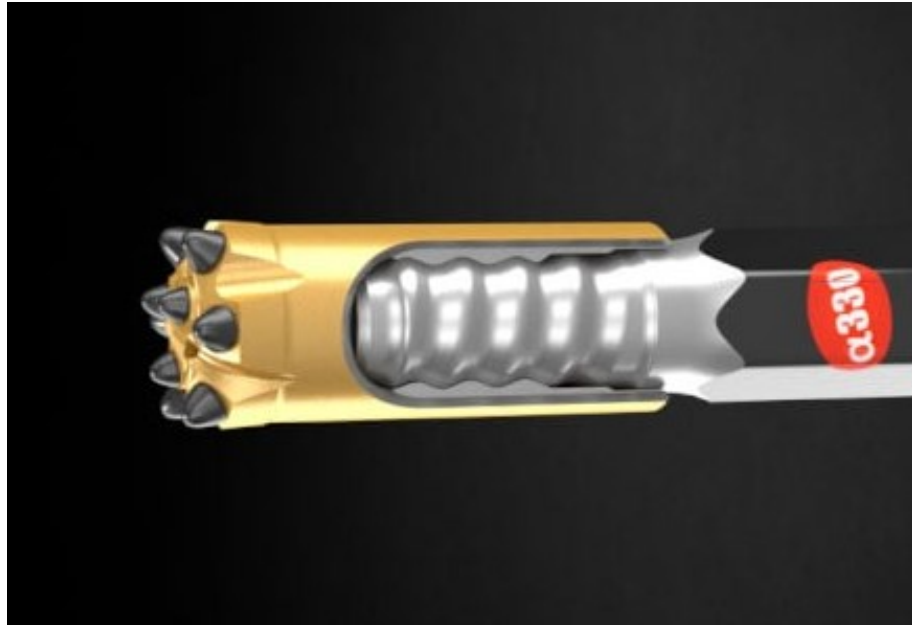
Iskuporauksessa kallioon välitetään iskuenergiaa porakalustoa pitkin. Iskuenergia välittyy porakoneessa kiinniolevan poraniskan kautta yhden tai useamman porakangen jälkeen porakruunuun. Porakruunun päässä olevat kovametallinasat välittävät energian porattavan reiän pohjalla olevaan kallioseinämään, jonka vaikutuksesta seinämä murtuu ja aiheuttaa rakoilua pidemmälle kallioon. (Räsänen, Eskola, Kaukinen & Niiranen 2015, 157.)

Iskuaaltojen välityksessä tapahtuu vaimentumaa yhden kierrelitoksen kohdalla noin 6-10 prosenttia, mikä johtuu osittain porakaluston kierrelitosten huonosta kontaktista. Huonon kontaktin takia liitoskierre vaurioituu ja lämpenee. (Räsänen ym. 2015, 157.) Tämän vuoksi pitkiä porareikiä poratessa olisi hyvä käyttää tehokkaampaa poravasaraa tai vaihtoehtoisesti suoraan porakruunuun iskevää, kankijonon päässä olevaa uppovasaraa.

Iskuenergian lisäksi porakalustoa pitkin porareian pohjalle viedään kiertoliike ja huuhteluvesi. Kiertoliikkeen tarkoituksena on pyörittää porakruunua sellaisella nopeudella, että poranasta ei iske samaan kohtaan kahta kertaa peräkkäin vaan on porareian pohjalla uudessa kohdassa vasaran jälleen iskettäessä (Räsänen ym. 2015, 161). Liian pienen pyöritysnopeuden takia porausjäte jauhautuu liian hienoksi, aiheuttaen porausprosessiin energiahäviötä. Vastaavasti liian suuri pyöritysnopeus aiheuttaa iskuenergian sijaan hankausliikkeestä syntyvän kallion rikkoutumisen. Tästä seuraa porakruunun nopeutunut kuluminen ja kankikaluston kierrelitosten tiukkeneminen, joka aiheuttaa ongelmia kierteiden aukaisuun. (DT923i käyttöohjekirja 2022, 384.)

Puhdas huuhteluvesi viedään porakaluston onttoa sisustaa pitkin reiän pohjalle. Huuhteluvesi poistuu porakaluston sisältä porakruunun päässä olevista pienistä rei'istä. Veden tarkoituksena on irronneen kivimassan (porasoija) huuhtelu ulos

porareiästä sekä jäähdyttää porakalustoa porausprosessin aikana. Riittävä huuhtelu on tärkeää, sillä sen avulla voidaan vaikuttaa merkittävästi porakaluston tunkeutumiseen ja porakruunun käyttöikänsä. (Räsänen ym. 2015, 158.) Sandvikin valmistama porakanki ja -kruunu esitetään kuviossa 4.



Kuvio 4. Porakruunu ja kangen uroskierre (Sandvik Mining and Construction 2022a)

Isku-, kierto- ja huuhtelutyövaiheet ovat kaikki yhtä tärkeitä päältä iskevässä porausprosessissa. Nämä kaikki työvaiheet ovat sisällytettynä nykyaikaisen hydraulisen poravasaran ominaisuuksiin. Iskuporavasaraa voidaan pitää tunneliporälaitteen tärkeimpänä ja oleellisimpana komponenttina, jonka ympärille porälaitteen muita ominaisuuksia on lisätty tehokkuuden ja turvallisuuden kasvattamiseksi.

Porausprosessissa yhtä tärkeänä työvaiheena on syöttö. Syöttö on poravasaran tekniikasta riippumaton työvaihe (poisluettuna syöttönopeuden säätö) ja se yleensä suoritetaan ulkoisella hydraulikkasynterillä. Syötön tarkoituksena on liikuttaa poravasaraa lineaarisesti syöttölaitteella sellaisella nopeudella, jolla saadaan aikaiseksi katkeamaton kontakti porakoneen, poraniskan, porakruunun ja kallion välillä porareiän pituuden kasvaessa. Oikealla syöttöpaineella mahdollistetaan jatkuva kontakti ja porakaluston käyttöiän pidentäminen. (DT923i käyttöohjekirja 2022, 383.)

Kittilän kaivoksessa DT923i-laitteella porattavat reiät tehdään Sandvikin valmistamalla hydraulisella iskuporavasarella. Laitteessa käytettävät poravasarat ovat malliltaan RD525, joita koneessa on kaksi kappaletta, eli yksi yhdessä porapuumissa. Vasaran iskutaajuus on 93 iskua sekunnissa 25 kW:n iskuteholla. Fyysisiltä mitoiltaan vasara on 1,01 metriä pitkä ja 225 kiloa painava. (Sandvik Mining and Construction 2022c.) Kuviossa 5 esitetään samaa malliperhettä oleva RD535-poravasara.



Kuvio 5. RD535 paikoillaan syöttölaitteessa (Sandvik Mining and Construction 2022d)

3.3 Tekniikka

Tunneliporauslaitteet jaetaan perinteisesti kahteen karkeasti jaoteltuun pääkomponenttiryhmään, puomistoon sekä alustaan. Puomiston tarkoituksena on suorittaa poraustyö ja alusta kuljettaa puomiston työkohteeseen. Alustan tehtävänä on ylläpitää poraustyöhön edellyttäviä ominaisuuksia, kuten automatiikkaa, hydrauliiikkaa, huuhtelua ja voitelua sekä mahdollistaa operaattoreille turvallinen työskentely-ympäristö.

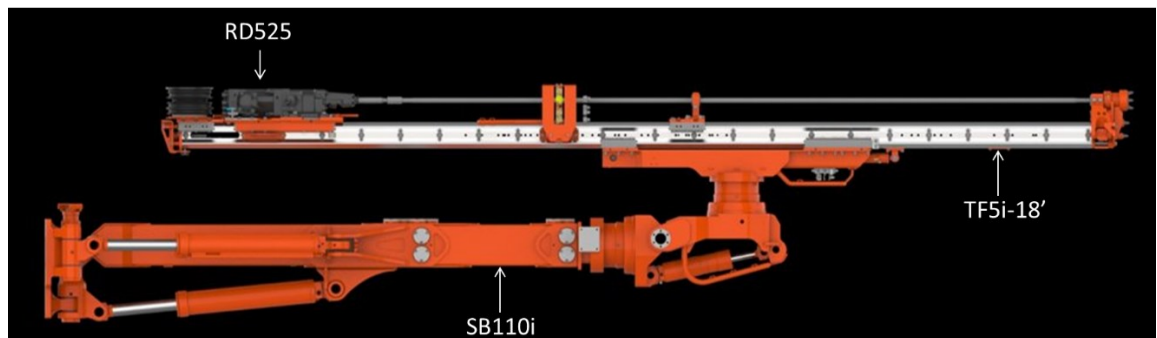
Saman jaotteluperiaatteen mukaisesti on myös jaoteltu tämän opinnäytetyön rajauksia ja tehtäviä. Tutkimustyössä tehtävä RCM (Reliability Centered Maintenance) -analysointi suoritetaan pelkästään puomistolle, kun taas alustaa tarkastellaan pelkästään referenssilaitteen vikaantumishistorian kautta. Jaottelu on suurimmaksi osaksi ainoastaan verbaalinen, sillä todellisuudessa lähes kaikki

puomiston tekniikkaan liittyvät ominaisuudet ovat täysin riippuvaisia alustan tekniikasta. Tämä aiheuttaa analysointityön rajauksen osittain tulkinnanvaraiseksi, sillä vikaantuminen alustassa johtaa väistämättä myös puomiston suorituskyvyn alenemiseen tai vikaantumiseen.

Ensimmäisellä liitesivulla olevasta toiminnallisesta mallinnuksesta voidaan havainnoida puomiston toimilaitteiden ja komponenttien keskinäisiä riippuvuuksia. Toiminnallinen mallinnus on RCM-analysoinnissa yksi ensimmäisistä tehtävistä, joilla voidaan varmistua tutkimuskohteen toimintaperiaatteesta.

3.3.1 Puomisto

Laitteen puomisto koostuu kahdesta SB110i-porapuumista, TF5i-18' -syöttölaitteesta, RD525-poravasaraa sekä niihin kuuluvista hydraulikkaletkuista ja anturinneista (DT923i Technical Specifications 2022, 1). Kuviossa 6 havainnollistetaan yhden porapuomin pääkomponenttien sijainnit.



Kuvio 6. Porapuomi (DT923i markkinointimateriaali 2022, 6)

SB110i-puomi tukee syöttölaitetta porauksen aikana sekä mahdollistaa syöttölaitteen siirtelyt korkeus- ja sivuttaissuunnassa. Puomin tyvessä on kiinnityslevy, nostosylinteri ja kääntösylinteri. Puomiston teleskooppimaisen rakenteen ansiosta sen pituutta voidaan säädellä teleskooppisylinterin (iskunpituus 2 m) avulla. Sisemmän ja ulomman teleskooppiputken välissä on säädettävät kulutuspalat.

Teleskooppipuomin päähän on asennettu pulttiliitoksella vaakasuuntainen kääntömoottori, jolla mahdollistetaan syöttölaitteen kääntyminen puomin horisontaaliakselin ympäri. Pyöritysmoottorin toisessa päässä on pulttiliitoksella kiinnitetty

nivelkappale. Nivelkappale sisältää syöttölaitteen kallistussylinlerin ja kallistusliikkeen mahdollistavan nivelen. Anturitekniikkaa sisältävät sähkölaatikot sijaitsevat nivelkappaleen teräsrakenteiden sisällä suojassa. Nivelkappaleen päällä sijaitsee pystysuuntaisesti asennettu pyöritysmoottori. Tällä pyöritysmoottorilla mahdollistetaan syöttölaitteen kääntö tyvipuomin vertikaaliakselin ympäri.

TF5i-18' -syöttölaite sisältää muun muassa syöttöpalkin, letkurummun, letkupiikkeet, syöttösylinlerin, porakelkan, kalliotuen, kankiohjurit sekä hydraulisen poravasaran. Poravasara asennetaan porakelkkaan pulttiliitoksella ja porakelkka liikkuu porauksen aikana syöttöpalkin liukukiskoja pitkin syöttösylinlerin tuottamalla voimalla. Syöttösylinteri ei ole suorassa kontaktissa porakelkkaan, sillä vetovoima välitetään porakelkkaan vaijereiden avulla. Vetovoima välitetään vetovaijeriin sylinterin päässä olevan kääntöpyörän kautta. Vetoaijerin keskikohdan kulkiessa kääntöpyörällä saadaan iskuvasaran ajonopeus tuplaantumaan syöttösylinlerin liikenoiteeseen nähden. (Syöttölaite 2022, 19.)

TF5i-18' -syöttölaitteen mallinimessä olevalla luvulla "18" viitataan syöttölaitteen pituuteen. Syöttölaitemallilla voidaan porata 5,270 metrisiä reikiä, jolloin kangen pituus voi olla maksimissaan 5,525 metriä. Poralaitteen kokonaisuudessa on noin 30 500 kg, josta puomiston osuus on noin 7 500 kg ja jäljelle jäänyt paino tulee alustasta. Fyysisiltä mitoiltaan laite on 15,45 metriä pitkä, 2,57 metriä leveä ja korkeimmasta kohdasta 3,19 metriä korkea. (DT923i Technical Specifications 2022, 2, 4.)

3.3.2 Alusta

Dieselmoottori on suunniteltu käytettäväksi pelkästään laitteen siirtoihin. Dieselmoottori pyörittää hydrostaattisen voimansiirron pumppua, joka pumppaa hydraulikkaöljyn voimansiirron pyöritysmoottorille, josta voima välittyy vaihteiston kautta akseleille.

Työkohteessa poraukseen käytettävä energia saadaan kaivoksen sähköjakeluverkosta. Verkosta saatava jännite on suuruudeltaan 690 V:a. Ennen porauksen aloittamista laitteessa oleva sähkökaapeli kytketään porasähköpistorasiakeskuk-

seen (VYK). Laite hyödyntää porausprosessin aikana VYK:ksesta saatavaa sähköenergiaa. Sähkö syötetään pääkeskuksen kautta sähkömoottoreille, joissa sähköenergia muutetaan mekaaniseksi voimaksi.

Sähkömoottori ja hydrauliiikkapumput muodostavat "powerpackiksi" kutsutun voimayksikön. Poralaitteen voimayksiköiden määrä on suunniteltu vastaamaan puomien lukumäärää, jolloin yksi voimayksikkö antaa tarvittavan öljyvirtauksen yhden puomin tarpeille. Voimayksiköt sijaitsevat molemmin puolin hydrauliiikkaöljysäiliötä.

Yhtä voimayksikköä kohden tarvitaan kaksi hydrauliiikkapumppua. Suurempi säätötilavuuspumppu (140 cm³) tuottaa tarvittavan öljyvirtauksen puomin toimilaitteiden käyttöön sekä poravasaran syöttöön ja iskuun. Pienempi säätötilavuuspumppu (71 cm³) tuottaa öljyvirtauksen poravasarella sijaitsevalle poraniskan pyöritysmoottorille. Toisessa voimayksiköissä on myös kolmas hydrauliiikkapumppu, jonka tuottaa öljyvirtauksen ilmastoinnin moottorille ja öljyn jäähdytysjärjestelmälle. (Poraushydrauliikka 2022, 26-27.)

Pumpuilta öljyvirtaus haarautuu puomiston ja alustan omille ohjausventtiililohkoille. Porauksen pääohjausventtiilien karat ohjautuvat esiohjauspaineella, jota ohjataan sähköisesti pienempien esiohjausventtiilien avulla. (Poraushydrauliikka 2022, 26-27.) Pääohjausventtiilejä voidaan tarvittaessa ohjata myös mekaanisesti. Mekaaninen ohjaus on hyödyllinen ominaisuus, mikäli sähköistä ohjausta ei voida käyttää. Alustan ohjausventtiililohkon toiminta on toteutettu samalla tavalla.

Sähköistä ohjausta hallitaan turvaohjaamosta manuaalisesti erilaisten toimilaitteiden avulla. Toimilaitteita ovat muun muassa ohjaussauvat, napit, kytkimet ja säätimet. (Poraushydrauliikka 2022, 26-27.) Laitteen automaatio-ohjaus on aktivoitavissa ohjaamosta sekä etäältä, jolloin laite ohjaa itsenäisesti sähköohjausta venttiililohkolle. Automaatio-ohjauksessa tietokoneelle määritetään haluttu poraavaario, jonka laite osaa porata itsenäisesti anturitekniikan avulla.

Alustaan kuuluvia komponenttiryhmiä ovat muun muassa:

- dieselmoottori, 129 kW Stage V ja apulaitteet
- keskinivelohjaus

- 690 V:n sähköjärjestelmä
- kaksi voimayksikköä
- vesijärjestelmä paineenkorotuspumpulla
- kompressoriyksikkö
- ilmastoitu ja ylipaineistettu turvaohjaamo
- hydrauliiikan ohjausjärjestelmä
- hydrostaattinen voimansiirto sekä akselistot ja renkaat
- tulipalon sammutusjärjestelmä
- runkorakenne
- tukijalat, edessä levityksellä
- alustan jousitus
- vesi- ja kaapelikelat.

4 KUNNOSSAPITO

Tuotantolaitoksen pääasiallinen tehtävä on tuottaa hyödykkeitä yhteiskunnalle. Jotta tuotantoa voidaan kannattavasti ja kestävästi harjoittaa, on toimintaan käytettävät varat oltava määritetyllä aikavälillä vähäisemmät entä toiminnasta saata- vat tulot. Tuotannon edellytyksenä on toimiva laitteisto ja toimivan laitteiston edel- lytyksenä on niiden kunnossapito. Lopulta suurimmat kustannukset syntyvät, kun tuotanto ei ole tehokasta tai sitä ei ole (Järviö & Lehtiö 2012, 15).

Kunnossapidon välittömiin, helposti mitattaviin kustannuksiin voidaan yleisesti lu- kea organisaation palkat, käytetyt varaosat, hankintakustannukset, varastointi- kustannukset, materiaalit ja tarvikkeet, alihankinta sekä yleiskustannukset, kuten vuokrat. Näiden lisäksi toiminnasta syntyy välillisiä ja aineettomia menetyksiä sekä kustannuksia, joita ei voida helposti kohdistaa mihinkään tiettyyn asiayhtey- teen. (Järviö & Lehtiö 2012, 180.)

Kittilän kaivoksen kunnossapito-organisaatiossa pätee suurimmaksi osaksi sa- mat kulurakenteet. Turvallisen ja tehokkaan tuotannon kannalta välttämättömiä laitteita kaivoksessa on kiinteästi paikoillaan pysyvinä ja tunneleissa alati liikku- vina laitteina ja koneina. Tämän lajitteluperiaatteen mukaisesti kaivoksen kun- nossapito-organisaatio on jaettu kahteen erilliseen ryhmään, kiinteään ja liikku- vaan kunnossapitoon. Liikkuvassa kunnossapidossa huollettavina laitteina on tuotanto- ja peränajokalusto (ajettavat laitteet) ja kiinteä kunnossapito huoltaa muut laitteet, kuten esimerkiksi kivilinjaston ja poistovesipumppaamot. Kaivok- sessa on myös sähkökunnossapito, joka huoltaa kaikki yli 230 V:n sähkölaitteet.

Tässä luvussa keskitytään pelkästään Kittilän kaivoksen liikkuvan kaluston kun- nossapito-organisaation (LIKU) toimintaan. Käsiteltävät kunnossapidon termistöt heijastetaan LIKU:n toimintatapoihin.

4.1 Kunnossapito maanalaisessa kaivoksessa

Maanalaisen kaivoksen ympäristöön sisältyy kunnossapidon toiminnan kannalta haasteita. Laitteiden ja koneiden toimintaympäristölle olennaista on vakioksi muodostunut lämpötila 10–15 °C, pölyinen ja likainen käyntiympäristö, merkittä-

vän suuri kosteusaste sekä tunnelin katosta tulevan tippuveden korkea kalkkipitoisuus. Liikkuvalle kalustolle, tai tarkemmin sanottuna niiden operaattoreille, haasteena on myös ahtaat ja rajallisesti valaistut tilat.

Haastava ympäristö lisää myös laitteiden toimintaan liittyviä turvallisuusvaatimuksia, jotka kunnossapidon täytyy pystyä täyttämään. Tällaisia vaatimuksia ovat erityoten laitteiden paloturvallisuus, jarrutekniikka, turvaohjaamon turvallisuus sekä raitisilmansuodatus. Paloturvallisuus on LIKU:n lisäksi jokaisen organisaation toiminnassa tärkeässä roolissa, sillä maanalaisessa kaivostoiminnassa tulipalo on yksi korkeimman luokan riskeistä (Jauhojärvi 2023, 8).

4.1.1 Laitekanta ja tuotanto

LIKU:n alaisia laitteita on kaikkiaan 45 kappaletta. Suuri laitemäärä on jaettu kahteen erilliseen ryhmään riippuen niiden merkityksestä kokonaistuotannossa. Merkityksen määrittävänä tekijänä on laitteen käyttötarkoitus, eli käytetäänkö laitetta peränajossa vai tuotannossa. Peränajo on tuotantoa valmisteleva työvaihe, jolla pääasiassa rakennetaan ja tuetaan tunnelit. Vasta tunnelin rakentamisen jälkeen tuotantolaitteilla on mahdollista päästä työstämään malmipitoisia louhoksia.

Kittilän kaivoksessa käytössä oleva peränajoprosessi esitetään taulukossa 1. Työvaiheet ovat laskevassa järjestyksessä porauksen ollessa ensimmäinen työvaihe. Taulukossa on myös lyhyesti selitetty työvaiheen merkitys sekä laitevalmistajat, joiden laitteita kaivosyhtiö käyttää ko. työvaiheeseen. Kohdan 6 Valmistaja -sarakkeen kohta on jätetty tyhjäksi, sillä työvaihe ei lukeudu AEF:in toimintoihin. Mikäli tarkoituksena on tehdä pitkää tunneliosuutta, prosessi aloitetaan jälleen alusta edeltävän tunneliosuuden valmistuttua.

Taulukko 1. Peränajoprosessi

#	Työvaihe	Laite	Valmistaja	Tarkoitus
1.	Peräseinän poraus	Tunnelijumbo	Sandvik & Epiroc	Peräseinään porataan panostusreiät
2.	Panostus	Panostuslaite	Normet/Forcit/Scania	Porattuihin reikiin asetetaan räjähdepanos
3.	Räjätys	Laukaisulaite	-	Panosten räjäytys
4.	Lastaus ja kuljetus	Toro, kiviauto	Sandvik & Scania	Louhe lastataan kiviauton lavalle ja kuljetetaan pois
5.	Rusnaus	Rusnauslaite	Jama & Normet	Kallion seinämistä irroitetaan irtokivet
6.	Välityhjennys	Pyöräkone	-	Irtokivien lastaus
7.	Betonin ruiskutus	Ruiskutuslaite	Normet	Kallion pinta lujitetaan betonikerroksella
8.	Tuenta	Pultitus-/verkotus- tai vaijerointilaite	Epiroc	Kallio lujitetaan terästangoilla, -verkoilla tai -vaijerilla

Tuotantokoneiksi luokitellaan koneet, jotka kuuluvat malmipitoisen louheen käsittelyyn. Taulukossa 2 on esitetty kaivoksen tuotannon työvaiheet samalla periaatteella kuin aikaisemmassa taulukossa.

Taulukko 2. Kaivoksen tuotantoprosessi

#	Työvaihe	Laite	Valmistaja	Tarkoitus
1.	Louhoksen yläperän vahvistus	Vaijerointilaite	Epiroc	Vahvistetaan tulevan louhoksen katto
2.	Nousun poraus	Nousunajokone	Sandvik / Rhino	Louhokseen luodaan räjäytystä varten n. 0,5 m leveä avausreikä
3.	Tuotantoporaus	Pitkäreikäporalaite	Sandvik & Epiroc	Louhokseen porataan panostusreiät (pituus vähintään 25 metriä)
4.	Louhospanostus	Panostuslaite	Normet / Forcit / Scania	Porattuihin louhosreikiin asetetaan räjähdepanos
5.	Räjätys	Laukaisulaite	-	Panosten räjäytys
6.	Kastelu	Kasteluauto	Scania	Malmilouhe kastellaan pölyn vähentämiseksi
7.	Lastaus ja kuljetus	Toro, kiviauto	Sandvik & Scania	Malmilouhe lastataan kiviauton lavalle ja kuljetetaan pois

Viimeisen työvaiheen jälkeen tyhjä louhostila täytetään sementtipitoisella täytteellä ("pasta") kalliomekaanisten vaatimusten vuoksi. Tuotantoprosessi toistetaan jälleen uudelle louhokselle pakollisten valmistelevien työsuuksien valmistuttua.

4.1.2 Resurssit

LIKU:n korjaamotilat sijaitsevat maan päällä sekä 350 metriä maan alla nykyisellä päätasolla. Tällä hetkellä maanpäällistä korjaamoa kutsutaan nimellä ”avokupi” ja maanalaisesta korjaamoa ”makakupi”. Kaivokseen on rakenteilla uusi päätaso 900 metrin syvyyteen, mikä sisältää myös LIKU:n uuden korjaamon. Korjaamon käyttöönoton on määrä toteutua vuoden 2023 aikana, jolloin myös kunnossapito-toiminta siirtyy kokonaisuudessaan maan alle.

Avokupilla on käytössä kaksi huoltopistettä ja yksi pesuhalli. Korjaamolta löytyy myös toimisto-, varasto- ja sosiaalitilat. Maanalaisessa korjaamossa varsinaisia huoltopisteitä on kolme ja yksi varahuoltopiste varsinaisen kunnossapitohallin läheisyydessä. Myös maanalaisesta korjaamosta löytyy toimisto-, varasto ja sosiaalitilat. Uuden päätason korjaamossa tulee olemaan samat resurssoinnit, mutta varsinaisten huoltopisteiden määrä on kasvatettu neljään ja varalla on kaksi huoltopistettä. Kuviossa 7 on Sandvikin valmistama porajumbo 350-tason korjaamossa huollettavana.



Kuvio 7. Porajumbo kunnossapitohallissa

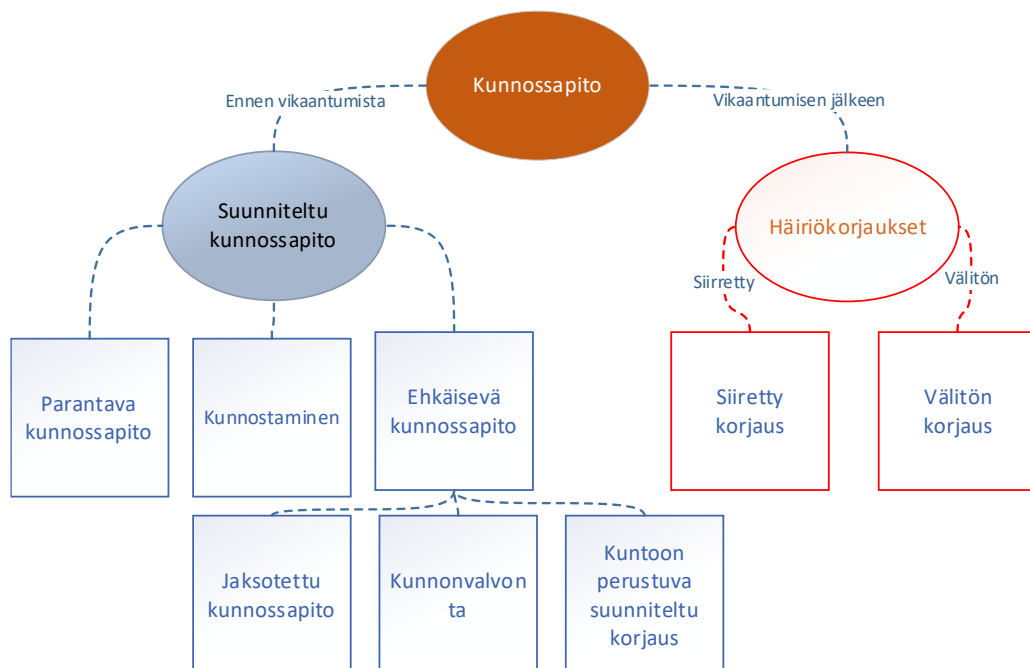
Organisaatiossa työskentelee noin 50 työntekijää, toimihenkilöt ja vakituiset ulkoiset resurssit mukaan laskettuna. Mekaanikkojen työvuoron pituus on 10 tuntia. Työjaksossa on viisi työpäivää, jota seuraa viiden päivän vapaajakso. Korjaamoissa työskennellään päivä- ja yövuoroissa. Työvuorojen välissä olevat kaksi tuntia toimivat ”savutunteina”, eli maanalaisen kaivoksen räjäytyksessä syntyvien

savukaasujen tuuletustunteina. Työnjohdon työskennellessä 12 tunnin työvuoroja voidaan savutunnit hyödyntää seuraavan vuoron suunnitteluun.

Kunnossapito-ohjelmistona toimii kaivoksella yleisesti käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmä JD Edwards (JDE). JDE:ia käytetään muun muassa työmäärimien luomiseen, suunnitteluun, sulkemiseen, tilausten tekemiseen sekä töiden raportointiin.

4.2 Suunniteltu kunnossapito

Kunnossapitotöiden keskeinen jaottelu eri lajeiksi on tärkeä osa kunnossapitojohtamista. Jako mahdollistaa toiminnan tehokkuuden seurannan vertailemalla tehtyjen työtuntien määrää ja eri työlajien kustannuksia. (Järviö & Lehtiö 2012, 46.) Kunnossapitolajittelut löytyvät SFS-EN 13306 -standardista sekä PSK 6201 ja 7501 -standardeista. SFS- ja PSK-standardit käsittelevät kunnossapitolajeja hieman eriävästi, mutta pohjimmiltaan toiminta jaetaan kaikissa standardeissa korjaavan ja ehkäisevän kunnossapidon kesken. Kuviossa 8 havainnollistetaan PSK standardissa esitettyä kunnossapitolajittelua.



Kuvio 8. Kunnossapitolajit (mukaillen PSK 7501:2011, 32)

Suunnitellun kunnossapidon toteuttamisen tavoitteena on ehkäistä laitteen vikaantumista suorittamalla huoltotöitä kohteisiin, joissa vikaantuminen on todennäköistä. LIKU:ssa suunnitellun kunnossapidon ja häiriökorjausten työtuntimäärät ovat vuosittain liki samat. Organisaation tavoitteena on pitää suunnitellun työn osuus mahdollisimman suurena häiriökorjauksiin verrattuna. Tavoitteisiin pääseminen edellyttää ehkäisevän kunnossapidon kohdentamista kohteisiin, jotka aiheuttavat eniten häiriökorjausta.

4.2.1 Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on ehkäisevän kunnossapidon tekniikka, mitä toteutetaan yleensä kalenteriaikaan, käyttötunteihin, tuotantomäärään tai energian käytön mukaisesti (PSK 6201:2011, 22). Toimintatavalla tehdään huoltoja, joihin sisältyy:

- puhdistus
- voitelu
- huoltaminen, huolto
- kalibrointi
- kuluvien osien vaihtaminen
- toimintakyvyn palauttaminen
- toimintaedellytysten vaaliminen, käytön suorittama kunnossapito. (Järviö & Lehtiö 2012, 50.)

LIKU hyödyntää jaksotettua kunnossapitoa käyttötunteihin ja kalenteriaikaan perustuen. Laitteet huolletaan määräaikaisesti kalenteriviikkoihin sidotusti. Yleinen huoltoväli laitteille on kaksi viikkoa, josta poiketaan joidenkin laitteiden kohdalla. Jokaiseen huoltoon sisällytettävät toimenpiteet määräytyvät käyttötuntiperusteisesti. Toimenpiteitä ja niiden laskureita hallinnoidaan erillisellä huolto-ohjelmalla. Ohjelmisto määrittää huollossa tehtävät toimenpiteet käyttötuntiperusteisesti. Käyttötunnit syötetään ohjelmaan aina huollon aloituksessa.

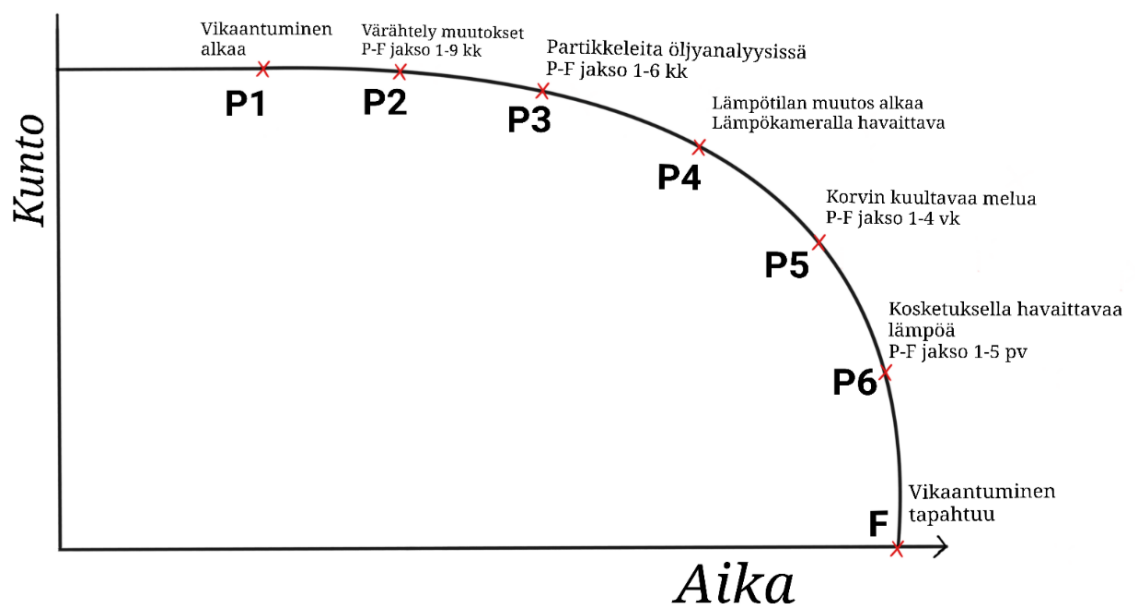
Käyttäjätasoinen jaksotettu kunnossapito sisältää laitteen päivittäisen tarkistamisen käyttöönoton yhteydessä. Lisäksi käyttäjän vastuulla on laitteen oikeaoppinen käyttäminen sekä pienimuotoiset kunnossapitotyöt, kuten puhdistaminen, kroonisten vikojen etsiminen ja korjaaminen, voitelut, pulttiliitosten kiristäminen,

käyttöolosuhteiden vaaliminen, päivittäinen kulumisen seuraaminen ja pienet huoltotyöt. Käyttäjät myös vastaavat laitteen epänormaalin toiminnan havainnoinnista ja raportoinnista LIKU:lle. Käyttäjäkunnossapito on pääasiassa jatkuvaa laitteesta huolehtimista.

4.2.2 Kunnonvalvonta

Laadukas kunnonvalvonta on tehokas työkalu vikaantumisten vähentämiseen. Vikaantumisen havaitseminen varhaisessa vaiheessa mahdollistaa ehkäisevän toimenpiteen suorittamisen ajoissa. Tällöin häiriökorjaukset vähenevät ja tulevat vikaantumiset voidaan siirtää suunnitellun kunnossapidon tehtäviksi.

Vikaantumisen kehittyminen alkaa yleensä pienellä toiminnan poikkeamalla, eli aloitusmekanismilla. Kuviossa 9 esitetään laakerin vikaantumista kuvaava P-F -käyrä. Kuvio havainnoi vikaantumisen tilaa ja sen havainnointiin soveltuvaa kunnonvalvontamenetelmää. P tarkoittaa havainnointipistettä ja F vikaantumista.



Kuvio 9. Laakerin vikaantumista kuvaava P-F -käyrä (mukaillen Laitinen 2021, 139; Niininen 2021a, 40)

Kuvaajasta tulkiten värähtelymuutos on tyypillisesti ensimmäinen havaittava signaali vikaantumisesta. Öljyanalyyssillä havaittavat muutokset viestivät irronneista partikkeleista öljyn seassa, jolloin vikaantuminen on päässyt etenemään pitkälle

ensimmäisestä havainnointipisteestä. Myöhemmässä vaiheessa poikkeamat voidaan havaita aistinvaraisesti, kuten vikaantuneen laakerin tuottamasta äänestä tai lämpötilan huomattavasta noususta.

Kunnonvalvontataso tulisi määrittää erikseen jokaiselle laitteelle. Kaikille laitteille ei ole taloudellisesti kannattavaa investoida hintavia värähtelymittauslaitteistoja, sillä määräaikainen visuaalinen tarkistaminen voi olla riittävä keino. Kunnonvalvonta on lähtökohtaisesti järkevää, mikäli sen kustannusvaikutus on pienempi entä laitteen rikkoutumisesta syntyvät tuotantotappiot ja korjauskustannukset. Tärkeintä on, että asetetut kunnonvalvontatavoitteet täyttyvät ja kunnonvalvonta kohdennetaan kriittisiin toimilaitteisiin. (Mikkonen & Kautto 2009, 163.)

Kunnonvalvontakeinoja ovat muun muassa:

- värähtelyanalyysi
- visuaaliset tarkastukset
- ainetta rikkomaton koestus (NDT)
- partikkelianalyysi (öljyanalyysi)
- visuaaliset tarkastukset
- koneen toiminnan ja suorituskyvyn jatkuva tarkkailu
- paksuusmittaukset
- särötarkastukset (Laitinen 2021, 140; Niininen 2021a, 22).

LIKU:n käyttämä kunnonvalvontatekniikka on suurimmaksi osaksi huolloissa suoritettavia tarkastuksia liittyen laitteen tekniikkaan ja turvallisuuteen. Öljynäytteitä otetaan muun muassa lastauskoneilta ja niiden analysointi suoritetaan ulkoisesti. Käyttäjätason kunnonvalvonnalla saadaan laitteen vikaantumisiin liittyvää tietoa nopealla vasteella, tosin valitettavan usein liian myöhään.

4.3 Häiriökorjaus

Laitteen vikaantuminen on seuraus tapahtumasta tai tapahtumaketjusta, joka lopulta aiheuttaa vian (Järviö & Lehtiö 2012, 66). Viasta seuraava vaikutus on kohteen toimintakyvyn alentuminen tai menettäminen. Menetetyllä toimintakyvyllä laite ei enää kykene suorittamaan vaadittua toimintoa, tai sen suorituskyky on laskenut niin, että se ei ole turvallisuuden tai laadun kannalta enää hyväksyttävää

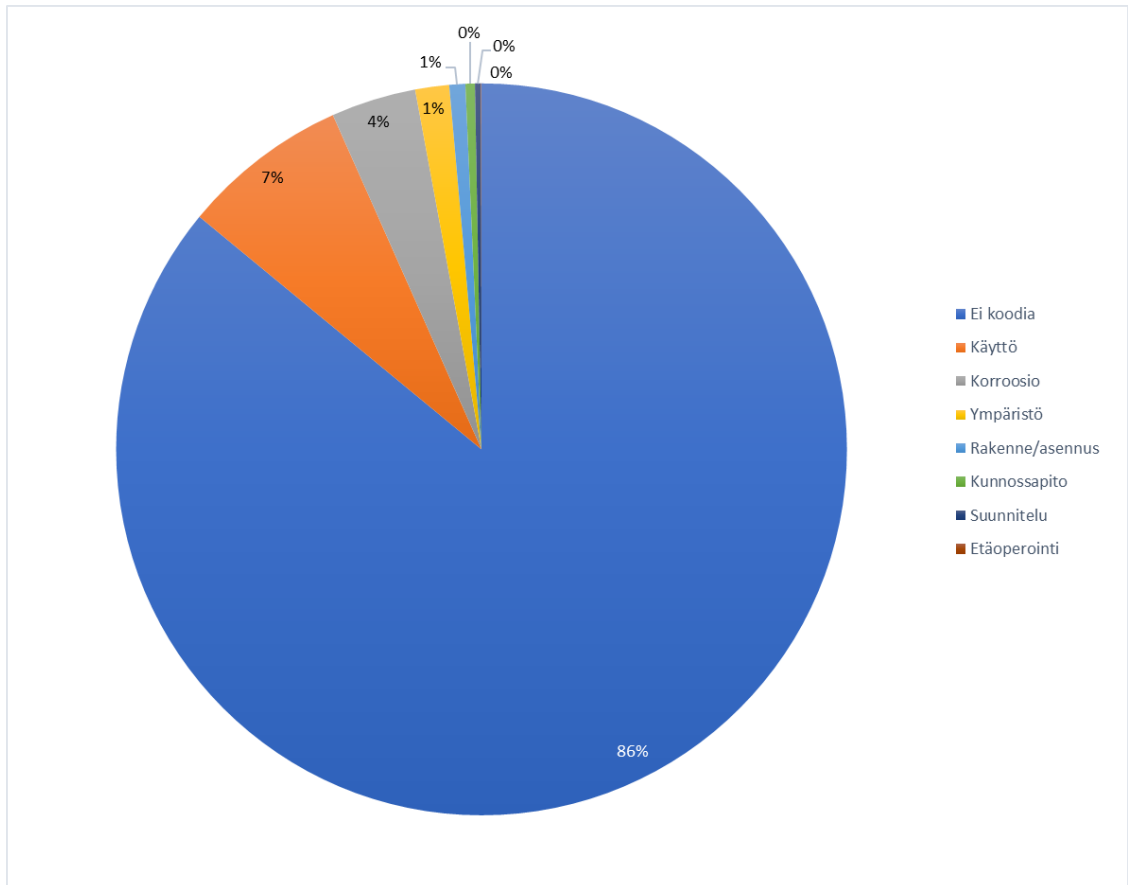
(Järviö & Lehtiö 2012, 67). Menetetty toimintakyky tulee palauttaa hyväksyttävälle tasolle mahdollisimman nopeasti. Tämä nopea toimintakyvyn palautus on toiselta nimeltään häiriökorjaus.

Häiriökorjaus on aina suunnittelematon työvaihe tuotannolle. Laitteiden vikaantumisesta seuraa lähes aina suoria ja epäsuoria vaikutuksia kaivoksen kokonais-tuotantoon. Vikaantuminen voi myös vaikuttaa henkilöstön turvallisuuteen ja työ-motivaatioon. Suorat vaikutukset, eli varaosa- ja työkustannukset, ovat yleensä pieni osa tuotannon kokonaisvaikutuksesta. Yleisimmät tuotantoon epäsuorasti vaikuttavat tekijät ovat:

1. Keskeytyneen työvaiheen viivästyminen.
2. Seuraavien työvaiheiden viivästyminen.
3. Häiriökorjauksen aiheuttama määräaikaishuollon viivästyminen, kun työlle varatut resurssit eivät ole enää käytettävissä.
4. Määräaikaishuollon viivästyminen viivästyttää myös tulevia määräaikaishuoltoja.
5. Mikäli häiriökorjauksen aiheuttama viive on merkittävä, joudutaan lopulta muuttamaan tuotantosuunnitelmia.

Häiriökorjaukseen johtava vikaantuminen voi myös toimia kehittymismekanismina seuraavalle vikaantumiselle. Jokainen vikaantuminen on lopulta kehittymisketjunsä viimeinen lenkki, mikä voidaan estää varhaisella havainnoinnilla. Vikaantuminen ei synny itsestään, vaan se tarvitsee aina kehittymisketjun alkuun tietyn mekanismin, joka aloittaa vian kehittymisen etenemän. (Järviö & Lehtiö 2012, 72.)

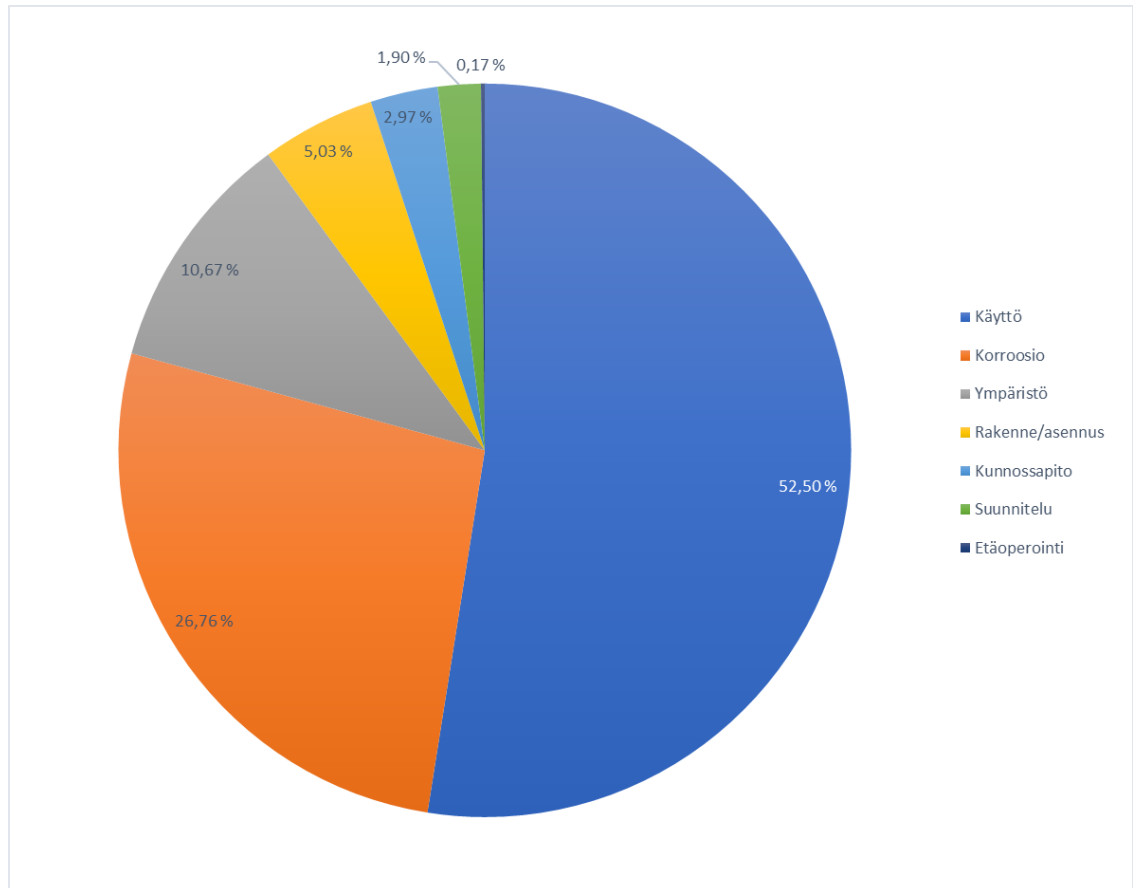
Maanalaisen kaluston vikaantumisiin johtavista aloitusmekanismeista suurimassa roolissa on haastavan käyntiympäristön kiihdyttämä kuluminen. Mekanismit vaikuttaa kaikkeen maanalaiseen laitteistoon, ei pelkästään liikkuviin laitteisiin. LIKU:n häiriökorjauksiksi luokittelemat työmääräimet aikajaksolta 2021-2022 esitetään kuviossa 10. Kuvio on määritetty JDE:in kunnossapitodatasta, johon mekaanikot ovat merkinneet käytetyn työajan, työn kiireellisyysprioriteetin sekä arvion häiriökorjauksen juurisyystä.



Kuvio 10. Liikkuvan kaluston häiriökorjauksien syyt

Kuviossa dominoiva ”ei koodia” -vikasyy voi tarkoittaa yleistä häiriökorjausta, jolle ei ole mitään nopeasti selventynyttä juurisyitä. Vikakoodi voidaan tulkita vertailukelvottomaksi, sillä vikakoodia käytetään yleisesti juurisyyn olleessa epäselvä. Ei koodia -vikasyyn takana on todennäköisesti myös muita vikasyitä väärin raportoituna, sillä työmääräintä raportoidessa on olemassa inhimillisen erehtymisen ja huolimattomuuden riski. Nämä inhimilliset tekijät vaikuttavat kuvion luotettavuuteen.

Kiinteistä laitteista poiketen liikkuvissa laitteissa suurena vikaantumismekanismina toimii laitteiden operaattorit. Kuviossa 11 esitetään kuvion 10 tietolähteestä 14 %:a yksityiskohtaisemmin. Kuvioista on pois suodatettu aikaisemman kuvion ”ei koodia” -vikakoodi. Tässä tarkastelussa yli puolet häiriökorjauksista ovat johduneet käyttövirheistä.



Kuvio 11. Häiriökorjausten vikakoodien jakauma ilman "ei koodia" -vikakoodia

Häiriökorjaukset vievät organisaatiolta merkittävän osan tehokkaasta työajasta. Tarkastelujaksosta laskettuna keskiarvoisesti häiriökorjaus on vaatinut LIKU:lta 4,1 työtuntia. Työmääräimien lukumäärä jaettuna tarkastelujakson pituudella, saadaan osamääräksi 12,8 työmääräintä vuorokautta kohden. Merkittävimpinä vikasyinä ovat haastavat olosuhteet sekä operaattoreiden inhimilliset erehdykset sekä käyttövirheet.

4.4 RCM – luotettavuuskeskeinen kunnossapito

RCM-menetelmän periaatteet määriteltiin 1950-luvulla ilmailualan tarpeisiin. Menetelmää kehitettiin myöhemmin 1980-luvulla John Mourbrayn toimesta teollisuuden tarpeisiin soveliaammaksi. (Järviö & Lehtiö 2012, 162.) Myöhemmin menetelmästä on tullut muita variaatioita, joista yksi on Anthony Smithin menetelmä.

RCM-menetelmällä luodaan kunnossapito-ohjelma laitteelle tai laitteen osalle. Menetelmällä pyritään laatimaan huolto-ohjelma, jossa kunnossapitoa tehdään

mahdollisimman tehokkaasti. Tehokkuutta voidaan parantaa kohdentamalla huoltotöitä priorisoituihin kohteisiin, jotka on tunnistettu aiheuttavan kriittisiä toiminnallisia vikaantumisia. Kohdentamisen seurauksena saadaan vähennettyä turhia työvaiheita, jolloin kunnossapidon tehokkuus kasvaa. (Niininen 2021b, 10.) Menetelmän tuloksena keskitytään oleelliseen ja karsitaan turhat työt pois (Mikkonen & Komonen 2009, 75).

Menetelmällä saavutetaan kunnossapitotoiminnan tehokkuuden kasvua, jonka kautta syntyy säästöä. Onnistuneen analysoinnin kautta laitteiden käytettävyys kasvaa laitteiden luotettavuuden kautta. Menetelmän keskeisimpiä päämääriä ovat:

- Prosessin laitteet on priorisoitu ja kunnossapito pystytään kohdentamaan oleellisiin laitteisiin.
- Tunnistetaan vikaantumismekanismit ja löydetään niitä ehkäiseviä kunnossapitotoimia.
- Mikäli vikaantuminen on ilmeistä ja ehkäisevää kunnossapitotoimea ei ole mahdollista toteuttaa, voidaan laatia valmis toimintamalli, jolla valmistaututaan vikaantumiseen.
- Käyttöhenkilökunnan perehdyttäminen laitteen seurantaan, varsinkin kohteisiin, joissa vikaantuminen on kriittinen. (Järviö & Lehtiö 2012, 163.)

Alkuperäisen menetelmän ongelmana on prosessin raskasmuotoisuus. Prosessi on työläs ja kallis toteuttaa, minkä vuoksi sitä ei ole järkevää toteuttaa kevyin perustein. Järviö ja Lehtiö (2012, 162) kuvaavat teoksessaan prosessia sanatar-kasti ”ei oleta mitään, vaan tutkii kaikki”. Työlään prosessin rinnalle on kehitetty kevennytyksiä ratkaisuja, joiden avulla menetelmän hyötyjä saadaan käyttöön pienemmällä panostuksella. (Järviö & Lehtiö 2012, 162.)

5 MENETELMÄLLINEN TOTEUTUS

Elinjaksokustannuksien laskentaprosessia varten on laadittu standardeja, joista yksi esimerkki on IEC 60300-3-3:2015 -standardi. Laskentaprosessi on lopulta standardista poiketen hyvin tapauskohtaista ja sitä joudutaan soveltamaan laskentakohteen mukaan. Kohteeseen sopiva laskentamalli tulee määrittää tapauskohtaisesti kustannustekijöiden määrän mukaan, tarkastelujakson pituuden ja laskentakohteen rajauksien mukaisesti. (Kortelainen ym. 2021, 44.) Taulukossa 3 esitetään standardin IEC 60300-3-3:2015 mukaista elinjaksokustannusten laskentaprosessia. Taulukossa esitetään myös prosessiin sisältyvät tehtävät.

Taulukko 3. Elinjaksokustannusten laskentaprosessi (IEC 60300-3-3:2015)

Prosessin vaihe	Tehtävät
Kohteen määrittely	<ul style="list-style-type: none"> Määritellään tavoitteet ja tarkastelukohde (tuote, järjestelmä, osajärjestelmä jne.) Rajataan ongelma, kuvataan kohde (toimintaprofiilin määrittely ja mallintaminen)
Laskentamallin rajaukset ja lähtökohdat	<ul style="list-style-type: none"> Valitaan ja rajataan analyysin keskeiset kustannus- ja tuottoryhmät. Määritellään kustannusrakenne (<i>Cost Breakdown Structure, CBS</i>) ja elinjaksokustannus- ja -tuottofunktiot (laskentakaavat)
Tietojen hankinta	<ul style="list-style-type: none"> Määritetään tiedonkeruun tarpeet perustuen tarkastelukohteen kuvaukseen ja laskentamallin viitekehukseen, kartoitetaan käytettävissä olevat tietolähteet sekä arvioidaan laskentaa varten tarvittavien tietojen saatavuus ja luotettavuus ja toteutetaan tiedonkeruu.
Laskentamallin rakentaminen ja testaus	<ul style="list-style-type: none"> Analysoidaan tiedonkeruun tuottama tieto ja hyödynnetään sitä laskentamallia kehitettäessä. Tarkennetaan laskentamallin rakenne (kustannus- ja tuottoryhmät) ja laskentamenetelmät Testataan laskentamallin toimivuus ja viimeistellään malli.
Elinjakso-kustannusten laskenta	<ul style="list-style-type: none"> Laaditaan mallin avulla tarkastelukohteen elinjaksokustannuslaskelmat. Tulevaisuuden kustannusten laskenta laskentahetken hinnoin. Lasketut kustannukset korjaan ottamalla huomioon hintojen ja rahan arvon muutokset.
Tulosten arviointi ja johtopäätökset	<ul style="list-style-type: none"> Kustannustekijöiden käyttäytymisen analysointi sekä kehityksen ennustaminen tiedonkeruun tuottamien historiatietojen perusteella sekä muiden käytettävissä olevien tietolähteiden perusteella. Ennusteisiin liittyvän epävarmuuden ja riskin arviointi. Tulosten arviointi ja päätösuositus. Tietojen päivitys: käyttökokemusten seuraaminen ja vertaaminen laskettuihin, poikkeamien syiden selvittäminen, tietojen tallentaminen tulevien laskelmien suorittamiseksi ja käytetyn mallin parantamiseksi.
Raportointi	<ul style="list-style-type: none"> Raportoinnin laajuus riippuu tarkastelun laajuudesta.

Opinnäytetyön laskentaprosessissa hyödynnetään standardissa esitettyjä työvaiheita sekä tehtäviä. Standardista poiketen tulevaisuuden hinnoissa ei huomioida rahan arvon muutoksia. Muunnoslaskelmat jätetään kaivosyhtiön oman laskentamenetelmän mukaisesti määritettäväksi erillisen organisaation toimesta.

Elinjaksokustannuksia laskettaessa tutkimusongelmana on tulevaisuuden enustaminen. Tulevaisuuden tapahtumakulkujen määrittäminen toteutetaan empiirisesti havainnoimalla tutkimuskohdetta. Käytettävä tutkimusmenetelmä pohjautuu kvantitatiiviseen toteutukseen, jossa myös hyödynnetään kvalitatiivista menetelmää.

Toimeksiantajalta hankitaan tutkimusaineisto, joka sisältää muun muassa:

- kunnossapitodata vuodesta 2009 alkaen
- LOM (Life of Mine) -suunnitelman mukainen peränajomäärä vuositasolla
- LOM-suunnitelmassa käytettävä kalustomäärä
- poralaitteen valmistajan materiaalit ja varaosahinnoittelut
- laitevalmistajan ohjeet komponenttien käyttämisestä.

Aineistoa kerätään lisää haastattelemalla AEF:in mekaanikkoja sekä Sandvikin huoltoedustusta. Tutkimusaineiston lisäksi työn laatijalla on hiljaista tietämystä työvirkansa puolesta poralaitteen tekniikasta, huollon suunnittelusta, kunnossapito-organisaation ohjaamisesta sekä kaivostyöskentelystä.

5.1 Monimenetelmällisyys

Elinjaksokustannusten kvantitatiivinen analysointi ei yleensä riitä. Tutkimusmenetelmän rinnalle tarvitaan usein laadullisia, eli kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. (Kortelainen ym. 2021, 46.) Kvalitatiivisilla menetelmillä määritetään vastausta tutkimuskohteen laatuun liittyviin kysymyksiin, jotka vaikuttavat oleellisesti laitteen huolto-ohjelman rakentamiseen.

Tutkimuskysymyksen ollessa muotoa ”kuinka paljon” tai ”kuinka suuri”, käytetään kvantitatiivista analysointimenetelmää. Vastausta määritetään osittain menneisyyden tapahtumakulkujen ja asiantilojen analysoinnilla. Historiatutkimuksen

avulla pyritään laatimaan perusteltuja visioita tulevaisuuden tapahtumille. Menneisyyden tapahtumat rinnastetaan tiedossa oleviin tulevaisuuden suunniteltuihin työmääriin. Suunnitelman työmääriin rinnastamalla saadaan tulevaisuuden tapahtumakuluille todellisuuden mukainen perusta. Historiatutkimuksen tuloksena tavoitellaan poralaitteen tulevaisuudessa toteutuvien mittariarvojen määrittystä sekä kustannuksien kehittymistä laitteen ikääntyessä.

Laitteen pääkomponenttiryhmiin käyttöikä ja laatuun liittyviin tutkimuskysymyksiin käytetään kvalitatiivista menetelmää, jossa vastausta haetaan RCM-analysimenetelmällä tutkimuskohdetta havainnoimalla. Menetelmän tuloksena tiedetään, milloin on syytä suorittaa kunnossapidollisia toimia kriittisten vikamuotojen estämiseksi. Tutkimustulokset sisällytetään laitteen olemassa olevaan huolto-ohjelmaan.

Määrällisiin tutkimuskysymyksiin määritetään vastausta laskemalla ja arvioimalla huoltotoimenpiteiden ajallista kestoa ja materiaalikustannusta. Määritetyt toimenpidekustannukset rinnastetaan tulevaisuuden arvioituun tapahtumaketjuun.

5.2 Toteutus

Halutun lopputuloksen saavuttamiseksi työssä edetään suunnitelmallisesti. Haluttujen lopputulosten saavuttaminen toteutetaan standardista poiketen seuraavien vaiheiden avulla:

1. Kouluttautuminen ja tutustuminen.
2. Menetelmien määrittäminen.
3. Alustan historiatutkimus.
4. Historiatutkimus: mittariarvojen kehittyminen suhteessa parametreihin.
5. Tulevaisuuden mittariarvojen määrittäminen LOM-suunnitelman mukaan.
6. RCM-analysointi.
7. Huolto-ohjelman lajittelu.
8. Toimenpidekorttien laatiminen.
9. Huoltokustannuksien lajittelu laitteen elinjaksolle.
10. Muiden kustannustekijöiden lajittelu laitteen elinjaksolle.
11. Tulosten visualisointi.

6 ELINJAKSONAIKAISET KUNNOSSAPITOKUSTANNUKSET

Elinjaksoajattelun perimmäisenä tarkoituksena on koneen, laitteen, järjestelmän, laitoksen tai osa-alueen elinjakson aikaisten kustannuksien ja tuottojen määrittäminen mahdollisimman pitkälle aikajänteelle. Kustannustekijöiden selvityksen ja laskennan avulla voidaan määrittää kokonaistaloudellisesti optimoitu ratkaisu hankintapäätöksille. (Kortelainen ym. 2021, 42.)

Elinjakso ja -kaari sekoitetaan monesti keskenään ja ne toimivat toisilleen yleisesti synonyymeinä (Kortelainen ym. 2021, 43). PSK 6201 -standardissa termit kuvataan seuraavasti:

***Elinjakso** on ajanjakso, joka alkaa kun järjestelmä- tai laitetarve määritellään ja päättyy, kun ao. järjestelmä tai laite romutetaan tai siirtyy toiseen käyttöön.*

***Elinkaari** on ajanjakso, joka alkaa kun valmistaja määrittelee uuden tuotteen ja päättyy, kun valmistaja poistaa tuotteen lopullisesti tuoteohjelmastaan. (PSK 6201:2011, 11.)*

Tutkimustyössä käsitellään poralaitteen elinjaksoa standardin kuvausta mukailleen. Elinjakson kuvauksesta poralaitteen elinjakso on supistettu pelkästään käytön aikaisiin toimintoihin, jolloin tutkimustyön ulkopuolelle jäävät laitteen investointi- ja hävityskustannukset sekä laitteesta saatava tuotto.

Elinjaksokustannuksia määrittäessä tulisi huomioida kaikki laitteen tai järjestelmän omistamiseen liittyvät kustannukset. Laskelmissa välttämättömiä tietoja ovat hankintakustannukset, kulut, joita ei voida aktivoida, vuotuiset kunnossapitokustannukset, vuotuiset käyttökustannukset, vuotuiset kiinteät kustannukset ja jäänösarvo. (Järviö & Lehtiö 2012, 183.)

Tutkimustyön rajauksien vuoksi elinjaksokustannuksien osasummista keskitytään pelkästään kunnossapitokustannuksiin. Tutkimustyössä kunnossapitokustannukset lasketaan määrittämällä jokaisen operointivuoden kustannus erikseen. Määrittämisessä vaikuttavina tekijöinä on poralaitteen alustan vikaantumisenusteet peilattuna DT922i-laitteen historiaan, puomiston RCM-analyysillä saatavien

kriittisten huoltokohteiden kunnossapitokustannus sekä normaalin huoltotoiminnan ja siihen tehtyjen lisäysten kustannukset.

6.1 Alustan vikaantumiset

Laitteen alustan huolto-ohjelman lisäksi ennustetaan referenssilaitteen toteutuneista luonnollisista vikaantumisista johtuvia kustannuksia. Luonnollisella vikaantumisella tarkoitetaan häiriötä tai vikaa, joka on seuraus muusta kuin käyttäjäperäisestä virheestä. Ennusteen avulla voidaan ennakoida vikaantumisista johtuvaa vuosittaista lisäkustannusta.

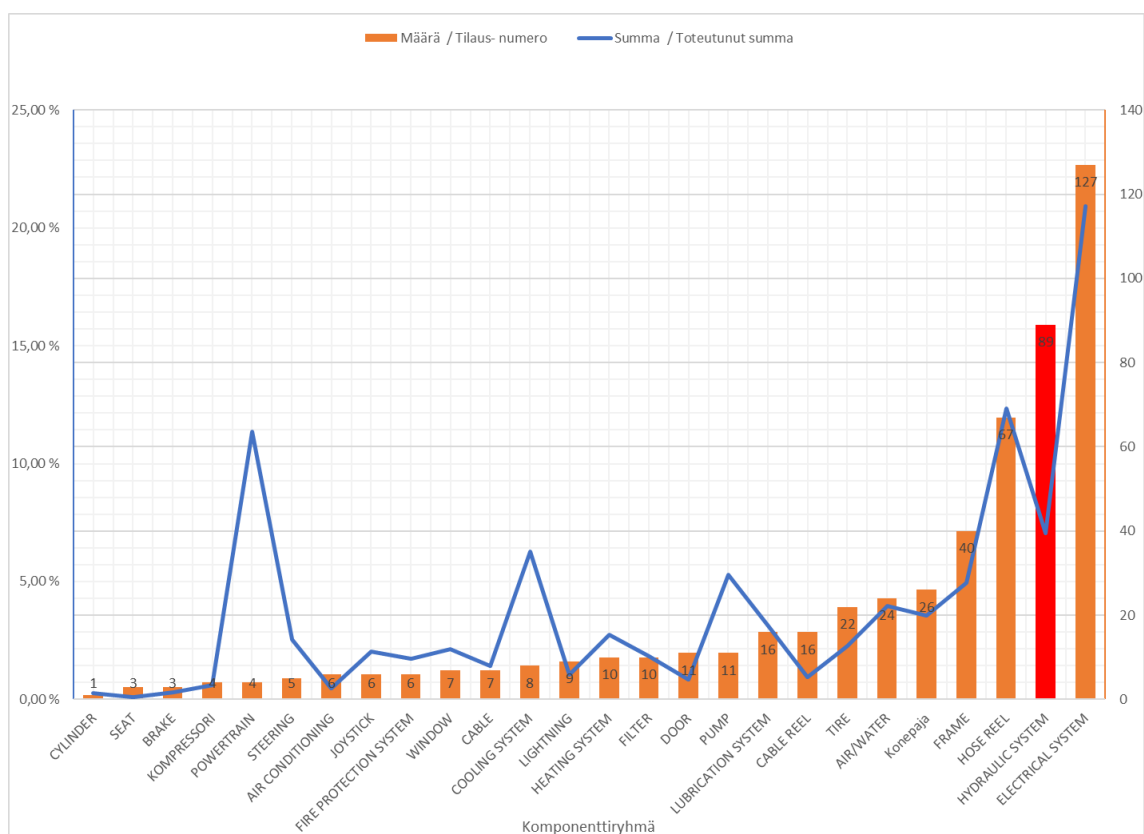
Vikaantumisten ennustamiseen käytettävä data pohjautuu DT922i-laitteen tuotantokäyttöön aikajaksolla 1.9.2015–5.2.2021. JDE:ista saatu data sisältää kaikkiaan 1957 työmääräintä. Excelissä työmääräimien läpikäynnin yhteydessä data jaotellaan työmääräimien kuvauksen perusteella alustaan, puomistoon, koneen modifiointiin, organisaation yleistilaukseen tai ennakkohuoltoihin. Lajittelun jälkeen alustan vikaantumisiin liittyviä työmääräimiä on kaikkiaan 607 kappaletta.

Suodatetusta datasta suodatetaan myös vikaantumiset, jotka eivät ole vertailukelpoisia DT923i-laitteeseen. Vertailukelvottomia vikaantumisia ovat laitevalmistajan suunnitteluvirheistä johtuneet viat, jotka on uudelleen suunniteltu uudempaan laitemalliin. Suodatus suoritetaan yhteistyössä laitevalmistajan huoltoedustajan kanssa.

Alustaan liittyvä data suodatetaan JDE:ssä olevan koodiston mukaan. Koodi 30 viittaa käyttäjäperäisen virheen aiheuttamaan vikaantumiseen. Käyttäjäperäisten vikaantumisten poiston jälkeen datasta poistetaan komponenttitasolla hydraulikkaletkuston vikaantumiset. Hydraulikkaletkuston vikaantumisten poiston tarkoituksena on mukaila huolto-ohjelman muutosta, jossa alustan hydraulikkaletkujen uusiminen suoritetaan ennakoivasti käyttötunteihin perustuen. Ennakoivalla uusinnalla tavoitellaan hydraulikkaletkuston vikaantumisiin liittyvän kustannuksen poistamista.

Suodatusten jälkeen DT923i-laitteeseen vertailukelpoisia vikaantumisia jää jäljelle 449 kappaletta. Kuviossa 12 on havainnollistettu vertailukelpoisten työmää-

räimien jakaumaa komponenttiryhmittäin sekä prosentuaalinen jakauma toteutuneista kustannuksista. Kuviossa esitetään myös punaisella palkilla hydraulikkaletkuston rikkoutumisesta johtuvaa työmäärää, jonka poistamista tavoitellaan huolto-ohjelman päivittämisellä. ”Toteutuneet kustannukset” sisältävät käytetyistä varaosista sekä mekaanikkojen työajasta muodostuvat kustannukset. Samat kustannustekijät ovat myös DT923i-laitteen ennustettavien vikaantumisten kustannuksien määrittävänä tekijänä.



Kuvio 12. DT922i-alustan työmääriä ja kustannusten jakauma

Kuviosta voidaan tulkita sähköjärjestelmän vikaantumisten olevan suurimmassa roolissa työmääriä ja käytetyn pääoman suhteen. Sähköjärjestelmän vikaantumiset ovat suurimmaksi osaksi komponenttien ja toimintojen ohjauksignaaleihin liittyviä. Häiriökorjaustilanteessa vian juurisyy ei yleensä ole helposti selvitettävissä. Vikaantumisiin liittyvistä kustannuksista 61 % tulee käytetystä työajasta ja loput materiaaleista, josta voidaan päätellä työajan menevän vian etsintään. Vian ehkäisemiseksi ei ole tehokasta kunnonvalvontamenetelmää käytettävissä.

6.2 Puomiston RCM-analysointi

Puomisto on entuudestaan tuntematon kaivoksen henkilöstölle, toisin kuin laitteen alusta. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkimusta varten ei löydy käyttökokemusta tai verrannollista dataa. Puomiston kriittisten ja potentiaalisten vikaantumiskohteiden määrittämiseen käytettiin VVKA (vika-, vaikutus ja kriittisyysanalyysi) -menetelmää, joka on osa RCM-menetelmää. Kriittisille vikaantumiskohteille määritettiin ehkäisevä kunnossapitotoimi erillisen kysymysketjun avulla. Tutkimusmenetelmästä saaduilla tuloksilla täydennetään laitevalmistajan suosittelemaa huolto-ohjelmaa, joka myös sisällytetään LIKU:n toimintaan. RCM-analyysi suoritettiin yhteistyössä Suomen Kunnossapitotekniikka Oy:n kanssa.

VVKA on laajennus VVA (vika- ja vaikutusanalyysi) menetelmälle. Laajennus sisältää vikaantumisten kriittisyysarvioinnin, jolla voidaan arvioida vian seurausten vakavuutta. VVA:lla tunnistetaan yksittäiset laiteviat ja niiden vaikutusta kokonaiseen järjestelmään. Menetelmää voidaan soveltaa laitteeseen, suoritukseen, järjestelmään sekä ohjelmistojen ja inhimillisten tekijöiden tutkimiseen. (IEC 60812:2018, 8.)

Puomistolle suoritettava RCM -analyysi pohjautuu Anthony Smithin RCM (Reliability Centered Maintenance) menetelmään. Smithin RCM -menetelmä sisältää seitsemän askelta seuraavassa järjestyksessä:

1. kohteen valinta
2. kohteen rajaus
3. toiminnallinen mallinnus
4. toiminnalliset viat
5. VVA
6. 1. tason päätösanalyysi
7. huoltotoimenpiteiden valinta. (Smith & Hinchcliffe 2004, 133-170.)

Suoritettava RCM-analyysi sisältää Smithin RCM-menetelmästä kaikki kohdat, kun VVKA:n tuloksille määritetään huoltotoimenpiteet. Kuudes kohta, eli 1. tason päätösanalyysi, on periaatteeltaan sama kuin vikaantumisen kriittisyyden määrittäminen.

6.2.1 Toiminnallinen mallinnus ja rajaus

Analyysin ensimmäisenä vaiheena laaditaan puomiston toiminnallinen mallinnus (liite 1). Mallinnuksen avulla varmistetaan analysointiin osallistuvien henkilöiden tasapuolinen ymmärrys tutkimuskohteesta. Toiminnallisen mallinnuksen aikana puomisto jaetaan porauksen kannalta välttämättömiin toimintoihin. Toiminnot ovat poravasaran tuenta, porakoneen paikoitus, seinään suuntaus ja poraus. Toiminnot toimivat tutkimuksessa myös kohteen rajauksina, joiden ansiosta voidaan puomia tutkia pienemmissä kokonaisuuksissa.

Toiminnalliseen mallinnukseen sisällytetään ”outputeja” jokaiseen komponenttiin ja siihen liittyvään vaikutukseen. Outputien avulla voidaan havainnoida jo mallinuvaiheessa hyödynnettäviä kunnonvalvontakeinoja kyseisille komponenteille.

6.2.2 Vikaantumiset, vikamuodot ja kriittisyysanalyysi

Mallinnuksen jälkeen laaditaan VVA erillisellä Excel-taulukkopohjalla. Taulukossa määritetään alkuselvityksenä laitteen mahdolliset toiminnalliset vikaantumiset. Toiminnallisille vikaantumisille tulee määrittää myös vikaantumistapa. Lopuksi jokaiselle vikaantumistavalle määritetään vikamuoto. Kuviossa 13 on esimerkki toiminnallisen vikaantumisen selvityksestä.

1. Toiminnallisen vika	2. Vikaantumistapa	3. Vikamuoto
Tyvipukki ei tue		
	Ratkeama	
		Ruostuminen
		Ulkoinen suuri kuormitus
	Alustan pulttiliitoksen löystyminen	
		Pulttien venyminen
		Kierteityksen rikkoutuminen
		Pulttien aukeaminen
	Pulttien katkeaminen	
		Ulkoinen suuri kuormitus
		Venyminen/väsyminen

Kuvio 13. VVA-alkuselvitys

Esimerkissä toiminnallisena vikana on puomin kiinnityspisteen, eli ”tyvipukin” tuennan katoaminen. Vikaantumistavoiksi on määritelty ratkeama, pulттіliitoksen löystyminen ja pulттіen katkeaminen. Vikaantumistapoihin johtavat vikamuodot ovat kolmannessa sarakkeessa. Kuvion alapalkissa on myös näkyvillä rajauksien avulla taulukkopohjaan tehty välilehtijako, joka helpottaa ja jakaa tutkimustyötä.

Vikaantumismuotojen määrittämisen jälkeen tehdään kriittisyysanalyysi. Kriittisyysindeksin laskentakaava on määritetty PSK 6800 -standardissa kaavan 1 mukaisesti. Liitesivulla 2 on esitetty kriittisyysanalyysitaulukko (mukaillen PSK 6800, 7). Taulukosta voidaan havaita kriittisyysanalyysissä käytetyt kertoimet ja määritetyt painoarvot. Kriittisyyspisteraja on paljas luku, jonka avulla voidaan selvittää toimenpiteitä vaativat vikamuodot. Kriittisyyspisteraja on erikseen ohjausryhmän kanssa päätetty.

$$K = p * (W_s * M_s + W_e * M_e + W_p * M_p + W_q * M_q + W_r * M_r) \quad (1)$$

missä

K	on	kriittisyysindeksi
p	on	vikaantumisväli
W_s	on	turvallisuusriskin painoarvo
M_s	on	vikaantumisen turvallisuusvaikutuksen kerroin
W_e	on	ympäristöriskin painoarvo
M_e	on	vikaantumisen ympäristövaikutuksen kerroin
W_p	on	tuotantoriskin painoarvo
M_p	on	vikaantumisen tuotantovaikutuksen kerroin
W_q	on	laaturiskin painoarvo
M_q	on	vikaantumisen laatuvaikutuksen kerroin
W_r	on	korjaus- ja seurauskustannusten painoarvo
M_r	on	vikaantumisen kustannusten kerroin.

Ennen vikamuotojen analysointia luodaan Excel-laskentasovellus, jolla helpotetaan ison tietojoukon käsittelemistä. Kriittisyysanalysoinnissa käytettävät painoarvot ja kertoimet ovat helposti muutettavissa erillisen välilehden kautta. Muut laskentavälilehdet rakennetaan noutamaan kriittisyyskuvauksen mukaista kerrointa ja painoarvoa kriittisyyspisteiden välilehdeltä. Tämän avulla voidaan toimia täsmällisemmin kirjoitettujen kuvausten avulla eikä käytetä kuvaamattomia suoria numeroita. Kuviossa 14 havainnollistetaan kuvion 13 vikamuotojen kriittisyyksien laskentaa.

Turvallisuusriskit	Ympäristöriskit	Tuotannon menetys	Vikaantumisväli / todennäköisyys	Kokonaisriski
Vakava turvallisuusriski, kuoleman tai tulipalon vaara	Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto	Toimimattomuus vakava haitta tuotannolle (>14 vrk)	Ei ole ikinä tapahtunut	960
Vakava turvallisuusriski, kuoleman tai tulipalon vaara	Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto	Toimimattomuus vakava haitta tuotannolle (>14 vrk)	Ei ole ikinä tapahtunut	960
				0
Ei turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto	Toimimattomuus ei haitaksi < 0,5 vr	Joskus on tapahtunut	0
Ei turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto	Toimimattomuus ei haitaksi < 0,5 vr	Joskus on tapahtunut	0
Vähäinen turvallisuusriski	Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto	Toimimattomuus ei haitaksi < 0,5 vr	Todennäköinen	420

Kuvio 14. Kriittisyyden laskentasovellus

Sovellus suunniteltiin toimimaan siten, että mikäli turvallisuusriskin kerroin on suurin mahdollinen, saa se automaattisesti kriittisyysindeksiksi riittävän suuren lukeman toimenpiteiden määrittämistä varten. Tässä esimerkissä tyvipukin ruostumisesta johtuva tuennan menetys on vakava riski vian sattuessa, vaikka näin ei ole koskaan käynyt. Alhaisesta todennäköisyydestä riippumatta vikamuodolle määritetään toimenpide sen vakavan turvallisuusriskin vuoksi. Neljä tyvipukin tuennan menettämiseen johtavista vikamuodoista saa kriittisyysindeksin alarajan ylittävät pisteet, jolloin niille täytyy määrittää vikaantumista ehkäisevä toimenpide.

6.2.3 Toimenpiteet

Kaikille kriittisyyspisterajan ylittävillä vikamuodoilla määritetään toimenpiteet, joilla vikaantuminen voidaan estää. Ehdotettu toimenpide muodostuu seuraavien kysymysten avulla:

1. Voidaanko alkava vikaantuminen havaita tarkastus/vianetsintä toimenpiteellä?
2. Voidaanko vian kehittymistä mitata?
3. Voidaanko vian kehittymistä ehkäistä ennakkohuollolla?
4. Voidaanko vian kehittymistä ehkäistä kunnostamalla?

Kohdissa 3 ja 4 määritetään myös ehkäisevän toimenpiteen intervalli. Ehdotetut toimenpiteet esitetään ohjausryhmälle. Hyväksytyt toimenpiteet integroidaan laitteen normaaliin määräaikaiseen huolto-ohjelmaan.

6.3 Huolto-ohjelma

Elinjaksokustannusten laskennassa laitevalmistajan määrittämä huolto-ohjelma on ainoa osa-alue, joka ei tarvitse tutkimusta ja analysointia. Huolto-ohjelma sisältää kaikille laitteen komponenttiryhmillä erilaisia tarkastus-, kalibrointi-, puhdistus- ja säätötoimenpiteitä. Käsiteltävä huolto-ohjelma on kopioitu LIKU:n huolto-ohjelmasta, ja se sisältää laitevalmistajan huolto-ohjelman lisäksi organisaation sisäisesti lisäämiä tarkastus- ja kunnostustoimenpiteitä. Esimerkiksi hydraulikkaletkujen määräaikainen uusiminen on organisaation sisäisesti määrittämä huoltotoimenpide, jota myös RCM-analysoinnissa suositellaan tehtäväksi.

Huoltotoimenpiteet määräytyvät tehtäviksi käyttötuntiperusteisesti. Käyttötuntimittareina toimivat isku-, dieselmoottori- ja kompressorikäyttötunnit. Muille määräaikaistarkastuksille mittarina toimii kalenteriaika (vuorokausi). Huolto-ohjelman kustannukset koostuvat tarvittavista alkuperäisosista (OEM) sekä AEF- ja urakoitsijahenkilöstöjen arvioiduista työajoista.

Ennakkohuoltojen kustannukset määritetään erillisellä ko. työvaiheeseen valmistetulla Excel-laskentasovelluksella. Laskentasovelluksella saadaan selkeästi esitettyä tuntiperusteiseen huoltoon tarvittava työaika ja huollosta syntyvä kustannus. Sovellus laskee kullekin työvaiheelle merkatut materiaalit ja arvioidut työajat, jonka jälkeen arvot tuodaan muilta välilehdiltä selkeästi esille kansilehdelle. Kansilehti on tulostettavissa A4-paperiarkille. Tulostettavaa lopullista tuotosta kutsutaan toimenpidekortiksi. Liitteessä 3 on yksi valmiista toimenpidekortista esitettyinä (kustannukset ja työajat poistettuna).

7 TULOKSET

Elinjaksokustannuksia määrittäessä oli välttämätöntä perehtyä laitteen tekniikkaan, kunnossapidon toimintaan, kaivoksen elinkaareen sekä hyödynnettäviin tutkimusmenetelmiin. Määritysprosessissa havainnointituloksia syntyi myös muista osa-alueista kuin kustannustekijöistä. Sivuhavainnot liittyivät tulevaisuuden tuotantomääriin, laitekannan riittävyteen sekä kunnossapidon toimintaan. Sivutulokset ovat hyödynnettävissä kaivososaston strategioissa pitkällä aikavälillä.

Tässä luvussa esitetään pelkästään LCC-laskelmaan liittyviä oleellisimpia tuloksia. Poralaitteen vuosikohtainen kunnossapitokustannus lasketaan kaavan 2 mukaisesti. Tulokset -luvun edetessä perehdytään jokaiseen osasummaan syvällisemmin.

$$C_{my} = MC_{ph} + MC_{eh} + MC_{ch} + MC_{tm} + RC_{ih} + RC_{sih} + FC_c \quad (2)$$

missä

C_{my}	on	vuosikohtainen kunnossapitokustannus
MC_{ph}	on	iskutunteihin sidotut kunnossapitokustannukset
MC_{eh}	on	ajotunteihin sidotut kunnossapitokustannukset
MC_{ch}	on	kompressoritunteihin sidotut kunnossapitokustannukset
MC_{tm}	on	määräaikaisten toimenpiteiden kustannukset
RC_{ih}	on	iskuvasaroiden kunnostuskustannukset
RC_{sih}	on	varaiskuvasaran kunnostuskustannukset
FC_c	on	alustan vikaantumiskustannukset

7.1 Suunnitellut työmäärät ja mittariarvot

LOM-suunnitelmassa on määritetty kaivoksen elinkaaren loppuun saakka suunnitellut louhokset ja tunnelimetrit. Poralaitteiden vuosikohtaisen työmäärän määrittämisessä käytetään hyödyksi LOM-suunnitelman mukaista tunnelimetrimäärää. Tunnelimetrimäärä jaetaan kalustosuunnitelman mukaisesti jokaiselle tunneliporalaitteelle tasan. Jokaisen poralaitteen vähittäiset parametrit määritettiin suunnitellusta tunnelimetrimäärästä.

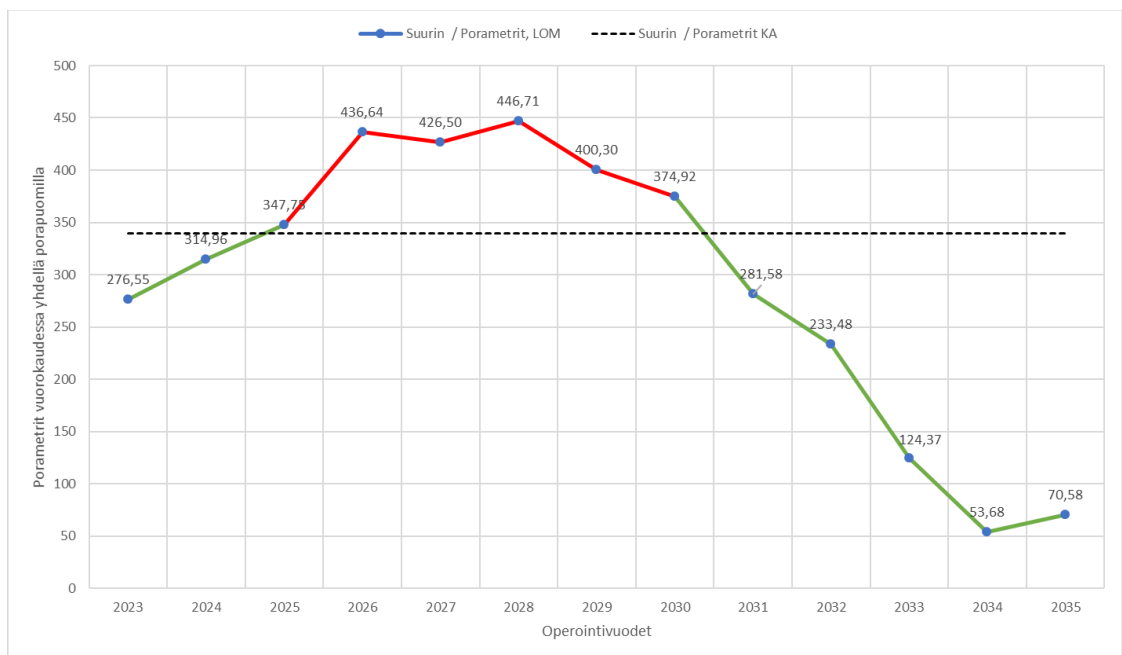
Tulevia porausmääriä verrattiin kaivoksen historian aikana toteutuneisiin porausmääriin. Historian toteutuneen käytön tarkastelujaksona käytettiin dataa vuodesta 2008 lähtien, eli ensimmäisen porauslaitteen saapumis päivästä. Tarkastelussa laskettiin kaikista käytössä olleista porauslaitteista keskiarvoinen mittariarvon kehitys vuorokautta ja vuotta kohden. Kaikkien laitteiden keskiarvoista laskettiin lopuksi yhteinen keskiarvo. Yhteinen keskiarvo kuvastaa pitkällä aikavälillä toteutunutta todellista porauskaluston käyttöä. Toteutunut käyttö sisältää kaikki tapahtumat 15 vuoden aikajaksolta, joita ovat muun muassa huoltokatkot, rikkoutumiset, odotukset ja seisakit. Samojen vaikuttajien oletetaan vaikuttavan myös tulevana operointivuosina. Tällä oletuksella keskiarvot toimivat vertailulukemina tulevien vuosien työmäärien suhteutuksessa historiaan. Taulukossa 4 esitetään vertailussa käytettävän historian suoritteiden tietopohjaa.

Taulukko 4. Toteutuneet mittariarvot ja keskiarvot

Mittarit	JUM01	JUM02	JUM03	JUM04	Keskiarvot
<i>Poratut metrit, yht.</i>	3 695 412	3 063 536	1 066 545	425 010,36	2 062 626
<i>Iskutunnit, yht.</i>	35 628	29 060	10 553	4 337,94	19 895
<i>Sähkömoottoritunnit, yht.</i>		48 058	18 968	7 541,88	24 856
<i>Ajotunnit</i>	8 582	7 686	3 450	1 321,69	5 260
<i>Kompressoritunnit</i>			9 522	2 347,77	5 935
<i>Operointipäivät</i>	5073	4 401	1 962	567	3 001
KERTYMÄT VUOROKAUDESSA, KA					
<i>Poratut metrit, yht.</i>	728,45	696,10	543,60	749,58	679,43
<i>Iskutunnit, yht.</i>	7,02	6,60	5,38	7,65	6,66
<i>Sähkömoottoritunnit, yht.</i>	-	10,92	9,67	13,30	11,30
<i>Ajotunnit</i>	1,69	1,75	1,76	2,33	1,88
<i>Kompressoritunnit</i>	-	-	4,85	4,14	4,50
KERTYMÄT VUODESSA, KA					
<i>Poratut metrit, yht.</i>	265 883,18	254 076,49	198 414,33	273 595,73	247 992,44
<i>Iskutunnit, yht.</i>	2 563,42	2 410,11	1 963,22	2 792,50	2 432,31
<i>Sähkömoottoritunnit, yht.</i>	-	3 985,72	3 528,71	4 855,00	4 123,14
<i>Ajotunnit</i>	617,47	637,44	641,82	850,82	686,89
<i>Kompressoritunnit</i>	-	-	1 771,42	1 511,35	1 641,39

LOM-suunnitelmasta saatava laitekohtainen porausmäärä lasketaan suunnitelluista tunnelimetreistä. Porametrit saadaan kertomalla tunnelimetrit luvulla 75, joka kuvastaa tarvittavien porametrien määrää yhtä tunnelimetriä kohden. Loput mittarilukemat määritetään porametrien avulla. Määrittämiseen tarvitaan toteutuneiden porametrien ja muiden mittareiden välistä suhdannelukua. Suhdanneluku on paljas luku, joka kuvastaa muiden mittariarvojen kehitystä yhtä porimetriä kohden.

Kuviossa 15 esitetään ensimmäisenä saapuneen DT923i-poralaitteen suunnittelun työmäärän kehittymistä kaivoksen elinkaaren loppuun mennessä. Mustalla katkoviivalla kuvataan kaivoksen historiassa toteutunutta keskiarvoista vuosittaista porametrimäärää. Kuviosta voidaan tulkita tulevaisuuden porausmäärien olevan enemmän aikajaksolla 2025-2030 verrattuna toteutuneeseen keskiarvoiseen suoritteeseen. Aikajaksolle tulisi määrittää keinot poraustehojen nostamiselle tai vaihtoehtoisesti kalustomäärää tulee kasvattaa. Vastaavasti vuodesta 2032 alkaen kalusto on ylimitoitettu toteutettavaan porausmäärään nähden. Havaintoa voidaan pitää yhtenä opinnäytetyöprosessin sivutuloksena.

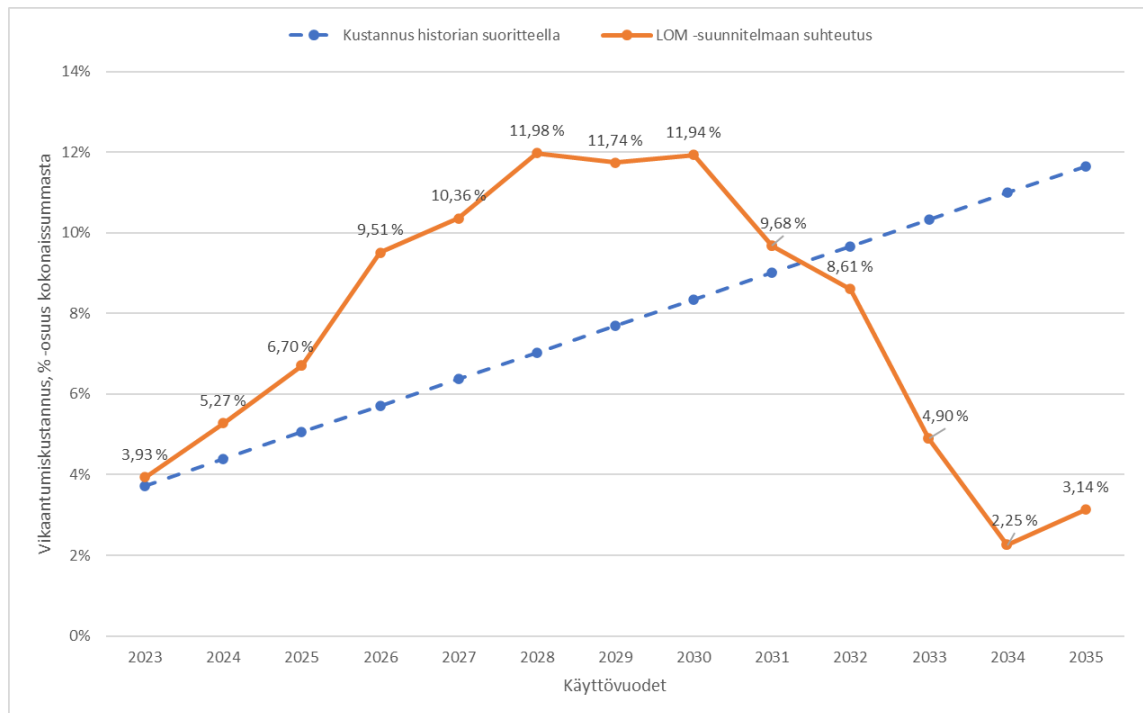


Kuvio 15. Tulevat porausmäärät suhteessa toteutuneeseen

Laskettujen porausmetrien avulla pystyttiin määrittämään muiden mittariarvojen kehittyminen vuosikohtaisesti. Mittariarvojen kehittyminen laskettiin historiasta määritettyjen suhdannelukujen avulla. Tuloksena tiedetään poralaitteen mittariarvot jokaiselle käyttövuodelle. Käyttövuosien mittariarvojen kasvu jaettuna vuoden pituudella, saadaan arvioidut vuorokausikohtaiset mittariarvot. Tätä tietoa voidaan käyttää arvioidessa poralaitteen tulevia huoltopäiviä.

7.2 Ennustettavat alustan vikaantumiset

Referenssilaitteen historiatutkimuksen tulokseksi saatiin keskiarvoinen parametrien kustannus, ensimmäisen operointivuoden kustannuskertymä sekä kustannusten keskiarvoinen kasvaminen laitteen ikääntyessä. Saaduista tuloksista arvioitiin DT923i-laitteen tulevan 13 käyttövuoden aikana toteutuvat kustannukset suunniteltuun työmäärään suhteutettuna. Laskennassa oletettiin, että ensimmäisen operointivuoden kustannus parametrille tulee olemaan sama kuin referenssilaitteella toteutunut kustannus. Parametrin keskiarvoisen hinnan oletettiin pysyvän samana kuin referenssilaitteella. Näistä lähtötiedoista laskettuna tulokseksi saatiin kuvion 16 mukainen kustannustenkehitys.



Kuvio 16. Alustan vikaantumisten arvioitu kehittyminen

Kuviossa sininen katkoviiva kuvaa kustannusten kehittymistä laitteen ikääntyessä, mikäli porauksen työmäärä pysyisi samanlaisena kuin historiassa toteutunut keskiarvoinen suorite. Tämä ei ole realistinen lopputulos, joten määritetyt tulokset kerrottiin käyttösuunnitelman mukaisella suhdeluvulla. Tulokseksi saatiin jokaiselle vuodelle käyttöön suhteutettu vikaantumiskustannus, jota kuvion oranssi viiva esittää. Prosenttiluvulla kuvastetaan jokaisen käyttövuoden osuutta kokonaissummasta.

7.3 RCM-analysoinnin tulos

Vikamuotojen määrittämissä vaiheissa oli tärkeää toimia intuitiivisesti ja merkata kaikki mahdolliset toiminnalliset viat ja niiden vikamuodot. Menetelmän tarkoituksena on myöhemmässä vaiheessa arvioida vikamuodot niiden kriittisyyden perusteella. Kaikkiaan analysoinnissa listattiin 473 erilaista vikamuotoa, joista 130 liittyi tuentaan, 79 paikoitukseen, 79 suuntaukseen ja 185 poraukseen. Jokaiselle vikamuodolle määritettiin kriittisyysindeksi, joista 92 oli suurempia kuin sallittu alaraja. Kaikille vikamuodoille määritettiin ehkäisevä toimenpide huolto-ohjelmaan.

Taulukossa 5 on esitetty esimerkkinä yksittäinen RCM-analyysin tulos. Toiminnallisena vikana on ”kääntömootorit eivät käänny”, jonka tarkentavana vikaantumistapana on ”sisäinen vaurio”. Jokainen vikamuoto ylitti määritetyn kriittisyyspisterajan.

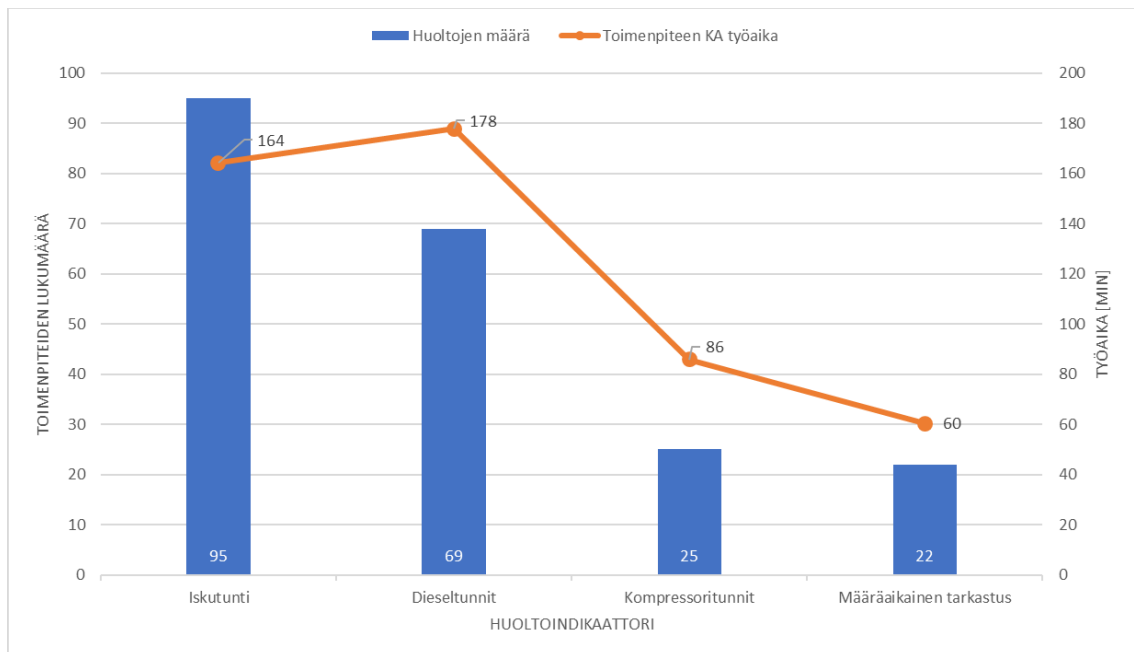
Taulukko 5. Ehkäisevät toimenpiteet toiminnalliselle vikaantumiselle

<i>Vikamuoto</i>	<i>K</i>	<i>Ehkäisevä toimenpide</i>
<i>Ulkoinen suuri voima</i>	820	Määritetään toimintamalli, jossa sovitaan käytännöt tapahtuman varalle. Vikaantumismuoto on aina ”yllättävä” ja ennakoimaton tapahtuma.
<i>Voitelun puute</i>	615	Voitelun laatu varmistetaan tihennetyllä öljynvaihdoilla, sekä varmistetaan käytettävän voiteluaineen laatu sopivaksi.
<i>Normaali kuluminen</i>	820	Tihennetyn öljynvaihdon ansiosta voidaan suorittaa aktiivista kunnonvalvontaa öljyanalysoinnilla. Öljyanalysoinnin löydösten perusteella voidaan tarvittaessa suunnitella komponentin vaihto ennen aikaisesti.
<i>Käyttövyrhe</i>	960	Hyödynnetään ensimmäisen kohdan toimintamallia, siltä osin kuin mahdollista. Jos ensimmäisissä komponentin testauksissa havaitaan toiminnan muutosta, komponentti vaihdetaan. Öljyanalysointi. Varmistetaan komponentin saatavuus omassa varastossa.

Esimerkin tuloksessa lisätään konkreettisia toimenpiteitä normaaliin huolto-ohjelmaan sekä määritetään toimintamalli yllättävälle vikamuodolle. Ulkoinen suuri voima, mikä tunneliolosuhteissa tarkoittaa yleensä kivien tippumista puomiston päälle, vaikuttaa puomiston rakenteisiin laajassa mittasuhteessa. Tämän vuoksi on järkevää luoda toimintaohje vikamuodon varalle, joka toteutetaan aina raportoidun vikamuodon toteutuessa. Toimintamallissa puomisto tarkasteltaisiin kokonaisuudessaan ja vaurioituneet osat vaihdettaisiin puutteiden havainnon jälkeen.

7.4 Huolto-ohjelma

Laitteelle suoritettavia huoltotoimenpiteitä kertyi yhteensä 211 kappaletta. Toimenpiteitä tarkasteltiin yhteistyössä kaivoksen kunnossapitohenkilöstön kanssa. Tarkastelun tuloksena listasta saatiin poistettua kohdat, jotka eivät olleet oleellisia tai esiintyivät kahteen kertaan. Jäljelle jääneille toimenpiteille arvioitiin minuitasolla toimenpiteen suorittamiseen vaadittava työaika ja kirjattiin mahdollinen huomio työntekoon liittyen. Kuviossa 17 havainnollistetaan kaikkien huoltotoimenpiteiden lukumäärän jakaumaa mittarilajien kesken sekä toimenpiteisiin tarvittavan työajan keskiarvoista lukemaa.



Kuvio 17. Toimenpiteiden jakauma lukumäärän ja työajan mukaan

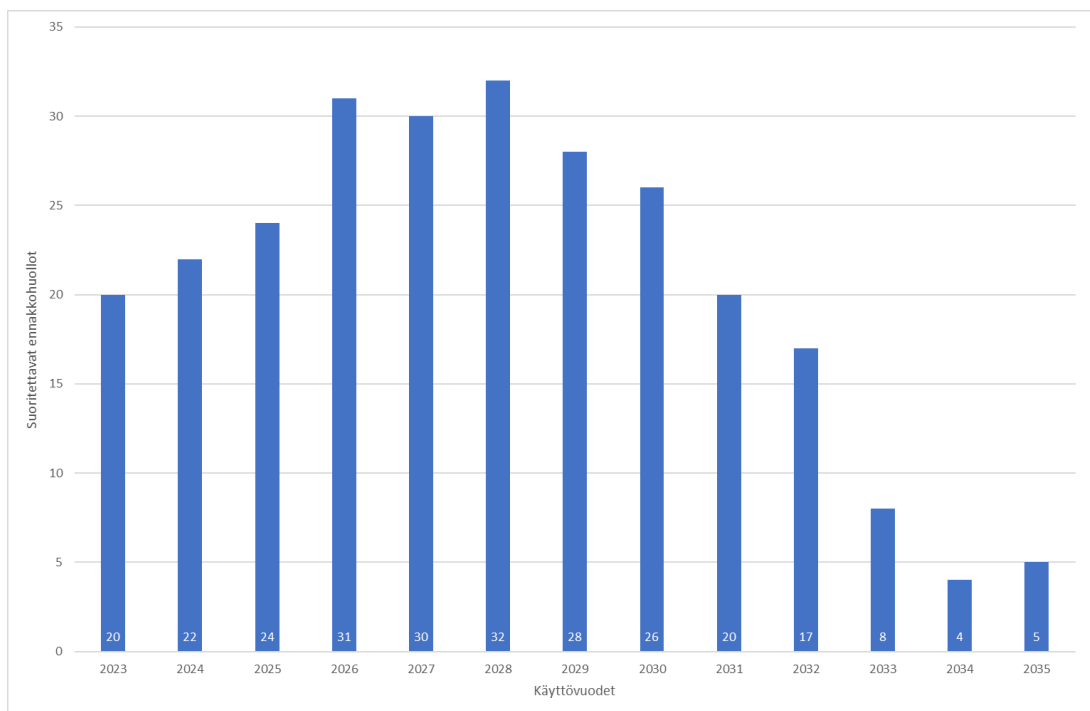
Huoltotoimenpiteet jaettiin mittarilajien mukaan isku-, diesel-, kompressoritunteihin sekä aikaan sidottuihin määräaikaisiin toimenpiteisiin. Mittarilajeihin jaetut huoltotoimenpiteet jaoteltiin vielä erillisiin huoltolajeihin. Huoltolajilla tarkoitetaan toimenpiteen toteutusintervallia, eli onko kyseessä esimerkiksi 50 vai 500 iskutunnin välein suoritettava huoltotoimenpide.

Toimenpiteisiin määritetyn intervallin ja laitteen vuosittaisen työmäärän kautta saadaan määritettyä tarkka ajankohta huollon suorittamiselle. Ajankohta on elinjakokustannuksia laskettaessa tärkeää tietää mahdollisimman tarkasti, jotta huolloista muodostuvat kulut saadaan kohdennettua oikeille käyttövuosille.

Huoltopäivän määrittäväksi mittariarvoksi päätettiin 50 iskutuntia, joka historian suoritteiden perusteella täytyisi 15 operointivuorokauden välein. Valintaa voidaan perustella aktivoituvien toimenpiteiden lukumäärällä kyseisillä käyttötunneilla. Liitteessä 3 on nähtävillä 50 iskutunnin huoltolajin sisältämät toimenpiteet (20 kappaletta). Tämän lisäksi 50 iskutunnin aikana muista mittareista aktivoituu toimenpiteitä seuraavasti:

- 25 dieseltunnin huoltolaji, sisältää 23 toimenpidettä.
- 5 kompressoritunnin huoltolaji, sisältää 4 toimenpidettä.
- 7 vuorokauden määräaikainen huoltolaji, sisältää 5 toimenpidettä.

Valinnan perusteella tiedetään jokaisen määräaikaishuollon sisältävän vähintään 53 erilaista huoltotoimenpidettä. Huoltotoimenpiteiden työajat yhteenlaskettuna jokainen määräaikaishuolto vaatii LIKU:n työaikaa arviolta vähintään 769 minuuttia. Mikäli määräaikaishuoltoa suoritetaan yhden mekaanikon työpanoksella, määräaikaishuolto kestää 1,2 työvuoroa. Valinnan avulla varmistetaan tuotannon näkökulmasta optimoitu huoltoväli, jossa poralaite huolletaan aina kun sille on tarvetta. Näin estetään liian tiheän tai harvakseltaan tapahtuvan huoltovälin syntyminen. Huoltoajankohdan määrittämisen tuloksena saatiin arvioitua laitteen tulevat huoltopäivät kaivoksen elinkaaren loppuun saakka (kuvio 18).



Kuvio 18. Laitteen elinjakson aikana toteutettavat huollot

Kuviossa esitetään sinisillä palkeilla suoritettavien huoltojen lukumäärää jokaisena käyttövuotena. Laitetta huolletaan vuosina 2026-2028 eniten, jolloin myös LOM-suunnitelman mukaisesti tunnelia rakennetaan määrällisesti eniten.

7.5 Toimenpidekortit

Huolloista syntyvät kustannukset määritettiin aikaisemmin tehdyn toimenpideryhmittelyn mukaisesti. Ryhmittelyn tuloksena syntyi 48 erilaista huoltolajia. Huoltolajit jakautuivat seuraavasti:

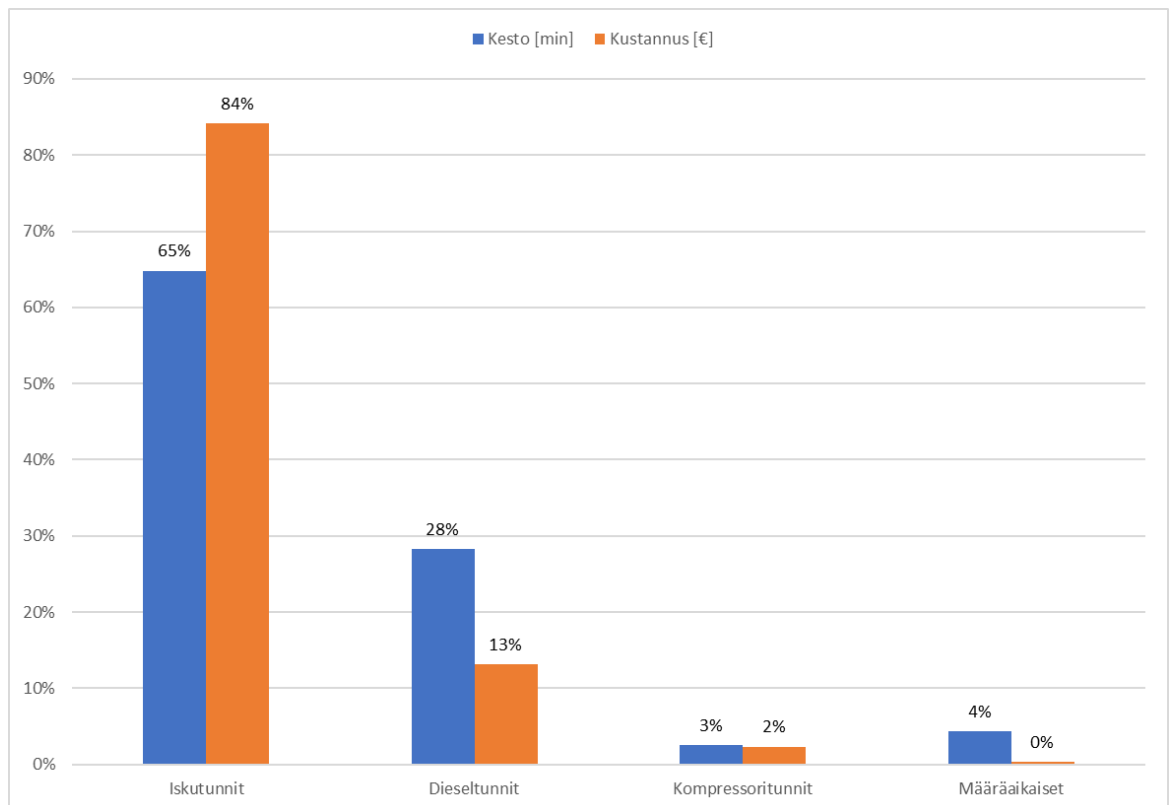
- Iskutunteihin sidottuja 23 kappaletta, joista pienin 50 ja suurin 12 000 käyttötunnin intervallilla.
- Dieselmoottorin käyttötunteihin sidottuja 10 kappaletta, joista pienin 5 ja suurin 6 000 käyttötunnin intervallilla.
- Kompressorin käyttötunteihin sidottuja 7 kappaletta, joista pienin 5 käyttötunnin ja suurin 20 000 käyttötunnin intervallilla.
- Määräaikaiseen toteutukseen sidottuja 8 kappaletta, joista pienin 7 ja suurin 1 825 käyttövuorokauden intervallilla.

Toimenpidekorteista nähdään huoltolajien kokonaiskustannus ja käytettävä työaika. Toimenpidekortit määritettiin Excel-laskentasovelluksella. Laskentasovelluksen avulla pystyttiin tarkasti määrittämään erilliselle välilehdelle jokaisessa toimenpiteessä käytettävät resurssit ja kyseisen resurssin tuntihinta, joista lopulta muodostuu työvoimakustannus. Toisella välilehdellä määritettiin käytettävät materiaalit ja niiden kustannukset.

Toimenpidekortteja luotiin järjestelmällisesti ensimmäisestä viimeiseen. Uusi toimenpidekorttiedosto tallennettiin seuraavan huoltolajin nimellä valmistuneeseen toimenpidekorttiedostoon. Tällä tavoin tehdessä uusi toimenpidekortti sisälsi aina aikaisemman toimenpidekortin toimenpiteet. Joissakin tapauksissa uusi toimenpidekortti sisälsi sellaisen työvaiheen, jossa aikaisempaan korttiin merkitty toimenpide oli turha. Tällainen ristiriita oli esimerkiksi dieselmoottorin vaihdon sisältävässä toimenpidekortissa, joka sisälsi myös aikaisemman toimenpidekortin kohdan ”moottoriöljyn vaihto”. Esimerkkitapauksessa toimenpide muutettiin muotoon ”moottoriöljyn lisäys”. Vastaavia tapauksia oli myös muissa huoltolajeissa.

Laitteen pesu sisällytettiin ainoastaan iskutuntien toimenpidekortteihin. Iskutuntien toimiessa huollon ajankohtaa määrittävänä mittariarvona pesemisestä syntyvien kustannuksien tulee kohdistua pelkästään ko. huoltolajille. Tällä tavoin esitetään pesusta muodostuvien kustannuksien aktivoituvan montaa kertaa yhdelle määräaikaishuollolle.

Toimenpidekorttien määryksestä syntyneet tulokset esitetään kuviossa 19 prosenttiosuutena kaikkien kustannuksien ja työaikojen kokonaissummasta. Iskutunteihin sidottuja huoltotoimenpiteitä oli määrällisesti eniten, jolla voidaan selittää kustannusten korkeaa prosenttiosuutta. Iskutunteihin sidotusti suoritetaan myös puomiston kokonaisvaltaista kunnostamista, joka tuo merkittävästi kustannuksia 6 000 iskutunnin välein.



Kuvio 19. Toimenpidekortteista saatujen kustannusten ja työaikojen jakauma

7.6 Iskuvasaroiden kunnostus

Sandvikin valmistamaa RD525-iskuvasaraa on kahta poralaitetta kohden käytössä kaikkiaan kuusi kappaletta. Yhdessä poralaitteessa on jatkuvasti käytössä kaksi vasaraa. Loput kaksi vasaraa ovat huollossa tai varastossa odottamassa

seuraavaa vasaranvaihtoa (500 iskutunnin huoltoa). Näillä tiedoilla vasarakohtainen tuntikertymä määritetään kaavan 3 mukaisesti.

$$H_{ih} = 2/3 * PH_{DT} \quad (3)$$

missä

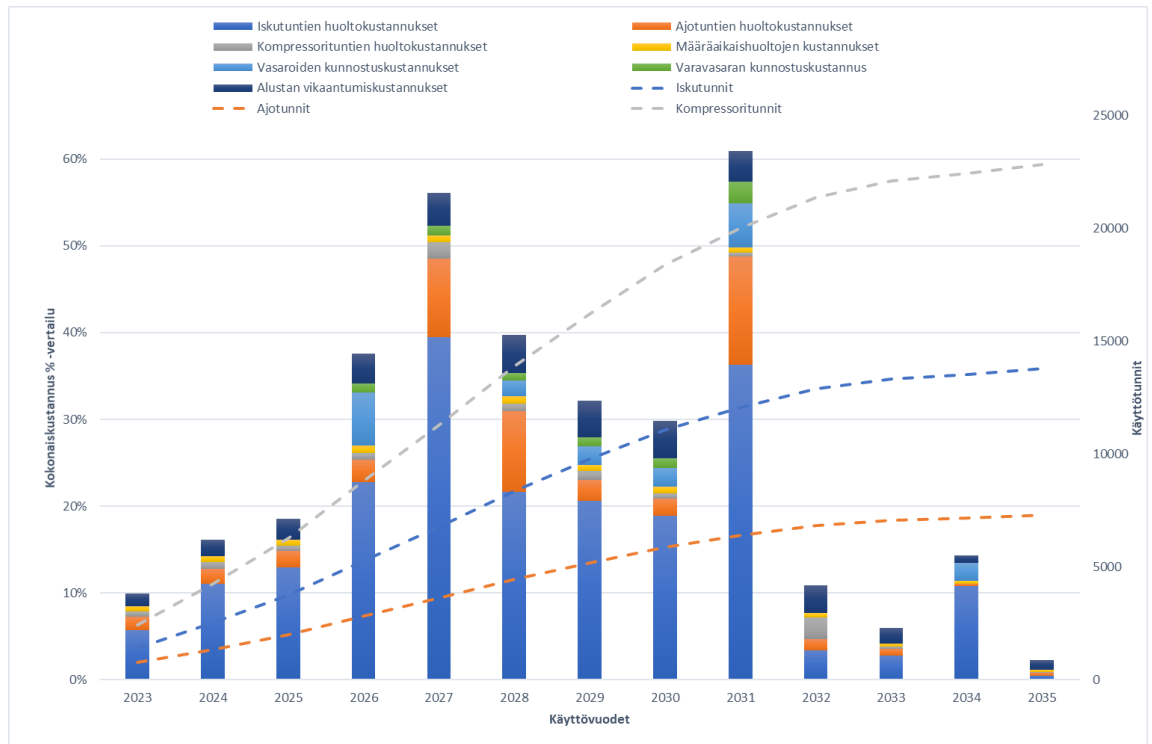
H_{ih}	on	iskuvasaran tuntikertymä
PH_{DT}	on	poralaitteen iskutunnit.

Laitevalmistajan suosittelemat iskuvasaroiden kunnostukset suoritetaan vasarakohtaisten tuntien mukaisesti. Kaavan 3 mukaan yhteen iskuvasaraan kertyy laitteen iskutunnista 66,6 %. Vasaran kunnostuskustannus saadaan kohdennettua laitteen elinjaksoilla oikealle käyttövuodelle laskukaavan mukaisesti. Esimerkkitalanteessa yhteen iskuvasaraan kohdistuu 2 000 iskutunnin kohdalla 1000 euron kunnostuskustannus. Tämä 1 000 euron kustannus kohdistetaan laitteen elinjaksoilla aikajaksolle, jolloin suoritetaan 3 000 iskutunnin määräaikaishuoltoa. Esimerkin 1 000 euroa kohdistuisi siten kahdelle iskuvasaralle vuonna 2025, jolloin budjettiin täytyisi varata 2 000 euroa vasaroiden kunnostukseen.

Varavasara on ylimääräinen vaihto-osa poralaitteelle, joita tilattiin yksi kappale poralaitetta kohden. Varavasarella on samat kunnostuskustannukset kuin ”päävasaroilla”. Näiden vasaroiden kustannuskertymä lasketaan samalla tavalla. Erona kustannusten määrittämisessä on varavasaran elinjakson alkaminen ensimmäisestä vasaran vaihdosta, eli poralaitteen 500 iskutunnin kohdalta. Varavasara muodostuva kustannus kohdistuu aina pelkästään yhdelle iskuvasaralle, kun tarkastelun kohteena on yhden poralaitteen elinjakson kunnossapitokustannukset.

7.7 Elinjakson kunnossapitokustannukset

Poralaitteen elinjakson kunnossapitokustannukset muodostuvat kaikista aikaisemmin mainituista välituloksista. Kuviossa 20 esitetään jokaisen käyttövuoden kustannusjakauma.



Kuvio 20. Poralaitteen elinjakson kunnossapitokustannukset

Jokaisen operointivuoden kustannus on esitetty pinottuna pylväskuviona sisältäen kaikki kunnossapidon kustannustekijät. Kuviossa vasemmalla pystyakselilla on kustannuksien vertailua havainnoiva prosenttiasteikko. Oikealla pystyakselilla on mittariarvojen lukemat, joiden elinjakson aikaista kehitystä kuvataan katkoviivoilla.

Kuvion elinjakso-kustannusjakauma on täsmennetty ensimmäisenä käyttöönotetun poralaitteen (JUM05) mittariarvoihin. Hieman myöhemmin käyttöönotetulle poralaitteelle (JUM06) kustannukset saadaan määritettyä muuttamalla tarkastelujakson aloituspäivää. JUM05 käyttöönotettiin vuonna 2022 alkusyksystä ja JUM06 saapui loppusyksystä. Ensimmäinen operointivuosi on jätetty tarkastelun ulkopuolelle sen lyhyden vuoksi, sekä tarkastelun valmistuessa vasta vuonna 2023 ei vuoden 2022 kustannuksilla ole enää merkitystä.

Kustannuksien kohdentaminen huoltopäiville toteutettiin Excel-laskentasovelluksessa hakufunktioiden avulla. Huoltolajit kustannuksineen taulukoitiin erilliselle välilehdelle ja erilliselle välilehdelle merkattiin käyttöpäivät vuoden 2035 loppuun saakka. Huoltopäivät merkattiin 50 iskutunnin syklillä. Viereiselle sarakkeelle kir-

joitettiin hakufunktio, joka etsi kyseisen huoltopäivälle sopivaa huoltolajia. Jokaiselle mittarilajille luotiin oma sarake, jotta tiedettiin jokaisen mittarilajin muodostama kustannus määräaikaishuollolle.

7.7.1 Ensimmäinen neljännes 2022-2025

Tarkastelujaksolla poralaitteen keskiarvoinen vuosittainen työmäärä on 92 % historiassa toteutuneesta keskiarvoisesta suoritteesta. Poralaitteelle suoritetaan määräaikaishuoltoja kaikkiaan 66 kertaa. Tarkastelujakson lopussa (31.12.2025) laitteen mittariarvojen arvioidaan olevan:

- iskutunnit (yksi puomi) 3 744
- dieselmoottorin käyttötunnit 1 998
- kompressorin käyttötunnit 6 270.

Iskutunteihin sidottuna suurimpana huoltona on 3 000 iskutunnin huoltolaji, joka määräytyy suoritettavaksi arviolta 24.5.2025. Huoltolaji sisältää toimenpiteitä kaikkiaan 48 kappaletta. Viisi suurinta toimenpidettä esitettynä laskevassa järjestyksessä, kun ensimmäisenä on eniten pääomaa ja työaikaa vaativa toimenpide:

1. Koko poralaitteen hydraulikkaletkujen uusinta. Sisältää puomiston ja alustan letkutuksen.
2. Voitelun rasvalinjojen ja jakajien uusiminen letkutuksen yhteydessä.
3. Syötönsiirron sylintereiden uusiminen.
4. Iskuvasaroiden vaihto ja määräaikaishuolto.
5. Syöttölaitteiden liukupalojen, liukupalarunkojen ja liukukiskojen uusiminen.

Polttomoottori ja kompressoriyksikköön ei suoriteta suurempia kunnostuksia. Komponentteihin suoritetaan normaaleja määräaikaishuoltoja, jotka eivät vaadi erityistoimenpiteitä.

7.7.2 Peruskunnostusjakso 2026-2031

Tarkastelujaksolla poralaitteen suunniteltu työmäärä ylittää 12 %:lla historiassa toteutuneen keskiarvoisen suoritteen. Poralaitteelle suoritetaan määräaikaishuoltoja kaikkiaan 167 kertaa. Tarkastelujakson lopussa (31.12.2025) laitteen mittariarvojen arvioidaan olevan:

- iskutunnit (yksi puomi) 12 080
- dieselmoottorin käyttötunnit 6 408
- kompressorin käyttötunnit 20 026.

Vuotena 2026 suurin iskutunneista muodostuva huoltolaji on 4 500 iskutunnin huolto, jossa merkittävämpänä kustannustekijänä on voimayksiköiden hydrauliiikkapumppujen vaihdot. Saman vuonna muista mittariarvoista ei aktivoidu merkittäviä kustannustekijöitä. Iskuvasaroihin suoritetaan 2 500, 3 000 ja 3 500 iskutunnin kunnostukset, jotka muodostavat vuoden kokonaiskustannuksista noin 19 %:n osuuden.

Vuosi 2027 on laitteen elinjaksosta toiseksi kallein. Kustannuksia muodostuu iskutunteihin sidotuista laajoista, peruskunnostusta mukailevista huolloista sekä dieselmoottorin käyttötunteihin sidotuista huolloista:

- 6 000 iskutunnin laajamittainen huolto. Laitteen puomisto uusitaan lähes kokonaan. Sisältää muun muassa laitteen kokonaisvaltaisen hydrauliikkalatkuston uusimisen, syöttöpalkin vaihdon, kääntömoottoreiden vaihdon sekä tyvipuomin zoomiputken vaihdon. Huoltolaji sisältää kaikkiaan 56 toimenpidettä.
- 3 000 dieselmoottorin käyttötunnin huolto, mikä sisältää muun muassa polttomoottorin jäähdyttimen vaihdon, hydrostaattisen voimansiirron pumppun ja moottorin vaihdon, polttomoottorin apulaitteiden uusimisen sekä katalysaattorin vaihdon. Huoltolaji sisältää kaikkiaan 58 toimenpidettä.

Vuoden 2028 merkittävämpänä huoltolajina on 8 000 iskutunnin huolto. Huoltolaji sisältää syöttölaitetta kannattelevan komponentin, eli ”kehdon” vaihdon, voimayksiköiden sähkömoottoreiden vaihdon sekä laitteen tukijalkojen vaihdon. Diesel-

moottorin käyttötunteihin sidotuista huoltolajeista merkittävimpanä on 4 000 käyttötunnin huolto. Huollossa vaihdetaan etu- ja taka-akselit sekä suoritetaan niiden kunnostus tulevaisuuden varalle varaosiksi sekä vaihdetaan jakovaihteisto.

Vuosien 2029 ja 2030 aikana iskutunteihin sidotuista huolloista on 9 000 iskutunnin huoltolaji merkittävimpanä. Huoltolaji sisältää muun muassa voimayksiköiden hydraulikkapumppujen vaihdon sekä laitteen hydraulikkaletkujen uusimisen. Muista mittareista ei muodostu merkittäviä kunnostuksia.

Poralaitteen operointivuosista kalleimmaksi muodostuu vuosi 2031. Kyseisenä vuotena suoritetaan iskutunteihin sidotusti 12 000 iskutunnin huoltolaji sekä dieselmoottorin käyttötunteihin sidotusti 6 000 käyttötunnin huoltolaji.

- 12 000 iskutunnin huoltolajissa suoritetaan samat toimenpiteet kuin vuonna 2027 suoritettavassa 6 000 iskutunnin huoltolajissa. Huoltolajissa suoritetaan myös 4 000 iskutunnin huoltolajin toimenpiteet. Lisäksi iskuvasaroihin määräytyy jälleen tehtäväksi merkittäviä kunnostuksia.
- Dieselmoottorin käyttötunteihin sidotuista huoltolajeista tehtäväksi määräytyy 6 000 käyttötunnin huolto. Huollossa tehdään alustaan mittavia kunnostuksia, kuten polttomoottorin vaihto sekä samat toimenpiteet kuin vuonna 2027 tehtävässä 3 000 käyttötunnin huoltolajissa.

7.7.3 Viimeinen neljännes 2032-2035

Tarkastelujaksolla poralaitteen keskiarvoinen vuosittainen työmäärä on 35 % historiassa toteutuneesta keskiarvoisesta suoritteesta. Poralaitteelle suoritetaan määräaikaishuoltoja kaikkiaan 34 kertaa. Tarkastelujakson lopussa (31.12.2035), eli kaivoksen elinkaaren lopussa laitteen mittariarvojen arvioidaan olevan:

- iskutunnit 13 779
- dieselmoottorin käyttötunnit 7 307
- kompressorin käyttötunnit 22 830.

Elinjakson viimeisen neljän vuoden aikana suurimmat kustannukset ovat vuotena 2034. Kyseisenä vuonna suoritetaan 4 500 iskutunnin huoltolaji mittariarvon ollessa 13 500. Samana vuonna suoritetaan iskuvasaroihin kunnostuksia.

Viimeisenä operointivuonna laitteeseen kohdistuvat porausmäärät ovat elinjakson alhaisimmat. Laite huolletaan aikajaksolla viisi kertaa eikä kyseiselle ajalle määräydy enää isoja kunnostuksia.

8 POHDINTA

Tutkimustyön ydinkysymykset ohjasivat työn tavoitteiden täyttymistä aloituksesta saakka. Jokaiselle kysymykselle saatiin määritettyä vastaus tutkimustyön edetessä. Lopulta huomasin osan kysymyksistä olevan irrelevantteja työn lopputuloksen kannalta. Näihin kysymyksiin saatiin silti tutkimuksen välivaiheissa määritettyä vastaus.

Ensimmäiselle kysymykselle *”paljonko laitevalmistajan huolto-ohjelman mukaisesta huoltotoiminnasta aiheutuu vuosittain kustannuksia?”* ei määritetty suoraa vastausta. Kysymys ei ollut työn halutun lopputuloksen kannalta oleellinen, mutta se toimi välituloksia tehdessä apuvälineenä. Kysymyksen vastaukseen lisättiin lopulta huomattavan paljon enemmän muita kustannuksia, sillä muut kustannukset mukaan luettuna saadaan todellinen käsitys tulevaisuuden kustannuksista.

Tutkimuskysymykseen *”mitkä ovat laitteen yleisimmät vikaantumismuodot ja kuinka suuria kustannuksia voidaan ennustaa referenssilaitteen vika historiasta?”* vastattiin kappaleissa 6.1 sekä 7.2. Poralaitteeseen voidaan ennustaa sähköjärjestelmän vikaantumisten olevan merkittävässä roolissa. Normaalin ehkäisevän kunnossapidon lisäksi olisi perusteltua korottaa budjettia suunnitellusta työmäärästä riippuen 3-127 %.

Puomisto oli toimeksiantajan näkökulmasta merkityksellisin tutkimuskohde. Puomiston tutkintaa ohjasi kysymys *”mikä on poralaitteen SB110i-puomiston arvioitu käyttöikä ja paljonko sen kunnostaminen maksaa?”*. Tutkimustyön perusteella 6 000 iskutuntia on puomiston käyttöaika ja käyttöikä määräytyy erikseen käytön mukaan. Kittilän kaivoksen tapauksessa ensimmäinen puomiston uusiminen tapahtuu vuotena 2027. Kahden SB110i-puomin uusimisen kustannus on kyseisen vuoden ehkäisevien kunnossapitokustannuksien osuudesta noin 40 %.

Viimeinen ydinkysymys oli tärkein tutkimustyön lopputuloksen kannalta: *”kuinka suuri vuosittainen kunnossapitobudjetti tarvitaan yhdelle Sandvik DT923i-poralaitteelle?”*. Vastaus kysymykseen määräytyy käyttöönotettavan huolto-ohjelman kustannuksista sekä vuosittaisesta suunnitellusta työmäärästä. Lopullinen kustannusjakauma esitetään kappaleessa 7.7.

Lopullinen kustannusjakauma olisi suotavaa rinnastaa nykyiseen rahan arvoon diskonttauksella. Diskonttausta ei sisällytetty opinnäytetyöhön, jotta voidaan varmistua toimeksiantajan yhtenäisen laskentamenetelmän hyödyntämisestä myös tässä aiheessa.

Opinnäytetyön tuloksesta on hyvä huomioida myös sen ehdollisuus. Kustannukset eivät tule toteutumaan laskelmien mukaisesti, mikäli nykyisestä kalenteriaikaan sidotusta huolto-ohjelmasta ei luovuta. Laskelmat on tehty oletuksella, jossa poralaitteen huolto-ohjelma muutetaan 50 iskutunnin intervalliin. Huolto-ohjelmaa voidaan nykyään toteuttaa käyttötunteihin sidotusti maanalaisen internetyhteyden ansiosta. Internetverkko mahdollistaa kaivoslaitteiden tiedonsiirron ansiosta käyttötuntien seurannan ja niiden pohjalta määräaikaishuoltojen suorittamisen.

Mielestäni tutkimustyö onnistui osoittamaan merkityksellisyytensä investointipäätöksiä tukevana työkaluna. Poralaitteen kunnossapidosta syntyvät kustannukset ovat merkittävässä roolissa tuotantolaitoksen vuosittaisissa kustannuksissa. Tässä tapauksessa poralaitteen investointikustannukset jäivät alle kolmanneksen laitteen lopullisista kunnossapitokustannuksista. Tutkimustyön tulokset olivat itselleni hyvin mielenkiintoiset ammatillisesta näkökulmasta ja vahvistivat olemassa olevaa näkemystä kunnossapitotoiminnan laajuudesta.

Opinnäytetyölle valitun aiheen laajuus ei ollut suunnitteluvaiheessa täysin selvillä. Tiedettiin, että perusteelliseen tutkimiseen on syytä varata aikaa laadukkaiden tulosten aikaansaamiseksi. Arviointia hankaloitti kokemuksen puute vastaavasta tutkimusprosessista, niin tekijällä kuin toimeksiantajalla. Suunnitteluvaiheessa määritetty kuuden kuukauden aikaikkuna osoittautui projektin edetessä tiukaksi. Osa työvaiheista eteni suunniteltua nopeammin ja jotkin työvaiheista olivat suunniteltua hitaampia toteuttaa. Esimerkiksi RCM-analysointi oli suunniteltua hitaampaa, ja toimenpidekorttien rakentaminen onnistui suunniteltua nopeammin. Opinnäytetyöprojektin aikataulussa ei onnistuttu täysin pysymään, mutta tulokset saatiin sovittuun aikaikkunaan valmiiksi.

Opinnäytetyöprojekti oli onnistunut kokonaisuus, jonka lopputulokseen voin olla tyytyväinen. Oppimista kehitin seuraavilla osa-alueilla:

- Analyyttinen työskentely.

- Itseohjautuvan projektin johtaminen, suunnittelu ja aikataulukriittisyys.
- Kunnossapitotoiminnan merkitys laitteiden käytettävyydessä ja tuotantolaitoksen kulurakenteessa.
- Luovuuden ja ideoinnin hyödyntäminen tavoitteiden saavuttamiseksi.
- Ohjelmistojen hyödyntäminen (MS Excel).
- Omaisuuden hallinnan suunnitelmallisuuden merkitys.
- Oman työn raportointi ja dokumentointitaidot.
- Ongelmanratkaisukyky.
- RCM-prosessi.
- Teknisten dokumenttien lukutaito.
- Tiedonhaku.
- Organisaatiotoiminnan kehittäminen.

LÄHTEET

Agnico Eagle Finland 2022a. Agnico Eagle Finlandilla hyvä vuosi 2021. Tiedote 24.02.2022. Viitattu 23.11.2022 <https://agnicoeagle.fi/fi/13813/>.

- 2022b. Tietoa meistä. Viitattu 25.11.2022 <https://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>.

Agnico Eagle Mines Limited 2022a. 60 Years in the making. Viitattu 23.11.2022 <https://www.agnicoeagle.com/English/60th-anniversary/default.aspx#timeline>.

- 2022b. Building Better Together. Tiedote 13.08.2022. Viitattu 15.11.2022 <https://www.agnicoeagle.com/English/the-eagle-blog/blog-news-details/2022/Building-Better-Together/default.aspx>.

- 2022c. Kittila. Viitattu 25.11.2022 <https://www.agnicoeagle.com/English/operations/operations/kittila/default.aspx>.

- 2022d. Production Summary & Forecast. Viitattu 23.11.2022 <https://www.agnicoeagle.com/English/operations/default.aspx#development>.

DT923i koulutusmateriaali 2022. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 09.12.2022.

DT923i käyttöohjekirja 2022. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 10.02.2022.

DT923i markkinointimateriaali 2022. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 30.12.2022.

DT923i Technical Specifications 2022. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 30.12.2022.

Epiroc 2022. Boomer E2 Battery. Viitattu 09.12.2022 <https://www.epiroc.com/en-hk/products/drill-rigs/face-drill-rigs/boomer-e2-battery>.

Jauhojärvi, J. 2023. Sisäinen pelastautumissuunnitelma: maanalainen kaivos. Agnico Eagle Finland Oy. Julkaistu 20.01.2023.

Järviö, J., Lehtiö, T. & Kunnossapitoyhdistys Promaint 2012. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Konepörssi 2021. Sandvik juhlistaa Toro™ 50-vuotistaivalta. Uutinen 07.09.2021. Viitattu 29.11.2022 <https://koneporssi.com/tyokoneet-2/sandvik-juhlistaa-toron-50-vuotistaivalta/>.

Kortelainen, H., Ahonen, T., Räikkönen, M., Vatanen, S. & Hepo-oja L. 2021. Elinjakson hallinnan suorituskyky ja -mittarit. Teoksessa Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P. & Hanski, J. 2021. Tietämisperusteinen elinjakson hallinta. 1. painos. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.

Laitinen, J. 2021. Kunnonvalvonta. Teoksessa Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P. & Hanski, J. 2021. Tietämysperusteinen elinjakson hallinta. 1. painos. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.

Mattanen, J. 2022. Agnico Eagle Finland Oy. Käyttöinsinööri. Yksityinen Teams -viesti 13.12.2022. Viitattu 14.12.2022.

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S., Mäkeläinen, R. & Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.

Niinen, K. 2021a. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Ennakoiva kunnossapito - opetusmateriaali. Viitattu 05.01.2023.

- 2021b. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. RCM Luotettavuuskeskeinen kunnossapito -opetusmateriaali. Viitattu 01.03.2023.

Poraushydrauliikka 2022. DT923i tekninen ohjekirja. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 30.12.2022.

PSK 6201 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. PSK Standardointi.

PSK 6800 2008. Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardointi.

PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2. painos. PSK Standardointi.

Räsänen, H., Eskola, I., Kaukinen, P. & Niiranen, S. 2015. Poraustyöt ja -kalusto. Teoksessa Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Sandvik 2022a. Kaivostoiminnan ja kiven louhinnan laitteet ja kalusto. Viitattu 29.11.2022 <https://www.home.sandvik/fi/tuotteet-ja-palvelut/kaivostoiminnan-ja-kiven-louhinnan-laitteet-ja-kalusto/>.

- 2022b. Key Figures, Group Total. Tulosraportti 11.03.2022. Viitattu 29.11.2022 <https://www.annualreport.sandvik/en/2021/2021-in-brief/key-figures-group-total.html>.

- 2022c. Osaamisalueet. Viitattu 29.11.2022 <https://www.home.sandvik/fi/tietoja-meist%C3%A4/osaamisalueet-ja-innovointi/osaamisalueet/>.

- 2022d. Sandvik pähkinänkuoressa. Viitattu 23.11.2022 <https://www.home.sandvik/fi/tietoja-meist%C3%A4/yritys/>.

Sandvik Mining and Construction 2022a. Alpha 330 -porakalusto päättäiskevään poraukseen. Viitattu 30.12.2022
<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/kallioporakalusto/porakalusto-p%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4iskev%C3%A4%C3%A4n-poraukseen/alpha330-porakalusto-p%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4iskev%C3%A4%C3%A4n-poraukseen/>.

- 2022b. DT923i tunnelijumbo. Viitattu 09.12.2022
<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/maalalaiset-poraus-ja-pultituslaitteet/tunnelijumbot/dt923i-tunnelijumbo/>.

- 2022c. RD525 -porakone. Viitattu 02.01.2022
<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/porakoneet/p%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4iskev%C3%A4t-porakoneet-maalalaiseen-louhintaan-ja-avolouhintaan/rd525-porakone/>.

- 2022d. RD535 -porakone. Viitattu 02.01.2022
<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/porakoneet/p%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4iskev%C3%A4t-porakoneet-maalalaiseen-louhintaan-ja-avolouhintaan/rd535-porakone/>.

SFS-EN IEC 60812:2018:en. Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA). SFS Standardointi.

Smith, A. & Hinchcliffe, G. 2004. RCM – Gateway to world class maintenance. Amsterdam; Boston : Elsevier Butterworth-Heinemann.

Sorsa, A. & Lindeman, E. 2015. Kuilun-, nousun- ja peränajo kaivoksen valmistelemina töinä. Teoksessa Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Suokkola, I. 2022. Sandvik Mining and Rock Solutions. Product Specialist, Underground Drilling. Operaattorikoulutus 04.10.2022. Viitattu 09.12.2022.

Syöttölaite 2022. DT923i tekninen ohjekirja. Sandvik Mining and Construction sisäinen tiedosto. Viitattu 30.12.2022.


LIITTEET

- Liite 1. DT923i puomiston toiminnallinen mallinnus
- Liite 2. Kriittisyysanalyysitaulukko, analyysissä käytetyillä kertoimilla (mu-
kaillen PSK 6800, 7)
- Liite 3. 50 iskutunnin huoltotyöt DT923i -laitteelle (ilman kustannuksia)

Liite 2. Kriittisyysanalyysitaulukko, analyysissä käytetyillä kertoimilla (mukaan PSK 6800, 7)

KOHDE	PAINOARVO [W]	VIKAANTUMISVÄLI [p]	KERROIN [M]	VALINTAKRITEERI
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 35$	<p>1 = Ei ole ikinä tapahtunut</p> <p>1,5 = Joskus on tapahtunut</p> <p>2 = Epätodennäköinen</p> <p>6 = Todennäköinen</p> <p>10 = Erittäin todennäköinen</p>	$M_s = 0$ $M_s = 2$ $M_s = 4$ $M_s = 8$ $M_s = 16$	<p><i>Ei turvallisuusriskiä</i></p> <p><i>Vähäinen turvallisuusriski</i></p> <p><i>Kohtalainen turvallisuusriski</i></p> <p><i>Merkittävä turvallisuusriski</i></p> <p><i>Vakava turvallisuusriski, kuoleman tai tulipalon vaara</i></p>
	Ympäristöriskit $W_c = 15$		$M_c = 0$ $M_c = 1$ $M_c = 2$ $M_c = 3$ $M_c = 4$	<p><i>Ei ympäristöriskiä, < 1l vuoto</i></p> <p><i>Vähäinen ympäristöriski</i></p> <p><i>Kohtalainen ympäristöriski</i></p> <p><i>Merkittävä ympäristöriski</i></p> <p><i>Vakava ympäristöriski, säiliö hetkessä tyhjäksi</i></p>
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetys $W_p = 30$		$M_p = 0$ $M_p = 2$ $M_p = 3$ $M_p = 6$ $M_p = 8$	<p><i>Toimimattomuus ei haitaksi < 0,5 vr</i></p> <p><i>Toimimattomuus pieni haitta tuotannolle 0,5 - 2 vr</i></p> <p><i>Toimimattomuus kohtalainen haitta tuotannolle 1-6 vrk</i></p> <p><i>Toimimattomuus merkittävä haitta tuotannolle 6-14 vrk</i></p> <p><i>Toimimattomuus vakava haitta tuotannolle >14 vrk</i></p>
	Laatukustannus $W_q = 0$		$M_q =$ $M_q =$ $M_q =$ $M_q =$	<p><i>Ei laatukustannuksia</i></p> <p><i>Toimimattomuudesta vähäinen laatukustannus (<1h)</i></p> <p><i>Toimimattomuudesta kohtalainen laatukustannus (<3h)</i></p> <p><i>Toimimattomuudesta merkittävä laatukustannus (3-8h)</i></p> <p><i>Toimimattomuudesta vakava laatukustannus (>8h)</i></p>
Korjaus- tai seurausvaikutukset	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$		$M_r = 0$ $M_r = 2$ $M_r = 4$ $M_r = 8$ $M_r = 20$	<p><i>Ei korjauskustannuksia</i></p> <p><i>Vähäiset korjauskustannukset</i></p> <p><i>Kohtalaiset korjauskustannukset</i></p> <p><i>Merkittävät korjauskustannukset</i></p> <p><i>Vakavat korjauskustannukset</i></p>

Liite 3. 50 iskutunnin huoltotyöt DT923i -laitteelle (ilman kustannuksia)

TOIMENPIDEKORTTI, LIIKKUVA KUNNOSSAPITO		AGNICO EAGLE 		
Sandvik DT923i JUM05&06		Määräaikainen ennakkohuolto		
Kokonaiskustannus: 0 €		Kesto: 0 minuuttia		
Määrämittari ja arvo: Iskutunnit, 50h				
Arvioitu huoltointervalli: 15 vrk				
Toimenpiteet	Huoltokohde	Kesto [min]	Resurssit	Kustannusarvio [€]
1. Huoltoon pesu	Koko laite	0	1 Pesijä	0,00
2. Tarkasta paineakun täyttöventtiilin ja suojatulpan kunto	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
3. Tarkasta paineakun paine. Vaihda tarvittaessa.	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
4. Tarkasta pulttien kireys	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
5. Tarkasta huuhtelupesän holkkien kunto	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
6. Tarkasta kytkinkappaleen kunto	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
7. Tarkasta männänpään kunto	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
8. Tarkasta poraniskan kunto	RD525	0	1 AEF asentaja	0,00
9. Tarkasta rasvarin toiminta pakkoajolla	Alusta C900	0	1 AEF asentaja	0,00
10. Tarkasta rasvasäiliön rasvalaadun merkkaus, korjaa tarvittaessa	Alusta C900	0	1 AEF asentaja	0,00
11. Tarkista vajereiden kireys ja kunto, voitele	Syöttölaite TFI	0	1 AEF asentaja	0,00
12. Tarkista letkujen kireys	Syöttölaite TFI	0	1 AEF asentaja	0,00
13. Voitele letkurumpu	Syöttölaite TFI	0	1 AEF asentaja	0,00
14. Tarkasta letkujen ja liitosten kunto	Syöttölaite TFI	0	1 AEF asentaja	0,00
15. Visuaalinen tarkastus puomiston ja alustan teräsrakenteille	Koko laite	0	1 AEF asentaja	0,00
16. Tarkasta sylinterien niveltapit, tappien lukitukset ja laakerit	SB110i puomi	0	1 AEF asentaja	0,00
17. Tarkasta zoomiputken pyyhkijän kunto. Tarvittaessa vaihto	SB110i puomi	0	1 AEF asentaja	0,00
18. Teräskiskojen putsaus, tarkistus ja voitelu	Syöttölaite TFI	0	1 AEF asentaja	0,00
19. Tarkista vedenerottimen kunto	SLU	0	1 AEF asentaja	0,00
20. Tyhjennä kondensiovesi	SLU	0	1 AEF asentaja	0,00
		0		0,0