

KAATONOUSUJEN PÖLYÄMISEN HALLINTA JA YLLÄPITOPROSESSI

Raappana Juha-Matti

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Raappana Juha-Matti	Vuosi	2023
Ohjaaja	DI Joutsenvaara Jukka		
Toimeksiantaja	Outokumpu Chrome Oy		
Työn nimi	DI Ylijoutsijärvi Pekka		
	Kaatonousujen pölyämisen hallinta ja ylläpitoprosessi		
Sivumäärä	41+3		

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää kaatonousujen sumutuslaitteistojen kunto ja kunnossapidon tarve kaatonousuilla Kemin kaivoksella. Työn toimeksiantaja oli Outokumpu Chrome Oy.

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa laitteistojen kunnossapidettävyyttä huomioon ottaen vaativat olosuhteet, joissa laitteet toimivat. Tavoitteena oli myös selvittää, miten tulevaisuudessa sumutuslaitteistoja rakennettaessa laitteiston luotettavuutta voitaisiin lisätä.

Tietoperusta työlle kerättiin yleisessä jaossa olevan aineiston lisäksi Outokummun sisäisestä tietokannasta ja tuotantohenkilöstöä haastattelemalla. Myös omasta käytännön kokemuksesta sumutuslaitteistojen parissa kesällä 2022 oli suuri hyöty.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin suunnitelmat sumutuslaitteistojen ennakkohuoltokierroksien kehittämiseksi. Työn tuloksina dokumentoitiin myös kunnossapito-ohjeet varaosaluetteloineen. Työstä syntyneitä johtopäätöksiä voidaan käyttää apuna tulevaisuudessa uusia sumutuslaitteistoja suunniteltaessa.

Avainsanat

ennakkohuolto, kunnonvalvonta, kunnossapito, pöly, pölyäminen

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Raappana Juha-Matti	Year	2023
Supervisors	Joutsenvaara Jukka M.Sc (Tech)		
Commissioned by	Outokumpu Chrome Oy		
Title	Ylijoutsijärvi Pekka M.Sc (Tech)		
Number of pages	Dust Control and Maintenance Process at Ore Pits 41+3		

The aim of this thesis was to assess the condition and maintenance needs of water spraying devices in the ore pits. The thesis was conducted for the Outokumpu Chrome Kemi mine.

The objective of the thesis was to improve the maintenance of water spraying equipment, considering the circumstances in which they operate. Additionally, the objective was to determine how to enhance the reliability of the equipment in the future.

The theoretical basis for the work was gathered from Outokumpu's internal database, as well as public data. Company personnel were also interviewed for the thesis. Furthermore, my own practical experience with spraying equipment in the summer of 2022 was highly beneficial.

The result of the thesis was plans for the development of inspection rounds of the spraying equipment. The results of the work were also documented as maintenance instructions with a spare part list. The conclusions drawn from the work can be used to assist in planning new spraying equipment in the future.

Key words: condition monitoring, dust, dusting, maintenance, predictive maintenance

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	OUTOKUMPU OYJ	9
2.1	Outokumpu Chrome Oy	9
2.2	Kemin Kaivos	10
3	KAIVOKSEN TUOTANTOPROSESSI	12
3.1	Louhinta	12
3.2	Lastaus ja kuljetus	13
3.3	Kaatonousut	13
3.4	Murskaus	16
3.5	Rikastus	16
4	PÖLY	17
4.1	Pölyn hiukkaskoko	17
4.2	Pölyäminen	18
5	PÖLYNTORJUNTA	19
5.1	Ehkäisy	19
5.2	Poistaminen	19
5.3	Eristäminen	20
5.4	Laimentaminen	20
5.5	Sitominen	20
6	KAATONOUSUJEN KASTELULAIDEN TOIMINTA	23
6.1	Automaatiojärjestelmän alainen toiminta	24
6.2	Mekaaninen toiminta	26
7	KASTELULAITTEIDEN KOKOONPANO	27
7.1	Kastelukaari	27
7.2	Suuttimet	29
7.3	Automaattiventtiili	30
7.4	Ajoneuvotunnistin	31
8	KASTELULAITTEIDEN KUNNOSSAPITO	32
8.1	Ennakkohuoltokierros	32

8.2	Havaittujen vikojen korjaaminen	35
9	KASTELULAITTEIDEN YLLÄPITOPROSESSI	36
9.1	Ennakkohuoltokierrosten kehittäminen	36
9.2	Laitteiden käytettävyyden kehittäminen	37
9.3	Kehitysideat	38
9.4	Uudet tekniikat	38
10	POHDINTA	39
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	42

ALKUSANAT

Haluan kiittää Outokumpu Chrome Oy:tä ja tuuletusinsinööri Pekka Ylijoutsijärveä mielenkiintoisesta aiheesta, sekä työn aikaisesta yhteistyöstä. Haluan myös kiittää ohjaavaa opettajaa Jukka Joutsenvaaraa asiantuntevasta työn ohjauksesta.

Kemissä 29.4.2023

Juha-Matti Raappana

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

WinCC	Windows Control Center
Kaatonousu	Pystysuuntainen tunneli, johon louhittu malmi kipataan
Kn1	Kaatonousu 1
Kn2	Kaatonousu 2
SLC	Sublevel Caving, louhintamenetelmä
TOKE	Tuotannonohjauskeskus
LHD	Load Haul Dump, kaivoslastauskone
Malmi	Maaperässä oleva mineraali, joka on taloudellisesti kannattava hyödyntää
Kuti	Kunnossapidon tietojärjestelmä

1 JOHDANTO

Pölynhallinnalla tarkoitetaan pölyn ehkäisyä ja hallintaa muun muassa teollisuus-, kaivos- ja rakennusympäristöissä. Pöly aiheuttaa monia haittoja, kuten terveysriskejä ihmisille ja laitteiden toimintahäiriöitä.

Ilmassa leijuvien pölyjen haitta-arvojen säädökset tiukkenevat jatkuvasti. Pölynhallintaan on tämänkin vuoksi alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota viime vuosina.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää pölyntorjuntaan käytettävien sumutuslaitteistojen kunto ja kunnossapidon nykytila kaatonousuilla Outokumpu Chromen Kemin Kaivoksella. Opinnäytetyö on kohdistettu olemassa oleviin kastelulaitteisiin 300–450-tasoilla mutta työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa uusia sumutuslaitteita suunniteltaessa ja rakennettaessa.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös kehittää pölynhallintaa kaatonousuilla. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pölynhallinnan kehittämiseen olemassa olevien laitteiden kunnossapidettävyyttä parantamalla.

2 OUTOKUMPU OYJ

Outokumpu Oyj on monikansallinen ruostumattoman teräksen valmistaja. Yrityksen historia alkoi yli sata vuotta sitten, kun Outokumpu-nimiseltä kukkulalta löydettiin kuparia Kuusjärven kunnassa itäsuomessa. Kunnan nimi vaihdettiin myöhemmin ja tunnetaan nykyään kaupunkina nimeltä Outokumpu. (Outokumpu 2022.)

Outokumpu on keskittynyt 2000-luvulla kokonaan ruostumattomaan teräkseen ja on nykyään maailmanlaajuisesti johtava ruostumattoman teräksen valmistaja. Yritys on listattu Helsingin pörssiin ja se on yksi Suomen suurimmista pörssiyhtiöistä. Yrityksellä on 8300 työntekijää lähes 30 maassa. (Outokumpu 2023d.)

2.1 Outokumpu Chrome Oy

Outokumpu Chrome Oy on Outokumpu Oyj:n tytäryhtiö. Outokumpu Chrome tuottaa ruostumattoman teräksen raaka-aineena käytettävää ferrokromia ferrokromisulatolla Torniossa Kemin Kaivoksella tuotetuista pala- ja hienorikasteista. Outokumpu Chrome työllistää noin 450 henkilöä, joista 250 työskentelee Torniossa ja 200 Kemin Kaivoksella. (Outokumpu 2022.)

2.2 Kemin Kaivos

Kemin kaivos sijaitsee Keminmaassa, Elijärvellä. Kaivos on Euroopan unionin ainoa kromikaivos (Kuvio 1). (Kaivosvastuu 2017.)

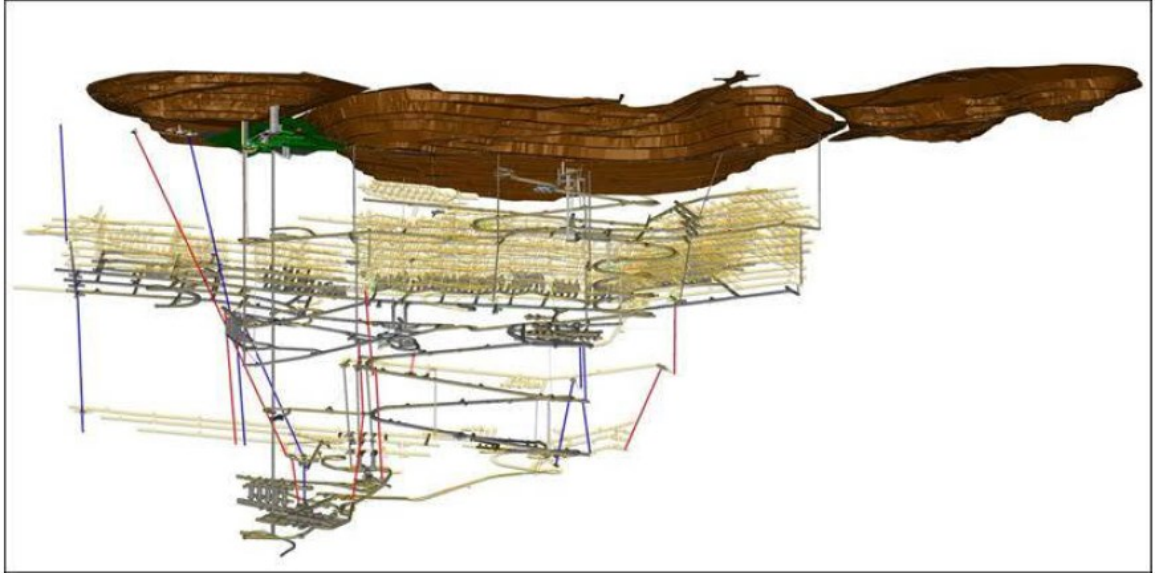


Kuvio 1. Kemin Kaivos (Outokumpu 2023a)

Kemin Kaivos sai alkunsa, kun sukeltaja Martti Matilainen löysi kromilohkareen Veitsiluoto Oy:n makeavesikanavan rakennustyömaalta Kemissä vuonna 1959. Outokumpu sai jatkotutkimusoikeudet esiintymään vuonna 1960 ja kaivostoiminnan valmistelevat työt alkoivat vuonna 1964. (Outokumpu 2021.)

Kaivos avattiin vuonna 1968. Malmia louhittiin aluksi avolouhintana ja vuodesta 2003 asti myös maanalaisena louhintana. Vuodesta 2005 kaikki malmi on tullut maanalaisesta kaivoksesta. (Kaivosvastuu 2017.)

Maanalaisen kaivoksen laajenuksessa eli Deep Mine -projektissa kaivosta on syvennetty 500- ja 1000-tasojen välille. Laajennuksen on tarkoitus valmistua vuoden 2023 aikana, ja se vie louhinnan kilometrin syvyyteen (Kuvio 2). (Outokumpu 2023a.)



Kuvio 2. Maanalainen kaivos (Outokumpu 2023a)

3 KAIVOKSEN TUOTANTOPROSESSI

Kemin kaivos tuottaa kromimalmista tehtyjä rikasteita Torniossa sijaitsevan ferrokromitehtaan raaka-aineeksi. Rikasteista valmistetaan ferrokromia, jonka sisältämä kromi tekee Tornion terästehtaalla valmistettavasta teräksestä ruostumatonta (Kuvio 3). (Kaivosvastuu 2017.)



Kuvio 3. Kaivoksen tuotantoprosessi (Outokumpu 2019)

3.1 Louhinta

Kemin kaivoksen koko malmintuotanto tuotetaan maan alla. Kaivoksella on käytössä kaksi eri louhintamenetelmää, poikittainen pengerlouhinta ja välitasosorrosrouhinta (SLC). Pengerlouhinnassa malmin louhinta on aloitettu 500 metrin syvyydestä ja louhokset ovat 500-tason yläpuolella 25 metrin välein kohti avolouhoksen pohjaa. SLC-louhinta on käynnistynyt 550-tasolta ja etenemäsuunta on alaspäin. Perät eli louhittavat tunnelit tuetaan verkotuksella ja ruiskubetonoinnilla sekä kalliopulseilla, jotta työt kaivoksessa olisivat turvallisia. (Outokumpu 2019)

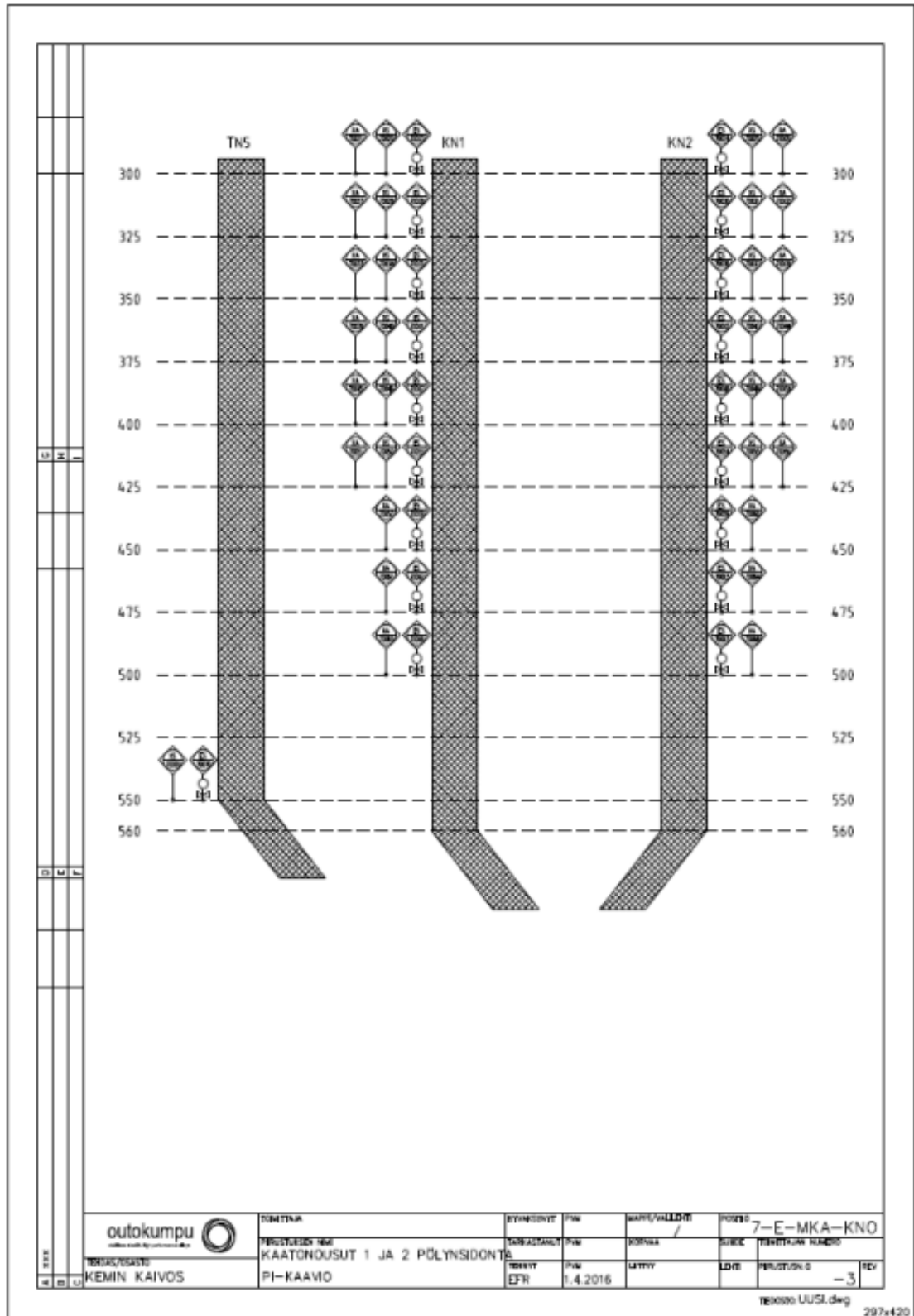
Malmista olevista louhintaperistä porataan louhintareiät ja panostetut reiät räjäytetään. Pengerlouhinnassa avoimet tyhjäksi lastatut louhokset täytetään sivukivellä ja louhintaa jatketaan ylöspäin täytettyjen louhosten päältä. (Outokumpu 2019)

3.2 Lastaus ja kuljetus

Louhittu malmi kuljetetaan kaatonousuille lastaamalla se kaivoslastauskoneella kuorma-autoihin. (LHD, Load Haul Dump) on suurikokoinen ja tehokas lastauskone. LHD lastaa louheen kuorma-autoihin, jotka kuljettavat ja kaatavat sen kaatonousuun. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 213.)

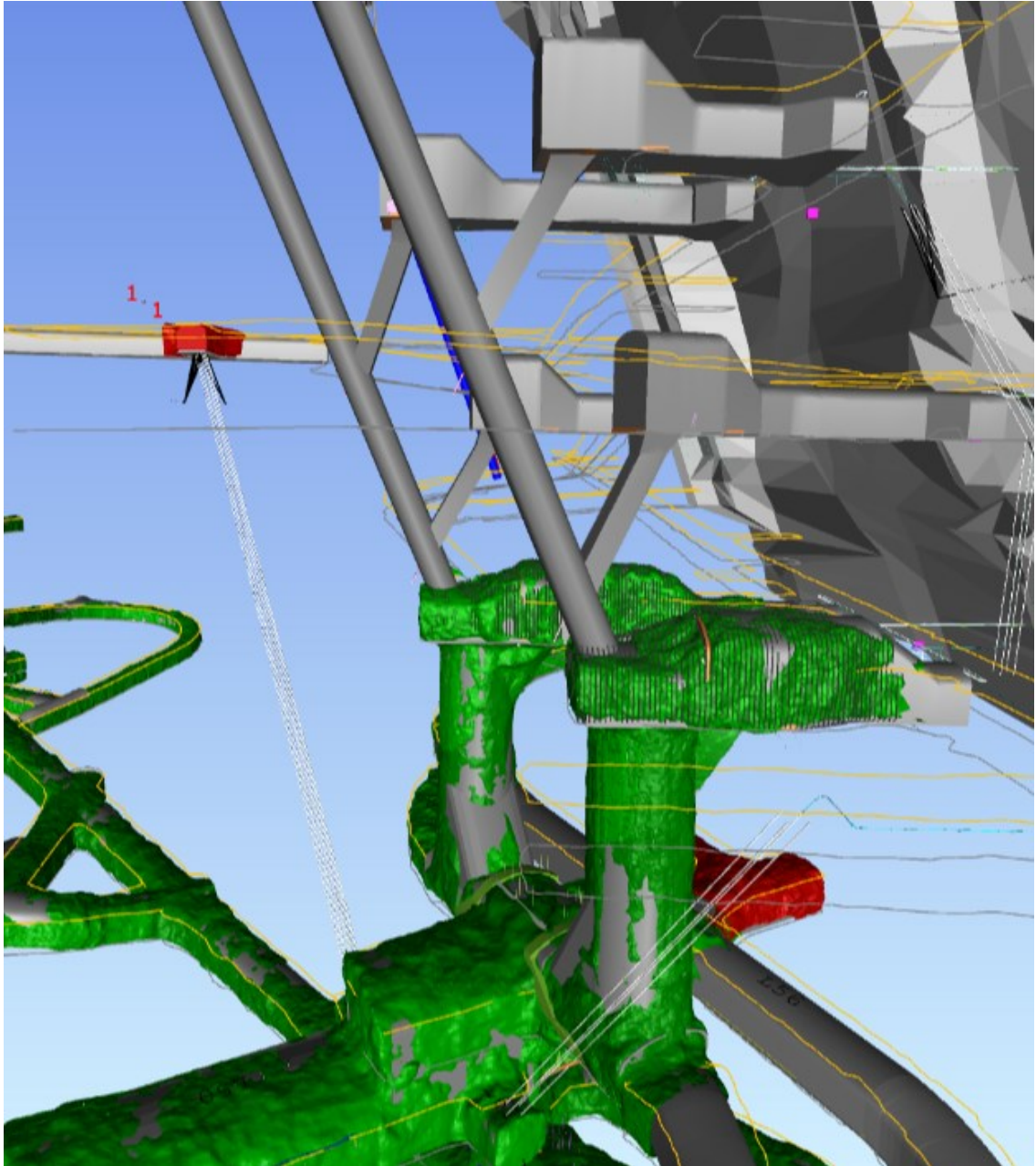
3.3 Kaatonousut

Kaatonousulla tarkoitetaan maanalaisessa kaivoksessa olevaa pystysuoraa tunnelia, johon malmi kaadetaan (Kuvio 4). Kaatonousut toimivat osana malmin kuljetusjärjestelmää. Kaatonousut toimivat myös malmin välivarastona. Malmipinnan taso nousussa muuttuu koko ajan täytön ja tyhjennyksen mukaan. (Jokinen, Koskinen & Sulkanen 2009; Outokumpu 2023a.)



Kuvio 4. Kaatonousut 1 ja 2 (Outokumpu 2023a)

Kuorma-auton kaataessa malmin kuiluun malmi siirtyy sorminousua pitkin varsinaiseen kaatonousuun. Kemin kaivoksella kaatonousuilla yksi ja kaksi nousuun mahtuu noin 750 tonnia malmia per 25 metrin tasoväli. 500–560 väliselle tasolle malmia mahtuu noin 5000 tonnia eli yhteen kaatonousuun mahtuu noin 11 000 tonnia malmia (Kuvio 5). (Outokumpu 2023a.)



Kuvio 5. Kaatonousu ja tyhjennyspaikat (Outokumpu 2023a)

3.4 Murskaus

Kaatonousun pohjalla sijaitseva tärysyötin syöttää malmin eteenpäin maanalaiselle murskaimelle. Murskaimen tehtävänä on pienentää louheen kokoa pienemmäksi, jotta sitä voidaan kuljettaa hihnakuljettimella ja nostokuilussa. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 219.)

Murskattu malmi nostetaan nostokuilussa 600 metrin syvyydestä maan pintaan. Pinnassa malmi kuljetetaan kuljettimilla rikastamolle.

3.5 Rikastus

Maan pinnalle nostettu kromimalmi murskataan uudelleen. Malmi rikastetaan pala- ja hienorikasteeksi. Raskasväliaine-erotuksella tuotetaan palarikastetta ensimmäisessä vaiheessa, jossa painavimmat eli ominaispainoltaan suurimmat eniten kromiittia sisältävät malmipalat erotetaan muusta malmista palarikasteeksi. (Outokumpu 2019.)

Hienorikastamalla murskattu malmi ja palarikastuksen välituote jauhetaan tankomyllyssä veden kanssa hienoksi. Kromiitti erotetaan spiraalierottimilla lietteestä painovoiman avulla. (Outokumpu 2019.)

Rikastamon lopputuotteina syntyy pala- ja hienorikastetta. Rikasteet kuljetetaan autokuljetuksena Tornion ferrokromitehtaalle. (Outokumpu 2019.)

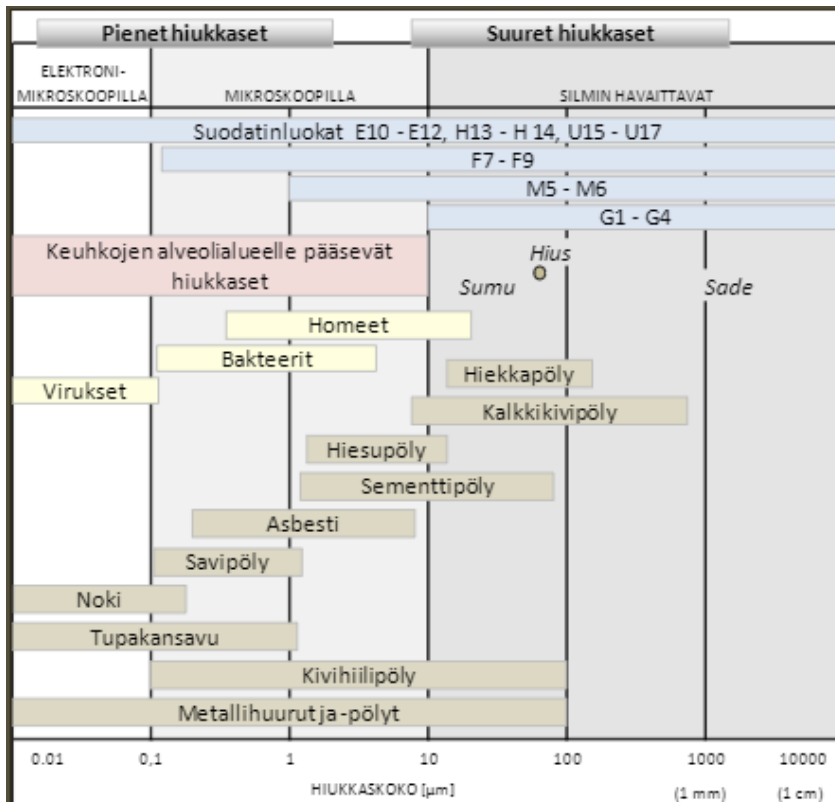
4 PÖLY

Kaikenlainen pöly aiheuttaa pölylle altistuvalla hengitysvaikeuksia ja voi johtaa sairastumisiin. Altistumisen jälkeisiä sairauksia on vaikea diagnosoida, koska sairauksien puhkeaminen voi tapahtua vasta vuosien päästä. (The European Network on Silica 2021.)

4.1 Pölyn hiukkaskoko

Partikkelit, joiden halkaisija on 1 μm ja 100 μm välillä, ja jotka voivat tulla ilmassa leijuviksi, luetaan riippuen niiden alkuperästä, ympäristön olosuhteista ja fysikaalisista ominaisuuksista pölyiksi (Kuvio 6). (VTT 2004.)

Hienojakeinen alle 5 μm pöly on leijuvaa (ei laskeudu) ja kulkeutuu ilmavirtojen mukana. Vain suuremmat, yli 20 μm hiukkaset ovat silmällä nähtävissä (Kuvio 6). (Koski, Mattila & Taipale 2013.)



Kuvio 6. Pölyhiukkasteen koot (Koski, Mattila & Taipale 2013)

Standardi SFS-EN 481 2001 jakaa hengitettävän pölyn kolmeen jakeeseen. Hengitettävä jae sisältää hiukkaskoot, jotka pystyvät kertymään minne tahansa hengityselimiin. Keuhkojake sisältää hiukkaset, jotka voivat kertyä kurkunpään alapuolelle ja keuhkoihin. Alveolijake sisältää hiukkaset, jotka kertyvät värekarvattomalle alueelle pisimmälle hengitysteihin. (SFS-EN 481 2001.)

4.2 Pölyäminen

Pölyämisen aiheuttama riski kaivoksessa perustuu kiviaineksen sisältämän hienon aineksen haitallisuuteen hengityselimissä. Pölyn joukossa voi esiintyä asbestikuituriskialueilta tulevassa kivessä kuituisia mineraaleja. Pölyn siirtyminen ilmaan (pölyäminen) tulee estää kaikissa tuotantoprosessien kohteissa ja vaiheissa, jotta hengittämiseen käytettävä ilma saataisiin aina pidettyä mahdollisimman puhtaana kiinteistä kiviainepartikkeleista. (Outokumpu 2023b.)

Jos pölyämistä kuitenkin pääsee tapahtumaan, pöly pitää saada sidottua ja pölyn leviäminen tehokkaasti estettyä. Pöly voidaan kastella mahdollisimman lähellä sen syntypaikkaa tai pöly voidaan kerätä talteen suodatinjärjestelmillä. (Työterveyslaitos 2016a, 5.)

5 PÖLYNTORJUNTA

Pölyntorjunnan tavoitteena on pölyn ilmaan pääsemisen estäminen tai ilmaan päässeeseen pölyn leviämisen estäminen. Ilmassa leijuvia pölyjä torjutaan niiden terveysvaikutusten vuoksi. Terveysvaikutukset ulottuvat ihmisen omien haittojen lisäksi muiden altistamiseen. Osa pölyistä voi olla palo- tai räjähdysvaarallisia. Runsas pölymäärä myös heikentää näkyvyyttä vähintään hetkellisesti. (Koski, Mattila & Taipale 2013; Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 330.)

Pölyntorjunta voidaan jakaa viiteen erilaiseen menetelmään: ehkäisyyn, poistamiseen, eristämiseen, laimentamiseen ja sitomiseen (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 330).

5.1 Ehkäisy

Pölyämistä voidaan ehkäistä muuttamalla työmenetelmiä tai muokkaamalla käyttötapoja. Myös oikeiden ja tarkoitustenmukaisten työkalujen käyttö oikeissa paikoissa ehkäisee pölynmuodostumista. (Paalumäki, T., Lappalainen P. & Hakapää, A. 2015, 330.)

Kaivosolosuhteissa pölyämistä voidaan ehkäistä myös pinnoittamalla kaivoksen ajoväyliä pölyämättömällä murskeella. Tieosuuksia voidaan myös asfaltoida. (GTK 2023.)

5.2 Poistaminen

Pölypitoisuutta voidaan alentaa eli poistaa pölyä ilmanpuhdistimien avulla. Malminkuljetuslinjasto voidaan varustaa tehokkaalla pölynpoistolla ja ilmanpuhdistimilla. (Työterveyslaitos 2016b, 21.)

Ilmanpuhdistin suodattaa laitteen läpi kulkevan ilman. Ilmanpuhdistimissa on mahdollista käyttää mekaanisia kuitusuodattimia tai sähkösuodattimia. (Koski, Mattila & Taipale 2013.)

5.3 Eristäminen

Pölyävät tilat voidaan eristää koteloimalla pölyävä kohde. Eristämistä on myös paikallisen poistoreitin luominen pölyille. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 330.)

Ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas. Epäpuhdas poistoilma ohjataan poistonousuihin. (Työterveyslaitos 2016b.)

5.4 Laimentaminen

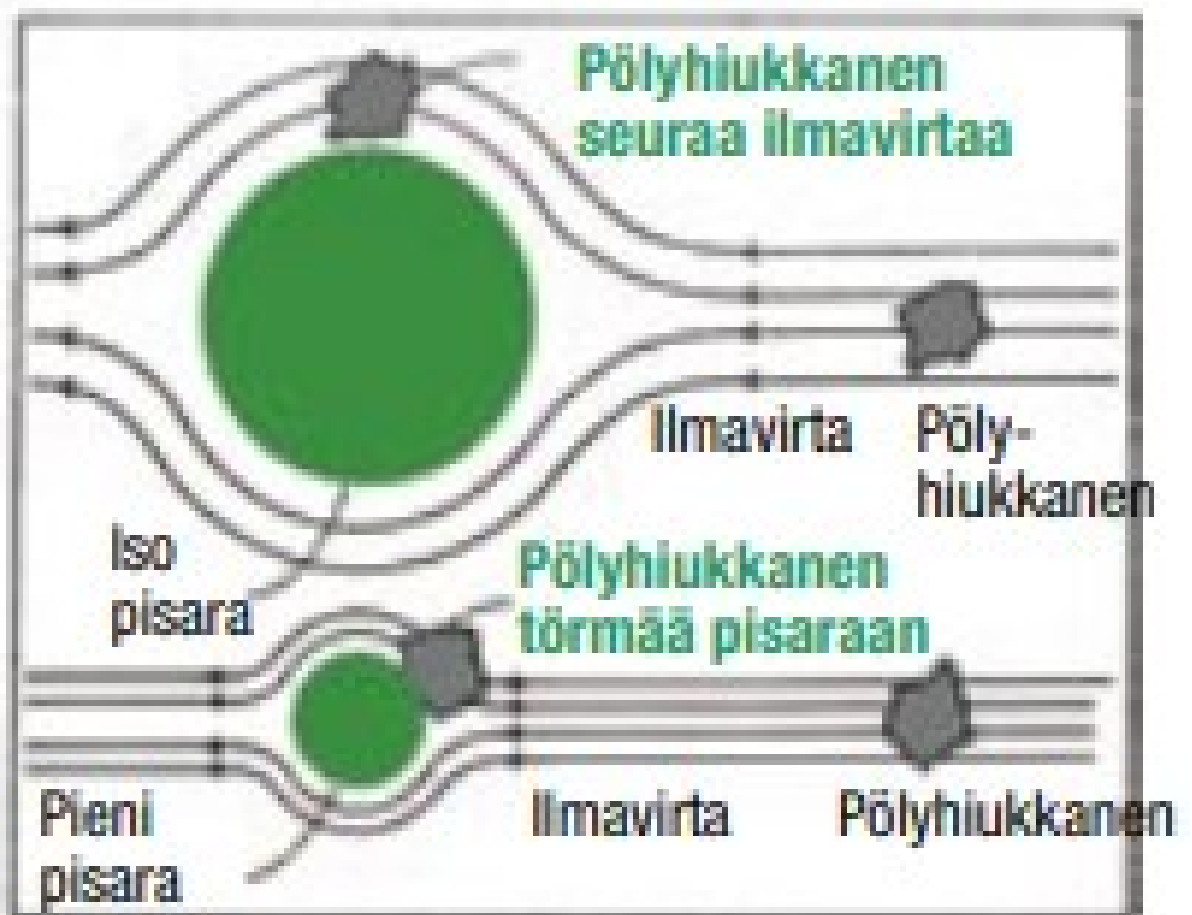
Yksi pölyntorjunnan keino on pölyjen laimentaminen paikallisesti aputuuletuksella. Pölyäviin kohteisiin voidaan tuoda poistopuhallin. Tällöin tulee kohteeseen ohjata myös hallitusti tuloilmaa poiston tehokkuuden varmistamiseksi. (Outokumpu 2023b.)

Räjäytyksissä syntyvää pölyä laimennetaan ohjatulla ja tehokkaalla ilmanvaihdolla räjäytysten jälkeen. Kohteisiin järjestetään mahdollisimman tehokas ilmanvaihto, jolla pyritään johtamaan räjäytyskaasujen ja kivipölyn likaama ilma lyhintä reittiä ja mahdollisimman nopeasti poistoilmanousuihin. (Outokumpu 2023b.)

5.5 Sitominen

Pöly voidaan sitoa ennen kuin se pääsee kulkeutumaan ilmaan kastelemalla pölyhiukkaset, kun ne ovat vielä kiinnittyneet jollekin pinnalle tai alustalle. Partikkelien kulkeutuminen ilmaan estetään lisäämällä niiden painoa kastelemalla. Laskeutunut pöly voidaan myös käsitellä kemikaaleilla. Ilmassa leijuvan pölyn sidonta perustuu pölyhiukkasten ja vesipisaroihin törmäykseen, jolloin pölyhiukkanen tunkeutuu vesipisaraan ja kastuu. Pölyhiukkasen paino kasvaa ja se putoaa alas maahan ilmavirrasta. (SGN-Tekniikka 2003.)

Ilmassa leijuva pölyn torjunnassa vesisumun avulla tärkeitä käsitteitä ovat pölyhiukkasen koko verrattuna ruiskutettavan nesteen pisarakokoon, ruiskutuspainne, suutintyyppi- ja koko sekä suuttimien lukumäärä. Pölynhiukkasen ja ruiskutettavan nesteen pisarakokoon suhde on voimakkaasti sidoksissa pölyntorjunnan tehokkuuteen. 2–3 µm pölyhiukkaset saa parhaiten kerättyä pienillä, noin 100 kertaa pölyhiukkasen kokoa suuremmilla nestepisaroilla. Huomattavasti suuremmat pölyhiukkasen kiinnittyvät hiukkasen itsensä kokoihin tai vähän suurempiin nestepisarihin (Kuvio 7). (SGN-Tekniikka 2003.)



Kuvio 7. Pölyhiukkasen koko suhteessa vesipisaran kokoon (SGN-Tekniikka 2003)

Ruiskutusaine vaikuttaa tietyn kokoisesta suuttimesta tulevan sumumäärän tuoton lisäksi pisaroiden nopeuteen ja sitä kautta pölyntorjunnan tehokkuuteen. Kun hiukkasten ja vesipisaroiden törmäysnopeus kasvaa, pölynsidonnin tehokkuus paranee. Ruiskutusainetta nostettaessa tehokkuus kasvaa, kunnes paine on nostettu optimiarvoonsa. Optimiarvon saavuttamisen jälkeen tehokkaampi tapa lisätä tehokkuutta on suutinmäärän kasvattaminen. Edellä mainitut pisarakoon ja ruiskutusaineen aikaansaaminen ratkaisevat käyttöön valittavan suutinkoon. Sidottavan pölyn määrä ja ruiskutettava pinta-ala määrittävät suuttimien lukumäärän. (SGN-Tekniikka 2003.)

6 KAATONOUSUJEN KASTELULAIDEN TOIMINTA

Kaatonousut 1 ja 2 on varustettu kastelulaitteistoilla (Kuvio 8). Malmia nousuun kaadettaessa syntyy pölyä. Pölyäminen on voimakkainta alatasoilla ja erityisesti alimmalla malmista vapaalla tasolla riippuen nousun pinnan tasosta. Kaatonousujen kastelulaitteiden tarkoituksena on ilmassa leijuvan pölyn sitominen.



Kuvio 8. Kastelulaitteet kaatonousulla

6.1 Automaatiojärjestelmän alainen toiminta

Kuorma-auton peruuttaessa tyhjennyspaikalle ajoneuvotunnistin aktivoituu, jolloin kyseisen tason ja kaikkien alempien tasojen varoitusvalot vilkkuvat. Sumutusjärjestelmä käynnistyy tyhjennystasolla ja kaikissa tyhjennystason alapuolella olevilla tasoilla.

Kastelulaitteet on kytketty Siemensin automaatiojärjestelmään ja sitä ohjataan WinCC-järjestelmällä rikastamon valvomosta (Kuvio 9). Kasteluaika on säädettävissä ja se on tällä hetkellä 60 sekuntia.

Hälytykset

Kaatonousu 2
Valojen testi
Kaatonousujen vesisumutukset
Kaatonousu 1
Valojen testi

		KN2		KN1	
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	⏸	300-Taso	⏸	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	A ✖	325-Taso	A ✖	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	A ⏸	350-Taso	⏸	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	A ✖	375-Taso	⏸	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	⏸	400-Taso	⏸	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä	⏸	425-Taso	⏸	60 60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä
Sumutus pulssi Sumutus päällä	⏸	450-Taso	⏸	60 60	Sumutus pulssi Sumutus päällä
Sumutus pulssi Sumutus päällä	⏸	475-Taso	⏸	60 60	Sumutus pulssi Sumutus päällä
Sumutus pulssi Sumutus päällä	A ✖	500-Taso	⏸	60 60	Sumutus pulssi Sumutus päällä
		550-Taso	⏸ M	60	Ajoneuvotunnistin Sumutus pulssi Sumutus päällä

Kuvio 9. WinCC-järjestelmän kastelulaitteiden ohjausnäyttö

6.2 Mekaaninen toiminta

Kaatonousujen kastelulaitteiden ainoa mekaaninen osa on venttiili, jota toimilaitte käyttää. Toimilaitteen ohjaamaa venttiiliä kutsutaan automaattiventtiiliksi.

Automaattiventtiin avautuessa vesipaine pääsee kastelukaariin ja se tulee suuttimista ulos vesisumuna. Vesi on johdettu kaarille aina kyseisen tason poravesilinjasta.

7 KASTELULAITTEIDEN KOKOONPANO

Kastelulaitteet koostuvat kastelukaassa olevien suuttimien lisäksi automaattiventtiilistä ja ajoneuvotunnistimesta.

7.1 Kastelukaari

Edellisessä luvussa (Kuvio 8):ssa esitetty kastelukaari on rakennettu 32 mm muovisesta vesijohtoputkesta, jossa on määrävälein messinkiset t-haaraliittimet (Kuvio 10). T-haaraliittimet kiinnittyvät putkeen kiristysrenkaan välityksellä. T-haaran kolmanteen haaraan on kiinnitetty sumutussuuttimet kahden messinkisen supistinnipan (Kuvio 11) välityksellä.



Kuvio 10. T-haaraliitin (Heikki Laiho Oy 2023)



Kuvio 11. Supistinnipat ja suutin

7.2 Suuttimet

Suuttimina käytetään messinkisiä Lechler 686.488-suuttimia (Kuvio 12). 686-sarjan suuttimissa on leveä, 140° viuhkamainen suihkukuvio. Suuttimissa on ¼” BSPT kierre. Suuttimen sumutuskulma on 140 astetta ja yksittäisen suuttimen vedenkulutus viiden paineen verkostopaineella on 2,52 litraa minuutissa. (Lechler 2023.)

Suuttimia on olemassa eri kokoisia eli eri sumutuskulmalla ja tuotolla eri käyttötarkoituksiin. Lechler 686-sarjan suuttimet teknisine tietoineen on lueteltu liitteessä yksi.



Kuvio 12. Lechler 686-sarjan suutin (Lechler 2023)

7.3 Automaattiventtiili

Käytössä olevan automaattiventtiilin tyyppi on Remote Control RCEL005 (Kuvio 13). Venttiili on varustettu sähköisellä toimilaitteella, jonka suurin ohjausmomentti on 50 Nm (newtonmetriä). Toimilaitetta voidaan käyttää myös kuuden millimetrin kuusiokoloavaimella.

Toimilaite on IP67-luokiteltu. Ensimmäinen numero 6 tarkoittaa että laite on pölytiivis ja 7 tarkoittaa että toimilaite kestää hetkellisen upotuksen veteen (STEK 2023).



Kuvio 13. Automaattiventtiili

7.4 Ajoneuvotunnistin

Ajoneuvotunnistimena käytetään ultraäänianturia (Kuvio 14). Ultraäänianturi tunnistaa anturin eteen tulevan ajoneuvon ja välittää tiedon ohjausjärjestelmälle. Ajoneuvotunnistimia oli keväällä 2023 käytössä useampaa eri mallia mutta antureiden vikaantuessa kaikki tullaan vaihtamaan Wenglor UMS603U035-anturiin.

Ultraäänianturi sietää likaantumista normaalia valokennoa paremmin. Anturin mittausalue on säädettävissä 300 millimetristä aina 6000 millimetriin.



Kuvio 14. Ajoneuvotunnistin

8 KASTELULAITTEIDEN KUNNOSSAPITO

Kastelulaitteet pyritään pitämään toimintakunnossa ennakkohuoltokierroksilla, joissa todetaan laitteiden toiminta ja havaituista vioista ilmoitetaan eteenpäin tuotannonohjauskeskukselle (TOKE). Toke ohjaa tarvittavat kunnostustyöt tehtäviksi työmääräimien kautta.

8.1 Ennakkohuoltokierros

Ennakkohuoltokierroksen suorittaa turvaosaston työntekijä. Molemmilla kaatonousulla Kn1 ja Kn2 on seitsemän kappaletta kohteita eli yhteensä 14 sumutuslaitteistoa.

Kierros suoritetaan henkilöautolla. Työntekijä ajaa auton ajoneuvotunnistimen eteen, jolloin sumutus alkaa, jos laitteet ovat kunnossa. Työntekijällä on käytössä paperinen pohja, jolle puutteet kirjataan (Kuvio 15).

4.4.23

KAATONOUSUT								
kaatonousu	Kylmi	verkko	louhosvalo	vesisumu	varoitushvalo	anturi	huomiot	puhdistus
KN-350							LAITTEISTO EI KÄYTTÖSSÄ	Y VERKOT OK.
KN1 - 500							TUKITTU	
KN2 - 500							TUKITTU	
KN3 - 500							TUKITTU	
KN1 - 475							TUKITTU	
KN2 - 475							TUKITTU	
KN3 - 475								
KN1 - 450	LATON		EI PALA	?	?	?	ANTURI TURVAVERKON TOISELLA PUOLEN, EI TÄNNE TOIMINTAAN	*
KN2 - 450	LATON			EI TOIMI				X
KN3 - 450							tukittu	
KN1 - 425				?	?	?	ANTURI TURVAVERKON TOISELLA PUOLEN, EI PÄÄSE TRUKKISESTI	* * TOIMINTA
KN2 - 425		OSTAMIN PUK		?	?	?	— II —	*
KN3 - 425	LATON							
KN1 - 400							KATKUI OK,	
KN2 - 400							EI TOIMI	X
KN3 - 400							TUKITTU	
KN1 - 375				EI				
KN2 - 375	OSTAMIN	X		EI				
KN3 - 375							TUKITTU	
KN1 - 350			X	EI				
KN2 - 350				EI				
KN3 - 350							TUKITTU	
KN1 - 325		X		EI	EI		ANTURI REAGOI, MUTA KESKUSVAAROTUSVALO EI	*
KN2 - 325				EI	EI	?	ANTURISSA EI NÄKYVÄREAKTIOITA	*
KN3 - 325							OK	
KN1 - 300							OK	
KN2 - 300	LATON	X						
KN3 - 300							OK	
KN1 - 275							OK	
KN2 - 275							OK	
KN3 - 275							OK	

KN1-250 OK
 KN2-250 OK
 KN3-250 OK

* LISÄYKSET 6.4.23 Heureka

SIEMENSIN JÄRJESTELMÄSSÄ NÄKY VENTTIILEJÄ
 HÄIRIÖTILASSA, ~~OK~~

Kuvio 15. Kunnonvalvontakierroksen tarkastuslista (Outokumpu 2023)

Työntekijä ei mene turvaverkon sisäpuolelle kivien sinkoutumisvaaran vuoksi. Suurimmassa osassa kohteita automaattiventtiilit, vesilinjojen käsiventtiilit ja kastelukaari suuttimineen (Kuvio 16), sijaitsevat turvaverkon takana.

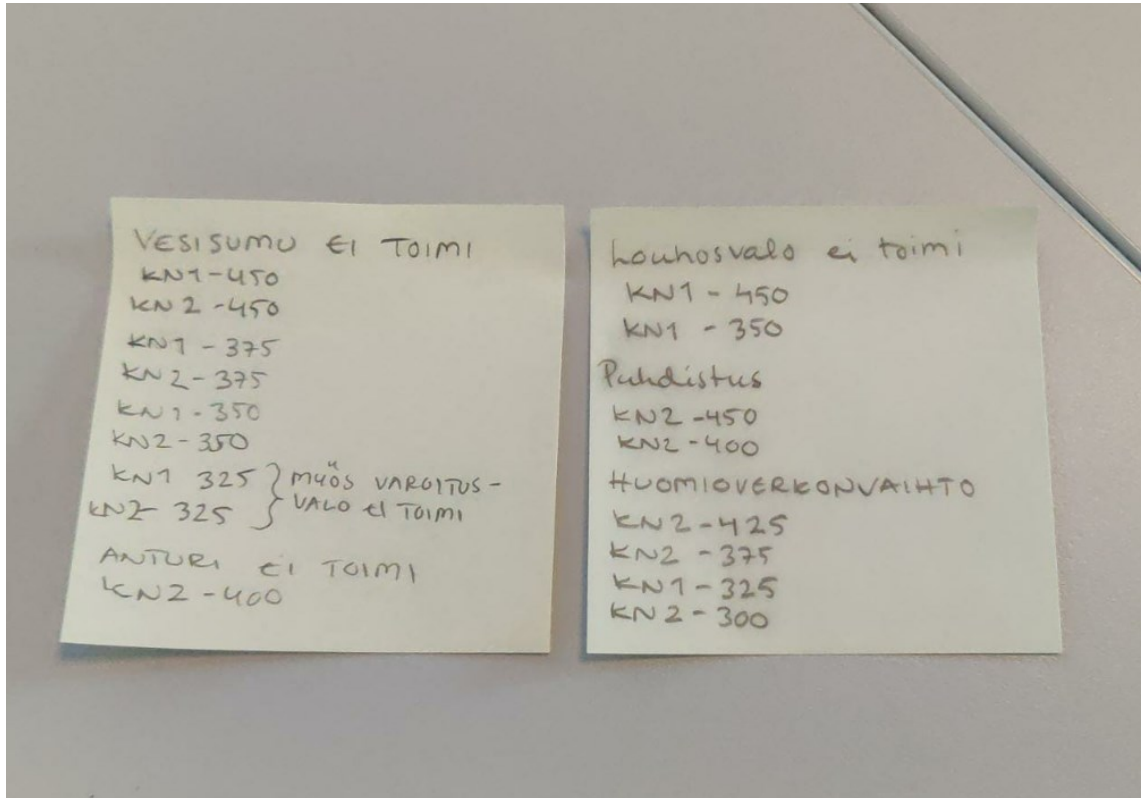


Kuvio 16. Suutin, jossa veden kanssa kovettunutta pölyä

Ennakkohuoltokierroksen tekijä toimittaa tiedot toimimattomista laitteista tuotannonohjauskeskukseen. Tiedonsiirrossa käytetään post-it-lappuja. Työn kirjoittamishetkellä post-it-lapuista oltiin luopumassa tarkoituksena siirtyä sähköiseen tiedonsiirtoon.

8.2 Havaittujen vikojen korjaaminen

Sumutuslaitteistoissa havaitut viat tuodaan kaivoksesta maan pinnalle post-it-lapuilla (Kuvio 17). Tuotannonohjaaja jakaa viat parhaan tietonsa mukaan mekaanisiin ja sähköisiin vikoihin.



Kuvio 17. Työlista toimimattomista laitteista ja toimenpiteitä vaativista kohteista

Mekaanisista vioista eli tukkeutuneiden suuttimien vaihdoista ja vedentuloon liittyvistä viasta tehdään tehtävät Optimine-järjestelmään kaivosvarustelijoiden tehtävälistalle. Sähköisistä vioista tieto kulkee sähköosastolle joko post-it-lapuilla tai tehtävät kirjataan Optimine-järjestelmään, joista sähköosasto poimii viat. (Outokumpu 2023c.)

9 KASTELULAITTEIDEN YLLÄPITOPROSESSI

Työn aikana havaittiin, että kunnonvalvontakierrosta tulee kehittää eteenpäin laitteistojen vikojen juurisyiden selvittämiseksi. Tällä hetkellä kunnossapitokierrokselta tuleva informaatio ei ole riittävää kunnossapitotoimien ohjaamiseen oikeisiin vikoihin ja oikealle kunnossapitolajille.

9.1 Ennakkohuoltokierrosten kehittäminen

Kierroksella olisi tärkeää selvittää onko vika mekaaniseen kunnossapitoon kuuluva eli vedentulon tai suuttimien tukkeutumisesta johtuva toimimattomuus vai sähköinen vika.

Jos sumutus ei toimi kohteessa ennakkohuoltokierroksella pitäisi vähimmilläänkin käydä läpi nykyisten tarkastettavien lisäksi automaattiventtiilin toiminta, vedentulo käsiventtiileineen ja suuttimet.

Vesilinjassa olevan käsiventtiilit kiinni oleminen ei ole kunnossapitotöitä vaativa vika. Tarkastuskierrosta tekevällä henkilöllä tulisi olla mukanaan pihdit, joilla venttiilit voi aukaista. Myös kuuden millimetrin kuusiokoloavain on tarpeellinen työkalu.

Ajoneuvotunnistimen aktivoituessa automaattiventtiilin tulisi aueta. Jos näin ei tapahdu automaattiventtiiliä on mahdollista raottaa sen verran, että voidaan varmistaa veden tulo linjaan ja suuttimien toimivuus. Normaalisti sähkömoottori painaa venttiiliä kiinni, joten mekaanisesti kierrettäessä tuntuu vastusta. Tällöin vika aukeamattomuudelle täytyy löytyä ohjauksesta koska venttiilille kuitenkin selvästi tulee sähkö.

Jos venttiili aukeaa vastuksetta sille ei selvästikään tule ohjausta mutta vedenpaine pääsee suuttimiin, sumutuksen toimimattomuus on täysin sähköinen vika.

Kaivoksella on olemassa suunnitelma, jossa ennakkohuoltokierroksen tulokset syötettäisiin suoraan Kutiin (Kunnossapidon tietojärjestelmä). Tällöin vian juurisyyn toteaminen on vähintäänkin yhtä tärkeässä asemassa

9.2 Laitteiden käytettävyyden kehittäminen

Sumutuslaitteisto tulisi olla jatkuvasti käytössä ja kunnossa, toimimattomina suuttimiin kertyvä pöly pääsee kovettumaan betonimaisen kovaksi ja pahimmassa tapauksessa se tukkii suuttimen.

Myös muun laitteiston, erityisesti automaattiventtiilin puhtauteen ja säännölliseen puhdistukseen tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota (Kuvio 18).



Kuvio 18. Automaattiventtiili pölyn alla

9.3 Kehitysideat

Tulevia laitteistoja suunniteltaessa automaattiventtiilin sijainti on mahdollista siirtää pois pahimmilta pölyalueilta tasoperän puolelle. Myös muu varustelu käsiventtiileineen kastelukaarta lukuun ottamatta on mahdollista sijoittaa turva-aidan etupuolelle.

Kiertotalousnäkökulmasta tukossa olevia suuttimia on mahdollista pestä ultraäänipesurissa. Kaivoksella on valmiudet pesuun mutta sitä ei ole kokeiltu.

Tasojen puhtaanapidon merkitystä ei voi korostaa liikaa. Pahimmilla pölyaluilla massiivinen ilmavirtaus ylätasoilta kipattaessa nostaa jo laskeutuneen kuivan hienojakoisen pölyn osaksi ilmavirtaa.

Kaivoksella on suunnitelma sumutuslaitteistojen kunnostustöiden muuttamisesta seisokkityömäisempään suuntaan. Tällöin sovittuna päivänä ja suunniteltuun aikaan nousu laitettaisiin puhekielessä kippauskieltoon eli malmin tyhjennys nousuun kiellettäisiin, kunnossapidon käytössä olisi kurottaja, sähkömiehet ja varustelijat olisivat varattuna tehtävään ja tarvittavat osat olisivat valmiiksi katsottuna.

9.4 Uudet tekniikat

Tällä hetkellä WinCC-järjestelmässä automaatiojärjestelmän vikaantumiset näkyvät häiriöinä. Vaikka järjestelmä olisi näennäisesti kunnossa, jää kuitenkin epäselväksi kuitenkin jää toimiiko sumutus kohteessa. Kastelukaareen menevään vesiputkeen olisi mahdollista liittää virtausmittari, joka mittaa kaarille menevää vettä. Virtaukselle voitaisiin syöttää minimiarvo, jonka alittuessa WinCC-järjestelmä hälyttäisi, näin tiedettäisiin, että sumutus ei toimi halutulla tavalla.

10 POHDINTA

Kaatonousuilla malmin kaatamisesta kuorma-autosta nousuun syntyy suuri määrä pölyä, joka ilmapirran vaikutuksesta kulkeutuu pitkälle noususta. Olosuhteet nousuilla ovat haastavat automaattiventtiilien ja avoneuvotunnistimien lisäksi suuttimille joihin pöly kovettuu veden kanssa betonimaisen kovaksi massaksi ja täten tukkii suuttimet. Sumutuslaitteistoissa on koettu esiintyvän paljon vikaantumisia kyseisten olosuhteiden vuoksi. Kuukausittaisten valvontakierrosten hyöty on jäänyt vaillinaiseksi ja on koettu, että vikaantuneiden kohteiden kunnostus on ollut joko hidasta tai sitten kunnostusta ei ole ollut ollenkaan.

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli kehittää pölyntorjuntaan käytettävien kaatonousujen kastelulaitteiden toimivuutta ja kunnossapidettävyyttä. Työssä saatiin kartoitettua laitteiston kunto ja tehtiin suunnitelma, miten laitteiston luotettavuutta ja toimintaa voitaisiin jatkossa parantaa. Opinnäytetyössä saatuja havaintoja voidaan myös hyödyntää tulevia kastelulaitteistoja suunniteltaessa ja asentaessa.

Nykyisten sumutuslaitteistojen kunnossapidettävyyttä voidaan parantaa huomattavasti valvontakierrosten kehittämisellä, mikä mahdollistaa kunnostustoimen tehokkaamman suunnittelun ja ohjauksen. Ennalta suunnitelluissa seisokkiluonteisissa töissä, joissa kunnostustoimet tehdään kerralla kuntoon mekaanisen(kaivosvarustelijat) ja sähköisen kunnossapidon yhteistyöllä sumutuslaitteiden toimintavarmuutta voidaan kehittää huomattavasti luotettavampaan suuntaan.

LÄHTEET

GTK 2023. Ympäristövaikutukset. Viitattu 26.5.2023.

<https://kaiva.fi/vastuullinen-toiminta/ymparistovaikutukset/>

Heikki Laiho Oy 2023. Messinkiset liittimet ja supistinholkkit. Viitattu 31.3.2023.

https://www.hela.fi/tuotteet-muoviputken_liittimet_kiristysliitos.php

Jokinen, J., Koskinen, T. & Sulkanen, K. 2009. Siilomittari. Geologian tutkimuskeskus. Viitattu 20.3.2023.

https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q16_1_2008_83.pdf

Kaivosvastuu 2017. Kuvaus yrityksestä. Viitattu 8.3.2023.

<https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy/>

Koski, H., Mattila, I. & Taipale, A. 2013. Pölyntorjunnan ja maan tiivistämisen kestävät toimintamallit talonrakennusallalla. Viitattu 18.4.2023.

<https://docplayer.fi/90880-Polyntorjunta-rakennustyomaalla-hannu-koski-inga-mattila-aimo-taipale-maantiivistaminen-talonrakentamisessa-tuomas-laitinen-jouko-tornqvist.html>

Lechler 2023. Lechler flat fan nozzle series 686. Viitattu 15.3.2023.

https://www.lechler.com/fileadmin/media/kataloge/pdfs/industrie/katalog/EN/04_flachstrahl/lechler_flat_fan_nozzles_series_686.pdf

Outokumpu 2019. Tuotantoprosessi Torniossa ja Kemin kaivoksella. Viitattu 19.4.2023.

<https://docplayer.fi/3033-Tuotantoprosessi-torniossa-ja-kemin-kaivok-sella.html>

Outokumpu 2022. Outokummun historia. Viitattu 8.3.2023.

<https://www.outokumpu.com/fi-fi/about-outokumpu/history-of-outokumpu>

Outokumpu 2023a. Prosessikuvaus. Sisäinen dokumentti

Outokumpu 2023b. Pölyämisen estäminen kaivoksella. Outokummun sisäinen dokumentti. Viitattu 22.3.2023.

Outokumpu 2023c. Tuotannonohjaajan haastattelu 24.4.2023

Outokumpu 2023d. Vuosikatsaus 2022. Viitattu 13.4.2023.

<https://mb.cision.com/Main/18751/3725252/1883824.pdf>

Paalumäki, T., Lappalainen P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Kaivosteollisuus ry ja opetushallitus.

SFS-EN 481 2001. Workplace atmospheres. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SGN-Tekniikka 2003. Pölyntorjunta. Tekniikan uutiset 1/2003. Viitattu 5.4.2023

<https://www.sgntekniikka.fi/wp-content/uploads/2015/03/polyn-torjunta.pdf>

STEK 2023. IP-luokitus. Viitattu 5.5.2023. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

The European Network on Silica 2021. Good Practice Guide. Viitattu 6.4.2023.
<https://guide.nepsi.eu/wp-content/uploads/2021/08/NEPSI-Good-Practice-Guide.-revised-0821pdf.pdf>

Työterveyslaitos 2016a. Hengittävän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumuistio. Viitattu 5.2.2023. <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/873>

Työterveyslaitos 2016b. Asbestiriskien hallintaohjeet kaivoksille. Viitattu 26.5.2023. <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/3526>

VTT 2004. Pölyntorjunta. Viitattu 5.4.2023.
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Lechler suutintaulukko (Lechler 2023)

Liite 1 1(2). Suutintaulukko (Lechler 2023)

Low pressure tongue-type nozzles Series 686

**Features:**

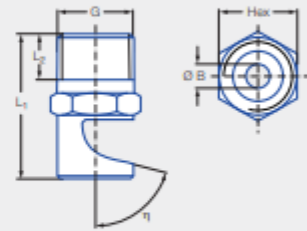
- Sharply delimited, powerful flat fan spray
- Large spray angle
- Non-clogging

Applications:

- Foam control
- Cleaning processes
- Washing processes



Series 686



Type	BSPP BSPT	Code	Dimensions (mm)			Weight [g] Brass
			L ₁	L ₂	Hex	
686.366	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.406	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.686	1/4	CC	29.5	9.7	14	23.0
686.726	1/8	CA	25.0	6.5	11	13.0
686.806	1/4	CC	33.0	9.7	14	24.0
686.886	1/4	CC	35.0	9.7	17	30.0
686.926	3/8	CE	38.5	10.1	17	32.0
686.368	1/8	CA	20.0	6.5	11	13.0
686.408	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.448	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.488	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.488	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.528	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.528	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.568	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.568	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.608	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.608	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.648	1/4	CC	24.0	9.7	14	21.0
686.688	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.688	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.728	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.728	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.768	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.808	1/8	CA	23.0	6.5	11	13.0
686.808	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.828	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.848	1/4	CC	27.0	9.7	14	22.0
686.868	1/4	CC	28.0	9.7	14	23.0
686.888	1/4	CC	28.0	9.7	14	23.0
686.908	1/4	CC	28.0	9.7	14	23.0
686.928	3/8	CE	30.0	10.1	17	32.0
686.968	1/2	CG	37.0	13.2	22	60.0
686.988	3/8	CE	32.0	10.1	17	32.0
686.988	1/2	CG	37.0	13.2	22	60.0

Also suitable for air or saturated steam
(see Page 172).

Liite 1 2(2). Suutintaulukko (Lechler 2023)

Spray angle	η	Ordering no.							Bore diameter B [mm]	V̇ water [l/min]			Spray width B (mm) (at p = 2 bar)	
		Mat. no.			Code					p [bar]				
		16	30	5E						1.0	2.0	5.0	H = 250 (mm)	
		Stainless steel 303	Brass	PVDF	1/8 BSPT	1/4 BSPT	3/8 BSPT	1/2 BSPT						
90°	75°	686.366		●		CA			0.80	0.45	0.63	1.00	450	
		686.406	●	●		CA			1.00	0.71	1.00	1.58	450	
	40°	686.686	●	●			CC			2.40	3.54	5.00	7.91	510
		686.726		●		CA				2.70	4.45	6.30	9.96	530
		686.806	●	●			CC			3.40	7.07	10.00	15.81	540
		686.886	●				CC			4.20	11.31	16.00	25.30	540
		686.926	●					CE		4.70	14.14	20.00	31.62	540
140°	75°	686.368	●	●		CA			0.80	0.45	0.63	1.00	1,250	
		686.408	●	●		CA			1.00	0.71	1.00	1.58	1,260	
		686.448	●	●			CC			1.20	0.88	1.25	1.98	1,260
		686.488	●	●		CA	CC			1.30	1.18	1.60	2.53	1,270
		686.528	●	●		CA	CC			1.50	1.41	2.00	3.16	1,280
		686.568	●	●	● ¹	CA	CC			1.70	1.77	2.50	3.95	1,290
		686.608	●	●		CA	CC			1.90	2.23	3.15	4.98	1,300
		686.648	●	●			CC			2.20	2.83	4.00	6.32	1,320
		686.688	●	●		CA	CC			2.40	3.54	5.00	7.91	1,330
		686.728	●	●		CA	CC			2.70	4.45	6.30	9.96	1,340
		686.768	●	●			CC			3.00	5.66	8.00	12.65	1,350
		686.808	●	●		CA	CC			3.40	7.07	10.00	15.81	1,360
		686.828	●	●			CC			3.60	7.92	11.20	17.71	1,360
		686.848	●	●			CC			3.80	8.84	12.50	19.75	1,360
		686.868	●	●			CC			4.00	9.90	14.00	22.14	1,360
		686.888	●	●			CC			4.20	11.31	16.00	25.30	1,360
		686.908	●	●			CC			4.50	12.73	18.00	28.46	1,360
		686.928	●					CE		4.70	14.14	20.00	31.62	1,360
		686.968		●					CG	5.30	17.68	25.00	39.53	1,360
		686.988	●						CE CG	5.60	19.80	28.00	44.27	1,360

¹ Only available with code CA.