

Ira-Maria Liikala

**MONIMETALLIKAIVOKSEN RIKASTAMORAKENNUKSEN  
SISÄILMAHAASTEET**

**MONIMETALLIKAIVOKSEN RIKASTAMORAKENNUKSEN  
SISÄILMAHAASTEET**

Ira-Maria Liikala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka, insinööri: Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Ira-Maria Liikala

Opinnäytetyön nimi: Monimetallikaivoksen rikastamorakennuksen sisäilmahaasteet

Työn ohjaaja: Tomi Jäävirta

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 33

---

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin Sodankylän Petkulassa sijaitsevan Boliden Kevitsan monimetallikaivoksen rikastamorakennuksen sisäilman haasteisiin. Työn toimeksiantaja on Boliden Kevitsa Mining Oy. Työssä kartoitettiin nykytilanne sekä etsittiin ratkaisuvaihtoehtoja tilanteen parantamiseksi. Ratkaisuvaihtoehtoja laadittiin yhteistyössä Boliden Kevitsan asiantuntijoiden kanssa tarjouspyynnöt, jotka toimitettiin alan yrityksille.

Aiemmin tehdyn kohdeselvityksen ja teollisuuden ilmanvaihdolle asetetun lainsäädännön perusteella kohdeesta selvisi, että nykytilanne rikastamorakennuksessa on haastava. Suurimpia ongelmia kohteessa ovat riittämätön ilmanvaihto, epäpuhtaudet, kosteus-, lämpö- sekä melukuormat.

Ratkaisuiksi havaittuihin ongelma-kohtiin valittiin parhaiten soveltuvia vaihtoehtoja, joita ovat yleisilmanvaihdon parantaminen, suodatinmuutokset, blowereiden uudelleen kanavoiminen ulkoilmaan sekä erillisen äänieristyskoteloinnin rakentaminen. Valittujen ratkaisuvaihtoehtojen pohjalta laskettiin kustannusarvioita muutostöille sekä soveltuvien osien myös takaisinmaksuajalle.

Projektin aikana saatiin hyvä käsitys vallitsevasta tilanteesta sekä pääasiallisista ongelmakohdista. Teollisuuslaitoksen ollessa kyseessä huomattiin, että kaikkia toteutettavia ratkaisuja kustannusten osalta on verrattava laitoksen elinkaareen suhteessa saavutettaviin hyötyihin. Lisäksi todettiin, että myös verraten pienillä investoinneilla voidaan suurissakin laitoksissa saavuttaa merkittäviä hyötyjä niin ylläpitokustannusten, kuin käyttömukavuuden kannalta.

---

Asiasanat: sisäilmahaasteet, syrjäyttävä ilmanvaihto, kaivosteollisuus, suodatinratkaisut.

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services

---

Author: Ira-Maria Liikala

Title of thesis: Ventilation Challenges in Mill Building at Multimetal Mine

Supervisor: Tomi Jäävirta

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 33

---

The subject of this work is Boliden Kevitsa's Mine in Sodankylä, Lapland in Finland. The topic is mill building and its indoor climate challenges. This work will focus on these challenges and aim to find a reasonable resolution to solve them in association with Kevitsa's professionals there will be several offers requests which then will be delivered to businesses in corresponding field. The commissioner of this work is Boliden Kevitsa Mining.

At the beginning of this thesis, ventilation in general in industry will be explored and finding out what requirements corresponding legislation for example in humidity and temperature sets to it. After that the mill building in Kevitsa is explored to discover the main problems and issues to be addressed. In addition, an overview of previous studies is included. At the end of the thesis the most suitable solution proposals are selected, and together with the company experts requests for offers are prepared to be sent to suitable companies.

During the thesis project a good overview of the current situation and the main problem areas was achieved. Solutions were found for these areas, and requests for offers were prepared accordingly. It should be noted that in industrial facilities it is necessary to compare costs and goods available for every option against remaining operating time. This can hold significant impact to decisions made. It is also noted that even with relatively small investments, significant benefits can be achieved in terms of maintenance costs and user friendliness. This project serves effectively both the transition of the worker into the workforce and the commissioner's need for skilled and networked workforce.

---

Keywords: ventilation, mine, mining industry, mill, costs, payback period.

## ALKULAUSE

Haluan kiittää Boliden Kevitsa Mining Oy:tä opinnäytetyöni mahdollistamisesta. Erityisesti haluan kiittää kaikkia opinnäytetyöprosessini valmistumista edistäneitä Boliden Kevitsa Mining Oy:n asiantuntijoita sekä oppilaitoksen osalta opinnäytetyöni ohjaajaa, lehtori Tomi Jäävirtaa. Kiitos myös muille opinnäytetyöprosessiini osallistuneille arvokkaasta tuesta sekä neuvoista työhöni liittyen.

26.05.2023

Ira-Maria Liikala

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	TEOLLISUUDEN ILMANKÄSITTELYTEKNIikka.....	8
2.1	Sisäilmastotavoitteet.....	8
2.2	Lämpöolot .....	9
2.3	Ääniympäristö.....	10
2.4	Epäpuhtauskuormat.....	11
2.5	Suhteellinen kosteus.....	12
2.6	Syrjäyttävä ilmanvaihto .....	13
3	KOHDESELVITYS.....	14
3.1	Pääasialliset ongelmakohdat .....	14
3.1.1	Työskentelyolosuhteet .....	15
3.1.2	Ilmanvaihdon toteutus.....	17
3.2	A-insinöörien ratkaisuehdotukset .....	17
3.2.1	Kerrostava ilmanvaihto .....	17
3.2.2	Epäpuhtauksien suodatus.....	18
3.2.3	Lämpöolot .....	19
3.2.4	Lämmöntalteenotto.....	19
3.2.5	Blowereiden ilmanotto .....	20
3.2.6	Poistohuuvut.....	22
4	RATKAISUEHDOTUKSIEN SOVELTAMINEN.....	24
4.1	Blowereiden äänieritys.....	24
4.2	Yleisilmanvaihto .....	26
4.3	Blowereiden kanavamuutokset .....	27
4.4	Käyttökustannusten pienentäminen .....	27
4.5	Ratkaisuvaihtoehtojen kustannusvertailu .....	28
5	YHTEENVETO .....	31
	LÄHTEET.....	32

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Keski-Lapissa, Sodankylän Petkulassa sijaitsevan Boliden Kevitsan monimetallikaivoksen rikastamon vaahdotussalin sisäilman haasteet. Opinnäytetyön tavoitteena on etsiä ratkaisuja sisäilman parantamiseksi mahdollisilla teknisillä toimenpiteillä sekä pyrkiä löytämään kustannustehokkaat ratkaisut parannustoimenpiteille. Työn toimeksiantaja on Boliden Kevitsa Mining Oy.

Rikastusprosessin käytössä olevan vaahdottamorakennuksen työolosuhteet ovat haastavat lämpö-, kosteus-, melu- ja pölykuorman vuoksi. Ongelmana on myös prosessissa käytettävien teknisten laitteiden aiheuttama melu. Vaahdottamorakennuksen sisäilmaongelmissa keskitytään edellä mainittuihin seikkoihin pääpainona löytää kustannustehokkaimmat sekä työskentelyolosuhteita parhaalla mahdollisella tavalla parantavat ratkaisut.

Työssä perehdytään Boliden Kevitsan vaahdottamorakennuksesta tehtyyn ilmanvaihdon selvitykseen ja siinä annettuihin teknisiin ratkaisuihin ongelmakohtien ratkaisemiseksi. Ilmanvaihdon selvityksestä valitaan potentiaalisimmat ratkaisuvaihtoehdot tarkemmin perehdyttäväksi, ja sen lisäksi vertaillaan niiden toimivuutta, toteutusta ja kustannuksia soveltuvin osin. Lisäksi työssä tarkastellaan teollisuuden ilmanvaihdon vaatimuksia yleisellä tasolla.

## 2 TEOLLISUUDEN ILMANKÄSITTELYTEKNIikka

Teollisuuden ilmkäsittelytekniikka voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat teollisuusilmastointi, prosessi-ilmatekniikka ja turvallisuusilmatekniikka. Nämä osa-alueet muodostavat kokonaisuuden terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmalle teollisuusympäristössä. (1, s. 7.)

Teollisuuden ilmastoinnin perusero tavanomaisiin ilmastointeihin on sen poikkeukselliset mitoittavat tekijät, joita teollisuudessa ovat pääasiassa prosessin ominaisuudet. Prosessin luonteen mukaan mitoittavien tekijöiden vaativuus voi olla huomattavasti tiukempi verrattuna tavanomaisten asuinrakennusten ym. mitoituksiin. Teollisuuden ilmastointi käsitteenä kattaa perinteisten tuotantotilojen lisäksi myös mm. sairaaloiden toimenpidetilat, tunnelit, kaivokset, autohallit, ammattikeittiöt ja voimalaitokset sekä muut vastaavat tilat. (1, s. 6–7.)

### 2.1 Sisäilmastotavoitteet

Sisäilmastotavoitteet teollisuusympäristössä on syytä asettaa niin, että työntekijöille tarjoutuu mahdollisimman terveellinen, turvallinen ja viihtyisä työympäristö.

*”Oleellisempia ilman laadun määrittäviä tekijöitä:*

- *termiset olosuhteet (operatiivinen lämpötila, ilman liikenopeus, suhteellinen kosteus ja mahdollisesti muutosnopeudet ja lämpötilagradientit)*
- *ilman epäpuhtauspitoisuusraja*
- *äänitaso*
- *yksilölliset säätömahdollisuudet*
- *olosuhteet tai kuormitus, jossa tavoitearvot saavutetaan. (2, s. 3.)”*

Yllä mainittujen laatutavoitteiden lisäksi teollisuusympäristössäkin täytyy ottaa huomioon haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien (HTP-arvojen) minimitasot, joiden raja-arvot löytyvät rakentamismääräyskokoelmista. (2, s. 3.)



## 2.2 Lämpöolot

Ilmastointisuunnittelussa tärkein tavoite on sisätilan lämpötila. Huolellisella suunnitellulla ja oikean lämpötilan valinnalla saadaan aikaan terveelliset ja viihtyisät sisätilat. Perusta oikealle lämpötilalle liittyy ihmisen kehon lämpötasapainon säilymiseen. Sisälämpötilan ollessa liian korkea aineenvaihdunnan tuottama lämmön poistuminen ympäristöön estyy ja riskinä on ruumiin lämpötilan nouseminen liian korkeaksi, yli 37°C. (4, s. 1.)

Seppäsen mukaan korkean lämpötilan vaikutukset ilman laatuun ovat moninaiset. Kohonnut lämpötila lisää epäpuhtauspäästöjen lisääntymistä useissa eri materiaaleissa, sekä kohottaa ihmisten hajuemissioita. Lisäksi ilma koetaan yleisesti tunkkaiseksi ja kuivaksi suhteellisen kosteuden las-  
kiessa. (4, s. 11.)

Sen lisäksi, että epäpuhtaudet lisääntyvät kohonneen lämpötilan takia, myös työn kuormittavuus kasvaa, suorituskyky heikkenee ja tapaturmariski kohoaa. Lämpötilan aiheuttamaa kuormittumista esiintyy ilman lämpötilan ylittäessä jatkuvasti 28 °C. Huonojen lämpöolosuhteiden takia kehon elektrolyytti- ja nestetasapaino häiriintyy ja lämpöuupumuksen riski kasvaa. Pitkään jatkuneen kuuma-altistuksen myötä myös lämpöhalvaukselle altistumisen riski moninkertaistuu. Ilmanvaihdon suunnittelussa ja järjestämisessä pitäisi pyrkiä taulukon 1 lämpötila-alueisiin optimaalisen työkyvyn säilyttämiseksi. (1, s. 33–34.)

TAULUKKO 1 Suositeltu lämpötila-alue työn fyysisen raskauden mukaan (1, s. 33.)

<b>Työn fyysinen raskaus</b>	<b>Suositteltu alue (°C)</b>	<b>Suunnitteluarvo (°C)</b>
Kevyt istumatyö (alle 150 W)	21–25	21
Muu kevyt työ (150–300 W)	19–23	20
Keskiraskas työ (300–450 W)	17–21	17
Raskas työ (450-600W)	12–17	15

## 2.3 Ääniympäristö

Teollisuudessa merkittävimpana melunlähteenä toimii ilmatekniikka, vaikka prosessit aiheuttavakin pääasiassa kaikkein haitallisimman melukuorman ympäristöön. Prosessin aiheuttamaa melua voidaan kuitenkin ilmatekniikan avulla vaimentaa jonkin verran, missä tärkeintä on perehtyminen kaikkien laitteiden äänitekniisiin ominaisuuksiin, äänen leviämiseen kanavistossa sekä äänikentän muodostumiseen rakennuksen tiloissa. Melua koskevien määräyksien, sekä standardimenetelmillä mitattujen pääte- ja muiden laitteiden käyttämisellä voidaan saavuttaa tilanne, missä melutasot ovat laskettavissa ja äänieristys sen myötä toteutettavissa onnistuneesti. (1, s. 82–87.)

Ilmateknisten järjestelmien melun- ja ympäristömelunlähteet voivat olla voimakkaasti keskitettyjä kanavistoon ja tiloihin tai myös ympäristöön jakautuvia pienempiä melunlähteitä. Ilmateknisen järjestelmän keskitettynä melunlähteenä voidaan pitää ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton keskuskonetta. Voimakkain melu aiheutuu poisto- ja tuloilmapuhaltimista, kompressoreista ja varavoimakoneista sekä rakennuksen sisätiloissa sekä ympäristössä. (1, s. 82.)

Ääniympäristön ongelmia seurataan, ja niille tulisi aina löytää pysyvä ratkaisu, sillä jatkuvasti meluisasta ääniympäristöstä seuraa pidemmällä aikavälillä työntekijöille esimerkiksi stressireaktioita, kuulovauriota ja muita terveyshaittoja. Kovaääninen ympäristö aiheuttaa lisäksi turvallisuusriskejä, koska se estää merkki- ja varoitusääniä kuulumisen (5, s. 278.). Työpaikoilla vallitsevista ääniolosuhteista ja työnantajan velvollisuuksista niitä kohtaan on mainittu seuraavaa Valtioneuvoston päätöksessä.

*”Valtioneuvoston päätöksen mukaan työnantajan tulee huolehtia siitä, että työssä esiintyvää melua arvioidaan ja tarvittaessa mitataan pätevästi. Työnantajan on huolehdittava siitä, että meluallisuudesta aiheutuvat vaarat ja haitat vähennetään mahdollisimman alhaiselle tasolle, ottaen huomioon tekninen kehitys ja melun lähteeseen kohdistuvien torjuntatoimenpiteiden saatavuus. Tämä koskee myös teollisuuden ilmateknisten järjestelmien aiheuttamaa melua. Jatkuvan melun raja-arvo on 85 desibeliä, impulssimaiselle melulle raja on 140 desibeliä.” (1, s. 86.)*

## 2.4 Epäpuhtauskuormat

Teollisuuden epäpuhtauskuormaa aiheuttavat ihmisten ja rakennusten lisäksi erilaiset prosessit, joissa tapahtuu kemiallisia reaktioita, materiaalin mekaanista käsittelyä, lämpökäsittelyä ja haihtumista avoimista nestepinnoista huoneilmaan (1, s. 37). Valtioneuvoston työturvallisuuslain asetuksessa on määritelty työpaikkojen ilman epäpuhtauksille sitovat raja-arvot. Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien eli HTP-arvojen pitoisuuksien rajat ovat kaikista alhaisimmat turvallisen työskentely-ympäristön takaamiseksi. Ilmassa olevien epäpuhtauksien vaikutus riippuu pitoisuuden lisäksi myös altistusajasta. HTP-arvoja on pääsääntöisesti vain hengittyvälle pölylle, mutta joillekin korkea-altisteisille alveolijakeisille pölyille on olemassa myös omat HTP-arvonsa, esimerkiksi kvartsille. (6.)

Ilman epäpuhtaudet voidaan karkeasti jakaa hiukkasmaisiin ja kaasumaisiin epäpuhtauksiin. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien terveysriskit perustuvat vaarallisen aineen hiukkaskokoon: mitä pienempi on hiukkaskoko, sitä syvemmälle hengityselimiin se päätyy ilman asianmukaista suoja-varustusta. Taulukossa 2 esitettävien hiukkasjakeiden terveysriskit ilmenevät eri tavoin. Hengittyvä pöly eli kotiloissakin esiintyvä tasolle laskeutuva karkea pöly tarttuu nenän kautta hengittäessä enimmäkseen nenän karvoitukseen ja limakalvoille. Keuhkojake nimensä mukaisesti on hiukkaskooltaan niin pientä, että kulkeutuminen keuhkoputkistoon asti mahdollistuu. Hienojakoisin alveolijake puolestaan kulkeutuu syvimmälle, aina keuhkoihin ja keuhkorakkuloihin asti. (7, s. 2.)

TAULUKKO 2 Työhygieniassa käytettävien hiukkasjakeiden leikkausrajat (7, s. 2.)

Fraktio	Leikkausraja D <sub>50</sub>
Hengittyvä pöly (inhalable)	100 µm
Keuhkojake (thoracic)	10 µm
Alveolijake (respirable)	4 µm

Hiukkasten elimistöön kulkeutumisen haitat riippuvat elimistön luontaisesta puolustusmekanismista sekä hiukkasten koko- ja liukoisuusominaisuuksista. Liukoiset hiukkaset, jotka pääsevät kulkeutumaan keuhkorakkuloihin asti, imeytyvät verenkiertoon ja näin ollen vaarantavat elimistön muutkin osat. Hengitysteiden ja keuhkorakkuloiden epiteelisolujen kanssa reagoidessaan liukoiset hiukkaset saattavat aiheuttaa suoria toksisia vaikutuksia. (6, s. 6.)

Teollisuudessa yleisesti epäpuhtaudet pyritään poistamaan paikallisilmastointiratkaisuilla, eli kohdepoistoilla. Ratkaisevana tekijänä suunnittelussa toimii epäpuhtauksien haitallisuus työntekijöille ja tuotantoprosessille. Mikäli epäpuhtauksia ei saada poistettua tilasta, kustannus- tai prosessiteknisistä syistä, pyritään epäpuhtauspitoisuudet laimentamaan yleisilmanvaihdon avulla hyväksyttävälle tasolle. Yleisilmanvaihdon avulla ei kuitenkaan voida epäpuhtauksia poistaa suoraan työkentelypisteiltä, joten suojarustus on otettava huomioon, mikäli kohdepoistaminen ei onnistu. Jos epäpuhtauslähteellä on yhteys lämmönlähteeseen, voidaan suotuisissa olosuhteissa saada aikaan epäpuhtauksien kerrostumista ilmastoitavassa tilassa. Tämä kuitenkin edellyttää oikeaa yleisilmanjakotavan valintaa. (1, s. 37.)

## **2.5 Suhteellinen kosteus**

Ympäristön suhteellinen kosteus vaikuttaa merkittävästi työntekijöiden työskentelyolosuhteisiin. Kuiva ja pölyisä sisäilma aiheuttaa ihon sekä limakalvojen ärtymistä. Kosteaa sisäilmaa yhdistettynä liian lämpimiin lämpöolosuhteisiin aiheuttaa ilman tunkkaisuutta ja epäpuhtauksien ”korostumista” sisäänhengitysilmassa. Lisäksi suhteellisen kosteuden noustessa kehon omat lämmönsäätelymekanismit, kuten hikoilu, heikentyvät ja olo alkaa tuntua tukalalta. Pitkään työskenteleminen korkeissa lämpötiloissa ja suhteellisessa kosteudessa voi aiheuttaa terveysongelmia, kuten kehon kuivumista, lämpöuupumusta ja pahimmassa tapauksessa kuume-kouristuksia. (7.) Sisäilman kosteus myös heikentää vaatteiden lämmöneristävyttä, ja voi aiheuttaa vilustumisia siirryttäessä eri lämpöisistä työskentelytiloista toisiin.

Suhteellisen kosteuden ja epäpuhtauksien välillä on yhteyksiä. Kosteaa ilmaa lisää pintojen ja hiukkasten adheesiota ja sen takia hiukkaset tarttuvat toisiinsa muodostaen isoja nopeasti laskeutuvia ja huonosti pinnoilta irtoavia hiukkasia. Adheesio on kuitenkin nähtävissä vasta 70–80 %:n kosteuksista alkaen. Suhteellisen kosteuden ylittäessä 60–70 % mikrobit alkavat kasvaa ja

lisääntyä. Kosteuden rakennusmateriaalien aiheuttamaa emissiota eli päästöjä, esimerkiksi lastulevyjen formaldehydin haihtumisen on havaittu lisääntyvän selvästi kosteuden noustessa levyissä. Optimaalisesti ajateltuna ilman suhteellinen kosteus tulisi työpaikoilla olla noin 30–50 %. (2, s. 15.)

Suhteellisen kosteuden vaikutus prosessiin voi ilmetä esimerkiksi tiettyjen materiaalien mittojen ja lujuuden muuttumisena tai pintakäsittelyn vaikeutumisena. Suojaamattomiin teräsosiin kosteus aiheuttaa korroosiota jo 50 kosteusprosentin ylittyessä, ja korrosio kiihtyy selvästi kosteuden noustessa yli 70 %:n. Rakenteille kosteus aiheuttaa mm. pintakäsittelyjen irtoamista, rakenteiden rapautumista, lämpöeristeiden kostumista ja sen myötä eristävyys heikentymistä. Hyvin suunniteltu suhteellisen kosteuden hallinta teollisuusympäristössä voi auttaa ennalta ehkäisemään turvallisuusriskejä, ylläpitää laatua ja parantaa työntekijöiden tehokkuutta. (2, s. 16.)

## **2.6 Syrjäyttävä ilmanvaihto**

Yleisesti teollisuudessa ja sen prosesseissa pyritään ilmankäsittely hoitamaan mahdollisimman hygieenisesti, eli niin että ilman epäpuhtaudet eivät pääse sekoittumaan puhtaaseen tuloilmaan tai leijaillemaan oleskeluvyöhykkeelle. Yleisimpiä keinoja epäpuhtauksien hallinnassa ovat kohdepoistot, sekä syrjäyttävä ilmanvaihto.

Kerrostavassa/syrjäyttävässä ilmanvaihdossa toimintaperiaate on huoneilmaa viileämmän tuloilman puhaltaminen matalalla nopeudella (alle 0,5 m/s) huonetilan alaosaan. Tuloilman ollessa lämpötilaltaan huoneilmaa alhaisempi, syrjäyttää se lämpimän "käytetyn" ilman nostaen sen ylöspäin kohti kattoon asennettuja poistoilmapäätelaitteita. Tuloilman nopeuden ja lämpötilan optimaalisella valinnalla saadaan muodostettua tilan alaosaan puhdas vyöhyke. Syrjäyttävän ilmanvaihdon käyttökohteita ovat esimerkiksi teollisuushallit, kuntosalit, koululuokat, vanhainkodit, kirjastot, kokoustilat ja käytävät. Syrjäyttävän ilmanvaihdon haasteellisuus ilmenee lämpötilaerojen merkityksellä, sillä mikäli lämpötilaeroa ei ole, ei syrjäytymistä tapahdu. Suunnitteluvaiheessa huomioon tulee ottaa myös lämpökuormat ja paine-erot, jotta toimivuus saataisiin varmistettua. (12.)

### 3 KOHDESELVITYS

Tässä luvussa tarkastellaan kohteen ilmanvaihdon ongelmakohtia. Tarkastelu pohjautuu pääosin A-insinöörien vuonna 2020 tekemään ilmanvaihdon selvitykseen. Tarkastelussa käsitellään tarkemmin selvityksessä ilmenneitä laadullisia ynnä teknisiä ilmanvaihdon ongelmakohtia.

Kohteen rikastamon vaahdotussalin rakennusvuosi on 2010. Sen pohjapinta-ala on noin 10 800 brm<sup>2</sup> ja kokonaistilavuus noin 332 000 brm<sup>3</sup> pois lukien kemikaalivarasto, vedenpuhdistamo, sähkö- ja laboratoriotilat sekä toimisto-osa. Tila on korkeimmalta kohdaltaan 35 m korkea.

Vaahdotussalissa sijaitsee yhteensä 72 kappaletta vaahdotuskennoja, joista 25 kappaletta palvelee esivaahdotusprosessia ja 47 kappaletta kertausvaahdotusprosessia. Esivaahdotuskennojen tilavuus on yhteensä n. 6270 m<sup>3</sup> ja kertausvaahdotuskennojen tilavuus noin 2080 m<sup>3</sup>. Vaahdotuskennot ovat yläpuolelta avoimia sekä niiltä lähtevät lietteen siirtokourut osittain avokouruja. (3.)

Vaahdotusprosessissa tarvittavia blowereita on yhteensä kuusi kappaletta, joista kolme palvelee esivaahdotusta ja kolme kertausvaahdotusta. Blowereiden ilmamäärät esivaahdotuksen aikana ovat suurimmillaan noin 12,4 m<sup>3</sup>/s (44690 m<sup>3</sup>/h) ja keskimäärin noin 7,7 m<sup>3</sup>/s (27672 m<sup>3</sup>/h), kertausvaahdotuksen ilmamäärien ollessa suurimmillaan noin 6,2 m<sup>3</sup>/s (22293 m<sup>3</sup>/h) ja keskimäärin noin 4 m<sup>3</sup>/s (14304 m<sup>3</sup>/h). (3.)

#### 3.1 Pääasialliset ongelmakohdat

Ilmanvaihdon selvityksen mukaan kaivoksen rikastamon vaahdotussalissa suurimmaksi ongelmaksi työntekijöiden viihtyvyyden ja ilmanvaihdon laadun kannalta ovat muodostuneet epäpuhtaudet, kosteus, lämpötila ja melutaso. Näiden tekijöiden muodostamat ongelmat vaikuttavat negatiivisesti työskentelyolosuhteisiin erityisesti vaahdotuskennojen yläpuolisilla työtasoilla.

Kun rakennuksessa suoritetaan kaivosteollisuuden prosesseja, aiheutuu siellä olevista koneista, kemikaaleista ynnä muista prosessin kannalta välttämättömistä tarvikkeista suuret epäpuhtaus-, lämpö-, kosteus- ja melukuormat. Prosessissa käytettävien kemikaalien takia vaahdotussalissa työskentelevillä täytyy olla raskas hengityssuojain ja muu suojarustus puettuna ylle koko ajan. (3.) Poikkeukselliset olosuhteet ovat saaneet aikaan haasteita rakennuksen sisäilmassa ja

sen laadussa. Vaahdotussalin poikkeuksellisuutta ilmentää esimerkiksi tilan käyttö lähestulkoon kellon ympäri vuoden jokaisena päivänä, pois lukien huoltoseisakit ja laiterikkoontumiset. Kohteessa on lukuisia ongelmia, joita tarkastellaan lähemmin tässä luvussa.

### 3.1.1 Työskentelyolosuhteet

Tarkastelun kohteena olevassa rikastamon vaahdotussalissa merkittävimmät ääniongelmat muodostuvat käyttäjiltä kerättyjen arvioiden mukaan vaahdotussalissa sijaitsevista blowereista. Kuvassa 1 on bloweri eli matalapainepuhallin, jota käytetään rikastusprosessissa kennojen vaahdotukseen. Blowereiden puhaltimet ja ylipaineventtiilit aiheuttavat äänihaittaa, jonka lisäksi blowereiden ilmakeyttö sekoittaa yleisilmanvaihtoa ja liikuttaa sisätiloissa leijuvaa pölyä. Blowerit ottavat tuloilman suoraan vaahdotussalin sisäilmasta ja purkavat ylipaineventtiilien kautta säännöllisesti ilmaa suoraan saliin.

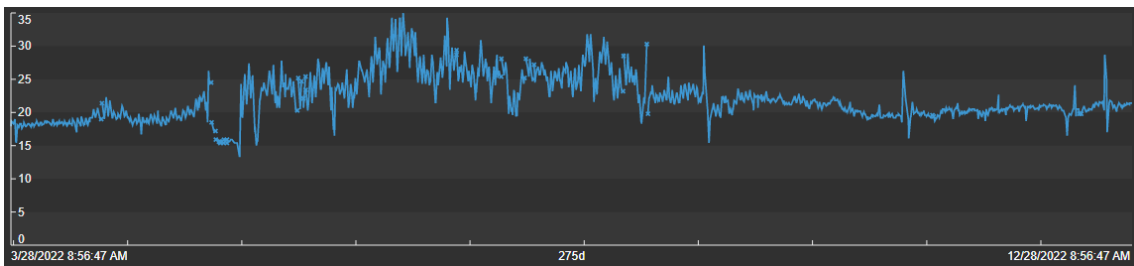


*KUVA 1 Bloweri eli matalapainepuhallin*

Blowereiden sekoittaessa yleisilmanvaihtoa on havaittavissa myös muita ilmanvaihtoon liittyviä ongelmia. Ilmanvaihdon mitoituksessa on havaittu puutteita, sillä esimerkiksi talvella yleisilmanvaihtoa ei voi pitää täydellä tehon ilmamäärällä, koska ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit vaativat ns. pakkaspudotusta ilmamäärille. Etenkin kesäaikaan vaahdotussalin viilennyksessä on lisäksi

käytetty hallin ulkoseinän tuloilmapuhaltimia, vapaita ilmanottoaukkoja, yläosassa sijaitsevia savunpoistopuhaltimia ja alaosan ulko-ovia ilmakierron parantamiseksi. Kyseisten viilennyskeinojen käyttäminen aiheuttaa yleisilmanvaihdolle häiriöitä. Ilmanvaihdon selvityksestä käy ilmi, että kaikista edellä mainituista toimenpiteistä huolimatta Boliden Kevitsan rikastamon vaahdotussalissa työskentelevät käyttäjät kokevat lämpö- ja kosteusolosuhteet hankaliksi ja epämiellyttäväiksi, sillä salissa työskennellessä tulee käyttää raskasta hengityssuojainta, sekä suojavarusteita ja -vaate-tusta.

Kuvassa 2 on esitetty vaahdotussalin alimmasta kerroksesta mitattuja keskimääräisiä lämpötiloja blowereiden välittömässä läheisyydessä ajanjaksolla 28.3–28.12.2022. Siitä huolimatta, että lämpötilan kokemisessa on yksilöllisiä eroja, jotka aiheutuvat ihmisten aineenvaihdunnan ja fysiologisten tekijöiden eroista, on selvää, että vaahdotussalin lämpöolot ovat toisinaan sangen korkeat. Rikastamon vaahdotussalin ylimmillä työskentelytasoilla lämpötilat voivat nousta jopa yli 40 °C:een. (3.)



*KUVA 2 Rikastamon vaahdotussalin sisäilman lämpötila 28.3- 28.12.2022. (11.)*

Kylmempinä vuodenaikoina tilan tuulettaminen osittain ulko-ovia auki pitämällä johtaa ongelmiin, sillä alaosat kylmenevät ja pinnoille kondensoituu vettä. Lisäksi tilan ilmanvaihto on toteutettu riittämättömillä ratkaisuilla, minkä takia vaihtoehtoisia ilmanpoistoreittejä (savuluukut, ulko-ovet) käytetään kompensoimaan ilmanvaihdon puutteellisuutta. Tämä poistaa mahdollisuuden suodattaa poistoilman epäpuhtauksia asiaan kuuluvalla tavalla, mikä aiheuttaa ympäristöongelmia. Prosessin tuottaman kosteuden lisäksi tilan kosteutta kasvattaa vaahdotussalin kunnossapitotyöt, jotka muodostuvat mm. päivittäisistä lattiapintojen pesuista vedellä. (3.) Johtopäätöksenä, ilmanvaihdon selvityksessä mainittujen ongelmien pohjalta ja ilmanvaihtokertoimen ollessa pieni, on selvää, että ilmanvaihto sellaisenaan on riittämätön tällaisiin työskentelyolosuhteisiin.



### **3.1.2 Ilmanvaihdon toteutus**

Tuloilmakanavisto on vaahdotussalissa toteutettu lattianrajaan asennetuilla syrjäyttävillä tuloilmalaitteilla. Poistoilmalaitteina toimivat konehuoneen alapuolella, hallin korkeimmassa osassa katon rajassa olevat imukartiot. Ilmanvaihtokoneet on varustettu nestekiertoisilla lämmöntalteenottojärjestelmillä ja nestekiertoisilla tuloilmapattereilla. Ilmanvaihtokoneista löytyy myös kiertoilmapellit ja -kanavisto, jonka avulla sisäilmaa kierrätetään lämmityskaudella raitisilmasuodattimien etupuolelle.

Ilmanvaihtokoneiden suodattimet ovat jatkuvasti likaisia ja kostuneita, mikä johtuu ilman hallitsemattomasta kosteudesta sekä prosessin aiheuttamasta epäpuhtauskuormasta. Tämä johtaa suodattimien vaihtovälin huomattavaan lyhenemiseen. Suodattimien tiheästä vaihtovälistä huolimatta ilmanvaihtokoneiden patterit likaantuvat ja ilmamäärät laskevat merkittävästi. Patterien jatkuva puhdistaminen aiheuttaa lisää työkuormaa sen ollessa haastava ja aikaa vievä toimenpide, lisäksi olosuhteen vaatima suojarustus kuormittaa puhdistavaa henkilöstöä.

Tilan epäpuhtauskuorman takia myös ilmanvaihdon kanaviston likaantuminen on suurta. Kanavien nuohoamisella voitaisiinkin saavuttaa huomattavaa ilmanvaihdon tehostumista, sillä kanavia ei ole puhdistettu useaan vuoteen. Ilmanvaihtoselvityksestä käy myös ilmi, että osa syrjäyttävistä tuloilmalaitteista on vaurioituneita. (3.)

## **3.2 A-insinöörien ratkaisuehdotukset**

A-insinöörien tuottamassa ilmanvaihdon selvityksessä on käsitelty kattavasti vaahdotussalissa ilmeneviä ongelmia sekä erinäisiä ratkaisuja niiden korjaamiseksi. Tässä luvussa käydään läpi ratkaisuja, jotka tilaajan on mahdollista toteuttaa.

### **3.2.1 Kerrostava ilmanvaihto**

Tilan epäpuhtauksien hallintaan ehdotetaan osana ratkaisua kerrostavaa ilmavaihtoa, joka tässä tapauksessa edellyttäisi kolmea (30 m<sup>3</sup>/s) uutta ilmanvaihtokonetta nykyisen ilmanvaihdon rinnalle, jotta ilmanvaihtoluku saataisiin vastaamaan tilan tarpeita. Tämänhetkinen ilmanvaihtoluku pelkillä tulo- ja poistoilmavirroilla on vain noin 0,65 ja tilan todellisuudessa vaatima ilmanvaihtoluku olisi

noin 2,5–3, jotta ilman kierrättäminen vaikuttaisi epäpuhtauksiin. Kyseisen ratkaisun toteutumattomuus johtunee pääosin haastavan tilan vaatimasta suunnittelusta sekä sen tarvitsemasta simuloinnista, minkä takia konkreettista ehdotusta tarvittavista investoinneista ei ole saatettu tilaajan tietoon. (3.)

### 3.2.2 Epäpuhtauksien suodatus

Epäpuhtauksien suodattaminen nykyisessä ilmanvaihrossa käytettävillä pussisuodattimilla ei ole kustannustehokasta, sillä vaihtoväli on tiheä ja vaihto työtehtävänä haastava, muun muassa vaadittavien suojavarusteiden vuoksi. Tästä muodostuu ylimääräisiä kustannuksia, esimerkiksi suodattimien materiaalikuluna sekä lisääntyneinä työtunteina. Vaihtoväliä on mahdollista pidentää merkittävästi erilaisten, paremmin tarkoitukseen soveltuvien suodattimien valitsemisella ja esisuodatuksen lisäämisellä sekä poisto- että kiertoilmakanavaan. Suodattimista kustannustehokkain, ynnä uudelleenkäytettävyytensä puolesta suositeltavin ratkaisu olisi metalliverkkosuodatin. Metalliverkkosuodattimet vastaavat toimintaperiaatteeltaan liesituulettimissakin käytettäviä metallisia rasvasuodattimia, mikä on esitelty kuvassa 3. (3.)



*KUVA 3 Metalliverkkosuodatin, havainnekuva rasvasuodattimesta (9.)*

Tällä hetkellä käytössä olevat kertakäyttöiset pussisuodattimet kostuvat nopeasti ilman sisältämän suuren kosteuden vuoksi. Lisäksi käytetyt suodattimet ovat ongelmajätettä johtuen rikastushallin ilmassa olevista epäpuhtauksista ja niiden hävittäminen vaatii ylimääräistä työtä. Pussisuodattimien vaihtaminen metalliverkkosuodattimiin tapahtuu yleensä varsin vaivattomasti, mikäli ilmanvaihtokoneissa on tyhjiä ”välisosia”, eivätkä ne sen takia lisää kustannuksia ratkaisussa. (3.) Suodattimien vaihtaminen metalliverkkosuodattimiin vaatii kuitenkin ilmanvaihdon uudelleenmitoittamista metalliverkkosuodattimien lisätessä painehäviötä kanavistoon. Muiden ilmanvaihtoon tehtävien muutoksien ohessa tämä ei kuitenkaan nostaisi kustannuksia merkittävästi.

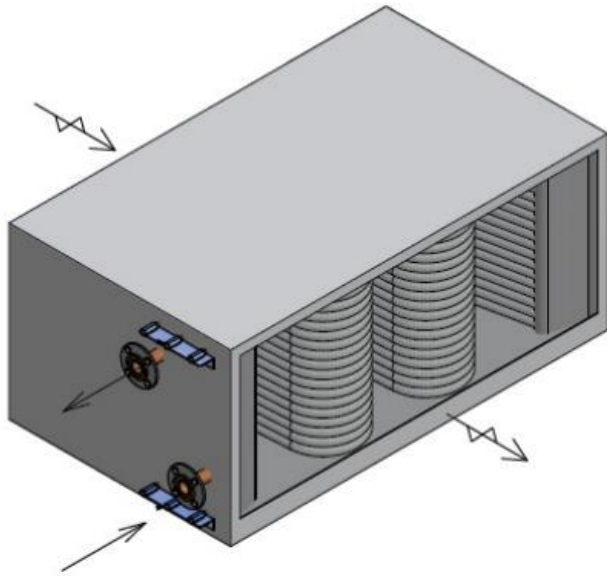
Tehokkain ja huoltovapain ratkaisu likaisen ilman esisuodattamiseen olisi sähkösuodatin, mikä on kustannuksiltaan kuitenkin muita ratkaisuja huomattavasti kalliimpi. Sähkösuodatin ei vaikuta kanaviston painehäviöihin, mutta sähkösuodattimien asentaminen vaatisi laajoja kanavointimuutoksia, sekä aiheuttaisi mahdollisia tilaongelmia laitteiston sijoittamisessa. (3.)

### **3.2.3 Lämpöolot**

Ajoittain liian korkeisiin lämpöoloihin ratkaisuksi ehdotetaan tilakohtaista jäähdytystä, joka olisikin helppo ratkaisu lämpötilan hallintaan. Tilan suuren koon ja mittavan lämpökuorman vuoksi ratkaisu yksinään olisi kuitenkin merkittävän kallis ja vaatisi sekä kustannuslaskentaa että arviointia kustannustehokkuudesta. Tällä ratkaisulla yhdessä oikeiden suodatusvalintojen sekä ilmanvaihdon uudelleenmitoituksella päästäisiin eroon myös sisäilman kosteus- ja likaisuusongelmasta, mikäli jäähdytys toteutettaisiin ehdotuksen mukaan kiertoilmakoneilla. Samalla voitaisiin hyödyntää poistoilman hukkalämpöä lämmöntalteenoton kautta. Tilakohtaisen jäähdytyksen toteuttaminen olisi helpposti ratkaistavissa ulos asennettavilla kiertoilmakoneilla, joten tilanpuute ei ole esteenä toteutukselle. Toisaalta haasteena ratkaisulle on jäähdytetyn ilman puhaltaminen takaisin vaahdotussaliin ilman pölyämisen lisääntymistä. (3.)

### **3.2.4 Lämmöntalteenotto**

Lämmöntalteenotossa ilmenevän vesi/glykolikiertoisen lamellipatterin tukkeutumisen ratkaisuksi on ehdotettu vaihdettavaksi neulapatteria, joka on pestävän lämpöpintansa kannalta huomattavasti toimivampi ratkaisu kohteen haastaviin olosuhteisiin. Kuvassa 4 on esitelty neulapatteri, jonka toimintaperiaate on samanlainen sekä talteenotto- että luovutuspuolella.



KUVA 4 Retermia neulalämmönsiirrin (10, s. 11)

Lämmöntalteenotossa neulapatteri on yleinen poistoilmapuhaltimissa käytettävä ratkaisu yhdessä huippuimurien kanssa, muun muassa esisuodatusominaisuuden vuoksi. Neulapatterin esisuodatusominaisuudet eivät kuitenkaan yllä metalliverkko- tai varsinkaan sähkösuodattimien tasolle mutta suodattavat silti riittävässä määrin karkeimmat partikkelit poistoilmasta. Kohteen suurten ilmamäärien  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  sekä poisto- että tuloilmaa takia kanava-asenteiset neulapatterit tai niistä koottavat moduulirakenteiset ilmanottoseinät olisivat järkevin kokonaisuus. Yli  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmamäärillä moduulirakenteiset neulapatteriratkaisut ovat myös asennettavuuden ja korjattavuuden kannalta toimivin ratkaisu. Neulapattereissa painehäviö ei muutu merkittävästi, mikäli puhtaanapito pysyy normaalin kunnossapidon rajoissa. Ratkaisuksi ehdotetut neulapatterit ovat vaihdettavissa myös olemissa oleviin ilmanvaihtokoneisiin lamellipatterien tilalle, kunhan niiden tilantarve huomioidaan. Neulapatterit vaativat enemmän huoltotilaa sekä ovat kooltaan hieman lamellipattereita suurempia. (3.)

### 3.2.5 Blowereiden ilmanotto

Blowerit eli korkeapainepuhaltimet ottavat korvausilman suoraan vaahdotussalin sisäilmasta ja purkavat ylipaineventtiilien kautta säännöllisesti ilmaa suoraan saliin, minkä takia ne sekoittavat salin yleisilmanvaihtoa. Lisäksi sijaitessaan samassa avoimessa tilassa aiheuttavat ne suurta äänihaittaa. Kuvassa 5 on blowereiden ilmanottoaukkoja pussisuodattimineen.



*KUVA 5 Blowerin ilmanottoaukot*

A-insinöörien ilmanvaihdonselvityksessä ongelmille on ehdotettu ratkaisuksi blowereiden ilmanoton sekä ylipaineilman purun kääntämistä ulkoilmaan sekä blowereille äänieristerakenteen tekemistä vaahdotamon sisällä. Kyseinen ratkaisu aiheuttaisi kuitenkin todennäköisesti vaahdotussalin tuloilmalle esilämmitystarpeen, sillä blowereiden ylipaineventtiilien kautta vaahdotussaliin poistuvan ilman puuttuessa on tilassa yksi lämmönlähde vähemmän. Esilämmityksen toteuttaminen olisi kuitenkin kohtalaisen helppo ratkaisu jo aiemmin mainittujen neulapattereiden avulla. (3.) Mikäli blowereiden aiheuttamat ongelmat ratkaistaisiin ehdotetulla tavalla, päästäisiin samalla eroon yleisilmanvaihdon sekoittumisen ongelmista ja suurimmista äänihaitoista. Ratkaisun toteuttaminen vaatisi kuitenkin tuloilman esilämmityksen lisäksi myös tarkastelua ilmavirtojen uudelleenmitoittamista varten.

Tarvittava äänieristysrakenne laitteiden ympärille olisi kuitenkin helposti rakennettavissa, sillä kuten kuvasta 6 selviää, blowerit on sijoitettu yhtenevälle alueelle teräsrakenteiden väliin, joiden hyödyntämismahdollisuus äänieristyskoteloinnissa olisi syytä tutkia. Ratkaisuun on lisäksi helposti

lisättävissä lämmöntalteenotto myös poistopuhaltimille, joten ratkaisu itsessään olisi myös verrattain energiatehokas. Kyseinen ratkaisu vaatisi kuitenkin hieman uudelleenkanavoiteja blowereiden osalta, johon tarvittavista suunnitelmista tulisi tilaajan neuvotella erikseen.



*KUVA 6 Blowerien asettelu teräsrakenteiden välissä*

### **3.2.6 Poistohuuvat**

Kohteen riittämättömän ilmanvaihdon ja hallitsemattomien sisäilman epäpuhtaus- ja melukuormien takia kattavimmin ongelman ratkaisisi vaahdotuskennojen yläpuolelle asennettavat poistohuuvat. Poistohuuvien lisäämisen myötä saataisiin merkittävä ratkaisu lämmön, kosteuden ja epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi vaahdotussalissa. Ratkaisu itsessään olisi ollut helppo toteuttaa rakennusvaiheessa, mutta jälkepäin asennettuna poistohuuvien kanssa muodostuvat ongelmaksi suuret kustannukset ja tilanpuute. Vaahdotussalissa, välittömästi vaahdotuskennojen yläpuolella,

tarvittavien huoltoväylien ja sekoittimien moottorien tilantarpeen vuoksi on poistohuuvien asentaminen mahdotonta. Poistohuuvien asentamisesta käydyt keskustelut Boliden Kevitsa Mining Oy:n asiantuntijoiden kanssa tukevat myös ajatusta ratkaisun toimimattomuudesta.

## 4 RATKAISUEHDOTUKSIEN SOVELTAMINEN

Tutkimustyön sekä A-insinöörien selvityksen pohjalta potentiaalisimmista ratkaisumalleista muodostetaan neljä eri osaa, joista jokaisen voi toteuttaa erikseen. Näillä neljällä kokonaisuudella saatavuttavaa hyötyä ja toisaalta niiden vaatimia kustannuksia arvioidaan yhteistyössä Boliden Kevitsan asiantuntijoiden kanssa. Kustannuksissa huomioidaan realistiset asennus- ja rahtikulut. Lisäksi on huomioitava, että kokonaisilmanvaihdon muutosten vaatimat simuloinnit sekä rakenteiden kantavuuden selvitys kyseisten ratkaisujen osalta on toteutettava tilaajan toimesta.

### 4.1 Blowereiden äänieritys

Tilan erään suurimman ongelman ollessa jatkuvasti korkea melutaso, joka johtuu pääosin blowereiden tuottamasta melusta niiden jatkuvasti käydessä, saataisiin se hallintaan äänieristämällä puhaltimet muusta hallitilasta. Nykyisellään blowerit ovat eristetty vain kevyehkösti laitekohtaisin suojin kahdella erilaisella tekniikalla kuvassa 7 esivaahdotusta palvelevien blowereiden äänieristyskotelointi.

ITEM	QTY	DESCRIPTION	WEIGHT (kg)
T1	2	LOW TRANSVERSAL BEAM - FRONT SIDE	26,1
T2	1	HIGHT TRANSVERSAL BEAM - REAR SIDE	25,9
T3	1	HIGHT TRANSVERSAL BEAM - FRONT SIDE	25,9
T4	1	VERTICAL BEAM - DOOR SIDE	16,2
T5	2	VERTICAL BEAM	16,2
T6	1	LOW LATERAL BEAM	16,2
T7	1	HIGHT LATERAL BEAM	16,2
T8	1	RIGHT LATERAL BEAM - COUPLING SIDE	16,2
T9	1	INTERMEDIATE LATERAL BEAM - COUPLING SIDE	15,8
T10	1	LOW LATERAL BEAM - COUPLING SIDE	15,8
T11	1	INTERMEDIATE VERTICAL BEAM - COUPLING SIDE	16
T12	1	VERTICAL BEAM - COUPLING SIDE	16,2
V1	38	SCREW C10 x 16	250 kg

ITEM	QTY	DESCRIPTION	WEIGHT (kg)
1	1	3000 x 2300 x 2300 ENCLOSURE FRAME	290
2	2	2000 x 1750 x 80 FRONT AND LATERAL PANEL	58,1
3	8	2000 x 800 x 80 FRONT / REAR AND LATERAL PANEL	51,9
4	1	2000 x 800 x 80 FRONT PANEL	51,9
5	1	2000 x 1070 x 80 LATERAL PANEL - COUPLING SIDE	51,9
6	1	2000 x 1070 x 80 DOOR	51,9
7	1	2000 x 1750 x 80 SHEET AIR REAR PANEL	56,4
8	2	2200 x 600 x 80 TOP PANEL	53,8
9	1	2200 x 800 x 80 SULLY AIR TOP PANEL	43,9
10	1	2200 x 800 x 80 INLET / FAN TOP PANEL	54,8
11	1	1070 x 670 x 80 LATERAL PANEL - COUPLING RIGHT SIDE	48,3
12	1	1070 x 670 x 80 LATERAL PANEL - COUPLING LEFT SIDE	48,3
13	1	670 x 800 x 80 LATERAL PANEL - COUPLING LOW SIDE	6,2
14	1	800 x 300 x 80 LATERAL PANEL - COUPLING RIGHT SIDE	11,9
15	1	420 x 300 x 80 LATERAL PANEL - BASE LEFT SIDE	5,2
16	1	420 x 300 x 80 LATERAL PANEL - BASE RIGHT SIDE	6,2
17	1	2000 x 80 x 2 DOOR PLATE	2,07
18	5	2200 x 60 x 2 TOP PANEL PLATE	2,07
19	16	2000 x 60 x 2 FRONT / REAR AND LATERAL PANEL PLATE	2,06
20	2	1070 x 60 x 2 LATERAL PANEL PLATE - COUPLING LEFT SIDE	1,83
21	2	1070 x 60 x 2 LATERAL PANEL PLATE - COUPLING RIGHT SIDE	1,83
22	2	800 x 30 x 2 INLET CLOSING PLATE	1,75
23	2	400 x 30 x 2 INLET CLOSING PLATE	2,05
24	2	80 x 80 x 2 HINGE FIXATION SPACER	0,8
25	1	800 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON BEAM ITEM 19	0,83
26	2	1070 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON PANELS ITEM 11 AND 12	0,79
27	2	200 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON PANELS ITEM 10 AND 11	0,77
28	2	300 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON PANELS ITEM 9 AND 10	0,73
29	2	1070 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON PANELS ITEM 8 AND 9	0,79
30	1	1070 x 25 x 3 GASKET FIXATION PLATE ON PANELS ITEM 16	0,86
31	1	1070 x 80 x 2 CABLES PLATE	0,71
32	1	800 x 400 x 400 OUTLET AIR BAFFLE	30,8
33	1	800 x 400 x 400 SHEET AIR BAFFLE	30,5

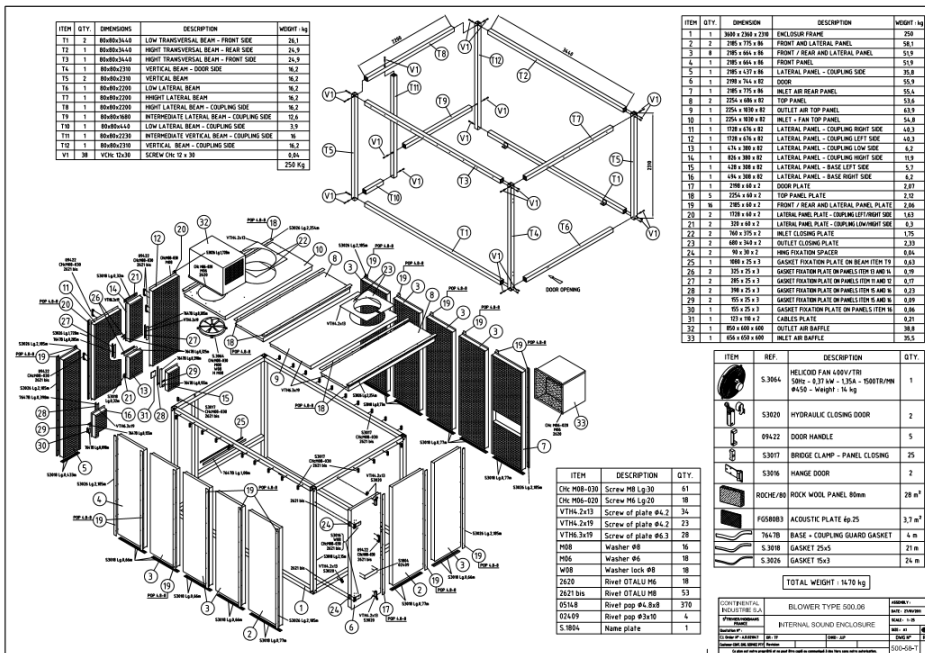
ITEM	REF.	DESCRIPTION	QTY.
S.3064		HELIX® FAN LAMP / FAN S80 - 6,37 kW - L354 - 1500 RPM #450 - Weight : 16 kg	1
S.3020		HYDRAULIC CLOSING DOOR	2
Ø1422		DOOR HANDLE	5
S.3071		BRIDGE CLAMP - PANEL CLOSING	25
S.3036		HANGE DOOR	2
ROCHE®		ROCK WOOD PANEL 80mm	28 m³
FGS883		ACOUSTIC TILE 4p 25	3,7 m²
16478		BASE - COUPLING GUARD GASKET	4 m
S.3038		GASKET 25x5	21 m
S.3036		GASKET 15x3	26 m
<b>TOTAL WEIGHT : 1470 kg</b>			

ITEM	DESCRIPTION	QTY.
CHL M8-030	Screw M8 Lg.30	61
CHL M6-020	Screw M6 Lg.20	18
VTH6.2x10	Screw of plate Ø6.2	34
VTH6.2x10	Screw of plate Ø6.2	23
VTH6.3x19	Screw of plate Ø6.3	28
M08	Washer Ø8	16
M06	Washer Ø6	18
M08	Washer lock Ø8	18
2620	Rivet ØTALU M6	18
2627 bis	Rivet ØTALU M8	53
Ø2148	Rivet pop Ø4.8x8	318
Ø2149	Rivet pop Ø3x10	4
S.1804	Name plate	1

KUVA 7 Blowerit 01-03 (11.)

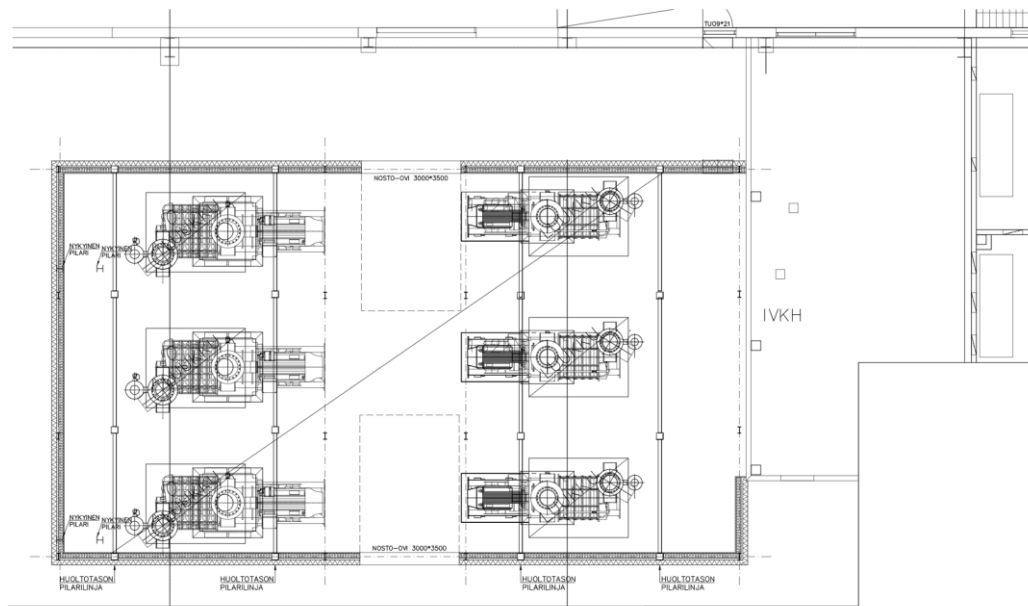


Kuvassa 8 kertausvaahdotuksessa käytettävien blowereiden äänieristyskotelointi, joka poikkeaa hieman esivaahdotuksessa käytettävien blowereiden koteloinneista, sillä koneet ovat eri tehoisia.



KUVA 8 Blowerit 04- 06 (11.)

Nykyisillä äänieristysratkaisulla moottorit jäävät kokonaan eristyksen ulkopuolelle ja vaimennus on riittämätön. Paras ratkaisu tilanteeseen blowereiden sijoittelun huomioon ottaen olisi rakentaa kuvan 9 mukainen yhtenäinen eristystila kaikille puhaltimille. Äänieristeiltä ja rakenteilta vaadittavien ominaisuuksien vuoksi muodostuu kokonaisuudesta jokseenkin raskas, tämä osaltaan nostaa kyseisen toteutuksen hintaa. Lisäksi suurien kemiallisten altisteiden vuoksi rakenteiden suunnittelu ja toteutuskustannukset myös kohoavat. Boliden Kevitsan asiantuntijoiden lausuntojen pohjalta blowereiden äänieristys lisääminen kuvassa 9 esiintyvän piirustuksen mukaisesti kustantaisi noin 500 000 €.



KUVA 8 Blowereiden ympärille rakennettava äänieristystila (11.)

## 4.2 Yleisilmanvaihto

Haastavan ympäristön erityispiirteiden asettamien vaateiden vuoksi kohteen ratkaisuvaihtoehtojen toteutus vaatii merkittävästi lisätyötä. Kerrostavaa ilmanvaihtoa harkitessa ilmastoinnin toiminnan, ilmanjaon ja lämmönlähteiden tarkka simuloiminen olisi välttämätöntä suunnittelussa, jotta lisättävien päätelaitteiden ja ilmavirtauksien kohdistukset osattaisiin määrittää kohteeseen sopiviksi. Haastavuudestaan huolimatta kerrostavan ilmanvaihdon tuomat muutokset vaahdotussalin sisäilmahaasteisiin tarjoavat suuren potentiaalisen hyödyn ja mahdollistavat kustannustehokkaan suunnitelman sen toteuttamiselle.

Ilmanvaihtokoneisiin tehtävien muutoksien ja uusien lisättävien koneiden osalta käydään keskustelua lukuisien toimittajien kanssa ja pohditaan järkeviä, nykyaikaisia ja energiatehokkaita ratkaisuja kohteeseen. Alustavien kustannusarvioiden pohjalta voidaan yhteistyössä tilaajan kanssa pyytää toimittajia kohteeseen tarkempia suunnitelmia varten. Olemassa oleviin ilmanvaihtokoneisiin päivitetään nykyaikainen sekä tarkoituksenmukainen suodatustekniikka ja lisäksi tarvittavat uudet ilmanvaihtokoneet varustetaan niin, että ne palvelevat kaivosympäristössä mahdollisimman pitkään, helpohuoltoisesti ja energiatehokkaasti. Pelkästään yhden ilmanvaihtokoneen, sekä esilämmitykseen tarvittavan neulapatteriseinämän lisääminen alustavien tarjouksien pohjalta tulisi

maksamaan noin 237 543 €. Kohteen suurien ilmamäärien vuoksi myös ilmanvaihtokanavien uudelleen kanavointi kustannuksiltaan tulisi nousemaan suureksi, sillä haponkestävästä teräksestä tehty D1250 kierresaumakanava maksaa 1085,39 €/m.

### **4.3 Blowereiden kanavamuutokset**

Yhtenä ratkaisuvaihtoehtona voidaan pitää blowereiden uudelleen kanavoimista ulkoilmaan. Tällä ratkaisulla saataisiin yleisilmanvaihdon sekoittuminen kuriin sekä lämpötilaan pientä laskua kuuman ylipaineilman mennessä ulkoilmaan sisätilojen sijaan. Ylipaineilmanpurkuun yhdistettäessä lämmöntalteenotolla varustettu poistoilmapuhallin saataisiin aikaan myös energiatehokkuutta tukeva ratkaisu.

Blowereiden kanavointimuutoksista aiheutuvat materiaalikustannukset kohoaisivat arviolta noin 200 000 €:een. Kanavointimuutoksia varten tarvittaisiin blowereiden ilmanotolle haponkestävästä teräksestä (HST) valmistettua D630 kanavaa arviolta 6 X 32 m, jonka kustannukset olisivat noin 135 187, 2 € metrihinnan ollessa 704,10 €/m. Ylipaineilmanpurkuun tarvitaan D400 HST kanavaa arviolta 6 X 30 m, kustannuksiltaan kanavakokonaisuus olisi noin 43 704 € metrihinnan ollessa 242,80 €/m. Toteutuksen todellisiin kustannuksiin tulee lisäksi vielä muita asennukseen liittyviä tarvikekuluja.

### **4.4 Käyttökustannusten pienentäminen**

Blowereiden ilmanotossa käytettävien suodattimien korkeiden kustannusten vuoksi olisi kannattavaa lisätä metalliverkkosuodattimet esisuodattimiksi ennen varsinaista suodatusta. Suodatustarpeita olisi järkevää tutkia tarkemmin, sillä on mahdollista, että blowereiden suodatus olisi riittävä pelkkiä metalliverkkosuodattimia käyttäen. Suodatinratkaisujen muuttamisen myötä materiaali-, jäte- ja asennuskustannuksissa olisi mahdollista saavuttaa huomattavaa säästöä. Tämänhetkisillä suodatusratkaisuilla blowereiden kuukausittaiset suodatinkustannukset sisältäen vanhojen suodattimien hävittämisen ongelmajätteenä ovat noin 1150 €, lisäksi suodatinvaihtoihin tulee työosuudesta kustannuksia noin 400 €.

Myös yleisilmanvaihdon nykyaikaisempien ja paremmin valittujen suodatustekniikoiden merkitys käyttökustannuksiin on huomattava, nykyiset pussisuodattimet on vaihdettava kuukauden välein.

Keskimäärin suodattimien ja vaihtotyön yhteishinta per vaihtokerta on arviolta 6937 € sisältäen materiaalit, asennuksen ja vanhojen suodattimien hävittämisen ongelmajätteenä, lisäksi tulee vielä nosturin vuokrauksesta aiheutuvia kuluja noin 540 €. Yhteensä blowereiden sekä yleisilmanvaihdon suodatinkustannukset kaikkineen ovat keskimäärin 10 000 € per kuukausi.

Blowereiden ja yleisilmanvaihdon tapauksessa paras ratkaisu olisi ostaa pestäviä metalliverkko-suodattimia. Metalliverkkosuodattimet voitaisiin lisätä esisuodatukseen ilmanvaihtokoneiden kierto- ja poistoilma puolelle, sekä blowereiden ilmanottoon. Blowereiden toimintavarmuus pelkillä metalliverkkosuodattimilla vaatii lisäselvitystä tilaajan puolelta. Suodatintoimittajalta on kysytty aiempien suodattimien koko luokkaa vastaavien metalliverkkosuodattimien arvonlisäverotonta hintaa, joka on 65 € kappale. Metalliverkkosuodattimia tarvitaan 80 kappaletta, joista 8 kappaletta palvelee ilmanvaihtokoneiden kierto- ja poistoilmakanaviston esisuodatusta ja 72 kappaletta blowereiden ilmanottoa. Metalliverkkosuodattimia ostetaan kaksinkertainen määrä tarvittavaan määrään nähden, jotta suodatinvaihtojen yhteydessä voidaan puhtaat suodattimet laittaa suoraan paikalleen ja puhdistustoimet käytetyille suodattimille suorittaa jälkeinpäin. Kerta investointikustannukset metalliverkkosuodattimille olisi 5200 €. Suodattimien pesun sekä tällä hetkellä urakoitsijalta ostettavan vaihtopalvelun voisivat suorittaa muutosten jälkeen Kevitsan omat työntekijät. Näillä muutoksilla kustannukset jäisivät hankintakustannuksiin. Suodatinmuutoksilla saataisiin aikaan arviolta kaksinkertainen suodattimien vaihtoväli, joten normaaleista pussisuodattimista syntyvät aiemmin mainitut materiaali-, työ- ja jätekustannukset puolittuisivat.

Sähkösuodattimien sopivuudesta on käyty yhtiölle suodattimia toimittavan asiantuntijan kanssa keskustelua, ja todettu sähkösuodattimien olevan epäsoivia kohteeseen. Sähkösuodattimien toiminnan epävarmuus ei palvele teollisuutta tässä mittakaavassa, sillä erittäin altisteisessa ympäristössä häiriötön suodatus on erittäin tärkeää ja vikakorjaukset kalliita sekä vaikeasti toteutettavissa. (13.)

#### **4.5 Ratkaisuvaihtoehtojen kustannusvertailu**

Ratkaisuvaihtoehdot ovat keskenään hyvinkin erilaisia ja lähestyvät ongelmia osin eri tulokulmista. Tilassa on useita osin yhteneviä ja osin eriäviä ongelmakohtia, mikä mahdollistaa myös nämä eriävät ratkaisuvaihtoehdot. Toisaalta tämä tekee vertailusta mielekäästä mutta osaltaan asettaa tarkastelunalaiseksi mielekkyyden huomattaviin investointeihin, jos samalla suurelta osin lopputulemaan vaikuttaviin seikkoihin ei puututa. Onko kustannustehokasta esimerkiksi panostaa uuteen,

kerrostavaan ilmanvaihtoon, pyrkiviin koneisiin, jos samalla blowerit edelleen likaavat ja sekoittavat koko tilan ilmaa. Nämä seikat on tilaajan arvioitava omien preferenssiensä pohjalta. Kaikki korjaustoimenpiteet parantavat työskentelyolosuhteita ja tilan toimivuutta.

Ratkaisuvaihtoehtojen vertailemisessa ja sopivinta ratkaisua etsittäessä on syytä myös miettiä Boliden Kevitsan monimetallikaivoksen jäljellä olevaa käyttöikä. Tämänhetkisten arvioiden ja maaperästä otettujen mineraalinäytteiden perusteella kaivos- ja rikastustoiminta kyseisellä paikalla jatkuisi varmasti noin vuoteen 2033, kuten kuvasta 10 ilmenee. Kaivoksen eliniän pohjalta on syytä suorittaa laskentaa kustannuksien takaisinmaksuajoista ja kriittisesti arvioida investointien kannattavuutta. Yksi investointien kannattavuuteen vaikuttava seikka voisi olla kaivostoiminnan loputtua suoritettava maisemointityö, mikäli vaahdottamorakennukselle löydettäisiin sen ajaksi sopivaa käyttöä. Tämän myötä investointien käyttöaika voisi pidentyä jopa muutamalla vuodella, ainakin ilmanvaihtokoneiden osalta.

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	

KUVA 10 Kevitsan kaivoksen suunniteltu elinkaari (14.)

Kauempana tulevaisuudessa suunnitteilla olevat uudet kaivosalueet ja niiden toiminnot voisivat myös omalta osaltaan vaikuttaa investointien kannattavuuteen, mikäli koneistot pystyttäisiin järkevillä rahtikustannuksilla kuljettamaan uuteen kohteeseen tai uusien mineraalilöydösten rikastukset suorittamaan jo olemassa olevissa tiloissa. Kaukaisen tulevaisuuden suunnitelmien pohjalta ei vielä kuitenkaan voi suorittaa kriittistä arviointia investointien kannattavuudesta. Kaikki mahdollinen käyttöpotentiaali myös tulevaisuudessa, on järkevää ottaa jossain määrin huomioon.

Taulukossa 3 vertailun aikajaksona on käytetty varmistettua elinkaarta, joka ulottuu vuoteen 2033 ja huomioitu vuodet alkaen vuodesta 2024 eli yhteensä yhdeksän vuotta. Takaisinmaksuaika on piste, jossa investoinnin alkukustannukset ovat alittaneet saavutetut säästöt. Huomioitavaa on, että esimerkiksi blowereiden äänieristykselle ja yleisilmanvaihdon parantamiselle on mahdotonta laskea suoraan takaisinmaksuaikaa, mutta saavutettu hyöty olosuhteiden kohenemisessa ja parantuneessa työhyvinvoinnissa ja siten kustannuksissa on merkittävä.

*Taulukko 3 Ratkaisumallien kustannusvertailu*

<b>Toimenpide</b>	<b>Alkuinvestointi</b>	<b>Saavutettu säästö per vuosi</b>	<b>Takaisinmaksuaika</b>
Suodattimien päivitys	5200 €	59 422 €	2 kk
Blowereiden äänieristys	500 000 €	-	-
Blowereiden uudelleenkanavointi	200 000 €	-	-
Yleisilmanvaihdon parantaminen	1 200 000 €	-	-

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli etsiä ratkaisuja vaahdotussalin sisäilman haasteisiin. A-insinöörien tekemä ilmanvaihdonselvitys toimi opinnäytetyön perustana, ja sen pohjalta saatiin vertailtua ratkaisuvaihtoehtoja keskenään. Ratkaisuvaihtoehtojen pohjalta muodostettiin neljä parhaiten tilannetta palvelevaa mallia ja näistä muodostettiin yhteistyössä Boliden Kevitsan asiantuntijoiden kanssa tarjouspyynnöt, joiden avulla pyydetään alan toimijoilta tarjoukset hintoineen muutostöille. Tarjoukset välitetään tilaajalle jatkotoimenpiteitä varten niiden saavuttua.

Ratkaisuissa on huomioitava, että siinä missä kiinteille kuluille, kuten suodattimille, on mahdollista määrittää suhteellisen helposti takaisinmaksuaika, on se osalle ratkaisuista huomattavasti vaikeampaa. Esimerkiksi parempi työviihtyvyys vaikuttaa tutkitusti työssä jaksamiseen sekä vähentää sairaspöissaoloista ja tapaturmista aiheutuvia kustannuksia, tätä on kuitenkin taulukossa vaikea esittää. Ratkaisuja valitessa on syytä huolellisesti pohtia tulevaisuutta ja laitoksen käyttöikää sekä harkita, mitkä ratkaisut ovat sen pohjalta järkeviä. Yhtiön tasapainoilu maksimaalisen voiton saavuttamisessa ja toisaalta merkittävien ympäristölle sekä henkilöstölle aiheutuvien haittojen välttämässä asettaa oman määräävän vaatimustason toteutusten valinnalle. Myös huomionarvoista on, että merkittävästi pienemmillä investoinneilla, kuten suodattimien vaihdolla pestäviin, voidaan saavuttaa suuria säästöjä ja käyttömukavuuden kasvua. Tilaajan on siis tarkasti harkittava ja valittava juuri oikeat ratkaisut kulloiseenkin kohtaan laitoksen käyttöikä, jotta saavutetaan parhaiten kaikkia palveleva lopputulos.

Työ tarjosi näköalapaikan suurteollisuudessa käytössä oleviin ratkaisuihin ja antoi samalla arvokasta kokemusta tulevaisuuteen. Yhteistyössä Boliden Kevitsan asiantuntijoiden kanssa sekä laajaa materiaalia hyödyntäen saatiin muodostettua toimivat ja toteutuskelpoiset ratkaisumallit tutkimusongelmaan, eli rikastamorakennuksen sisäilman haasteisiin. Näille ratkaisuille saatiin lisäksi laskettua alustava kustannusarvio asiantuntijoiden kanssa, mikä helpottaa kokonaisuuden hahmottamista ja tulosten välittämistä tilaajan suuntaan projektin tiimoilta. Valinnat ratkaisuista tapahtuvat jatkuvan työsuhteen aikana tarjouspyyntöjen saapuessa.

## LÄHTEET

1. Tähti, Esko, Selin, Mikko, Railio, Jorma, Sainio, Sakari, Hagström, Kim, Niemelä, Raimo, Kulmala, Ilpo, Sulamäki, Hanna, Sjöholm, Petri, Laine, Juhani, Kuoksa, Taavi & Pöntinen, Kalevi 2000. Teollisuusilmastoinnin opas. Suomen talotekniikan kehityskeskus.
2. Neste Air-ix, Ekono 1990. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys. Neste.
3. A-insinöörit rakennuttaminen Oy 2020. Vaahdottamon ilmanvaihdon selvitys. Sisäinen lähde.
4. Seppänen, Olli 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Kustannuspaikka: Talotekniikka- Julkaisut Oy.
5. Launis, Martti, Lehtelä, Jouni 2011. Ergonomia. Työterveyslaitos.
6. Sisäilmayhdistys ry 2008. Kemialliset epäpuhtaudet. Hakupäivä 10.03.2023. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>.
7. Hyytinen, Eija-Riitta, Santonen, Tiina, Vainiotalo, Sinikka, Rantonen, Jarmo & Linnainmaa, Markku 2016. Hengittävän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. Hakupäivä 08.03.2023. <https://www.ttl.fi/file-download/download/public/873>.
8. Saarelma, Osmo 2022. Lämpöhalvaus ja auringonpistos(hypertermia). Lääkärikirja Duodecim. Hakupäivä 15.03.2023 <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00298>.
9. AEG. Rasvasuodatin. Hakupäivä 20.03.2023 [https://shop.aeg.fi/ruoanlaitto/liesituuletti-met/suodattimet/rasvasuodatin-ilman-asennusosat-234-5x170-5x9-nocf/p/80872856?gclid=aw.ds&&gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whED-pVQwnd60xIHc246fNwJ2sgi-d8X-yOwJGcZ84BX5GKmKWjswg0BoC-VA-QAvD\\_BwE&gclid=aw.ds](https://shop.aeg.fi/ruoanlaitto/liesituuletti-met/suodattimet/rasvasuodatin-ilman-asennusosat-234-5x170-5x9-nocf/p/80872856?gclid=aw.ds&&gclid=CjwKCAjwiOCgBhAgEiwAjv5whED-pVQwnd60xIHc246fNwJ2sgi-d8X-yOwJGcZ84BX5GKmKWjswg0BoC-VA-QAvD_BwE&gclid=aw.ds)



10. Retermia. Työselitysmalli. Hakupäivä 20.03.2023 [https://www.retermia.fi/wp-content/uploads/2012/01/Retermia\\_tyoselitysmalli\\_kaikki\\_tuotetyypit\\_27082013.pdf](https://www.retermia.fi/wp-content/uploads/2012/01/Retermia_tyoselitysmalli_kaikki_tuotetyypit_27082013.pdf)
11. PRIS- projektipankki. Blowereiden äänieristäminen. Sisäinen lähde.
12. Climecon. Syrjäyttävän ilmanvaihdon opas. Hakupäivä 18.05.2023 <https://climeconair.com/fi-fi/suunnittelijalle/opaat-ja-ohjeet/syrjayttavan-ilmanvaihdon-opas/>
13. Vado Oy. Jouni Kosunen. Puhelinhaastattelu 26.05.2023
14. Boliden Kevitsa Mining Oy. Kaivoksen elinkaarikaavio. Sisäinen lähde.