

Tuomas Takalo

**RAKENNUSTEN YLEISILMANVAIHTO
KAIVOSTEOLLISUUDESSA**

**RAKENNUSTEN YLEISILMANVAIHTO
KAIVOSTEOLLISUUDESSA**

Tuomas Takalo
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Tuomas Takalo

Opinnäytetyön nimi: Rakennusten yleisilmanvaihto kaivosteollisuudessa

Työn ohjaaja: Pirjo Kimari

Kevät 2015:

Sivumäärä: 42 + 2

Opinnäytetyössä käsitellään yleisilmanvaihdon suunnittelun osa-alueita kaivosteollisuuden maanpäällisille rakennuksille. Työn tarkoitus on antaa suunnittelijalle lähtökohtia huomioon otettavista asioista. Asioihin ei paneuduta syvällisesti, sillä kokonaisuutena yleisilmanvaihto on laaja käsite.

Suunniteltaessa ilmanvaihtoa teollisuuteen täytyy suunnittelijalla olla laajempi käsitys ilmanvaihtoon vaikuttavista tekijöistä. Ilmanvaihdon ratkaisuihin vaikuttavat mm. prosessitekniset asiat, tilaratkaisut sekä ilmavirtojen hallintatavat. Suoraan kaivosteollisuuden rakennuksille suunnattua ohjeistusta ei aikaisemmin ole ollut saatavilla ja työhön saatiinkin koottua hyvä kokonaisuus ilmanvaihdon ratkaisuihin vaikuttavista tekijöistä.

Kaivosteollisuuteen suunnittelu on haastavaa rakennusten väliaikaisuuden sekä epäpuhtauksien takia. Teollisuuden epäpuhtauslähteistä ei tarkkaa tietoa ole saatavilla ja työssä painotetaan tapauskohtaista ja kokemuksiin perustuvaa suunnittelua. Suunnittelunäkökohdat antavat lähtökohtia rakennusten yleisilmanvaihdon suunnittelun kaivosteollisuudessa.

Asiasanat: yleisilmanvaihto, teollisuusilmanvaihto, kaivosteollisuus

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLTÖ	4
1 JOHDANTO	5
2 KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA	6
3 TEOLLISUUDEN YLEISILMANVAIHTO	7
3.1 Tilatyypit	9
3.2 Tavoitetasot	10
3.3 Epäpuhtauksien hallinta	11
3.4 Ilmanvaihdon hallinta	13
3.4.1 Ilmanjakotapa	15
3.4.2 Kohdeilmanvaihto	18
3.5 Järjestelmätekniikka	19
3.5.1 Jäähdytysjärjestelmät	19
3.5.2 Lämmön talteenotto	20
3.5.3 Ilmaverhot	23
4 SUUNNITTELUNÄKÖKOHTIA KAIVOSTEOLLISUUDESSA	24
4.1 Hallintorakennukset	25
4.2 Laboratoriot	26
4.3 Varastot ja korjaamot	26
4.4 Valvomot	29
4.5 Murskaamot	30
4.6 Jauhimot	33
4.7 Rikastamot	35
4.8 Sähkötilat	36
5 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40
Liite 1 Kaivokset ja kaivosprojektit 2012	
Liite 2 Teollisuusympäristön yleisimpien epäpuhtauksien tavoitetasot	

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on käsitellä osa-alueita, joita on huomioitava suunniteltaessa kaivosteollisuuden prosessirakennusten yleisilmanvaihtoa. Teollisuuden ilmanvaihdossa suunnittelumenetelmät ja rajapinnat ovat hieman erilaiset kuin perinteisessä talotekniikan suunnittelussa. Lisäksi työhön opitaan yleensä käytännön ja kokemusten kautta.

Työssä käydään läpi keskeisiä asioita kaivosteollisuuden prosessirakennusten ilmanvaihtoon liittyen sekä pyritään näiden pohjalta antamaan suunnittelunäkökohtia ja ohjeita suunnittelijalle. Suunnittelunäkökohtien avulla pyritään luomaan kokonaiskäsitys tarpeellisista huomioon otettavista asioista.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Pöyry Finland Oy, joka on kaivosboomin myötä vankistanut asemaansa kaivosteollisuuden suunnittelijana ja kokonaistoimittajana. Pöyry on yksi Suomen johtavista konsultointi- ja suunnittelutoimistoista. Toiminta on myös kansainvälistä etenkin energia-alan ja teollisuuden hankkeissa. Kansainvälisesti Pöyryllä on henkilöstöä noin 6000, joista Suomessa noin 1600. (1.)

2 KAIVOSTEOLLISUUS SUOMESSA

Suomessa oli vuonna 2013 toiminnassa 46 kaivoslain alaista kaivosta ja louhosta. Liitteessä 1 on Geologian tutkimuskeskuksen tuottama kartta, josta käy ilmi Suomessa toiminnassa olevat kaivokset ja kaivosprojektit vuonna 2012. Aineistosta voidaan havaita, että kaivosteollisuus jakautuu tasaisesti koko Suomen alueelle. Kaivosteollisuus onkin yksi merkittävä teollisuudenala koko Suomelle. (2.)

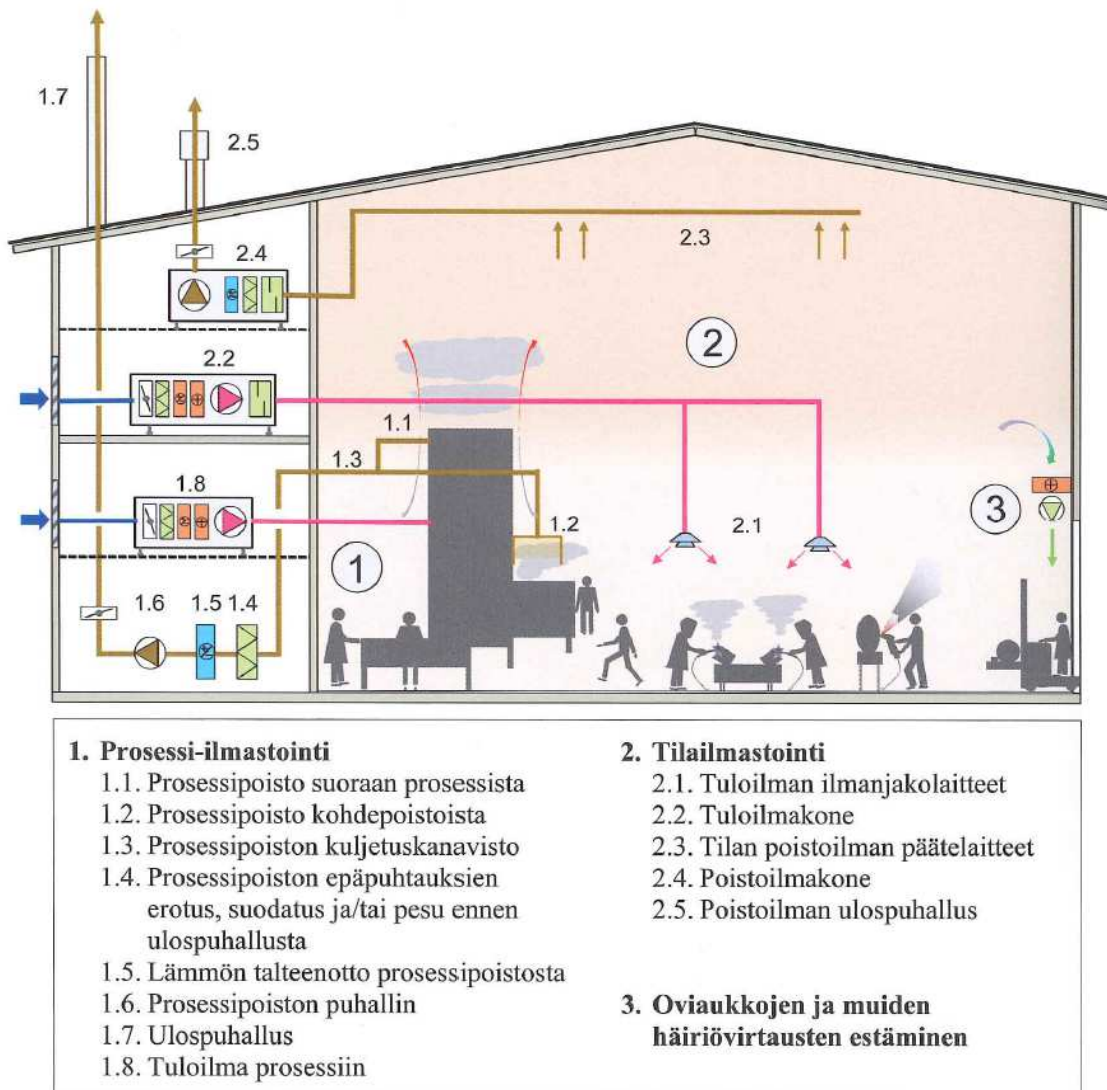
Monet Suomen metalliesiintymistä ovat pieniä ja usein myös pitoisuudeltaan tai rikastettavuudeltaan haastavia. Kaivosyhtiöt ovatkin kehittäneet tuotantomenetelmiään ja niiden edellyttämiä laitteistoja, niin että kaivosten tehokkuus ja taloudellisuus on kansainvälistä huippuluokkaa. Lisäksi Suomessa kiinnitetään laajasti huomiota kestävään kehitykseen ja elinkaariajatteluun. Juuri näiden asioiden takia Suomi oli vuonna 2013 yksi maailman kiinnostavimmista investointikohteista kaivosteollisuudessa. Kuvassa 1 on Kevitsan nikkeli- ja kuparikaivos, jossa on tyypillinen nykyaikainen kaivosympäristö rakennuksineen. (3, s.15; 4, s. 8.)



KUVA 1 Kevitsan nikkeli- ja kuparikaivos (5)

3 TEOLLISUUDEN YLEISILMANVAIHTO

Teollisuuden yleisilmanvaihto sisältää pääosin perinteisestä ilmanvaihtotekniikasta tuttuja koneita ja laitteita. Kuvassa 2 on esitetty tyypilliset teollisuuden ilmanvaihtojärjestelmät. Tässä työssä keskitytään pääosin tilailmastointiin, josta käytetään myös nimitystä yleisilmastointi.



KUVA 2 Teollisuuden ilmastointilaitoksen osat ja järjestelmät (6, s. 536)

Ilmanvaihdon suunnittelua teollisuuteen voidaan pitää huomattavasti haastavampana kuin perinteistä toimistotyyppisten tilojen suunnittelua. Suunnittelussa tulee olla syvällisempää asiantuntemusta sekä kokemusta. Päästölähteet sekä ilmamäärät voivat olla teollisuudessa jopa satakertaisia verrattuna muuhun il-

manvaihtoon. Lisäksi perinteiseen ilmanvaihtoon nähden teollisuusilmanvaihtoon mitoitus on lähes aina tapauskohtainen; ilmanvaihto voidaan myös suunnitella pelkästään koneita tai prosessia palvelevaksi. (7, s. 1; 8, s. 6.)

Suunnittelijan täytyy tuntea myös suunniteltavan tilan prosessit, joiden pohjalta määritellään lähtötiedot. Toiminnoista halutaan pitkä-ikäisiä, mahdollisimman huoltovapaita sekä energiatehokkaita. Kun nämä asiat otetaan huomioon, eivät rakentamiskustannukset enää ole merkittävässä roolissa vaan esimerkiksi kustannukset 15 vuoden aikana. Nykyisin tulee huomioida myös ympäristöasiat ja jopa yrityksen imagolla voi olla vaikutusta ratkaisuihin. (7, s. 2.)

Prosessi-ilmastointi

Teollisuudessa prosessien ilmanvaihto kuuluu prosessi-ilmatekniikan pariin ja sitä ei voida luokitella enää perinteiseksi ilmanvaihtotekniikaksi. Prosessi-ilmatekniikan suunnitteluun nimetään yleensä oma suunnittelija, joka tuntee myös prosessi- sekä materiaalitekniikkaa. Prosessi-ilmastoinnissa painesuhteet, kanavanopeudet ja lämpötilat voivat olla moninkertaisia. Ilma tulee usein myös käsitellä erilaisilla pölynpoisto ja pesutekniikoilla. Lisäksi kanavistot ja koteloinnit ovat yksilöllisiä ja ne täytyy suunnitella sekä mallintaa erikseen. (Kuva 3.) (8, s.11.)



KUVA 3 Erään prosessin pölynpoistokanavistoa (9, s. 22)

3.1 Tilatyypit

Suunniteltaessa teollisuuden yleisilmanvaihtoa on lähtötietoina yleensä pohjapiirustus tai muu tilankäyttösuunnitelma. Lähtötietojen avulla teollisuuden tilat voidaan jakaa erilaisiin tilatyyppeihin, aivan kuten perinteisessä ilmanvaihtotekniikassakin. Tilatyyppejä on kuvattu teollisuusilmastoinnin oppaassa seuraavalla tavalla. (8, s. 65.)

1. **Katettu prosessitila** on tyypillinen prosessiteollisuudessa. Tiloissa ei ole kiinteitä työpisteitä, ja niissä työskennellään satunnaisesti lyhyitä ajanjaksoja kerrallaan. Pääosa epäpuhtauksista syntyy prosessista. Prosessi ei aseta vaatimuksia ilman epäpuhtauksien suhteen. (8, s. 65.)
2. **Teollisuuden henkilötyötilat** ovat tiloja, joissa on kiinteitä työpaikkoja tai joissa muutoin työskennellään jatkuvasti. Tyypillisiä tiloja ovat esimerkiksi konepajateollisuuden tuotantotilat. Epäpuhtausmäärät ja tasot saattavat vaihdella eri tiloissa huomattavastikin. Tiloille on kuitenkin yhteistä, paitsi niissä tapahtuva säännöllinen työskentely, parempi tuloilman kanavointi ja ilmanjako kuin tyypin 1 tiloissa. (8, s. 65.)
3. **Eriyistä puhtautta vaativat prosessitilat** ovat tiloja, joissa tuotantoprosessi tai prosessilaitteet asettavat vaatimuksia ilman puhtaudelle. Monille tiloille on olemassa omat tilakohtaiset ohjeet, joita on noudatettava. (8, s. 65.)
4. **Erikoistilat** ovat tiloja joiden ilmastoinnissa on noudatettava erillisiä ohjeita. Erikoistiloihin voidaan luokitella mm. sähkö ja elektroniikkatilat, valvomot sekä henkilösuojaukseen tarkoitettut tilat. (8, s. 65.)
5. **Laboratoriot, keittiö, tupakkatilat** ovat tiloja, joissa on erikseen otettava huomioon mahdollisesti tarvittavat poistoilman suodatus ja tavallista tiheämpi kanavien puhdistustarve (8, s. 65).
6. **Puhdastiloissa** noudatetaan niitä varten tehtyjä erillisiä ohjeita. Puhdastiloja on yleensä esimerkiksi lääke-, kemian- ja elektroniikkateollisuudessa. (8, s. 65.)

Lisäksi teollisuustiloihin voidaan lukea myös teollisuusrakennuksissa sijaitsevat toimistotilat.

3.2 Tavoitetasot

Lähtötietojen keräämisen ja tilojen jaottelun jälkeen jokaiselle tilatyypille on mietittävä ilmanvaihdon tavoitetasot. Suunnittelussa lopputulokseen eniten vaikuttavat päätökset tehdään suunnittelun alkuvaiheessa ja parhaat tulokset saavutetaan riittävien lähtötietojen perusteella. (10, s. 297.)

Tavoitetarkastelussa keskeistä on tilan käyttötarkoitus ja sisäilmastovaatimukset. Muita huomioon otettavia asioita ovat mm. sisäiset kuormitustekijät, muunneltavuus sekä energiankulutus. Suurissa tiloissa myös käyttöaikataulut voivat vaikuttaa tilan ilmanvaihtoratkaisuihin. Käyttöaikana ilman laatutason puitteissa epäpuhtaudet voivat kerääntyä hallitsemattomalle vyöhykkeelle. Käytönajan ulkopuolella tilan sisäilma laimennetaan tasaisella ilmanvaihdolla. (10, s. 297.)

Kaivosteollisuudessa yksi merkittävistä sisäisistä kuormitustekijöistä on epäorgaaninen pöly. Taulukosta 1 nähdään epäorgaanisen pölyn tavoitearvot eri tavoitetasoille. Taulukko on lyhennetty versio teollisuusilmastoinnin oppaan taulukosta ja se on kokonaisuudessaan liitteessä 2.

TAULUKKO 1 Epäorgaanisen pölyn tavoitetasot (8, s. 29)

Epäpuhtaus	Ilman laatutaso			
	I. * Erikoistila-taso	II. Hyvä teollisuustaso	III. Yleinen teollisuustaso	IV. Minimiteollisuustaso
Epäorgaaninen kokonaispöly (mg/m ³)	< 0.01	< 0.5	0.5 - 2.5	2.5 - 10
Yleinen malli muille epäpuhtauksille		< 0.1xHTP	0.1xHTP - 0.25xHTP	>0.25xHTP- HTP

Haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien arvot (HTP) muuttuvat aina tiedon lisääntyessä ja uusimmat HTP-arvot saadaan jatkuvasti päivittyvästä sosiaali- ja terveysministeriön HTP-arvot-julkaisusta.

Teollisuudessa prosessilaitteistot ovat suuria ja tarkka päästöjen mittaaminen on haastavaa. Yleisilmanvaihdon suunnittelussa sisäilmaston tavoitetason saavuttaminen perustuukin hyvin pitkälle kokemukseen.

Toinen merkittävä sisäinen kuormitustekijä teollisuudessa on prosesseista ja ihmisistä aiheutuvat lämpökuormat. Taulukossa 2 on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 sekä kokemuksiin perustuvia ilmamääriä, joilla saadaan poistettua tilan lämpökuormat sekä päästään sisäilmaston tavoitetasoihin erilaisissa teollisuustiloissa.

TAULUKKO 2 Ilmanvaihdon ja lämpökuorman mitoitusarvoja (11, s. 15)

Ilmanvaihdon mitoitusarvoja	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ³	Lämpökuorman ja ilmanvaihdon tunnuslukuja	Lämpökuorma W/m ²	Ilmanvaihto kerta/h
Tila/käyttötarkoitus			Tuotantoala		
Kevyt tehdastyö	10	1,5	Hitsaus, levyajat	40-100	2-6
Keskiraskas tehdastyö	10	1,5	Koneistot	20-50	1-5
Toimistohuone		1,5	Valimot	300-900	6-10
Neuvotteluhuone	8	4	Vaateteollisuus	40-250	3-5
Taukotila		5	Leipomot	80-200	3-6
Pukuhuone		5	Sahat	50-100	1-2
Lähde: RaMK D2			Puusepänteollisuus	35-60	3-6
			Kirjapainot	40-120	6-8
			Lasitehdas, uuniosasto	500-1000	3-6
			Kumiteollisuus	150-760	5-8

3.3 Epäpuhtauksien hallinta

Kaivosteollisuudessa pääosa sisäilman epäpuhtauksista on epäorgaanista pölyä. Hiukkasmaiset epäpuhtaudet aiheuttavat mm. terveyshaittoja, laiterikkoja, tuotantotappioita ja ovat myös ympäristöhaitta. (12, s. 70.)

Epäpuhtauksien hallinta voidaan karkeasti jakaa siten, että prosessi-ilmastoinnilla poistetaan epäpuhtaudet ja yleisilmanvaihdolla laimennetaan tilan sisäilmasto tavoitetasojen mukaiseksi.

Teollisuudessa pölyjen ja epäpuhtauksien poistaminen täytyy aloittaa jo niissä kohteissa, missä niitä syntyy. Isot partikkelit on helpompi kerätä ja suodattaa pois ilmavirrasta, mutta mitä pienemmästä hiukkasesta on kysymys, sen hel-

pommin se pyrkii leviämään ympäristöön. Pölynerotuksen ensimmäinen askel onkin pölyävän kohteen kotelointi ja paikallispoisto, sillä yleisilmanvaihdon mittaaminen kaikkien epäpuhtauksien poistamiseen ei ole järkevää tai aina mahdollistakaan. (12, s. 71.)

Yleisilmanvaihdossa hiukkasten suodattaminen on tärkeää tulo- ja poistoilmas- ta, jotta riittävät tavoitetasot saavutetaan. Teollisuusilmastoinnin oppaassa on annettu hiukkasuodatuksen tavoitetasot eri tilatyypeille. (Taulukko 3.)

TAULUKKO 3 Hiukkasuodatuksen tavoitetasot eri tilatyypeissä (8, s. 65)

Tilatyppi:	1	2	3 ³⁾	4	5	6
ulkoilmasuodatin	T5 ^{1,2,6)}	T1 ⁶⁾	T0,5	T0,5	T1 ^{4,6)}	3)
kierrätysilmasuodatin ⁵⁾	T1	T1	T0,5	T0,5	-	3)
poistoilmasuodatin ⁶⁾	-	-	-	-	3)	3)

- 1) Jos tuloilma on kanavoitu, suositellaan käytettäväksi T1.
- 2) Tuloilma voidaan tuoda tilaan myös suodattamattomana, tällöin tulee ilmastointilaitteet (patteri, puhallin) valita ja sijoittaa siten, etteivät ne ole likaantumisherkkiä ja että ne pystytään helposti puhdistamaan.
- 3) Käytetään erillisiä suunnitteluohjeita, jos niitä on.
- 4) Alueilla, joilla on runsaasti liikenteen ja voimantuotannon päästöjä T0,5
- 5) Kierrätysilmasuodattimen valinnassa on otettava huomioon tilassa syntyvien epäpuhtauksien kokojakauma. Yleensä kiertoilmasuodattimeksi tulee valita vähintään saman luokan suodatin kuin tuloilmassa.
- 6) LTO-laitetta ennen tulee käyttää vähintään tavoitetason T1 täyttävää suodatinta. Josa laitteisto on vaikeasti puhdistettavissa, suositellaan käytettäväksi tavoitetason T0,5 täyttävää suodatinta.

Taulukossa 3 T-kirjain tarkoittaa tavoitetasoa ja numero tarkoittaa hiukkas- suodatuksella poistettavan pienimmän hiukkasen kokoa mikrometreissä. Esi- merkiksi tavoitetasossa 5 hiukkasuodatus poistaa pölyn, jonka kokoluokka on 5 µm tai yli. (8, s. 65.)

Taulukossa 4 on esitetty tavoitetasojen vaatimukset suodattimille, kun suodattimen sallittu läpäisy tavoitetason alarajalla oleville hiukkasille on enintään 10 % (8, s. 66).

TAULUKKO 4 Hiukkasuodatuksen tavoitetasojen vaatimukset suodattimille (8, s. 66)

Tavoitetaso	Suodatinluokka
T5	EU4
T1	EU7
T0,5	EU8

3.4 Ilmanvaihdon hallinta

Ilmanvaihdon hallinnan lähtökohtana on ylläpitää tilassa halutut olosuhteet mahdollisimman taloudellisesti. Yleisesti voidaan sanoa, että ilmanvaihdon hallinta on onnistunut, mikäli tilan käyttäjä ei kiinnitä siihen huomiota.

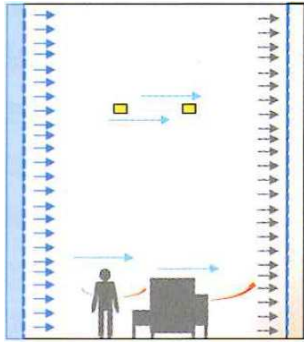
Ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan kuvata ilmanvaihdon hyötysuhteella, joka kuvaa tuloilman tuonnin tehokkuutta tarkastelupisteessä. Täysin tasaisena virtana vaihtuvassa ilmassa tehokkuus on 100 % ja täysin sekoitetussa tasapainoisesti vaihtuvassa hyötysuhde on 50 %. Jos tuloilma kulkeutuu oikosulkuvirtauksena suoraan poistoilmaan, hyötysuhde jää alle 50 %:n. (6, s. 257.)

Suunniteltaessa Ilmanvaihdon hallintaa on lähtötietoina oltava seuraavanlaisia asioita:

- tilan koko ja mitat
- lämpökuormat ja niiden sijainti
- epäpuhtauslähteet ja niiden sijainti
- epäpuhtauksien laatu, koostumus ja pitoisuus
- ovien ja ikkunoiden sijainnit
- päätelaitteiden sijoitusmahdollisuudet
- ilmavirtauksien esteet
- painesuhteet
- kokonaisilmavirrat (6, s. 254).

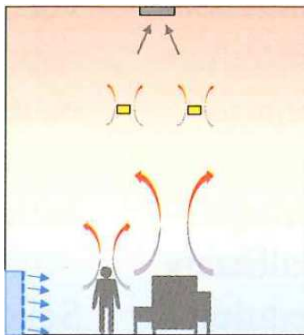
Näiden lähtötietojen perusteella voidaan suunnitella tilalle Ilmanvaihdon hallintaperiaate. Ilmanvaihdon hallinnan peruseriaatteita on neljä.

Mäntäperiaatteessa (kuva 4) ilmavirta pidetään tasaisena virtauskenttänä läpi koko alueen. Teoreettinen ilmanvaihdon hyötysuhde on mäntävirtauksella 100% ja sillä voidaankin toteuttaa erityistä puhtautta vaativia tiloja. (8, s. 39.)



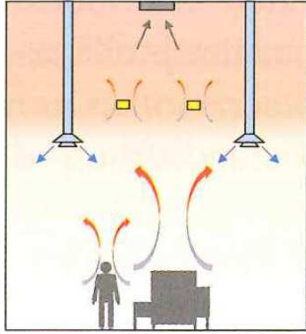
KUVA 4 Mäntäperiaate (6, s. 256)

Kerrostumaperiaatteessa (kuva 5) ilmavirtojen nopeudet ovat pieniä ja ilman annetaan luonnollisesti kerrostua lämpötilaerojen mukaan. Tehokkaalla syrjäytävällä ilmanvaihdolla päästään lähelle mäntäperiaatteen ilmanvaihtohyötysuhdetta. (8, s. 40.)



KUVA 5 Kerrostumaperiaate (6, s. 256)

Useimmiten teollisuudessa ilmanvaihto hoidetaan **vyöhykeperiaatteella** (kuva 6). Tila jaetaan hallittuun- ja hallitsemattomaan vyöhykkeeseen. Hallittu vyöhyke on se osa sisätilasta, jossa ilman tavoitetasot toteutuvat. Hallitsematonta vyöhykettä ei nimensä mukaisesti yritä hallita. Tyypillisesti hallitsematon vyöhyke sijaitsee suurten ja korkeiden rakennusten yläosassa, johon lämmin ilma voi vapaasti nousta kuljettaen mukanaan epäpuhtauksia. Tällä ilmanhallintaperiaatteella päästään yli 50 %:n hyötysuhteeseen. (8, s. 42.)



KUVA 6 Vyöhykeperiaate (6,s.256)

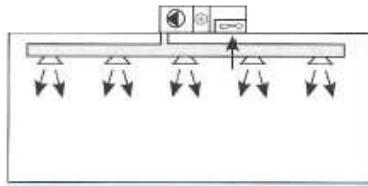
Sekoittamalla sisäilma suurella nopeudella puhaltavien tuloilmalaitteiden avulla luodaan tilaan tasaiset olosuhteet koko alueelle. Tätä kutsutaan **sekoitusperiaatteeksi** (kuva 7). Tällaisessa tilassa ei kuitenkaan saisi olla voimakkaita lämpö- tai epäpuhtauslähteitä. Tätä sovelletaan tyypillisesti matalissa tiloissa. (10, s.149.)



KUVA 7 Sekoitusperiaate (6, s. 256)

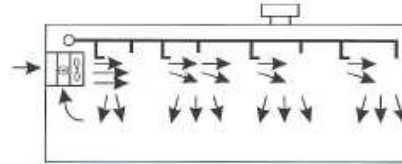
3.4.1 Ilmanjakotapa

Eri ilmanjakotavoilla voidaan toteuttaa edellä mainittuja ilmanvaihdon hallintaperiaatteita. Kuvaan 8 on koottu tyypillisimmät ilmanjakomenetelmät ja niiden soveltuvuus.



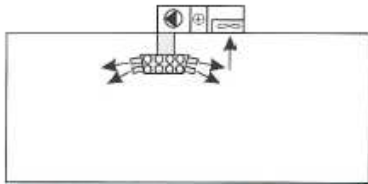
a) Ilman jako kanavistolla ylhäältä

- vähän ylitämpöä
- vähän epäpuhtauksia
- vähän lämpöhäviöitä



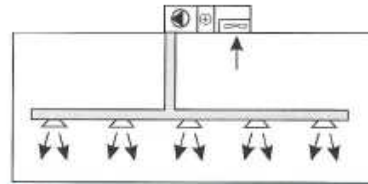
b) Ilman siirto ja jako jet-suihkuilla ylhäällä

- vähän ylitämpöä
- vähän epäpuhtauksia



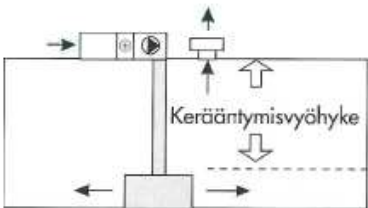
c) Keskitetty ilman jako ylhäältä

- vähän ylitämpöä
- vähän epäpuhtauksia



d) Ilman jako kanavistolla alhaalta

- vähähkösti epäpuhtauksia
- jonkin verran ylitämpöä



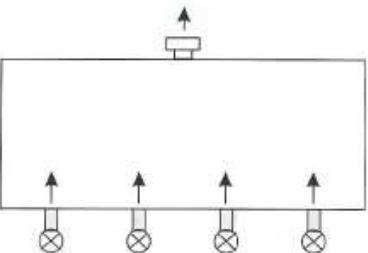
e) Terminen syrjäytys

- paljon ylitämpöä
- paljon epäpuhtauksia



f) Ilman jako suutinkanavilla

- paljon ylitämpöä
- kohtalaisesti epäpuhtauksia



g) Lattiapuhallus

- suuri halli, ilman jakaminen
- muutoin vaikeaa, paljon epäpuhtauksia



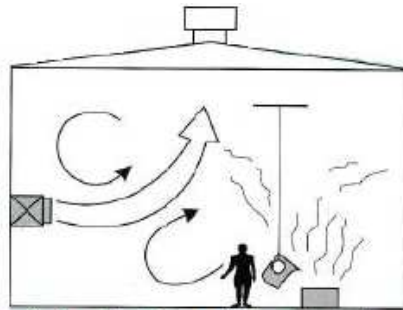
h) Kylmäilmapuhallus (vain lämmityskaudella)

- paljon ylitämpöä
- ei epäpuhtauksia

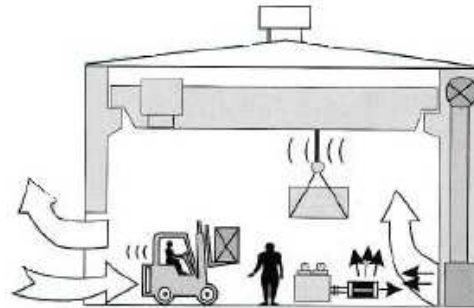
KUVA 8 Eri ilmanjakomenetelmien soveltaminen (13, s. 57)

Lisäksi näitä yhdistelemällä ja muuten soveltamalla saadaan lukuisia eri variaatioita. Kuitenkin täytyy muistaa, että jokainen uusi kohde täytyy suunnitella ja tarkastella uudestaan, sillä pienikin häiriötekijä voi aiheuttaa Ilmanvaihdon hal-

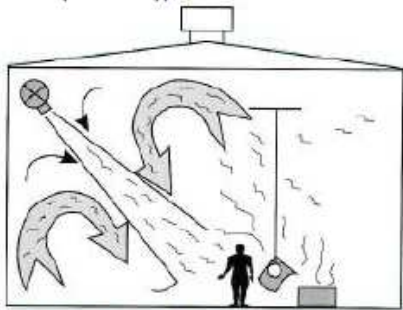
linnassa ei-toivottuja vaikutuksia. Kuvaan 9 on koottu tyypillisiä teollisuusilmanvaihdon häiriötekijöitä, jotka tulisi ottaa huomioon ilmanjakomenetelmiä suunniteltaessa.



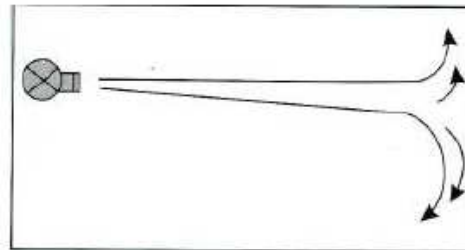
a) Ilmavirta taipuu ylös tavoittamatta työskentelypistettä



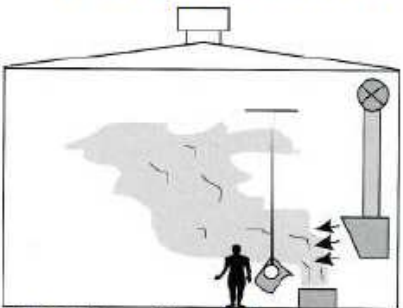
b) Häiriövirtauksset muuttavat tuloilman ajateltuja reittejä



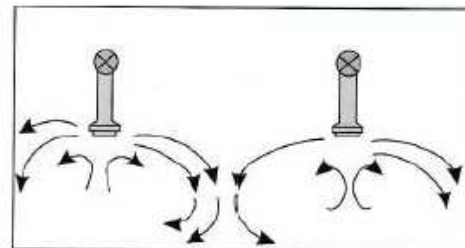
c) Induktiovirtauksset sekoittavat epäpuhtaudet tai ylikämmön (haitta kesällä) tuloilmavirtaan



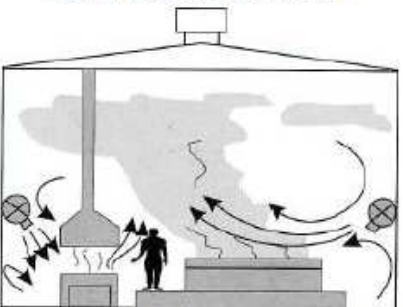
d) Säleikköjen heittopituus kasvaa liian suureksi



e) Tuloilmasuihku puhaltaa epäpuhtaudet työntekijän päälle



f) Ilmasuihkut törmäävät toisiinsa

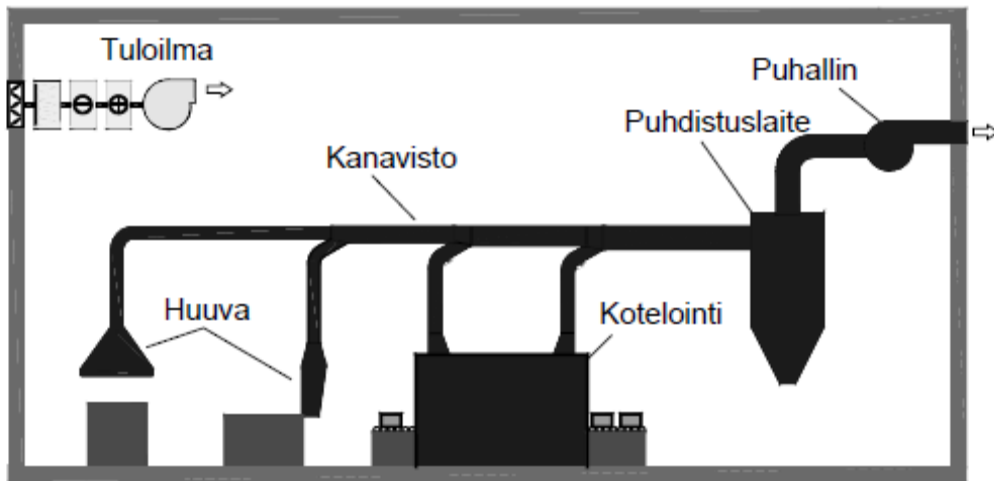


g) Puhallus lisää epäpuhtauden haihtumista esim.altaan pinnalla tai haittaa kohdepoistoa

KUVA 9 Tyypillisiä teollisuustilojen ilmavirtojen häiriötekijöitä (13, s. 55)

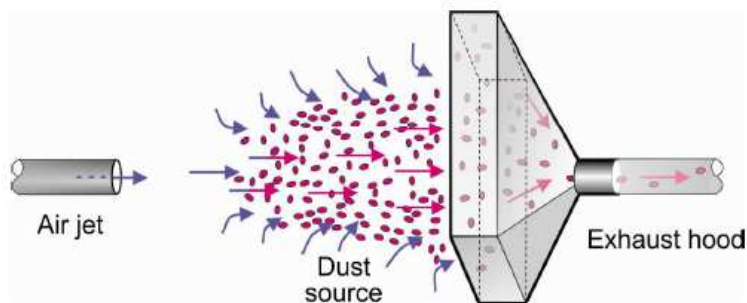
3.4.2 Kohdeilmavaihto

Kuvassa 10 on esitetty yleisimmät kohdepoistojärjestelmän osat. Kohdeilmavaihto on erittäin tehokas ja taloudellinen tapa poistaa paikallisia epäpuhtauksia.



KUVA 10 Kohdepoistojärjestelmän periaate (14, s. 94)

Tarvittaessa kohdepoistoon voidaan liittää myös kohdepuhallus (kuva 11), jolloin epäpuhtauksien poistotehokkuus kasvaa entisestään. Teollisuudessa kohdepoistojärjestelmän osat kuuluvat yleensä prosessi-ilmastoinnin suunnitteluun, mutta yleisilmanvaihdossa on syytä myös huomioida kohdepoistojen vaatima korvausilma. (8, s. 49.)



KUVA 11 Kohdepuhalluksen periaate (9, s. 13)

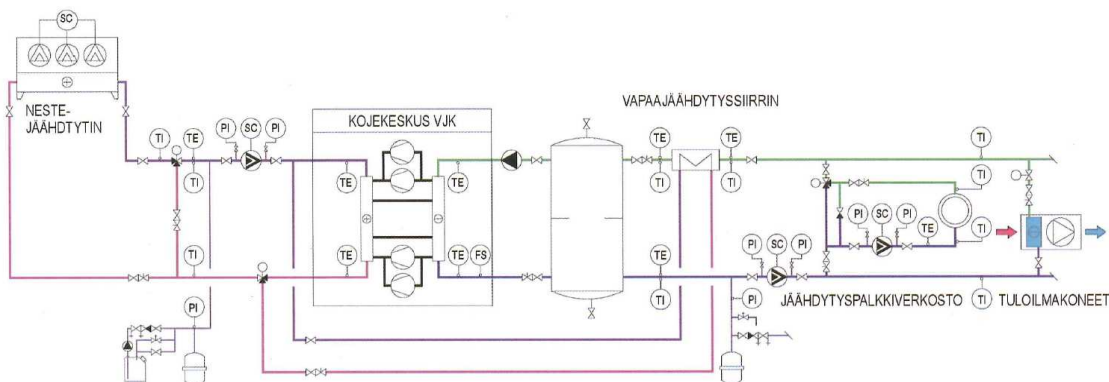
3.5 Järjestelmätekniikka

Ilmanvaihtojärjestelmiä suunniteltaessa ja mitoittaessa on hyvä olla tilojen hallintaperiaatteet sekä tavoitetasot tiedossa. Teollisuuden yleisilmanvaihdossa ilmanvaihtojärjestelmien mitoitus ja osat eivät juurikaan poikkea tavanomaisista järjestelmistä. Ilmanvaihtokoneet voivat olla tehdasvalmisteisia tai paikalla osista rakennettuja. Konevalinnassa huomiota tulee kiinnittää suodatukseen ja kone-osien kestävyteen sekä huoltoon.

Ilmanvaihtojärjestelmien palvelualueiden määrittämisessä ja yhdistelemisessä tulee huomioida tilojen käyttötaparyhmät ja palo-osastoinnit. Osaltaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 rajoittaa palvelualueiden yhdistelemistä sisäilmatekijöiden, poistoilmaluokan ja käytettävän LTO:n mukaan. Palvelualueiden määrittämisessä tulee ottaa huomioon myös tilojen sijainti, rakennuksen korkeus, tilojen käyttöajat sekä toiminnallinen yhteensopivuus. (6, s. 365.)

3.5.1 Jäähdytysjärjestelmät

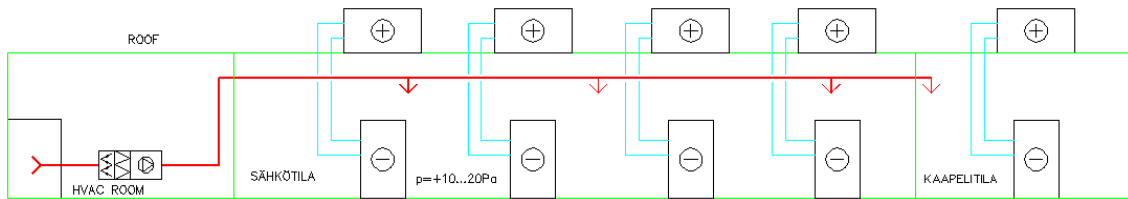
Jäähdytysjärjestelmät voidaan jakaa yleisesti kolmeen ryhmään: ilmakiertoiset ja vesikiertoiset järjestelmät sekä näiden yhdistelmät. Jäähdytysjärjestelmät on yleensä toteutettu keskitetysti liuoslauhdutteisella vedenjäähdytyskoneella, joka palvelee tuloilmakoneita sekä muuta jäähdytysjärjestelmää (kuva 12). Jäähdytyskoneen lauhdutininputkisto liitetään yleensä ulkona olevaan nestejäähdyttiin. (6, s. 315.)



KUVA 12 Vedenjäähdytyskoneen kytkentä varustettuna vapaajäähdytyksellä (6, s. 315)

Usein teollisuustiloissa sama kone palvelee useaa eri tilaa, joista vain osa tarvitsee jäähdytystä. Tällöin ei ole järkevää liittää ilmanvaihtokonetta jäähdytykseen, vaan jäähdyttää tarvittavat tilat paikallisesti vesikiertoisella jäähdytysratkaisulla.

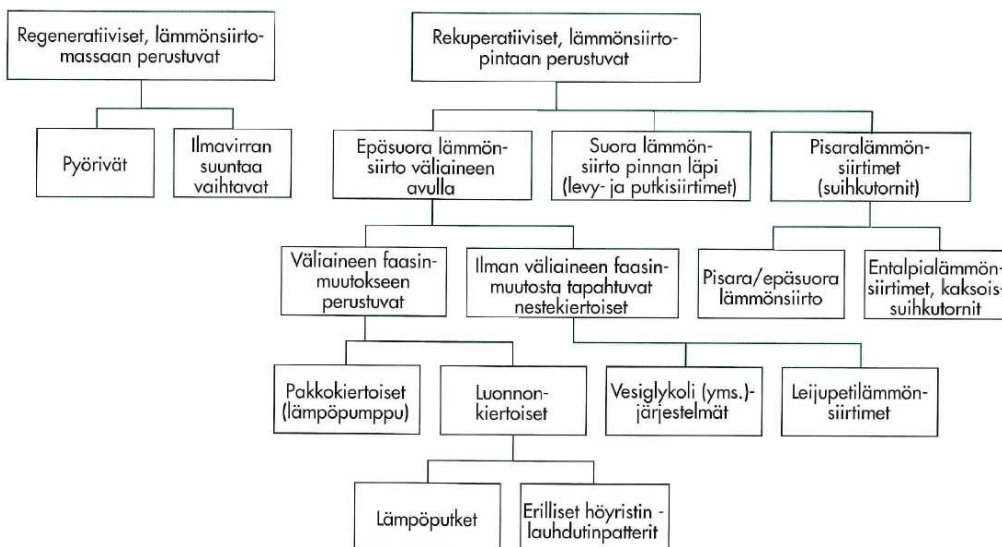
Suurissa teollisuustiloissa voidaan pienempien tilojen lauhduttimia sijoittaa myös sisätiloihin. Kuvassa 13 on esitettynä jäähdytysratkaisumalli, jossa hallissa sijaitsevan sähkötilan lauhduttimet ovat sijoitettuna tilan katolle.



KUVA 13 Sähkötilan jäähdytysratkaisu (15)

3.5.2 Lämmön talteenotto

Usein teollisuuden yleisilmanvaihdossa pärjätään perinteisillä LTO-ratkaisuilla. Teollisuuteen suunniteltaessa tulee kuitenkin asioita tarkastella aina tapauskohtaisesti. Prosesseista voi olla saatavilla ilmaista energiaa, jolloin LTO-järjestelmää ei kannata rakentaa. Eri järjestelmiin sopivia LTO-laitteita on tutkittu ja kehitetty jo pitkään. Laitteet voidaan ryhmitellä kuvan 14 mukaan.



KUVA 14 Lämmöntalteenottolaitetyyppien ryhmittely (13, s. 62)

LTO-laitteiston valinnassa voidaan käyttää apuna taulukkoa 5. Suunnittelussa tulee huomioida myös laitteistojen korroosionkestävyyttä, painehäviöitä sekä hajujen ja kaasujen siirtoa. (13, s. 62.)

TAULUKKO 5 Lämmöntalteenottolaitteiston valinta (13, s. 68)

<i>Tarve tai sovellutusolosuhde</i>	<i>Eryyisen soveltuva lämmönsiirintyyppi</i>
- ahtaat tilat	- patterit
- poisto- ja tuloilmakanavistot erillään	- nestekiertoinen
- tarvitaan edullinen lämpöpinta	- levyvaihdin
- korkea hyötysuhde erityisen arvokas (=energia kallista, jatkuva käyttö)	- regeneraattori
- puhdistus edellyttää irrottamista	- lämpöputkipatteri - (sektoroitu regeneraattori)
- poistoilman epäpuhtaus kuiva pöly	- regeneraattori
- erityisen likaava poistoilma (+ puhdistuslaitteet)	- levysiirrin - (neulapatteri)
- halutaan kosteuden siirtoa	- regeneraattori

LTO-laitteiston kannattavuuden kannalta yksi tärkeimpiä tekijöitä on tuloilman lämpötilasuhde. Taulukossa 6 on esitetty tyypillisiä lämpötilahyötysuhteita yleisimmille teollisuudessa käytetyille LTO-laitteistoille.

TAULUKKO 6 Tyypillisiä tuloilman lämpötilahyötysuhteita (16, s. 16)

<i>Laitetyyppi</i>	<i>Lämpötilahyötysuhde (%)</i>
Nestekiertoiset	40...55
Levylämmönvaihtimet	50...65
Pyörivät, varaavat vaihtimet	70...85
Kiinteäkennoiset	70...90
Lämpöputkipatterit	55...65

Lämpötilahyötysuhde on vakiintunut termi alalla ja sillä tarkoitetaan tuloilmapuolen lämpötilasuhdetta. LTO laitteiston tuloilman lämpötilasuhde voidaan laskea kaavan 1 avulla. (16, s. 2.)

$$\eta_t = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1}$$

KAAVA 1

η_t = tuloilman lämpötilasuhde

T_1 = ulkoilman lämpötila

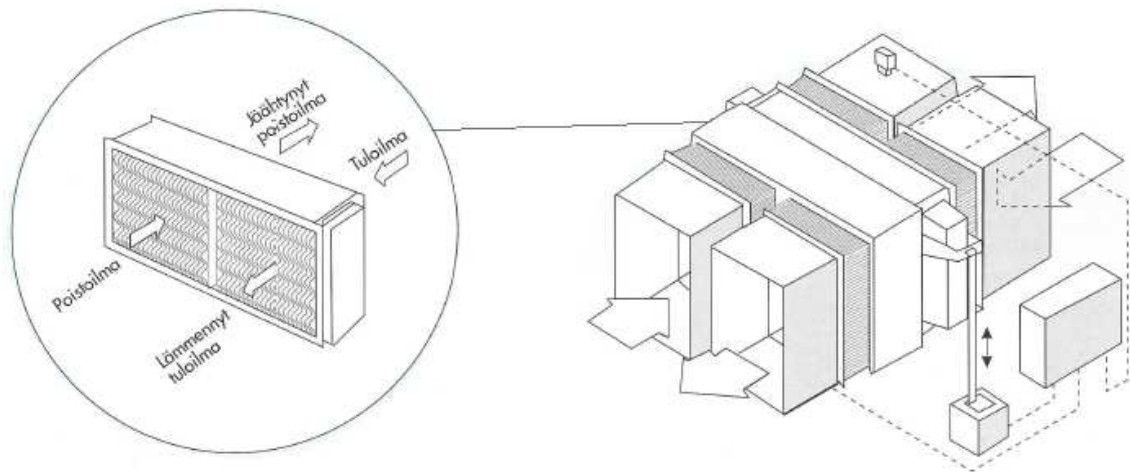
T_2 = tuloilman lämpötila

T_3 = poistoilman lämpötila

Levylämmönsiirtimien, pyörivien ja nestekiertoisten lämmönsiirtimien oletetaan olevan jo tuttuja talotekniikan parissa työskenteleville, mutta teollisuuden ilmanvaihdossa voidaan harkita myös seuraavanlaisia lämmöntalteenottoratkaisuja.

Lämpöputkilämmönsiirrin

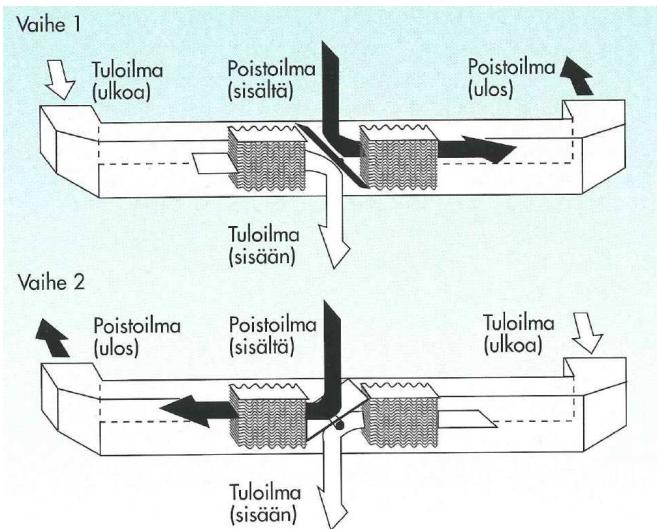
Kuvassa 15 on hieman harvinainen lämmönsiirintyyppi. Lämpöputkipatteri koostuu lamelleilla toisiinsa liittyvistä putkista. Putkissa on sisällä kylmäaineseos, joka höyrystyy putken lämpimällä puolella ja lauhtuu kylmällä puolella. Patterin hyötysuhdetta voidaan säätää kallistusta muuttamalla. Lämpöputkipatterilla päästään noin 55–60 %:n lämpötilahyötysuhteeseen. (13, s. 66.)



KUVA 15 Lämpöputkipatteri (13, s. 66)

Kiinteäkennoinen regeneraattori

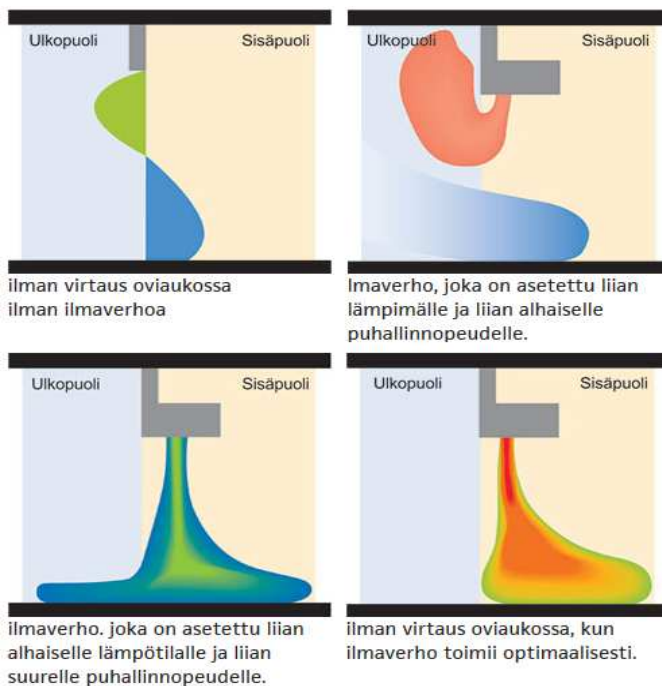
Kiinteäkennoisia regeneraattoreita on käytetty teollisuudessa hyvin pitkään. Eri-tyisesti keraamiset kennot kestävät korkeita lämpötiloja, ja niitä onkin käytetty masuuneissa ja lasiuuneissa. Ilmastoinnissa kennoja alettiin käyttää 1970-luvulla ja ne valmistetaan usein alumiinista. Poisto- ja tuloilma johdetaan vuoron perään kennoihin (kuva 16). Kennosto ei normaalisti vaadi poistoilman suodattimia eikä se käytännön olosuhteissa huuru umpeen. Lämmön talteenottoa säädetään suunnanmuutosjakson pituutta muuttamalla ja kennolla saavutetaan jopa 90 %:n lämpötilahyötysuhde. (13, s. 67.)



KUVA 16 Kiinteäkennoinen regeneraattori (13, s. 67)

3.5.3 Ilmaverhot

Teollisuushallit sisältävät aina isoja ovia. Ovien avaaminen häiritsee rakennuksen sisäisiä ilmavirtoja sekä hukkaa energiaa. Ilmaverhokojeiden tärkein tehtävä onkin tiivistää oviaukko ilmasuihkun avulla. Ilmaverhon oikeanlainen mitoitus ja suunnittelu on tärkeää sen toiminnan kannalta. (Kuva 17.)



KUVA 17 Ilmaverhon toiminta (17)

4 SUUNNITTELUNÄKÖKOHTIA KAIVOSTEOLLISUUDESSA

Lähtökohtana yleisilmanvaihdon tarpeelle kaivosteollisuudessa on hiukkasmaisen pölyn ja lämmön hallinta sisäilmasta. Malmin louhinta, kuljetukset, murskaukset ja rikastus tuottavat pölyä valtavia määriä. Suurin osa pystytään sitomaan ja poistamaan erilaisilla prosessi-ilmatekniikoilla, mutta silti pölypitoisuudet aiheuttavat ongelmia. Epäpuhtaudet ja ylikäyttö pyritään laimentamaan hyväksyttävälle tasolle yleisilmastoinnin avulla. (12, s. 70.)

Yksi kaivosteollisuuden ilmanvaihdon haasteista on myös väliaikaisuus. Pitemmällä aikavälillä tarkasteltuna kaivokset ja prosessirakennukset ovat väliaikaisia rakennelmia, jotka tullaan purkamaan ennemmin tai myöhemmin. Tämä ajattelumalli tuo haasteita suunnittelulle. Suunnitelmien tulisi perustua aina myös taloudellisiin näkökohtiin.

Prosesseissa syntyy paljon hukkalämpöä ilmaan ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on haastavaa juuri kertyvän pölyn takia. Lämmöntalteenottolaitteistoja on kehitetty myös teollisuuden tarpeisiin, ja ne tulisikin aina miettiä tapauskohtaisesti. Erittäin haastavissa olosuhteissa lämmön talteenotto voidaan jättää kokonaan pois ilmanvaihdosta suurten huolto- ja puhdistuskustannusten takia. Teollisuudesta löytyy myös esimerkkejä, joissa kallis LTO-järjestelmä toimii vain 5 %:n hyötysuhteella. Tällaiset ratkaisut eivät ole kannattavia.

Prosessitilojen sisäilmaan tulevia epäpuhtauksia ei pystytä usein määrittelemään ja ne tuleekin arvioida aina tapauskohtaisesti. Usein myös prosessien laitevalinnat ovat kesken ilmanvaihtoa suunniteltaessa. Epäpuhtausvirtojen määrittely perustuukin useimmiten kokemukseen vastaavista tiloista. Tyypillinen kokemukseen perustuva yleisilmanvaihdon ilmanvaihtomäärä kaivosteollisuuden prosessirakennuksissa on 1,5–6 vaihtoa tunnissa. Järjestelmän tulee myös olla riittävän joustava, jotta se voi energiatehokkaasti mukautua tulevaisuuden tarpeisiin muistaen kuitenkin, että liian isot ilmamäärät nostavat huolto- ja energiakustannuksia. (13, s. 46; 18.)

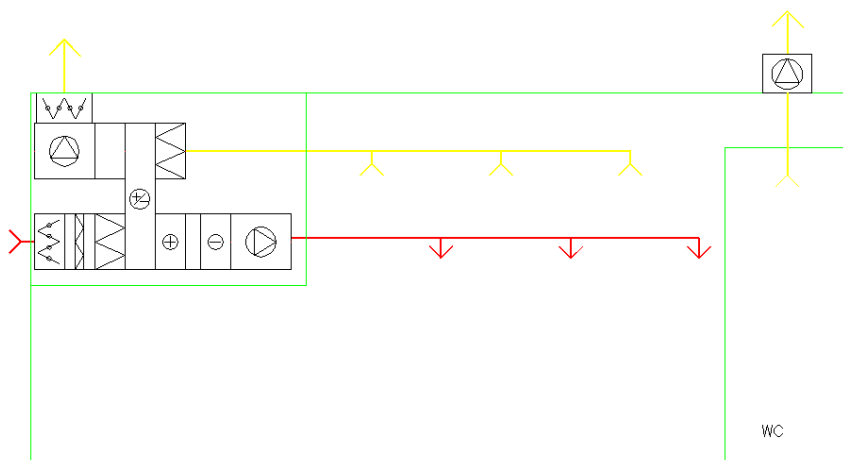
4.1 Hallintorakennukset

Kaivosteollisuuden prosessirakennuksiin lukeutuu myös toimistotyyppisiä tiloja. Näistä voidaan käyttää nimitystä hallintorakennukset. Hallintorakennuksiin kuuluvat mm. ruokalat, sosiaalilat ja toimistot. Ilmanvaihdon mitoitus ja vaatimukset saadaan pääosin Suomen rakentamismääräyskokoelmasta. Haasteena kaivosteollisuudessa on normaalia pölyisempi ulkoilma. Taulukossa 7 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia hallintorakennuksille. (18.)

TAULUKKO 7 Suunnittelunäkökohtia hallintorakennuksille

Hallintorakennukset	
Tilatyyppi:	Toimistorakennukset
Epäpuhtauslähteet:	Ihmiset
Lämpökuormat:	Normaalit
Tavoitetasot:	D2, sisäilmastoluokat S1 S2 S3
Tuloilman suodatus	T0,5, myös karkea esisuodatus suotavaa
Poistoilman suodatus	Ennen LTO:ta
Ilmavirran mitoitus:	D2, sisäilmastoluokat S1 S2 S3
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	-
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Sekoittava
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	D2
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
	Jäähdytys
Muita suunnittelunäkökohtia:	Pölyinen ulkoilma
	Työntekijöiden mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet

Kuvassa 18 on tyypillinen hallintorakennuksen ilmanvaihtoratkaisu.



KUVA 18 Hallintorakennuksen tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu (15)

4.2 Laboratoriot

Kaivosteollisuudessa laboratorioden vaatimat puhtausluokat eivät yleensä ole vaatimuksiltaan niin tarkkoja kuin esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa. Siksi laboratorioden ilmanvaihto suunnitellaankin aina tapauskohtaisesti vaatimusten mukaan. (18.)

Tulo- ja poistoilman käsittely riippuu pitkälti käsiteltävistä kemikaaleista sekä materiaaleista. Rakentamismääräyskokoelman osa D2 antaa ohjeet minimi-ilmavirroille, mutta ohjeistaa kuitenkin tapauskohtaiseen suunnitteluun. Ilman laatua on seurattava jatkuvien mittauksin sekä huolehdittava painesuhteista ympäröiviin tiloihin. Taulukossa 8 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia suunniteltaessa laboratorion ilmanvaihtoa.

TAULUKKO 8 Suunnittelunäkökohtia laboratoriotilaan

Laboratoriot	
Tilatyyppe:	Laboratoriot
Epäpuhtauslähteet:	Käytettävät kemikaalit
Lämpökuormat:	Normaalit
Tavoitetasot:	Kemikaalien osalta HTP-tila
Tuloilman suodatus	Tapauskohtainen puhdistiluokituksen mukaan
Poistoilman suodatus	Tapauskohtainen
Ilmavirran mitoitus:	D2/tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Sekoittava/mäntä
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	D2
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Käsitelty tuloilma/kierrätysilma (ei vetokaapeista)
	yleispoistot, kohdepoistot
Muita suunnittelunäkökohtia:	Tarpeenmukainen ilmanvaihto
	Kohdepoistot ja vetokaapit
	Kohdepoistojen kanavamateriaalit
	Painesuhteet huomioitava ympäröiviin tiloihin

4.3 Varastot ja korjaamot

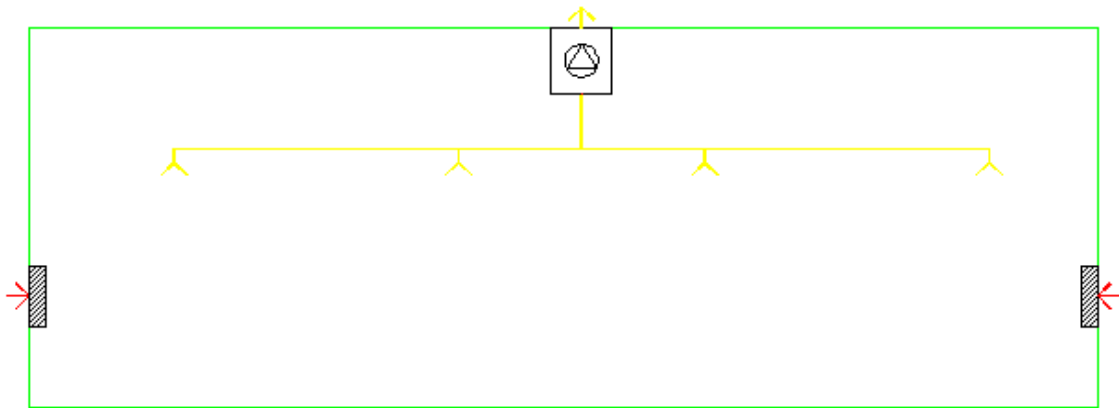
Teollisuudessa myös varastotilat täytyy suunnitella tapauskohtaisesti. Lähtökohdana varastoiden ilmanvaihdon suunnittelussa on varastoitavan materiaalin vaatimukset. Tilat voidaan karkeasti luokitella lämpimiin ja puolilämpimiin. Puolilämpimissä tiloissa pelkkä koneellinen poisto voi riittää. Varastoitava materiaali

voi myös aiheuttaa omat haasteensa esimerkiksi syttymis- ja räjähdysherkkyyden takia. Taulukossa 9 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia varastoille. (18.)

TAULUKKO 9 Suunnittelunäkökohtia varastoille

Varastot	
Tilatyyppi:	Varastot
Epäpuhtauslähteet:	Varastoitava materiaali
Lämpökuormat:	-
Tavoitetasot:	Minimi teollisuustaso
Tuloilman suodatus	Riippuu varastoitavasta materiaalista
Poistoilman suodatus	Riippuu varastoitavasta materiaalista
Ilmavirran mitoitus:	D2/tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Poisto ylhäältä ja tuloilmaventtiilit alhaalla
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	Yleensä puolilämpimiä
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Koneellinen poisto
Muita suunnittelunäkökohtia:	Polttoainevarastot, huomioitava ATEX
	Ilmavirtauksien esteet

Kuvassa 19 on tyypillinen varaston ilmanvaihtoratkaisu.



KUVA 19 Tyypillisen varastotilan yleisilmanvaihto (15)

Korjaamot

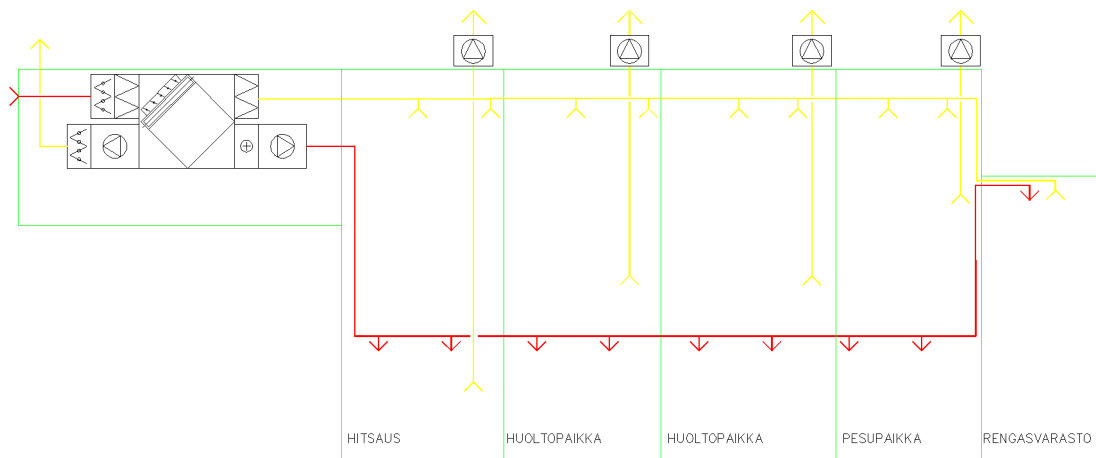
Korjaamot ovat kaivosteollisuudessa suuria halleja. Ilmanvaihto voidaan suunnitella normaaliin tapaan tulo/poistokoneilla ja lämmöntalteenotolla. Huollettavien koneiden pakokaasu- ja hitsauspäästöille tulee olla oma poistojärjestelmä. Korjaamohallit ovat korkeita rakennuksia, joten tuloilma tuodaan lähelle oleskelu-

vyöhykettä ja poisto tapahtuu läheltä katonrajaa. Taulukossa 10 on huomioitava suunnittelunäkökohtia korjaamotilaan. (18.)

TAULUKKO 10 Suunnittelunäkökohtia korjaamotilaan

Korjaamot	
Tilatyyppe:	Teollisuuden henkilötyötilat
Epäpuhtauslähteet:	Pakokaasut, hitsaukset, öljyt yms.
Lämpökuormat:	Normaalit
Tavoitetasot:	D2/yleinen teollisuustaso
Tuloilman suodatus	T1
Poistoilman suodatus	-
Ilmavirran mitoitus:	D2 $7 \frac{l}{s}/m^2$ tai tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	-
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Syrjäyttävä, poisto ylhäältä
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	D2
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
	Pakokaasu- ja hitsauspoistot
Muita suunnittelunäkökohtia:	

Kuvassa 20 on tyypillinen korjaamotilan ilmanvaihtoratkaisu.



KUVA 20 Tyypillisen korjaamotilan yleisilmanvaihto (15)

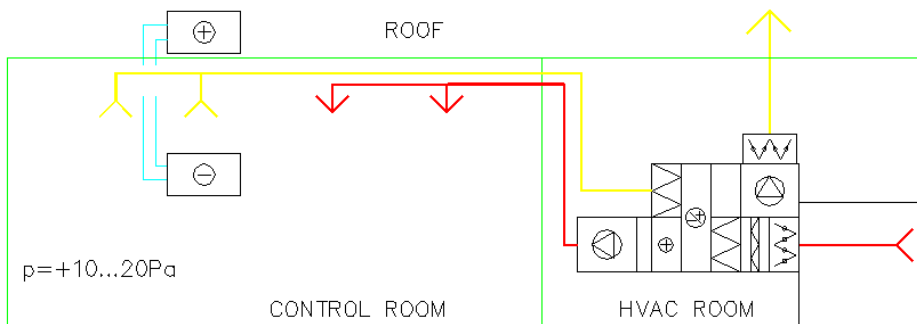
4.4 Valvomot

Valvomotilat sijaitsevat yleensä prosessirakennusten tai toimistojen yhteydessä (kuva 21).



KUVA 21 Tyypillinen valvomotila kaivosteollisuudessa (19, s. 22)

Prosessirakennuksessa sijaitsevan valvomon ilmanvaihto suositellaan hoidettavan omalla ilmanvaihtoratkaisulla (kuva 22), jolloin voidaan taata paras mahdollinen sisäilma työntekijöille. Tila tulee pitää myös ylipaineisena prosessitilaan nähden, jolloin epäpuhtaudet eivät pääse rakenteiden epätiiviyiskohtien kautta tilaan. (18.)



KUVA 22 Prosessirakennuksessa sijaitsevan valvomotilan yleisilmanvaihto ja jäähdytys (15)

Valvomot ovat yleensä jäähdytetyjä tiloja, joissa tulee myös huomioida lämpökuorma tietokoneista ja näyttöpäätteistä. Ohjaus- ja valvontalaitteista aiheutuvaan lämpökuormaan on olemassa suuntaa antavia taulukoita, mutta yleensä kuormat tarkastellaan tapauskohtaisesti. Taulukossa 11 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia valvomotilaan. (18.)

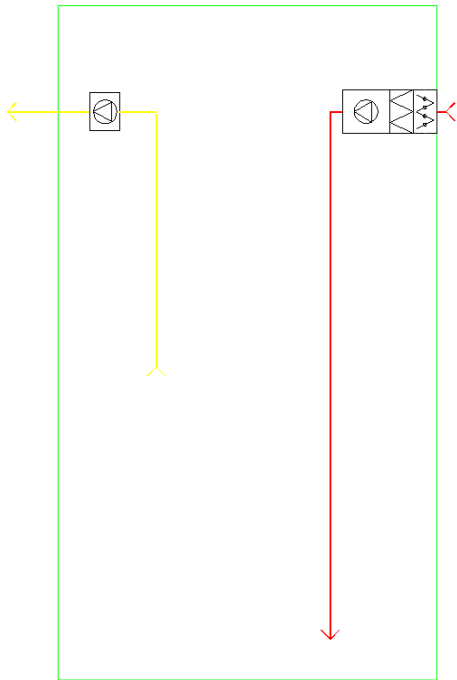
TAULUKKO 11 Suunnittelunäkökohtia valvomotilaan

Valvomot	
Tilatyyppe:	Erikoistilat
Epäpuhtauslähteet:	Ihmiset
Lämpökuormat:	Tietokoneet ja näytöt
Tavoitetasot:	D2 mukaiset/erikoistilat
Tuloilman suodatus	T0,5
Poistoilman suodatus	-
Ilmavirran mitoitus:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	-
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Sekoittava
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	D2
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
	Jäähdytys
Muita suunnittelunäkökohtia:	Tapauskohtainen lämpökuormien laskenta
	Jos prosessirakennuksessa, niin ylipaineinen

4.5 Murskaamot

Karkeassa murskauksessa murskaamon ilmanvaihto on pääosin prosessilaitteiden kohdepoistoa. Lähes kaikki prosessien laitteet ovat katettuja pölypäästöjen minimoimiseksi. Yleisilmanvaihto pidetään minimaalisena ja tarvittaessa huomioidaan kohdepoistojen vaatima korvausilma. Sisälämpötila pidetään kylmänä ilman lämmitystä. Murskaamossa on usein pieni valvomotila, johon tehdään oma ilmanvaihtoratkaisu. (18.)

Hienossa murskauksessa prosessin laitteet ovat jo niin hyvin koteloituja, että ilmanvaihto hoidetaan tulo/poistokoneella ja tapauskohtaisella lämmön talteenotolla. Murskaamot ovat korkeita rakennuksia ja tuloilma tuodaan alaosaan ja poistoilma viedään läheltä katonrajaa (kuva 23). (18.)



KUVA 23 Karkeamurskaamon yleisilmanvaihto (15)

Murskaamon ilmanvaihto on syytä mitoittaa joustavaksi, sillä epäpuhtauksien määrää on vaikea arvioida. Vaikka prosessit olisivat koteloituja, on hyvä varautua myös mitoituksia suurempiin ilmamääriin. Lisäksi juuri pölyisyyden takia murskaamon Ilmanvaihtolaitteissa tulisi huomioida jatkuva ja säännöllinen huolto. Taulukossa 12 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia karkeamurskaamoon. (3, s. 302.)

TAULUKKO 12 Karkeamurskaamon suunnittelunäkökohtia

Murskaamot (karkea)	
Tilatyyppe:	Katettu prosessitila
Epäpuhtauslähteet:	Prosessit
Lämpökuormat:	Murskaimet
Tavoitetasot:	Minimi teollisuustaso
Tuloilman suodatus	Tapauskohtainen
Poistoilman suodatus	Ei
Ilmavirran mitoitus:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	1.5-6 ¹ /h
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Sekoittava
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	Ei lämmitystä
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Vain korvausilma kohdepoistolle
Muita suunnittelunäkökohtia:	Kanavamateriaalin kestävyys

Taulukossa 13 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia hienomurskaamoon.

TAULUKKO 13 Hienomurskaamon suunnittelunäkökohtia

Murskaamot (hieno)	
Tilatyyppe:	Katettu prosessitila
Epäpuhtauslähteet:	Prosessit
Lämpökuormat:	Murskaimet
Tavoitetasot:	Minimi teollisuustaso
Tuloilman suodatus	T5
Poistoilman suodatus	T5
Ilmavirran mitoitus:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	1.5-6 ¹ /h
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Sekoittava
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	+5 - +15 °C
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
	Tarvittaessa pölynpoisto
Muita suunnittelunäkökohtia:	Huomioitava kohdepoistojen vaatima korvausilma

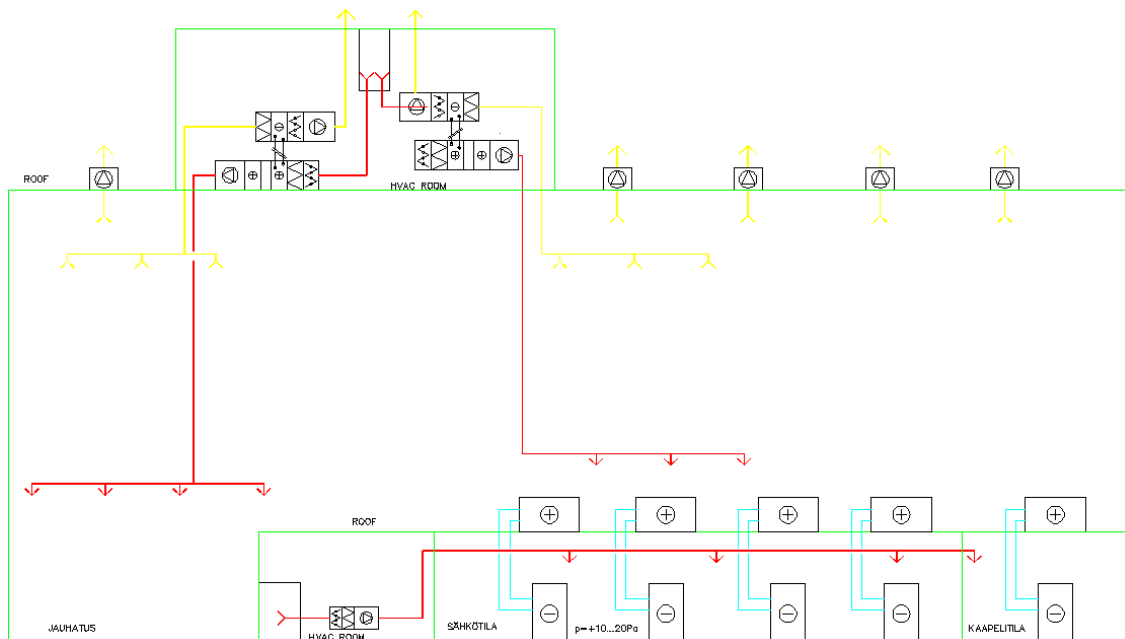
4.6 Jauhimot

Jauhatusessa malmi hienonnetaan rikastusprosessia varten. Jauhatus suoritetaan yleensä sisätiloissa (kuva 24). Riippuen jauhatuksen asteesta materiaalia voidaan hienontaa jopa 1 μm :n kokoiseksi. Näin hienojakoinen pöly aiheuttaa vaatimuksia myös poistoilman suodatukselle. (12, s. 257.)



KUVA 24 Yleiskuva jauhimosta (19, s.11)

Tilat ovat korkeita, joten tuloilma tuodaan alhaalta ja poistetaan läheltä katonrajaa. Ilmanvaihto hoidetaan tulo/poistokoneella ja tapauskohtaisella lämmön talteenotolla. Tilaa voi palvella myös useampi ilmanvaihtokone ja se voidaan jakaa alueisiin (kuva 25). (18.)



KUVA 25 Esimerkki ilmanvaihtoratkaisusta jauhimossa(15)

Jauhatusprosessi suunnitellaan täysin suljetuksi ja alipaineiseksi. Pölyn pääsy ympäristöön on nyky menetelmillä pystytty minimoimaan, joten yleisilmanvaihto voidaan pitää kohtuullisen pienenä. Ilmamäärät ovat usein 1–3 vaihtoa tunnissa. Taulukossa 14 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia jauhimoon. (9, s. 124; 18.)

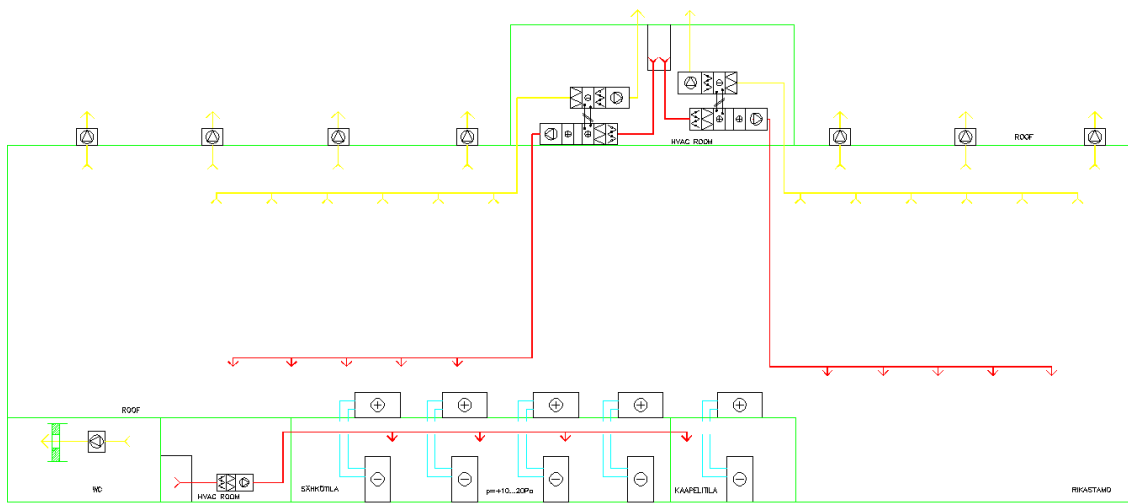
TAULUKKO 14 Suunnittelunäkökohtia jauhimoon

Jauhimot	
Tilatyyppi:	Katettu prosessitila
Epäpuhtauslähteet:	Prosessit
Lämpökuormat:	Suuret lämpökuormat prosesseista
Tavoitetasot:	Normaali teollisuustaso
Tuloilman suodatus	T1
Poistoilman suodatus	T1/tapauskohtainen
Ilmavirran mitoitus:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	1-3 ¹ / _h
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Syrjäyttävä
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	+5 - +15 °C
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
	Tarvittaessa pölynpoisto
Muita suunnittelunäkökohtia:	Huomioitava kohdepoistojen vaatima korvausilma

4.7 Rikastamot

Rikastusprosessissa jauhetusta malmista erotellaan arvoaineita sisältävät mineraalit arvottomista. Yksi yleisimmistä käytössä olevista rikastusmenetelmistä on vaahdotus. Vaahdotuksessa lietteeseen syötetään ilmakuplia ja erilaisia kemikaaleja, jotka sitoutuvat avomineraaleihin. Arvomineraalit nousevat lietteen pinnalle ilmakuplien mukana, josta ne on helppo kaapia talteen. (12, s. 253.)

Rikastamon tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu on hyvin samantapainen kuin jauhimossakin (kuva 26).



KUVA 26 Esimerkki ilmanvaihtoratkaisusta rikastamossa (15)

Taulukossa 15 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia rikastamon ilmanvaihdon suunnitteluun. Vaahdotusmenetelmät tuottavat kosteutta sisäilmaan, mikä tulee huomioida suunnittelussa. (18.)

TAULUKKO 15 Suunnittelunäkökohtia rikastamoon

Rikastamot	
Tilatyypit:	Katettu prosessitila
Epäpuhtauslähteet:	Kosteus ja lämpökuormat prosessista
Lämpökuormat:	Suuret lämpökuormat prosesseista
Tavoitetasot:	Normaali teollisuustaso
Tuloilman suodatus	T1
Poistoilman suodatus	T5
Ilmavirran mitoitus:	Tapauskohtainen
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	1-3 ¹ / _h
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Syrjäyttävä
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	+5 - +15 °C
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tulo/poistokone, LTO
Muita suunnittelunäkökohtia:	Poistokanaviston materiaalin

4.8 Sähkötilat

Sähkötiloilla tarkoitetaan prosessitilojen yhteydessä sijaitsevia muuntaja-, kaapeli-, sähkölaite-, automaatio- ja ristikytkentätiloja. Ilmanvaihtoon tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä hyvällä ilmanvaihdolla ja jäähdytyksellä saadaan käyttövarmuutta sähkölaitteille. Nykyiset tiheään pakatut ja herkäät ohjauslaitteet eivät siedä epäpuhtauksia siinä missä vanhat mekaaniset relekytkentäiset ohjauslaitteet.

Sähkötiloille asetetaan omat puhtausvaatimukset ja ne voidaan jakaa ilmastoinnin laatuvaatimusten mukaan neljään luokkaan:

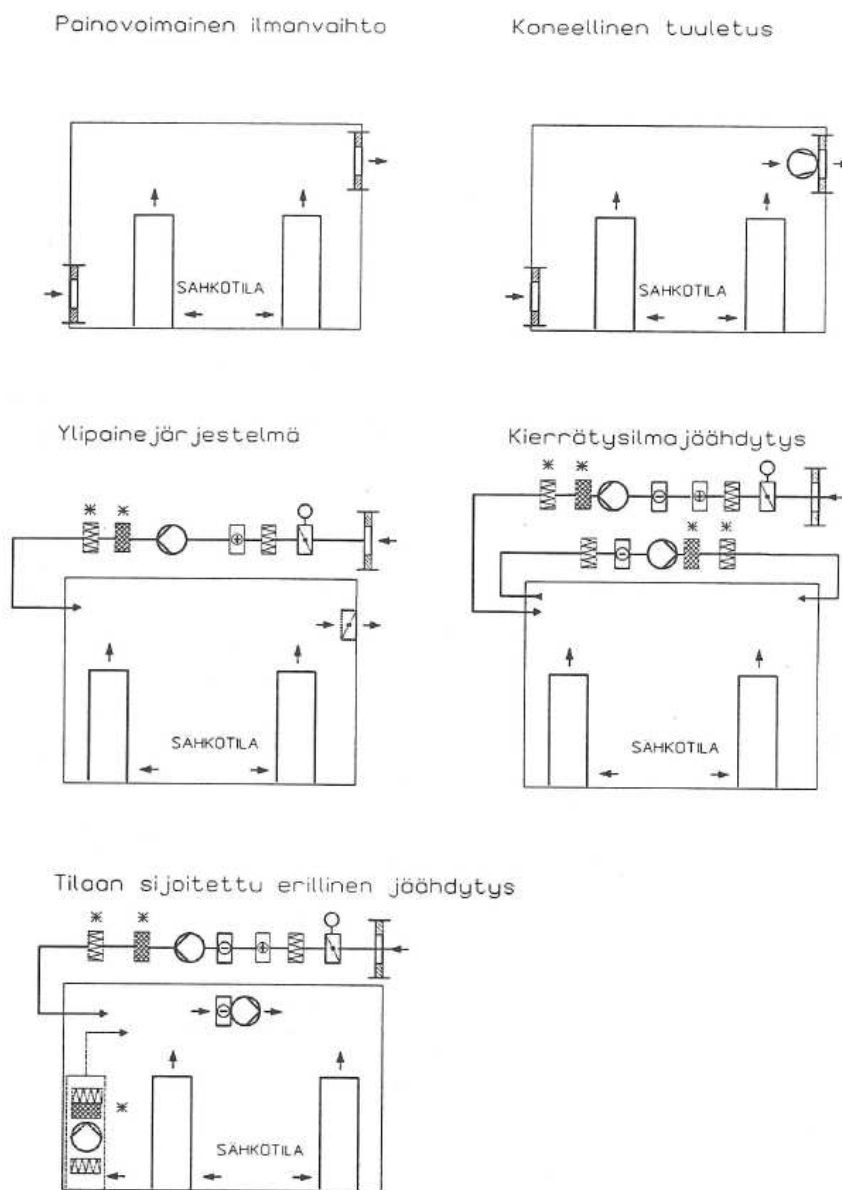
- **muuntajatila**, jossa häviölämpö aiheuttaa ilmanvaihdon ja/tai jäähdytyksen tarpeen
- **kojeistotilat**, esim. kytkinlaitostilat, pääkeskustilat, relehuoneet, telelaitteet, ristikytkentätilat jne.
- **valvomotila** ja atk-laitteita sisältävä tila, jossa työskennellään jatkuvasti
- **kaapelitilat** ja vastaavat, joissa ilmastoinnin vaatimustaso on alhainen (21 ,s. 2).

Tilan ilmanvaihtoa ja puhtausvaatimuksia suunniteltaessa tulee suunnittelijan huomioida seuraavanlaisia asioita:

- laitteiden vaatimukset
- laitteiden aiheuttamat kuormat

- ympäröivien tilojen aiheuttamat kuormitukset (mm. epäpuhtaudet ja korrosio)
- mekaaniset rasitukset
- muut mahdolliset vaatimukset, kuten tilassa tapahtuva työskentely (22, s. 2).

Kuvassa 27 on viisi ilmanvaihdon peruseriaatetta teollisuuden sähkötiloille. Lisäksi jokaisesta vaihtoehdosta voidaan muodostaa eri variaatioita tarpeen mukaan.



* Jos on kemiallisen suodatuksen tarvetta

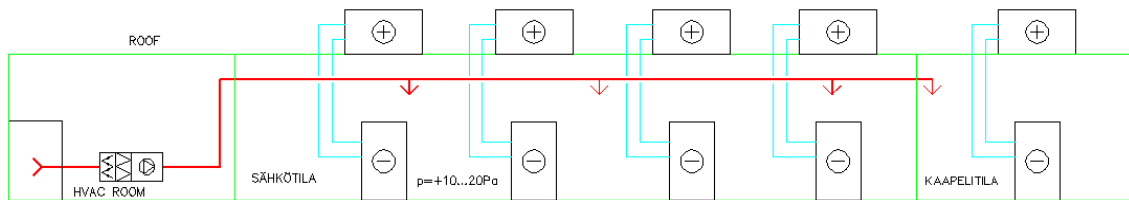
KUVA 27 Sähkötilojen ilmastointijärjestelmiä (23, s. 27)

Taulukossa 16 on huomioitavia suunnittelunäkökohtia sähkötiloihin. Pääsääntöisesti sähkötilat pidetään ylipaineisina ulkopuolisiin tiloihin nähden. Ilmanvaihtoon johdettava ilma puhdistetaan ja suodatetaan, jotta tärkeille ja herkille sähkökomponenteille saadaan käyttövarmuutta. (21, s. 6.)

TAULUKKO 16 Suunnittelunäkökohtia sähkötiloihin

Sähkötilat	
Tilatyyppi:	Erikoistilat
Epäpuhtauslähteet:	Tilan ulkopuolelta ovien yms. kautta
Lämpökuormat:	Suuret lämpökuormat sähkölaitteista
Tavoitetasot:	Erikoistilataso
Tuloilman suodatus	T0,5
Poistoilman suodatus	-
Ilmavirran mitoitus:	Lämpökuormien mukaan
Tyypillinen Ilmanvaihtokerroin:	-
Tyypillinen Ilmanjakotapa	Tapauskohtainen
Lämpöolot [°C] kesä/talvi:	Tapauskohtainen maks. 35 °C
Tyypillinen ilmanvaihtoratkaisu:	Tapauskohtainen kts kuva 28
Muita suunnittelunäkökohtia:	Ylipaineinen ympäristöön nähden

Aina ei pystytä rakentamaan riittävää ilmanvaihtoa tai ulkopuolinen ilma sisältää paljon epäpuhtauksia. Tällöin sähkötilat voidaan jäähdyttää myös nestekiertoisella jäähdytysjärjestelmällä (kuva 28). Tällöin ilmanvaihtoa ei tarvitse mitoittaa lämpökuormien poistoon. Nykyisillä jäähdytysratkaisulla voidaan lämpö poistaa hyvinkin tehokkaasti suoraan kohteesta. Sähkötilojen lähtötiedot on pyrittävä hankkimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta tiedot olisivat käytettävissä jäähdytystehoja laskettaessa. (21, s. 5.)



KUVA 28 Esimerkki ilmanvaihtoratkaisusta sähkötilassa (15)

5 YHTEENVETO

Työssä on käsitelty osa-alueita yleisilmanvaihdon suunnittelusta kaivosteollisuuden maanpäällisille rakennuksille. Työ antaa lähtökohtia suunnittelijalle huomioon otettavista asioista. Asioihin ei paneuduttu syvällisesti, sillä kokonaisuus on laaja ja jokaisesta osa-alueesta voisi tehdä oman tutkimuksensa.

Kaivosteollisuudessa käytetään valtavia määriä energiaa ja näin myös syntyy valtavia määriä hukkalämpöä. Nykyisin myös teollisuudessa ovat vihreät arvot nousemassa pinnalle ja energiansäästöratkaisut kiinnostavat. Kuitenkin ratkaisujen tulee aina perustua kannattavuuteen ja takaisinmaksuun, sillä tilaajana on voittoa tavoitteleva yritys. Tämä on haastavaa kaivosteollisuudessa, sillä rakennukset ovat väliaikaisia ja usein yksinkertainen ratkaisu on likaisessa teollisuusympäristössä toimintavarmempi.

Suunnittelunäkökohdissa ohjataan kiinnittämään huomiota erityisesti tapauskohtaiseen suunnitteluun. Teollisuuden suunnittelussa kokemus on vahvassa roolissa, sillä yleistä ratkaisumallia ei voida antaa ja päästölähteet voivat olla osin tuntemattomia. Suunnittelijan tulisi myös tuntea suunniteltavien kohteiden prosessien toimintaa, jotta voi soveltaa olemassa olevaa tietoa uusiin projekteihin.

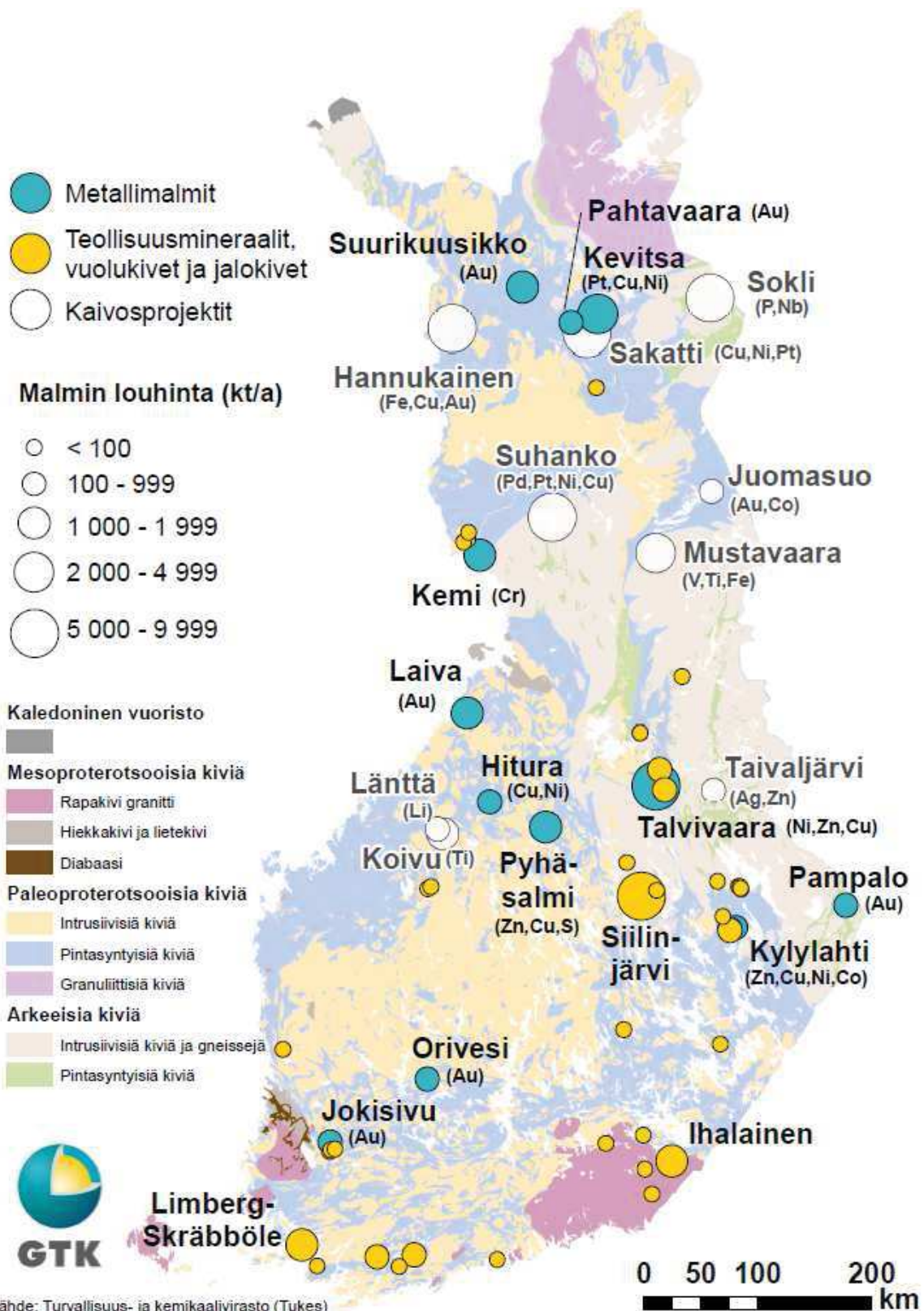
Teollisuuden ilmanvaihtoon löytyy materiaalia, mutta suoraan kaivosteollisuuden suunnattua ohjeistusta ei ole. Pääosin materiaali on tehty ennen 2000-lukua ja on siten osin vanhentunutkin. Uudelle pelkästään teollisuuteen suunnatulle materiaalille olisi varmasti tilausta, sillä uudisrakentamisesta jopa neljäsosa painottuu teollisuuteen. Osaltaan myös jatkuvasti tiukentuvat energiamääräykset pakottavat ajattelemaan teollisuusilmanvaihtoa uusilta näkökulmilta.

LÄHTEET

1. Pöyryn palveluntarjonta suomessa. Pöyry Finland Oy. Saatavissa: <http://www.poyry.fi/yritys/poyry-suomessa>. Hakupäivä 1.4.2015.
2. Kaivosteollisuus. Suomen työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://www.tem.fi/yritykset/kaivosteollisuus>. Hakupäivä 18.3.2015.
3. Hakapää, Antero – Lappalainen, Pekka (toim.) 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
4. Kaivosteollisuus, Toimialaraportti 3/2013. Suomen työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: http://www.temtoimialapalvelu.fi/toimialaraportit/toimialaraportit_ja_tilastokuvat/kaivosteollisuus. Hakupäivä 8.3.2015.
5. Kevitsan nikkeli- ja kuparikaivos. Pöyry Finland Oy. Saatavissa: <http://www.poyry.fi/projektit/kevitsan-nikkeli-ja-kuparikaivos> → lue menestystarina. Hakupäivä 12.2.2015.
6. Sandberg, Esa (toim.) 2014. Ilmastointitekniikka osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy.
7. Goodfellow, Howard – Tähti, Esko (toim.) 2001. Industrial ventilation design guidebook. San Diego, California: Academic Press.
8. Tähti, Esko (toim.) 2000. Teollisuusilmastoinnin opas. Helsinki: TAKE.
9. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing 2012. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Saatavissa:

- <http://www.cdc.gov/niosh/mining/works/coversheet1765.html>. Hakupäivä 10.1.2015.
10. Seppänen, Olli (toim.) 2004. Ilmastoinnin suunnittelu, Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy.
11. Mattila, Vesa- Ville 2012. Energiatehokas teollisuuskiinteistö. Motiva Oy.
Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teollisuuskiinteisto.pdf. Hakupäivä 15.1.2015.
12. Pihkala, Juhani 2011. Prosessiteknikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus.
13. Teollisuushallien taloudellinen lämmitys ja ilmanvaihto 1993. Helsinki: Imatran Voima Oy.
14. Säämänen, Arto – Riipinen, Hannu – Kulmala, Ilpo – Welling Irma 2004. Pölyntorjunta. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>. Hakupäivä 15.2.2015.
15. Rakennusten yleisilmanvaihdon esimerkkikaaviot. Pöyry Finland Oy 2014.
16. Insinööritoimisto Air-ix Oy 1987. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton käyttö- ja suunnittelutietoa teollisuudelle. Espoo: Neste Oy.
17. Mitä oviaukossasi oikeasti tapahtuu? Stavent Oy 2015. Saatavissa:
http://www.stravent.fi/index.php?page=ca2-climate-separation-and-control&hl=fi_FI. Hakupäivä 8.3.2015

18. Anttila, Toni. Osastopäällikko, Pöyry Finland Oy, Talotekninen suunnittelu. Keskustelut syyskuu 2014 – huhtikuu 2015.
19. Koivistoinen, Pertti 2011. Kaivoksesta markkinoille – rikastusprosessit. Kaivos- ja louhintateknikka DVD. Helsinki: Opetushallitus.
20. Aginco Eagle Finland 2015. Saatavissa:
<http://www.agnicoeagle.fi/en/aboutus/mineralprocessing/Pages/home.aspx>.
Hakupäivä 8.3.2015.
21. ST 53.61. Sähkötilojen ilmavaihto ja jäähdytys. Sähkötieto ry. Saatavissa:
<http://severi.sahkoinfo.fi/item/637> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 25.1.2015.
22. LVI 30-40038. Teollisuuden sähkö- ja elektroniikkatilojen ilmastointi. LVI-tiedonjyväkortti, INVENT. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/LVI2539.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 25.1.2015.
23. Hagström, Kim – Railio, Jorma – Tähti, Esko 1994. Sähkötilojen ilmastointi. Suunnittelu ja mitoitusperusteet. Helsinki: TEKES



TEOLLISUUSYMPÄRISTÖN YLEISIMPIEN
EPÄPUHTAUKSIEN TAVOITETASOT

LIITE 2

Epäpuhtaus	Ilman laatutaso			
	I. * Erikoistila-taso	II. Hyvä teollisuustaso	III. Yleinen teollisuustaso	IV. Minimiteollisuustaso
Epäorgaaninen kokonaispöly (mg/m ³)	< 0.01	< 0.5	0.5 - 2.5	2.5 - 10
Kromi-(III)-yhdisteet (µg/m ³)		< 10	10 - 100	100 - 500
Kromi-(VI)-yhdisteet (µg/m ³)		< 2	2 - 10	10 - 50
Nikkeliyhdisteet (µg/m ³)		< 5	5 - 20	20 - 100
Öljysumu (mg/m ³)		< 0.2	0.2 - 1	1 - 5
Formaldehydi (mg/m ³)		< 0.1	0.1 - 0.2	0.2-0.37
Typpidioksidi (mg/m ³)	< 0.1	< 0.2	0.2 - 1.4	1.4 - 5.7
Hiilimonoksidi (mg/m ³)		< 3	3 - 12	12 - 35
Otsoni (µg/m ³)		< 50	50 - 75	75 - 100
Asetoni (mg/m ³)		< 12	12 - 120	120 - 1200
Butanoli (mg/m ³)		< 2	2 - 20	20 - 150
Isopropanoli (mg/m ³)		< 5	5 - 50	50 - 500
Alifaattinen** liuotinbenssiini (mg/m ³)		< 10	10 - 100	100- 1200
Tolueeni (mg/m ³)		< 5	5 - 40	40 - 190
Ksyleeni (mg/m ³)		< 5	5 - 40	40 - 440
Styreeni (mg/m ³)		< 1	1 - 20	20 - 86
TVOC (mg/m ³)		< 5	5 - 40	
Yleinen malli muille epäpuhtauksille		< 0.1xHTP	0.1xHTP - 0.25xHTP	>0.25xHTP- HTP

* Esim teollisuuden sähkötilahuoneet standardin IEC 721-3-3 mukaan.

** Kun yhdiste ei sisällä n-heksaania