

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka
Teemu Multisilta – Sakari Niittymäki

Opinnäytetyö

**Sisäilmanlaatututkimus Tampereen oppilaitoksien
laboratoriotiloissa**

Työn ohjaaja
Työn tilaaja
Tampere 05/2009

TkL Maarit Korhonen
TAMK, kiinteistöpäällikkö Mikko Luoto

Tekijät	Teemu Multisilta, Sakari Niittymäki
Työn nimi	Sisäilmanlaatututkimus Tampereen oppilaitoksien laboratorioissa
Sivumäärä	64 + 7
Valmistumisaika	Toukokuu 2009
Työn ohjaaja	TkL Maarit Korhonen
Työn tilaaja	Tampereen Ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Työssä käsitellään yleisimpiä sisäilmanlaadun ongelmia, niiden aiheuttajia ja parannusmenetelmiä. Työtä varten perehdyttiin laajaan teoria-aineistoon ja haastateltiin oppilaitosten henkilökuntaa. Teoriapohjan ja haastattelujen perusteella laadittiin mittaussuunnitelma, joka toteutettiin.

Työn tarkoituksena oli selvittää, millaiset työskentelyolosuhteet näissä valituissa oppilaitoksissa vallitsee laboratoriotiloissa. Tarkoituksena oli myös selvittää, miten kiinteistön ikä ja kunto sekä erilaiset työskentelymenetelmät vaikuttavat ilman laatuun. Lisäksi pohditaan myös, miten näitä olosuhteita voitaisiin parantaa.

Työ tehtiin, koska Tampereen seudun oppilaitosten laboratorioiden sisäilmanlaatua ei ole aiemmin tutkittu. Oppilaitosten sisäilmanlaadussa havaittiin huomattavia eroja, ja näihin pyrittiin löytämään parantavia ratkaisuja. Lisäksi työssä perustellaan terveysvaikutusten kautta, miksi sisäilmanlaatuun on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota.

Työssä on sovellettu tietoa vuonna 2000 tehdystä päiväkotien sisäilmanlaatututkimuksesta sekä 2008 järjestetystä ilmanlaatuprojektista. Työtä varten kartoitettiin myös suuri määrä teoriamateriaalia.

Tuloksista huomaa rakennuksen iän, rakennusmateriaalien, ilmanvaihdon ja rakennuksen käytön vaikuttavan selvästi sisällä vallitseviin ilmasto-olosuhteisiin. Tulokset eivät ole tarkoitettu pelkästään mukana olleiden oppilaitosten käyttöön, vaan tutkimustuloksia voi soveltaa omaan käyttöönsä myös muissa oppilaitoksissa. Tulevaisuudessa tutkimusta voidaan jatkaa kattamaan laajemman alueen oppilaitoksia tai perehtyä pienempiin osakokonaisuuksiin syvällisemmin. Laajennusmahdollisuuksia on ainakin radonin, asbestin ja kokonaisvaltaisen jätehuollon parissa.

Writers	Teemu Multisilta, Sakari Niittymäki
Thesis	Indoor air quality research in laboratories of Tampere area
Pages	64 + 7
Graduation time	May 2009
Thesis Supervisor	Maarit Korhonen
Co-operating Company	TAMK University of Applied Sciences

ABSTRACT

This work deals with most commonly known problems with indoor air quality, the sources of them and the methods of improvements. A large theory base was familiarised with and staff of chosen schools was interviewed. A measurement plan was made and carried through with the help of theory base and interviews.

The significance of work was to solve what kind of working conditions there are in the laboratories of the chosen schools. It was also important to work out what affect the age and conditions of buildings and working procedures have on the indoor air quality.

The work was done because there aren't any previous examinations about indoor air quality conditions in laboratories of Tampere area. Noticeable differences were found in indoor air qualities.

The effects of age, air condition and the use of building can be seen from the conclusions. The conclusions are not made only for the schools that have been in this project but for all schools.

Keywords

air quality, indoor air, housing health

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö päättää meidän osaltamme kaksi vuotta kestäneen ilmanlaatuprojektin. Osuutemme projektissa alkoi vuonna 2007 ja sisälsi sisäilmanlaatumittauksia Tampereen ammattikorkeakoululla ja päättyi mittauksiin viidestä muusta Tampereen seudun oppilaitoksesta vuonna 2009. Opinnäytetyötä tehdessämme teoreettinen tietämyksemme ja osaamisemme on syventynyt valtavasti.

Kiitokset työn valmistumisesta kuuluvat kaikille taustajoukoillemme sekä erityisesti ilmanlaatutiimillemme. Tiimiin on kahden vuoden aikana kuulunut kiinteistöpäällikkö Mikko Luoto, kunnossapitoinsinööri Petri Ojala ja laboratoriomestari Marja-Liisa Laaksonen. Erityiskiitokset kuuluvat myös projektiin oman panoksensa antaneille Rami Rajalahdelle, Jouni Uusitalolle sekä Jarno Oravasaarelle.

Tampereella 29. huhtikuuta 2009.

Teemu Multisilta & Sakari Niittymäki

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 Sisäilmanlaatu	8
2.1 Sisäilmaongelman historiaa ja nykyisyyttä	8
2.2 Sisäilmasto, terveys ja viihtyisyys	9
2.3 Sisäilmastovalitusten käsittely	10
2.4. Raja- ja toimenpidearvot sisäilmaongelmissa	10
3 Tärkeimmät sisäilmanlaatuun vaikuttavat tekijät	12
3.1 Rakennuksen vaikutus	12
3.2 Rakennuksen käytön vaikutus	12
3.3 Fysikaaliset tekijät	13
3.3.1 Ilmanvaihto	13
3.3.2 Lämpötila	15
3.3.3 Kosteus	17
3.3.4 Melu	18
3.3.5 Veto	19
3.3.6 Radon	21
3.4 Kaasumaiset epäpuhtaudet	22
3.4.1 Hiilidioksidi	23
3.4.2 Hiilimonoksidi	24
3.4.3 Otsoni	25
3.4.4 Rikkidioksidi ja muut rikkiyhdisteet sekä typen oksidit	26
3.4.5 Ammoniakki	26
3.4.6. Orgaaniset kaasumaiset yhdisteet	27
3.4.7 Aldehydit	29
3.5 Hiukkasmaiset sisäilman epäpuhtaudet	29
3.5.1 Biologista alkuperää olevat hiukkasmaiset sisäilman epäpuhtaudet	30
3.5.2 Sisäilman muut hiukkaset	31
3.5.3 Asbesti	32
3.5.4 Styreeni	33
3.5.5 Tupakointi	33
4 Kemialliset tekijät	35
4.1 Kemikaalilaki	36
4.2 Kemikaaliasetus	37
4.2.1 Vaarallisten kemikaalien ryhmitys	37
4.2.2 Kemikaalien merkintä	39
4.2.3 Palavien nesteiden ja kaasujen säilyttäminen	40
4.2.4 Terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien säilyttäminen	42
4.3 Käyttöturvallisuustiedotteet ja luettelo työpaikalla käytettävistä kemikaaleista	42
4.3.1 Käyttöturvallisuustiedote	43
4.3.2 Kemikaalien luettelointi	44
4.4. Altistuminen ja sen arviointi	45
4.5 Raja-arvot	46
5 Henkilökunnan haastattelut	48

6 Ilmanlaatumittaukset.....	51
6.1 Hiilidioksidipitoisuus.....	51
6.2 Lämpötila.....	52
6.3 Suhteellinen kosteus.....	52
7 Mittaustulokset.....	53
8 Mittaustulosten analysointi.....	57
9 Johtopäätökset.....	62
Lähteet.....	64
Liitteet.....	65
Liite 1: Haastattelupohja.....	65
Liite 2: Mittaustulokset.....	68

1 Johdanto

Tässä työssä perehdytään koulumaisten kemianlaboratorioiden sisäilman laatuun ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi yritetään tarjota ratkaisuja ongelmien vähentämiseksi.

Sisäilmanlaatuun on alettu vasta viime vuosina kiinnittää laajemmin huomiota. Sisäilmanlaatu on yhä enemmän huomiota kiinnittävä tutkimuksen kohde, ei pelkästään koulurakennuksissa, vaan myös asunnoissa ja muissa toimistomaisissa tiloissa.

Alkusysäyksenä tämän opinnäytetyön tekoon olivat valitukset sisäilman laadusta Tampereen ammattikorkeakoulun prosessisiiven opetustiloissa. Tutkimuksia varten käynnistetty sisäilmanlaatuprojekti on näin laajentunut koskemaan koko Tampereen alueen oppilaitosten ilmanlaatua.

Tässä opinnäytetyössä on laajan teoriapohjan kartoituksen ja oppilaitosten henkilökunnan haastattelujen lisäksi suoritettu perusmittauksia oppilaitosten kemiantiloissa. Mittauksia tehtiin Sammon keskuslukiolla, Kaarilan lukiolla, Klassillisella lukiolla, Pirkanmaan ammattiopistolla sekä Pirkanmaan ammattikorkeakoululla.

Mittauksissa tutkittiin sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä hiilidioksidipitoisuutta ja näiden korreloimista muun muassa henkilömäärän sekä kuluneen ajan suhteen.

2 Sisäilmanlaatu

Sisäilmasta puhuttaessa terveellisyys ja viihtyvyys erotetaan toisistaan aivan, kuin ne olisivat kaksi eri asiaa. Nykyisen ihmiskäsityksen mukaan ihminen toimii paremmin viihtyisässä kuin epäviihtyisässä ympäristössä. Jos terveellisyys nähdään toiminnallisena ominaisuutena, viihtyisyys sisältyy terveellisyteen. Työpaikoilla tämä tarkoittaa sitä, että vaikka huonosta sisäilman laadusta ei aiheutuisikaan sairauksia eikä oireita vaan pelkästään viihtyisyyshaittaa, työkyky alenee. (Seuri & Palomäki 2000, 22)

Asunnon ja muiden oleskelutilojen terveellisyteen vaikuttavat fysikaaliset olot sekä kemialliset ja mikrobiologiset epäpuhtaudet. Fysikaalisia tekijöitä ovat muun muassa sisäilman lämpötila ja kosteus, melu, ilmanvaihto, säteily ja valaistus. Esimerkiksi eräiden rakennusmateriaalien sisältämien kemiallisten aineiden päästöt sisäilmaan riippuvat voimakkaasti sisäilman lämpötilasta ja kosteudesta. Ilmanvaihdon toiminta ja sen tehokkuus vaikuttavat myös osaltaan epäpuhtauksien pitoisuuteen. (Asumisterveysopas 2008, 24)

2.1 Sisäilmaongelman historiaa ja nykyisyyttä

Siitä asti kun ihminen on pyrkinyt suojautumaan ulkoilman vaikutuksilta, on sisäilman haittatekijöitä esiintynyt. Viime vuosisadan alussa Suomessakin puhuttiin ahtaan asumisen ja huonon hygienian haitoista. Tuolloin riehunut tuberkuloosiepidemia oli ilmeisesti osittain asuinoloista (nykykielellä sisäilmasta) johtuvaa. (Seuri & Palomäki 2000, 18)

1970-luvun alun energiakriisejä pidetään useimmiten nykyisen sisäilmaongelman lähtökohtana. Tuota ennen energian hinta oli suhteellisen alhainen ja rakennuksen tiiviyden merkitystä ei pidetty niin tärkeänä kuin nykyisin. Energiakriisien seurauksena rakennuksia tiivistettiin ja uusien rakennuksien lämmöneristävyyttä parannettiin. Kun korjauksia tehtiin, ei usein osattu ottaa huomioon ilmanvaihdon merkitystä. Esimerkiksi isojakin toimistorakennuksia saatettiin käyttää talvipakkasilla

viikkoja pelkällä kierrätysilmalla ottamatta lainkaan korvausilmaa järjestelmään. Epäpuhtauksien pitoisuudet alkoivat kasvaa rakennusten tiivistämisen ja puutteellisen ilmanvaihdon seurauksena. (Seuri & Palomäki 2000, 18)

2.2 Sisäilmasto, terveys ja viihtyisyys

Puutteet ja ongelmat joita sisäilmastosta löytyy, vaikuttavat ihmisten terveyteen ja työtehoon. Epäpuhtauksien ja muiden haitallisten sisäilmastotekijöiden vaikutus ihmiseen on hyvin monimutkainen ilmiö. Vaikutukset riippuvat monista tekijöistä. Näitä tekijöitä ovat muun muassa ihmisen terveydentila, ikä, herkistyminen, altistusaika ja muu kuormitus. Ehdottoman varmoja raja-arvoja on tämän vuoksi vaikeaa asettaa. (Salminen, Pennanen & Säteri 2002, 14)

Ensimmäisiä merkkejä sisäilman ongelmista on niin sanottujen sairusrakennusoireiden yleistyminen rakennuksessa. Näitä oireita ovat

- nenän, kurkun ja silmien ärsytys
- kuivat limakalvot ja iho
- ihon punaläikkäisyys
- väsymys ja päänsärky
- hengitystietulehdukset ja yskä
- käheä ääni
- yliherkkyysoireet
- pahoinvointi ja huimaus. (Salminen ym. 2002, 14)

Jos sairusrakennusoireet lisääntyvät rakennuksessa oleskeltaessa ja vähenevät tai häviävät kokonaan rakennuksesta poistuttaessa, on syytä epäillä rakennuksen aiheuttavan kyseessä olevat oireet. (Salminen ym. 2002, 14)

Sisäilmastoon kohdistuu varsinaisten oireiden lisäksi monia viihtyisyysvalituksia. Näitä ovat esimerkiksi ilman tunkkaisuus ja hajujen leviäminen, veto, yllämpö ja kuivuuden tunne ja eri lähteistä syntyvä melu. Myös näiden ongelmien korjaaminen on

tärkeää, sillä ne laskevat asiakkaiden tyytyväisyyttä ja ajan kuluessa voivat johtaa myös oireiden puhkeamiseen. Tällä hetkellä ajankohtaisimmat sisäilmasto-ongelmat liittyvät rakennusten kosteusvaurioihin ja niistä johtuviin homeongelmiin. (Salminen ym. 2002, 14)

2.3 Sisäilmastovalitusten käsittely

Sisäympäristöön liittyvät valitukset ovat erittäin yleisiä. Niiden syntymiseen vaikuttavat monet syyt, joista vain osa on rakennuksen toimintaan liittyviä. Lähtökohtana tulee olla se, että kaikki valitukset käsitellään asianmukaisesti ja nopeasti. Käsittelyä helpottaa huomattavasti, jos valituksen käsittelytavasta on sovittu käyttäjien kanssa etukäteen. (Salminen ym. 2002, 15)

Ennen kuin jatkotoimenpiteistä päätetään, on tarkistettava sisäilmastoon vaikuttavat perusasiat. Ongelmat ratkeavat usein jo tässä vaiheessa eikä kalliita lisätutkimuksia tarvita. Valitukset on otettava vakavasti. Jos ongelmia ja valittajia aletaan vähätellä, tilannetta vain pahennetaan. Valittajaa ei myöskään pidä syyllistää. Käyttäjä on yksi mahdollisista ongelmien aiheuttajista, mutta syiden selvittämiseksi tarvitaan puolueeton tutkimus. (Salminen ym. 2002, 15)

Rakennuksen omistajan kannalta pahin tiedonvälityskanava ovat huhut. Avoin ja oikea-aikainen tiedotus voi pelastaa ongelmien paisumiselta. Tiedotuksessa olisi syytä ainakin kertoa mistä on valitettu, mitä on tehty valitusten poistamiseksi, mitä tehdään ja keneen voi ottaa yhteyttä, jos itsellä on valitettavaa tai haluaa lisätietoa. (Salminen ym. 2002, 15)

2.4. Raja- ja toimenpidearvot sisäilmaongelmissa

Perinteisessä työhygieniassa on totuttu sitoviin, yleensä yksiarvoisiin ja vain tiettyä altistetta koskeviin raja-arvoihin, jotka ovat kaikkia ympäristöjä koskevia. Suomessa haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot) ovat pienimpiä ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden työministeriö katsoo voivan vahingoittaa työntekijää työturvallisuuslain tarkoittamalla tavalla. HTP-arvot on yleensä sidottu johonkin biologiseen vasteeseen, mutta ei toimintakykyyn. HTP-arvoille ei ole käyttöä useimpien sisäilman epäpuhtauksien osalta muuta kuin siinä mielessä, että ne määrittelevät ehdottoman rajan sille, minkä yli jokin pitoisuus ei saa nousta. (Seuri & Palomäki 2000, 25)

Huono sisäilma voi kehittyneissä teollisuusmaissa edelleenkin aiheuttaa syöpää ja pitkäaikaisen sairauden puhkeamisen vaaraa, mutta useimmiten kyseessä ovat ärsytysvaikutukset ja ohimenevät sairaudet sekä alentunut toimintakyky. Ärsytysvaikutuksien poistaminen ja toimintakyvyn parantaminen tapahtuu sellaisilla epäpuhtauksien pitoisuusalueilla, jotka ovat merkittävästi HTP-arvojen alapuolella. HTP-arvoilla ei tämän vuoksi ole sinällään mitään käyttöä silloin, kun haluamme parantaa sisäilman laatua. (Seuri & Palomäki 2000, 25)

Sisäilmayhdistys on yhdessä rakennusalan asiantuntijoiden kanssa laatinut Sisäilmastoluokitus 2008:n, jossa annetaan sisäilmaston tavoitearvot, jotka koskevat muun muassa lämpötilaa, hiilidioksidia, radonia sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Vaasio 2009, 35)

Sisäilmastoluokkia on kolme, joista S1-tason yksilöllinen sisäilmasto on laadultaan erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavissa hajuja. Lämpöolot ovat viihtyisät ja tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tilassa on erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyvää valaistusta voidaan säätää yksilöllisesti. S2-tason tilassa on hyvä sisäilmaston laatu eikä tilassa ole häiritseviä hajuja. Lämpöolot ovat hyvät eikä vetoa yleensä esiinny. Tilassa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. Tyydyttävän sisäilmaston takaava S3-taso täyttää rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Vaasio 2009, 35)

3 Tärkeimmät sisäilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

3.1 Rakennuksen vaikutus

Rakennuksen sisäilmanlaatuun vaikuttavat ilmanvaihtoratkaisut, rakennustapa, rakennusmateriaalit, sijainti sekä käyttö ja sääolosuhteet.

Ensisijaisen tärkeä vaikutus vallitsevaan sisäilmaan on ilmanvaihdon toimivuudella. Myös sijainti liikenteen tai teollisuuden lähialueella vaikuttaa, sekä mahdollisesti myös maaperän radonpitoisuus. Kun rakennus suunnitellaan hyvin ja tehdään oikeanlaiset materiaalivalinnat, pystytään vaikuttamaan suuresti rakenteiden kosteusrasituksen sietokykyyn. Kosteusvaurio lisää ja muuttaa rakennuksen sisäilmassa olevaa mikrobikantaa, eli homeita ja bakteereja, sekä kemiallista koostumusta tavanomaisesta. (Sisäilmayhdistys)

Rakennusmateriaaleilla on oma M1-päästöluokitus. Luokituksessa asetetaan vaatimuksia materiaaleista huoneilmaan kulkeutuville kemiallisille päästöille. Luokituksessa materiaalit jaetaan kolmeen luokkaan, joista M1-luokka on paras. M1-merkki kertoo, että tuote on testattu puolueettomassa laboratoriossa ja se on täyttänyt M1-luokalle asetetut vaatimukset. (Rakennustietosäätiö)

3.2 Rakennuksen käytön vaikutus

Sisäilman laatuun vaikuttavat oleellisesti ihmisten toiminta, käytetyt rakennusmateriaalit, tupakointi ja harrastukset. Hengittäminen kuluttaa happea ja tuottaa tilalle hiilidioksidia, ruoan valmistuksessa syntyy kosteutta, vaatteista ja tekstiileistä irtoaa kemiallisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. (Sisäilmayhdistys)

Siivousmenetelmät, siivoustiheys ja siivouksen laatu ovat olennaisesti vaikuttamassa rakennuksessa olevaan pölyn määrään ja siten suoraan sisäilman laatuun. Siivouksessa käytettävät aineet sisältävät liuottimia ja hajusteita, jotka voivat myös osaltaan

huonontaa sisäilman laatua. Jos siivouksen yhteydessä käytetään runsasta vesimäärää, se voi johtaa jopa rakenteiden kosteusvaurioihin. (Sisäilmayhdistys)

Sisäilman lämpötila on keskeinen viihtyvyystekijä. Liian korkea lämpötila laskee talvisin ilman suhteellista kosteutta, jolloin liiallinen kuivuus rasittaa hengityselimiä ja ihoa. (Sisäilmayhdistys)

3.3 Fysikaaliset tekijät

Sisäilmanlaatuun vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä ovat ilmanvaihto, lämpötila, kosteus, melu, veto ja radon.

3.3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa asunnon ja muiden oleskelutilojen sisäilmasta epäpuhtauksia ja samalla huolehtia puhtaan korvausilman saannista. Epäpuhtaudet ovat yleensä peräisin ihmisten aineenvaihdunnasta, asumisen erilaisista toiminnoista, rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja maaperästä. Ilmanvaihdon suuruuden määrää yleensä se epäpuhtaus, jonka pitoisuuden alentamiseen tarvitaan eniten puhdasta ilmaa. Rakennuksen ilmanvaihto vaikuttaa suoraan tai välillisesti niihin tekijöihin, jotka aiheuttavat terveyshaittaa asunnossa tai muussa oleskelutilassa. Sisäilman epäpuhtaudet ovat yleensä kemiallisia yhdisteitä. Ihmisen altistuminen niille riippuu kolmesta eri tekijästä: epäpuhtauspäästöstä, ilmanvaihdosta ja altistusajasta. Ilmanvaihdon tehostaminen on yleensä ainoa käytettävissä oleva menetelmä, jos halutaan vähentää ihmisen aineenvaihdunnasta ja toiminnoista johtuvia epäpuhtauksia. (Asumisterveysopas 2008, 56)

Sisäilma tuntuu tunkkaiselta jos hiilidioksidipitoisuus on yli 1500 ppm (parts per million). Ulkoilmavirran pitäisi olla 4 l/s henkilöä kohden, jotta hiilidioksidipitoisuus ei pääsisi kohoamaan yli 1500 ppm:n. Asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa on

yleensä myös muita sisäilman epäpuhtauksien määrää lisääviä lähteitä. Jotta niitä voidaan vähentää tai poistaa ne, tarvitaan ulkoilmaa yleensä 8 – 10 l/s henkilöä kohden. Ilmanvaihdon tarvetta määritettäessä on otettava huomioon myös haitat, joita liian suuri ilmanvaihto aiheuttaa: veto, ilmanvaihdon aiheuttama melu ja sisäilman liiallinen kuivuminen. (Asumisterveysopas 2008, 56)

Ilmanvaihdossa on kolme ominaisuutta, jotka voivat vaikuttaa rakennusta käyttävien terveyteen. Ilmanvaihdon määrällä on selvä, tutkimuksin havaittu vaikutus. Toisena vaikuttavana asiana on ilmanvaihdon laitteiston huolto. Huollon vaikutukset ovat käytännössä selvät, mutta tieteellinen näyttö on vähäisempää kuin mainittu näyttö ilmanvaihdon volyymistä. Kolmantena seikkana on laitteiston monimutkaisuus: yksinkertaisissa järjestelmissä on vähemmän riskejä. (Seuri & Palomäki 2000, 34)

Rakennuksen käyttäjän on tärkeää tietää, millainen ilmanvaihtojärjestelmä rakennuksessa on ja miten sen pitäisi toimia. Kun puutteita havaitaan, niistä tulee ilmoittaa rakennuksen huoltoon. Ilmanvaihtojärjestelmästä tulisi tietää, mistä tuloilma on suunniteltu tulevaksi ja mistä poistoilma poistettavaksi. Tuloilman toimivuus voidaan todeta savukokeella, joka on yksinkertainen toimenpide. Ilman kulkeutuminen poistoilmakanavaan voidaan todeta myös savukokeella tai asettamalla paperi poistoilmakanavan päate-elimelle, johon paperin tulisi alipaineen takia tarttua kiinni. Tätä tarkemmat ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden tutkimukset kuuluvat rakennuksen huoltajille. (Seuri & Palomäki 2000, 34–35)

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin: Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Paine-ero voidaan aikaansaada joko puhaltimilla tai lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksesta. Puhaltimilla toteutettua ilmanvaihtoa kutsutaan koneelliseksi ilmanvaihdoksi. Koneellinen ilmanvaihto voi olla joko tulo- ja poistoilmanvaihto tai vain poistoilmanvaihto. Tulo- ja poistoilmanvaihto tarkoittaa sitä, että myös tuloilma puhalletaan koneellisesti tilaan. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuna on mahdollisuus suodattaa tuloilma ja ottaa lämpöä talteen poistoilmasta. (Sisäilmayhdistys)

Rakennuksessa syntyy jatkuvasti epäpuhtauksia, joten ilmanvaihdonkin tulisi olla aina päällä. Jos ilmanvaihtoa pidetään sammutettuna, alkavat epäpuhtauspitoisuudet kohota

ja epäpuhtaudet varastoitua pintamateriaaleihin. Kun ilmanvaihto sitten kytketään taas käyntiin, alkavat epäpuhtaudet siirtyä pinnoilta takaisin ilmaan. Tällöin pitoisuudet voivat nousta haitalliselle tasolle. Ilmanvaihto voidaan kytkeä yöksi pois päältä tai puolelle teholle energian säästämiseksi. Tällöin ilmanvaihto on käynnistettävä täydellä teholla muutama tunti ennen ihmisten saapumista. Työaikana ilmanvaihtoa on tarvittaessa tehostettava ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamiseksi. (Sisäilmayhdistys)

3.3.2 Lämpötila

Lämpötila on tärkein sisäilman viihtyvyystekijä. Lämpöaistimukseen, jonka ihminen kokee, vaikuttavat huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja kosteus sekä vaatetus ja ihmisen toiminnan laatu. Lämpöaistimukset ovat yksilöllisiä, samat olosuhteet koetaan eri tavoin. (Asumisterveysopas 2008, 25)

Jos huone- tai lattialämpötila on liian alhainen, se voi olla haitaksi. Erityisesti lattialla leikkivät lapset kärsivät kylmistä lattioista. Liian viileä lämpötila hidastaa myös pesutilojen kuivumista ja siten saattaa johtaa homevaurioihin. (Asumisterveysopas 2008, 26 - 27)

Pääosa asuintiloja koskevista valituksista johtuu vedosta ja alhaisista pintalämpötiloista. Asunnon alhainen lämpötila on osoitus siitä, että asunnon tai huoneen lämpöhäviöt ovat suurempia kuin sinne tuotavan lämmitystehon ja sisäisten kuormien summasta saatava lämpömäärä. Huonetilan sisälämpötilaan voidaan siis vaikuttaa pienentämällä lämpöhäviöitä tai suurentamalla lämmitystehoa. (Asumisterveysopas 2008, 32)

Alhaisen lämpötilan syitä voivat olla muun muassa seuraavanlaiset ongelmat:

- tilaan nähden liian pieni patteriteho
- lämmitysjärjestelmän puutteellinen toiminta
- puutteellinen lämpötilan säätö
- järjestelmän mitoitus- ja suunnitteluvirheet

- väärä tuloilmaventtiilien sijainti
- ilmanvaihtojärjestelmän epätasapaino tai
- rakennuksen ulkovaipan eristysvirheet ja -puutteet. (Asumisterveysopas 2008, 32–33)

Niissä rajoissa, joissa sisälämpötila Suomessa vaihtelee, lämpötilat eivät yleensä aiheuta sairauksia ja harvemmin myöskään oireita. Viihtyisyyden kautta sisälämpötila vaikuttaa toimintakykyyn. – – Sepelvaltimotaudista kärsiville voi jo +30 °C helle aiheuttaa ongelmia. Vuodenaikoihin liittyvä lämpösopeutuminen ja erilainen pukeutuminen aiheuttavat sen, että sisäilman tavoitearvoissakin kesäaikana tavoitelämpötilat ovat korkeampia kuin talvella. – – Lämpöviihtyvyyttä arvioitaessa on huomattava, ettei pelkkä yhden pisteen mittaaminen yhden kerran selvitä mahdollista ongelmaa. Oleskelutilassa ei lämpötilan tulisi vaihdella pystysuunnassa muutamaa astetta enempää eikä oleskelu- tai työskentelytila saisi sijaita lähellä mahdollisia kylmiä pintoja, kuten huonosti eristettyjä ulkoseiniä tai kylmiä ikkunapintoja. Myös päivittäinen suuri lämpötilanvaihtelu työskentelytilassa koetaan haitallisena. (Seuri & Palomäki 2000, 35–36)

Sisäilmaluokituksen mukaan S1-luokan huoneilman tavoitelämpötilat ovat kesällä 23 – 24 °C ja talvisin 21 – 22 °C. (Sisäilmayhdistys)

Hyvän sisäilmaston perusta on viihtyisä lämpötila. Sopiva lämpötila on yksilöllinen asia, keskimäärin ihmiset ovat tyytyväisiä 20–22 °C lämpötiloihin. Ilman liike ja kylmät pinnat aiheuttavat paikallista vedontunnetta esimerkiksi niskassa tai nilkoissa. Liikkuva ilma kuljettaa tehokkaasti lämpöä pois kehon paljailta osilta. Vedon tunteen syntymiseen vaikuttaa merkittävästi ilman lämpimyys. Samalla tavalla vaikuttavat ilman liikkeen ja/tai lämpötilan vaihtelu. Lämmin keho luovuttaa lämpöä säteilyn kautta kylmemmille pinnoille. Vaikutus tuntuu vetona, kun esimerkiksi suuri kylmä ikkunapinta imee kehosta lämpöä. (Salminen ym. 2002, 17)

Vedon tunteen syntyminen on yksilöllistä, joten parannustoimetkin pitää harkita tapauskohtaisesti. Ensimmäisenä toimenpiteenä on huonelämpötilojen seuranta. Mikäli lämpötilat ovat alhaisia, voi kyseisen huoneen lämpötilan nostaminen pienentää vedon

tunnetta. Jotta energiaa ei hukattaisi, on kuitenkin varottava samalla nostamasta muiden tilojen lämpötilaa. (Salminen ym. 2002, 17)

Jos huonelämpötilat ovat normaalilla tasolla, tulee etsiä muita vetoa aiheuttavia tekijöitä ja pyrkiä poistamaan ne. Tällöin on syytä etsiä paikkoja, joissa ilma liikkuu voimakkaasti ja joiden pintalämpötila on alhainen. (Salminen ym. 2002, 17)

Liian korkea lämpötila lämmityskaudella tuhlaa energiaa ja lisää sisäilmaoireita. Asteen nousu huonelämpötilassa merkitsee noin 4–5 %:n lisäämistä lämmitysjärjestelmän energiankulutuksessa. Suomalaisen tutkimuksen mukaan lämpötilan nosto tasolta 20–21 °C tasolle yli 24 °C lisää sisäilmaoireiden määrää 50 %. Talvella korkea lämpötila aistitaan usein kuivuuden tunteena, esimerkiksi ihon kutiamisena ja hilseilynä sekä limakalvojen ärsytyksenä. Tällöin harkitaan usein ilman kostuttamista. Ennen kostutuksen käyttöönottoa tulisivatkin huonelämpötilat säätää oikealle tasolle ja seurata vähenevätkö kuivuusvalitukset. Kostutusta käytettäessä on tärkeää seurata ilman suhteellista kosteutta luotettavalla mittarilla. (Salminen ym. 2002, 17)

3.3.3 Kosteus

Sisäilman kosteuden tavoitearvot määräytyvät kahden ”rajan” perusteella siten, että liian kuivassa ilmassa ihmiset kokevat hengitysteiden limakalvojen, silmien sidekalvojen ja ihon kuivumista. Liiallinen kosteus taas voi aiheuttaa rakenteissa mikrobikasvua ja lisätä punkkien esiintymistä. (Seuri & Palomäki 2000, 37)

Sisäilman kosteusongelmat ovat eri ilmastoissa erilaisia. Suomessa vallitsee kesäaikaan lähes optimaalinen tilanne, mutta talvella tilanne on toinen. Pakkasilman vesipitoisuus on pieni, ja koska sisäilma muodostuu ulkoilmasta, vesipitoisuus on pieni myös sisätiloissa. Kuitenkin, koska lämmin sisäilma pystyy sitomaan enemmän kosteutta, sisäilman suhteellinen kosteus on talvisin matala. Ilman vaihtuminen

huonontaa vielä tilannetta, koska ilmanvaihto vie mukanaan sitä kosteutta, jota syntyy tilan käyttämisen seurauksen. (Seuri & Palomäki 2000, 37)

Suhteellisen kosteuden tavoitearvoiksi on talvisin annettu 25–45 % ja kesäisin 30–60 %. Tätä kuivempi ilma on tavallista rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Ilmanlämmitysjärjestelmillä varustetuissa toimistoissa, joissa ilmanvaihtokertoimet ovat poikkeuksellisen suuret, on mitattu jopa muutaman prosentin suhteellisia kosteuksia. (Seuri & Palomäki 2000, 37)

Kuivaa ilmaa voidaan tilapäisesti ja paikallisesti kostuttaa huonekohtaisella ilmankostuttimella. Huoneilmaa ei saa kuitenkaan kostuttaa liikaa: Vesihöyryä ei saa tiivistyä ikkuna- tai seinäpinnoille. Kostutin voi myös levittää ilmaan terveydelle haitallisia mikrobeja. Kostutuksen pitäisi tapahtua vettä kuumentamalla, jolloin samalla pystytään torjumaan mikrobien leviämistä. Kuivan ilman aiheuttamia haittoja voidaan vähentää myös alentamalla huoneen lämpötilaa. Erityisen kuivalta ilma tuntuu silloin, kun huonelämpötila on korkea. Ilma saattaa kuivua myös liian tehokkaan ilmanvaihdon seurauksena. Ilmanvaihtoa pienentämällä voidaan ilman kosteutta asunnoissa jonkin verran nostaa. Alhainen ilman kosteus lisää myös staattisen sähkön muodostumista. (Asumisterveysopas 2008, 46)

Kesällä ulkoilman vesisisältö on suuri. Asuntoon virratessaan tällainen ilma tuo mukanaan kosteutta myös sisätiloihin. Jos huoneen lämpötila on ulkoilmaa alhaisempi, kuten usein osittain tai kokonaan maan alla olevissa tiloissa on, huoneilman kosteus voi nousta haitallisen korkeaksi. Kosteuden tiivistyminen ikkunoihin tai seinäpintoihin viittaa liian pieneen ilmanvaihtoon. (Asumisterveysopas 2008, 47)

3.3.4 Melu

Rakennukseen kantautuva haitallinen tai häiritsevä ääni, melu, voi olla lähtöisin rakennuksen ulkopuolelta, rakennuksessa olevista teknisistä järjestelmistä tai ihmisen toiminnasta rakennuksessa. Melu voi aiheuttaa kuulon heikkenemisen. Kuulon heikkenemiseen vaaditaan yli 80 dB(A):n meluallistuminen. Sisäilmassa melun

vaikutukset ovat ensisijaisesti toiminnallisia ja suoritustasoa heikentäviä. Melusta aiheutuvat välittömät vaikutukset uneen ovat nukahtamisvaikeudet, muutokset unen rakenteessa ja syvyydessä sekä heräämiset. Näiden lisäksi unen aikainen melu voi kohottaa verenpainetta ja sydämen sykettä, tihentää hengitystä ja aiheuttaa ylimääräistä vartalon liikehdintää. Melutason ylittäessä 35 dB(A) unen häiriöt yleistyvät. Haitallisimmillaan melu koetaan iltayöstä nukahtamisen vaikeutuessa. Unta häiritsevän melun välillisiä vaikutuksia ovat unettomuus, väsyneisyys ja suorituskyvyn heikkeneminen. Melun aiheuttamista reaktioista yleisimpiä ovat häiritsevyys ja kiusallisuus. Häiritsevyys on subjektiivista ja se vaihtelee ihmisten välillä suuresti. Korkeataajuinen melu on todettu enemmän häiritseväksi kuin matalataajuinen. Impulssimelu on tasaista melua psyykkisesti kuormittavampaa ja haitallisempaa. (Sisäilmayhdistys)

Meluisassa ympäristössä puheen ymmärrettävyys heikkenee nopeasti ja puhuja joutuu käyttämään kovempaa ääntä. Tämä puolestaan rasittaa äänihuulia ja voi ilmetä toistuvasti äänen menetyksenä. Huono puheen ymmärrettävyys heikentää työsuorituksia ja myös vähäinenkin häiritseväksi koettu ääni voi häiritä keskittymistä ja työsuoritusta. (Sisäilmayhdistys)

Päiväajan (07–22) meluntason ohjearvo asuinhuoneistolle on 35 dB(A) ja yöajan 30 dB(A) (993/92). Sisäilmastoluokituksen mukaan asuinhuoneiden äänitason enimmäisarvo on S1 sisäilmastoluokalle 25 dB. (Sisäilmayhdistys)

Kuuloaurioiden syntyminen vaatii yleensä vuosikymmenten kehittymisen, mutta voimakkaan iskumelun vaikutuksesta meluvamma saattaa tulla hetkessä. Isot meluannokset saattavat aiheuttaa myös vaikeasti hoidettavaa korvien soimista eli tinnitusta. (Seuri & Palomäki 2000, 38)

3.3.5 Veto

Veto aiheutuu kahdesta tekijästä; ihmistä ympäröivien pintojen lämpötilaeroista ja kylmän ilman liikenopeudesta. Kylmät pinnat aiheuttavat niin sanottua säteilyvetoa,

koska kylmien pintojen läheisyys jäähdyttää nopeasti ihmisen ihoa. Ilman liike puolestaan aiheuttaa vetoa ilman virratessa kylmiä pintoja alaspäin ja kääntyessä lattian suuntaiseksi jäähtyneenä. Lisäksi rakennuksen ulkovaipan läpi tuleva kylmä ilmavirtaus lisää vedontunnetta, varsinkin jos se tulee lattianrajasta tai oven alaosista. Usein vedon tunnetta yritetään vähentää nostamalla huoneen lämpötilaa, koska vedon tunne pienenee sitä mukaa, kun lämpötila nousee. Mitä korkeampi virtaavan ilman lämpötila on, sitä suurempi ilman virtausnopeus voi olla, ennen kuin se koetaan häiritsevänä vetona. Pysyvämpi ratkaisu edellyttää kuitenkin ensisijaisesti vedon aiheuttajien poistamista. Lämpötilojen nosto lisää aina myös rakennuksen energiankulutusta. (Asumisterveysopas 2008, 27)

Yleinen vedon aiheuttaja on ulkoseinään tai ikkunapuitteeseen asennettu ulkoilmaventtiili. Kylmän korvausilman johtaminen huoneeseen suoraan ulkoilmasta aiheuttamatta vetoa venttiilin läheisyydessä on erittäin vaikeaa, usein jopa mahdotonta. Venttiiliä ei saisi kuitenkaan sulkea tai tukkia, koska jollain tavalla ilman tulo huoneeseen on varmistettava. Venttiilistä tulevan ilman on sekoitettava huoneilmaan ja lämmittävä riittävästi ennen kuin se virtaa oleskeluvyöhykkeelle. Vetoa voidaan vähentää pienentämällä huoneen poistoilmavirtaa, erityisesti kun käytetään koneellista poistoilmanvaihtoa. (Asumisterveysopas 2008, 38–39)

Ikkuna voi aiheuttaa vetoa kahdella tavalla. Ikkunapuitteet tai karnit voivat vuotaa, jolloin sisään virtaava ilma aiheuttaa vetoa. Ikkuna aiheuttaa lattian rajassa vetoa myös silloin, kun kylmä ikkunapinta alkaa jäähdyttää ilmaa ja kylmennyt ilma virtaa alaspäin. Ikkunan alle on yleensä sijoitettuna lämmin patteri, joka estää vetoa. Jos ikkunapinta-ala on suuri, ikkuna on korkea tai ikkunat sijaitsevat kulmittain, tarvittava lämmitysteho on suhteellisen suuri. Kylmän ikkunan tavoin myös kylmä seinäpinta voi aiheuttaa vetoa. Tällöin on tarpeen seinän lisäeristys. (Asumisterveysopas 2008, 38–39)

Ilmanvaihto voi aiheuttaa vetoa. Toimittaessa vanhoissa, matalissa ja ahtaissa tiloissa voi olla teknisesti vaikeaa rakentaa ilmanvaihtojärjestelmää, joka ei aiheuttaisi työskentelyalueelle vetoa. Ilmakanaviston pääte-elimien tulisi olla säädettäviä, jotta tuloilmavirtauksen suuntaa voidaan tarvittaessa muuttaa. (Seuri & Palomäki 2000, 36)

Veto itsessään ei suomalaisissa rakennuksissa aiheuta sairauksia. Lämpötilan ollessa alhainen edesauttaa veto kylmän vaikutusta ja aiheuttaa siten palelua ja toimintakyvyn alenemista. Lämpötilan ollessa korkea parantaa veto lämmönsietoa, sillä se edesauttaa ihon viilenemistä. Tästä syystä ovat ilman nopeuden tavoitearvot matalammat kylmässä ja korkeammat lämpimässä. (Seuri & Palomäki 2000, 36)

3.3.6 Radon

Radon on hajuton, mauton ja näkymätön kaasu. Radon on sisäilman epäpuhtauksista salakavalin, sillä vuosia jatkuvan altistumisen seurauksena radonin hajoamistuotteiden aiheuttama säteily voi aiheuttaa keuhkosityöpää ilman, että se välittömästi aiheuttaisi mitään tuntemuksia tai altistumista voisi mitenkään aistia. Hengitettäessä kaasumainen radon palautuu keuhkoista takaisin sisäilmaan, mutta radonin hajoamistuotteet ovat kiinteitä ja saattavat tarttua pidemmäksi aikaa hengitysteihin. Kiinteät radonin hajoamistuotteet aiheuttavat säteilyä, jonka seurauksena keuhkosityöpäriski kasvaa. (Seuri & Palomäki 2000, 39)

Sisäilmaan radon tulee maaperästä. Rakennuksessa on usein vuotoreittejä maaperästä sisäilmaan, ja näin sinne pääsee kaasuja. Huoneilman ja alapohjan huono tuuletus sekä rakennuksen alipaineisuus lisäävät radonin aiheuttamaa haittaa. Muita, vähäisempiä radonin lähteitä voivat olla porakaivojen vedenkäyttö tai radonpitoisten rakennusmateriaalien käyttö. (Seuri & Palomäki 2000, 39)

Koska radonia ei voida aistia, mittaaminen on ainoa keino selvittää asunnon tai työpaikan radonpitoisuus. Radonpitoisuus vaihtelee eri puolilla maata. Eräissä kunnissa työpaikkojen radonpitoisuuden mittaukset ovat pakollisia. (Seuri & Palomäki 2000, 39)

Sosiaali- ja terveysministeriön tekemän asuntojen huoneilman radonpitoisuutta koskevan päätöksen mukaan asunnon huoneilmassa olevan radonin pitoisuuden vuosikeskiarvo ei saisi ylittää arvoa 400 becquereliä kuutiometrissä. Uudet asunnot pitää suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei ylittäisi 200

Bq/m³. Radonpitoisuuden vuosikeskiarvo on keskiarvo, joka on mitattu vuoden pituisena yhtäjaksoisena aikana tai määritetty kahden kuukauden yhtäjaksoisen mittauksen perusteella. (Asumisterveysopas 2008, 80)

Radonpitoisuuden alentamiseksi on olemassa muutamia menetelmiä. Radonimurin on tarkoitus pienentää maaperän huokosilman virtaamista rakennukseen imemällä ilmaa perustusten alla olevasta täyttösorakerroksesta. Karkeille soramaille soveltuu hyvin myös radonkaivo, jossa puhaltimella imetään ilmaa maaperästä. Myös rakenteiden tiivistäminen ja ilmanvaihdon tehostaminen pienentävät luonnollisesti radonpitoisuutta. Tehokkain muoto radonpitoisuuden alentamiseen on radonimuri, jonka ansiosta radonpitoisuus vähenee sisäilmassa jopa 60–90 %. (Asumisterveysopas 2008, 84–86)

3.4 Kaasumaiset epäpuhtaudet

Sisäilman kaasumaiset epäpuhtaudet voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin kaasumaisiin yhdisteisiin. Sisäilman kannalta merkittäviä epäorgaanisia kaasumaisia yhdisteitä ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi eli häkä, otsoni, rikkidioksidi ja muut rikin yhdisteet sekä typen oksidit ja ammoniakki. Orgaanisia yhdisteitä on sisäilmassa satoja. Näiden pitoisuudet ovat tosin yleensä hyvin pieniä. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

Kaasumaisten epäpuhtauksien lähde voi olla ulkoilma, toiminta sisätiloissa tai ihminen itse. Kaasumaisia epäpuhtauksia voi vapautua myös rakennusmateriaaleista. Kaasumaisten epäpuhtauksien terveysvaikutukset vaihtelevat äkillisistä kuolemaan johtavista pelkkiin ärsytysvaikutuksiin yhdisteestä riippuen. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

Sisäilman kaasumaisten epäpuhtauksien pitoisuus vaihtelee nopeammin kuin yleensä ulkoilman. Samoin pitoisuudet rakennuksen eri osissa saattavat vaihdella suuresti. Tämä johtuu toisaalta sisäilmalähteiden tai ulkoa kantautuvan lähteen paikallisesta sijainnista ja ajoittaisesta toiminnasta sekä toisaalta ilmanvaihdon tehokkuudesta ja

vaikutuksesta rakennuksen tietyissä osissa tai tiettyinä aikoina. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

3.4.1 Hiilidioksidi

Sisäilman hiilidioksidi tulee pääosin ulkoilmasta. Sisätiloissa tärkein hiilidioksidin lähde on ihmisen uloshengitysilma. Sisäilman kohonnut hiilidioksidipitoisuus määräytyykin lähes kokonaan ilmanvaihdon ja ihmiskuormituksen perusteella. Hiilidioksidi on ihmisen aineenvaihdunnan tulos. Siten hiilidioksidipitoisuus on hyvä ilmanvaihdon riittävyyden mittari. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

Niissä pitoisuuksissa, joissa hiilidioksidi esiintyy sisäilmassa, sillä ei ole suoria, itsenäisiä terveysvaikutuksia. Hiilidioksidipitoisuutta käytetään epäsuorana mittarina muiden ihmisestä peräisin olevien sisäilman epäpuhtaustekijöiden arviointiin. Puutteellisen ilmanvaihdon oireet tuntevat kaikki esimerkiksi kokoustiloista, joissa ilma ei vaihdu. Näitä ovat: keskittymiskyky herpaantuu, alkaa väsyttää ja nukuttaa, haukotuttaa, posket alkavat punoittaa ja päätä alkaa särkeä. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

Sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle on annettu tavoitearvot. Ilmanvaihdon puutteellisuus ja niin muodoin korkeat hiilidioksidipitoisuudet eivät sisätiloissa ole harvinaisia. Hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen reaaliajassa tulosta osoittavilla mittalaitteilla on todella vaivatonta. (Seuri & Palomäki 2000, 40)

Hiilidioksidi ilmakehässä

Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, jonka määrän lisääntyminen ilmakehässä kohottaa maapallon lämpötilaa. Fossiilisten polttoaineiden runsas käyttö on nostanut ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta merkittävästi. Ennen teollista vallankumousta hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä oli noin 280 ppm. Ihmisen toiminnasta johtuvien päästöjen takia pitoisuus on noussut jo noin 380 ppm:iin. (Ilmastosivut)

Hiilidioksidi sisäilmassa

Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa sisäilmaan hiilidioksidia ja muita epäpuhtauksia. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota varsin suureksi esimerkiksi asuinhuoneiston makuuhuoneessa yön aikana tai koulun luokkahuoneessa oppituntien aikana. (Rakentaja)

Hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen ilmaisee ilmanvaihdon huonoa toimivuutta. S1-sisäilmastoluokan hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvo on 750 ppm. Tyydyttävänä pitoisuutena pidetään alle 1200 ppm pitoisuuksia. (Vaasio 2009, 35)

Hiilidioksidin vaikutukset ihmisiin

Kun hiilidioksidipitoisuus nousee riittävän korkeaksi, se alkaa vaikuttaa hengityskeskukseen minkä seurauksena hengitys kiihtyy. Korkea hiilidioksidipitoisuus sisäilmassa aiheuttaa yleensä väsymystä, pääkipua sekä työtehon heikentymistä. Toisinaan ilma saattaa myös tuntua raskaalta tai ilmastointi riittämättömältä. Hiilidioksidi on eräs niistä harvoista sisäilman epäpuhtauksista, joiden enimmäispitoisuudesta on Suomessa tehty viranomaispäätös. (Sisäilmayhdistys)

3.4.2 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia eli häkää muodostuu epätäydellisen palamisen seurauksena. Häkää voi tulla rakennuksessa olevista tulisijoista, tupakoinnista tai kantautua ulkoa esimerkiksi pakokaasujen mukana. Häkä sinänsä on väritön, hajuton ja mauton kaasu, mutta sen vaarasta viestivät yleensä muut palokaasut. Häkämyrkytyksen ensioireet ovat päänsärky, pahoinvointi, huimaus ja heikkous. (Seuri & Palomäki 2000, 41)

Häkämyrkytys syntyy hiilimonoksidin sitoutuessa punasolujen happea kuljettavaan hemoglobiinimolekyyliin. Sitoutuminen on noin kaksisataa kertaa voimakkaampaa kuin hapen sitoutuminen. Häkämyrkytyksen haitallisuus riippuu siten paitsi häkäkaasun pitoisuudesta myös altistumisen kestosta. (Seuri & Palomäki 2000, 41)

Lieviä sydämen ja hermoston toiminnallisia muutoksia voi ilmetä jo 60 mg/m^3 häkäpitoisuudessa. Päänsärkyä ilmaantuu noin tunnin oleskelun jälkeen yli 200

mg/m³:n pitoisuuksissa. Yli 1000 mg/m³:n pitoisuuksissa päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä ja pahoinvointia ilmaantuu 10 minuutissa ja altistuksen jatkuessa kuolema seuraa alle tunnissa. (Seuri & Palomäki 2000, 41)

Sisäilmassa on yleensä vain hyvin pieniä häkäpitoisuuksia ja sisäilman tavoitearvoissa alimmassakaan luokassa häkäpitoisuus ei saa ylittää 8 mg/m³. Häkämyrkytys tai lievempi häkäaltistus voidaan todeta heti häkäaltistuksen jälkeen otetusta verinäyttestä, josta määritetään karboksihemoglobiinipitoisuus eli juuri se osa hemoglobiinista, johon hiilimonoksidi on pitävästi sitoutunut ja jota elimistö ei voi käyttää hapenkuljetukseen. (Seuri & Palomäki 2000, 41)

3.4.3 Otsoni

Otsoni suojelee tai vahingoittaa maan eliöitä riippuen siitä millä korkeudella sitä ilmakehässä on. Korkealla ilmakehässä otsoni toimii suojana auringon vaarallisilta säteiltä. Lähempänä maanpintaa, hengitysilmassa, otsoni on ihmisille, kasveille ja eläimille haitallinen ilmansaaste. (Hengityслиitto)

Otsonia muodostuu ilmakehässä ilmansaasteiden ja ultraviolettisäteilyn aiheuttamassa fotokemiallisessa reaktiossa haitallisia määriä. Eräissä työprosesseissa kuten hitsauksessa voidaan altistua myös suurille otsonipitoisuuksille. Ulkoilman otsonia joutuu sisäilmaan pieniä määriä. Sisätiloissa voi olla omia pieniä, paikallisia otsonilähteitä kuten kopiokoneita ja lasertulostimia. Otsonilla on ominainen kirpeä haju, jonka kerran aistittuaan kyllä tuntee. Otsonin hajuun voi tutustua myös salaman iskiessä lähelle tai muiden voimakkaiden sähköpurkausten jälkeen. Otsoni hajoaa nopeasti, sen puoliintumisaika on 30 minuuttia. (Seuri & Palomäki 2000, 42)

Otsonin terveyshaitat perustuvat siihen, että se on hyvin reaktiivinen kaasu. Otsoni on vahva oksidantti. Reagoidessaan elimistön kemiallisten yhdisteiden kanssa se muodostaa niin sanottuja vapaita radikaaleja tai myrkyllisiä välituotteita kuten vetyperoksidia ja aldehydejä. Vaikutukset kohdistuvat etupäässä hengitysteihin tuhoten paikallisesti hengitysteitä suojaavia soluja ja aiheuttaen tulehdusreaktion.

Äkillinen altistus suurille otsonipitoisuuksille aiheuttaa ärsytysyskää, rintalastan takaista kipua, hengitystoimintojen heikkenemistä ja tulehdusta hengitysteiden limakalvoilla. Oireet voivat kestää tunteja. Pitkäaikaisvaikutuksia tutkittaessa on vaikea erottaa otsonin vaikutuksia muista ilmansaasteista, joiden kanssa otsoni esiintyy. (Seuri & Palomäki 2000, 42)

On olemassa viitteitä siitä, että otsoni reagoisi sisäilman muiden epäpuhtauksien kanssa ja muodostaisi lyhytikäisiä, mutta hyvin reaktiivisia yhdisteitä, jotka puolestaan olisivat joidenkin sisäilman terveyshaittojen aiheuttajia. (Seuri & Palomäki 2000, 42)

3.4.4 Rikkidioksidi ja muut rikkiyhdisteet sekä typen oksidit

Sisäilmaan rikkiyhdisteet tulevat yleensä ulkoilmasta. Ulkoilmaan rikkiyhdisteitä joutuu fossiilisten polttoaineiden palamisen seurauksena teollisuudesta ja energian tuotannosta. Tieliikenteen osuus rikkiyhdistepäästöistä Suomessa on pieni, noin 2 %.

Typen oksidien pääasiallinen lähde on liikenne. Ulkoilman typen oksidien pitoisuudet riippuvat siten liikenteen määrästä. Sisäilman typen oksidien pitoisuudet riippuvat yleensä ulkoilman pitoisuuksista. Sisäilmassa typen oksidien suurimmat itsenäiset lähteet ovat kaasuliedet ja tupakointi sisätiloissa. Yleisesti ottaen, sisäilman typen oksidit ja rikkiyhdisteet eivät Suomessa ole yleensä ongelma. (Seuri & Palomäki 2000, 42–43)

3.4.5 Ammoniakki

Ammoniakki on huoneilmassa esiintyvä väritön kaasu, jonka tunnistaa sille ominaisesta pistävästä hajusta sekä katto- tai seinätasoisesti ilmestyvistä laajoista läikistä ja lattiaparkettien tummentumista. Ammoniakkia voi vapautua sisäilmaan joistakin rakennusmateriaaleista, maaleista ja lakoista, puhdistus- ja pesuaineista sekä ihmisen ja eläinten eritteistä. Sisäilman ammoniakki voi myös viitata rakennusmateriaaleissa kosteuden vaikutuksesta tapahtuvaan proteiinien ja muiden orgaanisten aineiden hajoamiseen. Tällaisten reaktioiden seurauksena ilmaan vapautuu

myös muita kemiallisia yhdisteitä, kuten amiineja, aldehydejä, orgaanisia rikkiyhdisteitä ja rasvahappoja. Nämä yhdisteet ovat, kuten ammoniakki, ärsyttäviä yhdisteitä. Myös tupakointi lisää sisäilman ammoniakkipitoisuutta. (Asumisterveysopas 2008, 130–131)

Ammoniakkia on viime vuosina mitattu sisäilmaongelmissa. On huomattava, että ammoniakki niissä pitoisuuksissa, joissa sitä Suomessa sisäilmassa tavataan, ei ole sinällään terveysongelma. Ammoniakkimittausta käytetäänkin osoittamaan rakennusmateriaaleissa tapahtuvaa hajoamista. Varsinaiset terveysvaikutukset välittyvät ilmeisesti muiden muodostuvien yhdisteiden kautta. Näitä muita yhdisteitä ei kuitenkaan tunneta. (Seuri & Palomäki 2000, 43)

Ammoniakki ärsyttää silmiä ja limakalvoja. Ammoniakkipitoisuuden ja terveyshaittojen välinen yhteys on toistaiseksi vielä epäselvä. Sisäilmastoluokituksen mukaan S1-luokan sisäilman ammoniakkipitoisuuden enimmäisarvo on $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Sisäilmayhdistys)

3.4.6. Orgaaniset kaasumaiset yhdisteet

Sisäilmassa esiintyy satoja orgaanisia kaasumaisia yhdisteitä. Nämä yhdisteet jaetaan yleensä neljään ryhmään niiden kiehumispisteen mukaisesti. Haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi eli VOC-yhdisteiksi nimitetään niitä, joiden kiehumispiste on $50\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$ ja $240\text{--}260\text{ }^\circ\text{C}$. (Seuri & Palomäki 2000, 43)

VOC-yhdisteitä ovat esimerkiksi aromaattiset hiilivedyt kuten tolueeni ja bentseeni, alkoholit, esterit sekä halogenoidut yhdisteet. VOC-yhdisteiden päästölähteitä ovat erityisesti rakennus- ja sisustusmateriaalit sekä kalusteet, pesuaineet ja jotkut mikrobikasvustot. Rakennusmateriaaleista erittyvät päästöt ovat peräisin liuotin- ja raaka-ainejäämistä sekä valmistusprosessin reaktio- ja hajoamistuotteista. Materiaalipäästöjä on erityisen paljon juuri valmistuneissa taloissa. Yleensä päästöt laskevat normaalitasolle noin puolen vuoden kuluessa rakennuksen valmistumisesta. Sisäilman VOC-pitoisuuteen vaikuttavat rakennusmateriaalien ja rakennuksen iän

lisäksi useat muutkin tekijät kuten ulkoilman saasteet ja liikenteen pakokaasut sekä kemikaalien käyttö. (Hengityслиitto)

Yksittäisillä haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä on monenlaisia terveysvaikutuksia. Ne voivat aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, silmien ärsytystä, hengitysteiden limakalvojen ärsytystä, väsymystä, voimattomuutta, yleistä pahoinvointia ja astman kaltaisia oireita. Yksittäisten sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ovat kuitenkin yleensä hyvin pieniä eivätkä sinällään pysty aiheuttamaan oireita. Tutkimustulokset sisäilmanlaadun ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden välisestä yhteydestä ovat ristiriitaisia ja vaihtelevia. Ristiriitaisten tulosten takana ovat osittain menetelmien heikkoudet ja vaikeudet. Pohjoismaisen työryhmän käsityksen mukaan haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä on todennäköisesti merkitystä sisäilman oireiden ja viihtyvyyden kannalta. Saman työryhmän mukaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden käyttöön sisäilman laadun mittarina liittyy kuitenkin ongelmia, kuten useiden kemikaalien seosten vaihtelevat terveysvaikutukset. On havaittu, että yhdisteiden lukumäärän kasvu kokonaispitoisuuden pysyessä samana johtaa yleensä haitallisuuden lisääntymiseen. (Seuri & Palomäki 2000, 44)

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan käyttää tutkittaessa ongelmarakennuksia. Todettavat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet eivät useimmiten suinkaan ole terveysvaikutuksien ainoa ja varma aiheuttaja, mutta kyseisiä aineita voidaan käyttää osoittamaan jokin tietty ongelma tai ongelma-alue rakennuksessa. Käytettäessä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmaongelman selvittelyssä tulee näytteenottoon, määritykset suoritettavaan laboratorioon ja näytteiden tulkintaan kiinnittää erityistä huomiota. Näytteenotto on suunniteltava hyvin ja näytteenotolla pitää olla jokin selkeä tavoite. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrittämisellä ei voida todeta, että sisäilman laatu on kunnossa. Sen sijaan, jos esimerkiksi rakennuksessa todetaan poikkeavaa hajua, voidaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä määrittää sisäilmasta ongelmien selvittämiseksi. (Seuri & Palomäki 2000, 44–45)

Jo edellä kuvatuista menetelmällisistä ongelmista johtuen on syytä käyttää osaavaa laboratoriota. Oleellista osaavuudelle on paitsi menetelmää koskevat korkeat laatukriteerit, myös riittävä tulkintatuki. Pelkät pitoisuudet ja niiden määrät eivät

utkimuksen tarvitsijaa auta, vaan tulosten merkitys on sisäilman laadun kannalta osattava tulkita. (Seuri & Palomäki 2000, 45)

3.4.7 Aldehydit

Sisäilmassa esiintyviä aldehydejä ovat esimerkiksi asetaldehydi, formaldehydi, propanaali sekä butanaali. Aldehydien lähteitä ovat yleensä erilaiset rakennusmateriaalit, tekstiilit, desinfiointi- sekä torjunta-aineet ja tupakansavu. Aldehydien runsas esiintyminen sisäilmassa voi viitata mineraalivillaeristeiden kosteusvaurioon. Tämän seurauksena jotkut mikrobit erittävät aldehydejä sisäilmaan. Aldehydeistä johtuvia oireita ovat yleensä silmien ja limakalvojen ärsyntyminen. Monet aldehydit ovat myös voimakkaan hajuisia. Aldehydien pitoisuus sisäilmassa saisi olla luokkaa 30 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Sisäilmayhdistys)

Formaldehydi

Suomessa sisäilman kannalta merkittävin aldehydi on formaldehydi. Se on alifaattinen hiilivety, joka on huoneenlämmössä väritön ja pistävän hajuinen kaasu. Sisäilman formaldehydi on yleensä peräisin liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on käytetty lastulevyssä ja eräissä paneeleissa. Myös happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, itsesiliävät tekstiilit ja kokolattiamatot saattavat sisältää formaldehydiä, joka vapautuu niistä sisäilmaan. Formaldehydi ärsyttää silmiä ja yleisimpiä hengitysteitä. Ihmisten herkkyys formaldehydin ärsytysvaikutuksille vaihtelee suuresti. Formaldehydin hajukynnys on noin 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehydi voi aiheuttaa ärsytysoireita herkillä henkilöillä jo hyvin pienissä pitoisuuksissa. (Asumisterveysopas 2008, 133)

3.5 Hiukkasmaiset sisäilman epäpuhtaudet

Ilmassa esiintyvät hiukkaset voidaan jakaa kokonsa, terveysvaikutuksiensa tai alkuperänsä perusteella. Sisäilman terveysvaikutuksien kannalta ylivoimaisesti tärkeimpiä tämän hetkisen tiedon perusteella ovat biologista alkuperää olevat

hiukkaset, joihin kuuluvat mikrobit ja erilaiset allergioita aiheuttavat tekijät kuten eläin- ja kasvipölyt. (Seuri & Palomäki 2000, 46)

Terveysvaikutuksien kannalta hiukkasten koolla on merkitystä. Suurimmat yli 10 µm:n hiukkaset jäävät hengitysteiden yläosiin johtuen pääasiassa hiukkasiin kohdistuvasta keskipakovoimasta mutkittlevilla ilmareiteillä. Nämä suuret hiukkaset voivat aiheuttaa refleksinomaista yskää ja aivastelua. Suuretkin hiukkaset voivat aiheuttaa allergiaa, mutta silloin kohde-elimenä on useimmiten nenä. Alle 10 µm:n hiukkaset pääsevät keuhkoputkien alaosiin ja voivat siellä aiheuttaa immunologisia reaktioita, muun muassa allergisen astman syntyä. Vain alle 1 µm:n hiukkaset pääsevät aivan keuhkojen perimmäisiin osiin, keuhkorakkuloihin eli alveoleihin, joissa kaasujen vaihto tapahtuu. (Seuri & Palomäki 2000, 46)

Pölyn käyttäytyminen sisäilmassa riippuu myös pölykappaleiden koosta. Suuremmat hiukkaset laskeutuvat nopeastikin lattialle ja muille tasoille. Aivan pienimmistä hiukkasista käytetään nimitystä leijuva pöly, koska käytännössä se ei juuri laskeudu. (Seuri & Palomäki 2000, 46)

3.5.1 Biologista alkuperää olevat hiukkasmaiset sisäilman epäpuhtaudet

Sisäilma sisältää lukuisan joukon biologista alkuperää olevia epäpuhtauksia. Useat virustaudit tarttuvat pisaratartuntana ihmisestä ihmiseen niin, että virus on lyhyen aikaa myös sisäilmassa. Viruksia ei kuitenkaan yleensä lueta sisäilmahaittoihin. Sen sijaan rakennuksen ilmanvaihdon kostutusjärjestelmä voi saastua mikrobeilla ja aiheuttaa tulehdussairautta rakennuksessa oleville. Tällainen rakennuksesta peräisin olevan mikrobin tunkeutuminen ja lisääntyminen ihmisessä on nykykäsityksen mukaan Suomessa harvinainen sisäilmahaittojen aiheuttaja. Näitäkin mahdollisuuksia silti tutkitaan. Tavallisimmin biologista alkuperää olevat sisäilman epäpuhtaudet eli bioaerosolit aiheuttavat terveysvaikutuksia muilla tavoin. Sisäilmassa tärkeimpiä allergian aiheuttajia ovat lemmikkieläimistä peräisin oleva pöly. Lemmikkieläinten pito ei vaikuta pelkästään lemmikkieläimen omistajaan, vaan lemmikin hoitaja kantaa

vaatteissaan allergiaa aiheuttavia hiukkasia työpaikalleen, kouluun ja minne vain missä hän liikkuu. (Seuri & Palomäki 2000, 46–47)

Allergisoituneet ihmiset saavat oireita pienistä pitoisuuksista, joita lemmikkien omistajat levittävät ympäristöön. Työpaikalla koetut sisäilmaongelmat voivatkin johtua työtoverin kotona olevasta lemmikistä. Nykyisin useimpien eläinten allergiaa aiheuttavia molekyyliä eli allergeenejä voidaan mitata pölynäytteistä. (Seuri & Palomäki 2000, 47)

3.5.2 Sisäilman muut hiukkaset

Sisäilman pienhiukkaset ovat pääosin peräisin ulkoilmasta, jossa puolestaan liikenne on pienhiukkasten tärkein lähde. Epidemiologiset tutkimukset viittaavat siihen, että pienhiukkasilla on merkitystä hengitystieoireiden ja -sairauksien sekä kohonneen kuolleisuuden aiheuttajana. Syysuhteen varmistaminen edellyttää kuitenkin vaikutusmekanismien selvittämisen. Sisäilmassa pienhiukkasten määrää lisää tupakointi ja kaasulieden käyttö (Seuri & Palomäki 2000, 47–48)

Huonepölyllä tarkoitetaan sisätiloissa esiintyvää leijuvan ja laskeutuvan pölyn kokonaisuutta. Huonepölyn koostumus vaihtelee. Osa siitä on peräisin ulkoa ja osa sisältä, osa on orgaanista ja osa epäorgaanista ainesta. Huonepölyssä voi olla yleisiä ympäristöallergeeneja kuten eläinten hilsettä ja kasvien siitepölyä ja punkkien allergeeneja. Laskeutunutta pölyä voidaan poistaa erilaisilla siivousmenetelmillä. Arkipäivän kokemus on osoittanut, että siivoamisen tason lasku voi johtaa sisäilmaongelmiin tai ongelmien pahenemiseen. (Seuri & Palomäki 2000, 48)

Sisäilmassa voi esiintyä myös lasi- ja mineraalivillan pölyä. Mineraalivillan vanhentuuessa villan sideaineena käytetty hartsia hajoaa ja eriste voi alkaa pölytyä. Seinän tai muun rakenteen sisällä tämä ei aiheuta yleensä ongelmia. Mineraalikuitujen määrä voidaan selvittää laskeutuneesta pölystä, sillä raskaina hiukkasina mineraalikuudit laskeutuvat nopeasti tasaisille pinnoille. Ärsytysoireiden lisäksi vuori- ja lasivillaan ei tiedetä varmuudella liittyvän muita haittoja. (Seuri & Palomäki 2000, 48–49)

3.5.3 Asbesti

Asbesti on yleisnimi eräille luonnossa esiintyville mineraalikuiduille. Asbestia on käytetty paljon rakennusmateriaaleissa, koska sillä on monia hyviä rakennusteknisiä ominaisuuksia: se on palamaton, eristää hyvin lämpöä ja sillä on hyvät akustiset ominaisuudet. Asbestin käyttö rakennusmateriaaleissa oli laajimmillaan 1960 – 1970-luvun vaihteessa. Asbestia on käytetty muun muassa lämmöneristemassoissa (putket, kattilat, varaajat), seinä- ja kattolevyissä, vesi- ja viemäriputkissa, ilmanvaihtokanavissa (ruiskutetut tai asbestisementtituotteet), lattiamateriaaleissa (vinyylasbestilaatat, joustovinyylimatot), tasoitteissa ja laattojen kiinnityslaasteissa. Nykyiset suomalaiset rakennusmateriaalit eivät sisällä asbestia. (Asumisterveysopas 2008, 131–132)

Asbestimateriaalia käsiteltäessä ilmaan leviää hienopölyä ja muita asbestikuituja. Kuidut ovat läpimitaltaan noin 0,03 mikrometriä. Hengitysilman mukana kuidut kulkeutuvat ja kerääntyvät keuhkoihin. Altistumisesta voi aiheutua keuhkosityöpää, asbestoosia ja keuhkopussin sairauksia. (Asumisterveysopas 2008, 132)

Hyväkuntoiset, ehjät asbestimateriaalit eivät aiheuta haittaa kiinteistön normaalissa käytössä. Sen sijaan kaikissa asbestipitoisten rakenteiden purku- ja korjaustöissä voi aiheutua terveyshaittaa, jos ei suojauduta kunnolla. Asbestin purku- ja korjaustyötä saavat tehdä vain siihen luvan saaneet yritykset. Asbestia sisältävän materiaalin määrä ja korjaustarve selvitetään ennen kiinteistön korjaus- ja purkutöiden aloittamista. (Asumisterveysopas 2008, 132)

Sisäilman asbestipitoisuuden pitää olla alle 0,01 kuitua/cm³. Asbestikuitujen esiintyminen pinnoille laskeutuneessa pölyssä ei ole hyväksyttävää. Huoneilman asbestipitoisuus on tarpeen mitata, jos rakennuksessa tehdään asbestipurku- tai korjaustöitä ja kuituja saattaa kulkeutua purettavasta tilasta asunnon tai muun oleskelutilan sisäilmaan. Jos rakennuksen asbestia sisältävät materiaalit ovat

huonokuntoisia, on tällöin syytä mitata sisäilman kuitupitoisuus. (Asumisterveysopas 2008, 132)

3.5.4 Styreeni

Styreeniä saattaa esiintyä sisäilmassa, jos rakennusmateriaaleissa käytetyn polyesterihartsin eri komponentit eivät ole reagoineet keskenään täydellisesti. Normaalisti styreenin pitoisuus sisäilmassa on hyvin pieni, jopa alle $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Styreenille tyypillistä on sen pistävä haju. Styreeni aiheuttaa silmien sidekalvojen ja hengitystiehyiden limakalvojen ärsytystä ja hermoston toiminnan häiriöitä yli $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksilla. Lujitemuoviteollisuudessa työntekijöillä on havaittu styreenin aiheuttamia kromosomimuutoksia veren lymfosyyteissä. Styreenin pienten pitoisuuksien pitkäaikaisvaikutuksia ei tunneta riittävästi. Huoneilman styreenipitoisuus saa olla enintään $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sisäilman styreenipitoisuuden määrittäminen on aiheellista, kun sisäilmassa on todettavissa styreenille tyypillistä hajua ja rakennuksessa on käytetty polyesterihartsipohjaisia tai muita vapaata styreeniä sisältäviä rakennusmateriaaleja. (Asumisterveysopas 2008, 135–136)

3.5.5 Tupakointi

Sisäilman epäpuhtautena voi olla ulkoa tai muualta rakennuksesta rakennevuotojen tai väärin toimivan ilmanvaihdon seurauksena sisätiloihin kulkeutuva tupakansavu. Ympäristön tupakansavu (YTS) on savukkeen ja muiden tupakkatuotteiden poltosta muodostuvien hiukkasten, aerosolien ja kaasujen seos. Tupakansavussa on yli 4000 yksittäistä yhdistettä. Orgaanisista yhdisteistä tärkein on nikotiini. Tupakansavu sisältää yli sata ihmiselle haitallista yhdistettä, joista syöpää aiheuttavia on neljäkymmentä. Hiukkasten keskimääräinen halkaisija YTS:ssa on $0,1\ \mu\text{m}$. Suurin osa hiukkasista kuuluu hiukkaskokoluokkaan jota ihminen hengittää keuhkoihinsa. (Asumisterveysopas 2008, 140–141)

Sisäilman tupakansavun pitoisuuden määrittämiseksi on mitattava sisäilman nikotiinipitoisuus. Jos rakennuksessa mitataan nikotiinin toteamisrajan ($0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittävä pitoisuus, on se osoitus tupakansavun kulkeutumisesta rakennukseen sen ulkopuolelta. Tupakansavun kulkeutumista porraskäytävästä, liiketilasta tai ulkoa rakennukseen ei voida pitää hyväksyttävänä. (Asumisterveysopas 2008, 141)

4 Kemialliset tekijät

Työpaikoilla on käytössä lukuisia erilaisia kemikaaleja, ja lisäksi työprosesseissa ja materiaaleja työstettäessä vapautuu haitallisia aineita. Kaikkia näitä kutsutaan kemiallisiksi tekijöiksi, joiden riskit on arvioitava. Osa kemiallisista tekijöistä on vaarattomia, mutta useilla niistä on haitallisia ominaisuuksia, jotka on otettava huomioon niiden käytössä ja käsittelyssä. (Työturvallisuuskeskus)

Sisäilman kemialliset tekijät ovat Suomessa edelleen merkittävä terveysuhka ja suurin ammattitauteja aiheuttava tekijä työpaikoilla. Yli puolet eli yli miljoona työssäkäyvää saattaa ainakin tilapäisesti altistua erilaisille pölyille, kaasuille tai muille kemiallisille aineille. Altistuneista noin puolet kokee altistumisen ainakin jossain määrin haitallisena, ja yli 10 % eli yli 250 000 työssäkäyvää kokee melko paljon tai hyvin paljon haittaa altistumisesta. (Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma 2006, 15)

Kemiallisten tekijöiden aiheuttamia ammattitauteja ilmoitetaan vuosittain Työperäisten sairauksien rekisteriin noin 2000 tapausta eli 0,8 tapausta 1000 työssäkäyvää kohti. Suurin tautiryhmä on ihotaudit, joihin kuuluvat mm. allergiset ihottumat ja ärsytysihottumat. Tärkeimpiä ihotautien aiheuttajia ovat pesuaineet, märkä ja likainen työ, luonnonkumi, muut kumikemikaalit ja eläinperäiset altisteet. Asbesti on ylivoimaisesti eniten ammattitauteja aiheuttanut yksittäinen kemiallinen tekijä. Vuosittain asbestisairauksia ilmoitetaan noin 600 tapausta. (Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma 2006, 15)

4.1 Kemikaalilaki

Kemikaalilla tarkoitetaan alkuaineita ja niiden kemiallisia yhdisteitä sellaisina kuin ne esiintyvät luonnossa tai teollisesti valmistettuina. Kemikaalilain mukaan kemikaalilla tarkoitetaan myös kahden tai useamman aineen seoksia. (Kemikaalilaki 1989)

Palo- ja räjähdysvaarallisella kemikaalilla tarkoitetaan kemikaalia, joka fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi voi aiheuttaa tulipalon tai räjähdysvaaran. Terveydelle vaarallisella kemikaalilla tarkoitetaan kemikaalia, joka elimistöön joutuessaan voi aiheuttaa kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi jo vähäisenä määränä haittaa ihmisen terveydelle. Ympäristölle vaarallisella kemikaalilla tarkoitetaan kemikaalia, joka ympäristöön joutuessaan voi aiheuttaa jo vähäisenä määränä haittaa elolliselle luonnolle. (Kemikaalilaki 1989)

Suomessa kemikaalilainsäädäntö on lähes kokonaan harmonisoitua EY-lainsäädäntöä. Kemikaalilainsäädännön tavoitteena on kemikaalien aiheuttamien terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäiseminen sekä palo- ja räjähdysvaaran arviointi. Lainsäädännössä asetetaan toiminnanharjoittajille velvollisuuksia, joita ovat selvilläolovelvollisuus, päällys- ja tiedonantovelvollisuus, huolehtimisvelvollisuus sekä valintavelvollisuus. Kemikaalin valmistajan ja maahantuojan on selvitettävä kemikaalin ominaisuudet, jotta se voi luokitella kemikaalin. Kemikaalin päällys merkitään asianmukaisesti, ammattikäytössä olevasta kemikaalista toimitetaan vastaanottajalle käyttöturvallisuustiedote sekä tarvittavat tiedot toimitetaan tuoterekisteriin. (Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma 2006, 18)

4.2 Kemikaaliasetus

4.2.1 Vaarallisten kemikaalien ryhmitys

Kemikaalilain 11 §:ssä tarkoitetut vaaralliset kemikaalit ryhmitellään seuraavasti:

- 1) *Räjähävät kemikaalit*: kiinteät, nestemäiset, tahnamaiset tai hyytelömäiset aineet ja valmisteet, jotka voivat ilman ulkopuolista happea aiheuttaa reaktion, jossa vapautuu lämpöä ja kehittyy nopeasti kaasuja, ja jotka määrätyissä koeolosuhteissa räjähtävät, kun niitä kuumennetaan osittain suljetussa tilassa, tai muusta syystä.
- 2) *Hapettavat kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka voivat aiheuttaa voimakkaasti lämpöä vapauttavan reaktion muiden, erityisesti syttyvien aineiden kanssa.
- 3) *Erittäin helposti syttyvät kemikaalit*: nestemäiset aineet ja valmisteet, joilla on erittäin alhainen leimahduspiste ja alhainen kiehumispiste, sekä kaasumaiset aineet ja valmisteet, jotka muodostavat syttyvän seoksen joutuessaan kosketukseen ilman kanssa ympäristön lämpötilassa ja paineessa.
- 4) *Helposti syttyvät kemikaalit*:
 - a) Aineet ja valmisteet, jotka voivat kuumentua ja syttyä itsestään palamaan ilmassa ympäristön lämpötilassa ilman energian lisäystä.
 - b) Kiinteät aineet ja valmisteet, jotka voivat välittömästi syttyä palamaan jouduttuaan lyhytaikaisesti kosketukseen sytytyslähteen kanssa ja jotka jatkavat palamista sytytyslähteen poistamisen jälkeen.
 - c) Nestemäiset aineet ja valmisteet, joilla on hyvin alhainen leimahduspiste.
 - d) Aineet ja valmisteet, jotka veden tai kostean ilman vaikutuksesta muodostavat vaarallisia määriä helposti syttyviä kaasuja.

- 5) *Syttyvät kemikaalit*: nestemäiset aineet ja valmisteet, joilla on alhainen leimahduspiste.
- 6) *Erittäin myrkylliset kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hyvin pieninä annoksina hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä aiheuttavat kuoleman tai välittömän tai pitkäaikaisen terveydellisen haitan.
- 7) *Myrkylliset kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka pieninä annoksina hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä aiheuttavat kuoleman tai välittömän tai pitkäaikaisen terveydellisen haitan.
- 8) *Haitalliset kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä voivat aiheuttaa kuoleman tai välittömän tai pitkäaikaisen terveydellisen haitan.
- 9) *Syövyttävät kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka voivat tuhota elävän kudoksen ollessaan kosketuksessa sen kanssa.
- 10) *Ärsyttävät kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka eivät ole syövyttäviä, mutta voivat aiheuttaa tulehduksen välittömässä, pitkäaikaisessa tai toistuvassa kosketuksessa ihon tai limakalvojen kanssa.
- 11) *Herkistävät kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hengitettynä tai ihon kautta imeytyneinä voivat aiheuttaa herkistymistä siten, että altistuttaessa uudelleen aineelle tai valmisteelle seurauksena on sille ominaisia haittavaikutuksia.
- 12) *Syöpää aiheuttavat kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä voivat aiheuttaa syöpää tai lisätä sen esiintyvyyttä.
- 13) *Perimää vaurioittavat kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä voivat aiheuttaa periytyviä geneettisiä vaurioita tai lisätä niiden esiintyvyyttä.
- 14) *Lisääntymiselle vaaralliset kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka hengitettynä, nieltynä tai ihon kautta imeytyneinä voivat aiheuttaa jälkeläisillä muita kuin periytyviä haittavaikutuksia tai lisätä niiden esiintyvyyttä.

15) *Ympäristölle vaaralliset kemikaalit*: aineet ja valmisteet, jotka ympäristöön jouduttuaan voivat aiheuttaa välitöntä tai viivästyntä vaaraa ympäristölle tai sen osalle.

Edellä momentin 1–5 kohdassa tarkoitettut kemikaalit ovat palo- ja räjähdysvaarallisia, 6–14 kohdassa tarkoitettut kemikaalit terveydelle vaarallisia sekä kohdassa 15 tarkoitettut kemikaalit ympäristölle vaarallisia. (Kemikaaliasetus 1993)

4.2.2 Kemikaalien merkintä

Vaarallista kemikaalia ei saa luovuttaa käyttöön, elleivät sen päällysmarkinnat täytä tässä pykälässä asetettuja vaatimuksia.

Päällykseen on merkittävä selkeästi ja pysyvällä tavalla:

- 1) Valmisteen kaupp nimi tai muu nimitys; jos kyseessä on aine, päällykseen merkitään aineluettelossa mainittu aineen nimi, ja jos ainetta ei ole mainittu aineluettelossa, nimi ilmoitetaan kansainvälisesti hyväksytyin nimistön mukaisesti.
- 2) Euroopan yhteisön alueelle sijoittuneen kemikaalin markkinoille tai käyttöön luovuttamisesta vastaavan toiminnanharjoittajan nimi, osoite ja puhelinnumero.
- 3) Valmisteen sisältämät vaaralliset aineet siten kuin sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella määrätään.
- 4) Varoitusmerkit ja niiden nimet.
- 5) Vaaraa osoittavat standardilausekkeet (R-lausekkeet).
- 6) Turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet (S-lausekkeet)
- 7) Aineen EY-numero, jolla tarkoitetaan Euroopan yhteisössä aineelle käytettävää tunnusta, jos aineelle on kaupallisessa käytössä olevien

aineiden luettelossa (EINECS) tai ilmoitettujen aineiden luettelossa (ELINCS) sellainen annettu, minkä lisäksi aineluettelossa mainittujen aineiden päällyksmerkinnässä tulee olla sanat "EY-merkintä, EG-märkning"; velvoitteet eivät koske valmisteiden merkintöjä.

8) Valmisteen sisällyksen määrä (massa tai tilavuus) siinä tapauksessa, että valmiste on tarkoitettu vähittäismyyntiin.

9) Muut kemikaalin turvallisen käytön edellyttämät merkinnät siten kuin sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella määrätään.

Tässä asetuksessa tarkoitetun kemikaalin päällyksessä ei saa olla mainintaa "ei-myrkyllinen", "ei-haitallinen", "ympäristöystävällinen", "ekologinen" tai muuta vastaavaa väitettä, joka tarkoittaa, että kemikaali ei ole vaarallinen. Tämä ei kuitenkaan koske torjunta-ainelaisissa tarkoitettujen kasvinsuojeluaineiden merkintöjä, joista säädetään erikseen torjunta-ainelainsäädännön nojalla. (Kemikaaliasetus 1993)

4.2.3 Palavien nesteiden ja kaasujen säilyttäminen

Asetuksessa vaarallisten kemikaalien teollisesta varastoinnista ja käsittelystä on säädetty seuraavaa.

Asuin-, toimisto-, majoitus-, päivähoito- ja kokoontumishuoneistoissa sekä niihin verrattavissa tiloissa saa säilyttää erittäin helposti syttyviä, helposti syttyviä ja syttyviä palavia nesteitä sekä aerosoleja, jotka sisältävät palavia nesteitä tai palavia kaasuja, yhteensä enintään 25 litraa. Muita palavia kaasuja näissä tiloissa ei saa säilyttää. Palavia nesteitä, joiden leimahduspiste ylittää 55 °C, saa säilyttää enintään 50 litraa. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Edellä tarkoitettuja huoneistoja käsittävissä rakennuksissa saa erillisessä varastotilassa tai huolto- tai työpaikkahuoneessa kuitenkin säilyttää palavia kaasuja, erittäin helposti syttyviä, helposti syttyviä ja syttyviä palavia nesteitä yhteensä enintään 100 litraa. Palavia nesteitä, joiden leimahduspiste ylittää 55 °C, saa säilyttää enintään 200 litraa. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Sairaaloissa, oppilaitoksissa ja muissa niihin verrattavissa kohteissa voi lisäksi olla niiden toiminnan kannalta tarpeellisia, erillisiä palavien nesteiden varastoja, jos ne muodostavat oman paloteknisen osaston. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Palavia kaasuja ja palavia nesteitä ei saa säilyttää yhtä useamman asuinhuoneiston käsittävän rakennuksen yhteisessä kellari- tai ullakkotilassa, joka on tarkoitettu asuntokohtaisen talousirtaimiston säilyttämiseen. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Edellä mainittuja enimmäismääriä laskettaessa ei oteta huomioon alkoholijuomia eikä sellaisia palavia nesteitä ja palavia kaasuja, joiden käsittelystä, varastoinnista ja säilyttämisestä säädetään öljylämmityslaitteistoista annetussa asetuksessa, nestekaasuasetuksessa tai maakaasuasetuksessa. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

4.2.4 Terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien säilyttäminen

Terveydelle ja ympäristölle vaaralliset kemikaalit tulee säilyttää kemikaalilaissa säädettyjen vaatimusten mukaisissa päällyksissä niille varatuissa paikoissa. Ne on pidettävä erillään elintarvikkeista ja rehuista. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Myrkylliset ja erittäin myrkylliset kemikaalit on säilytettävä lukitussa tilassa tai siten, etteivät asiaankuulumattomat saa niitä käyttöönsä. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Keskenään voimakkaasti reagoivat kemikaalit tulee säilyttää toisistaan erillään siten, etteivät ne onnettomuus- tai vahinkotapauksissa pääse aiheuttamaan terveys- tai ympäristöhaittaa. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

Terveydelle ja ympäristölle vaarallisen kemikaalin säilytystilassa tulee lisäksi huolehtia asianmukaisesta järjestyksestä ja ilmanvaihdosta sekä siitä, että vahinkotapauksissa kemikaali voidaan kerätä talteen tai tehdä vaarattomaksi. (Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 1999)

4.3 Käyttöturvallisuustiedotteet ja luettelo työpaikalla käytettävistä kemikaaleista

Työnantajan on pidettävä ajan tasalla olevaa kaupanimen mukaista luetteloa työpaikalla käytettävistä kemikaaleista. Luettelosta on selvittävä kemikaalin luokitustiedot ja se, mistä kemikaalista on saatavilla käyttöturvallisuustiedote. (Asetus kemiallisista tekijöistä työssä 2001)

Käyttöturvallisuustiedotteet ja luettelo työpaikalla käytettävistä kemikaaleista on pidettävä työpaikalla työntekijöiden nähtävillä. Käyttöturvallisuustiedotteet ja luettelo tai niiden jäljennökset on toimitettava myös työpaikan työsuojeluvaltuutetulle. (Asetus kemiallisista tekijöistä työssä 2001)

4.3.1 Käyttöturvallisuustiedote

Kemikaalin valmistajan, maahantuojan, jakelijan tai sen markkinoille tai käyttöön luovuttamisesta vastaavan toiminnanharjoittajan on laadittava vaaralliseksi luokitellusta kemikaalista käyttöturvallisuustiedote. Käyttöturvallisuustiedote annetaan kemikaalin vastaanottajalle, kun kemikaalia käytetään teollisessa toiminnassa tai ammatissa. Tiedote toimitetaan ensimmäisen kemikaalitoimituksen yhteydessä. (Työturvallisuuskeskus)

Käyttöturvallisuustiedotteella annetaan kemikaalin vastaanottajalle tiedot kemikaalin koostumuksesta ja sen vaarallisista ominaisuuksista, terveysvaaroista ja palo- ja räjähdysherkkyydestä, turvallisesta käytöstä ja mahdollisesti tarvittavista henkilönsuojaimista. Lisäksi tiedotteessa annetaan tietoa kemikaalin luokituksesta, päällysten merkinnöistä sekä varastoinnista, kuljetusmääräyksistä ja jätteiden käsittelystä. (Työturvallisuuskeskus)

Työpaikalla käytettävien kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet on säilytettävä järjestettyinä. Työpaikalla on lisäksi pidettävä siellä käytettävistä kemikaaleista kaupanimen mukaista aakkosellista luettelo, josta käyvät ilmi kemikaalin luokitus ja se onko kemikaalista käyttöturvallisuustiedotetta. Käyttöturvallisuustiedotteet ja kemikaaliluettelo toimitetaan myös työpaikan työsuojeluvaltuutetulle. (Työturvallisuuskeskus)

Työntekijöitä tulee opastaa käyttöturvallisuustiedotteiden käyttöön, ja tiedotteet tulee säilyttää työpaikalla työntekijöiden helposti saatavilla. Käyttöturvallisuustiedotteen

tarkoituksena on välittää ne tiedot, joita kemikaalin valmistajalla on aineesta ja jotka ovat tarpeellisia kemikaalin turvallisen käsittelyn varmistamiseksi. Käyttäjille ovat erityisen tärkeitä tiedot, jotka koskevat kemikaalien käsittelyä, altistumisen ehkäisyä, henkilökohtaisia suojaimia, ensiapuohjeita ja ohjeita tulipalon varalta. (Työturvallisuuskeskus)

Työpaikalla käytettävistä vaarallisista kemikaaleista on hyvä laatia erilliset työohjeet tai kemikaalikortit, joista käyvät selvästi ilmi kemikaalin vaaratekijät ja altistumistavat, käsittelyssä huomioon otettavat turvatoimet sekä ensiapu- ja sammutusohjeet. (Työturvallisuuskeskus)

4.3.2 Kemikaalien luettelointi

Työpaikalla on oltava luettelo kaikista siellä käytettävistä kemikaaleista. Kauppanimen mukaiseen kemikaaliluetteloon kirjataan kemikaalien käyttötarkoitus, arvio käyttömääristä, luokitustiedot sekä tieto siitä, mistä kemikaaleista on käyttöturvallisuustiedote. (Työturvallisuuskeskus)

Usean tuotteen käyttö samaan tarkoitukseen ei ole taloudellista eikä järkevää. Kemikaalien luetteloinnin yhteydessä selvitetään yhdessä käyttäjien kanssa tarpeelliset tuotteet. Samalla sovitaan tarpeettomien tuotteiden hankinnan lopettamisesta, varaston loppuun käyttämisestä ja turvallisesta hävittämisestä. (Työturvallisuuskeskus)

Kemikaaleja luetteloitaessa selvitetään myös vaaraa aiheuttavat kemialliset tekijät työpaikalla ja työnteon yhteydessä, esimerkiksi hitsaushuurut, pöly ja liuotinhöyryt. (Työturvallisuuskeskus)

Kemikaalit voidaan luetteloida työpisteittäin seuraavasti:

– arvioidaan käyttömäärät

- tarkistetaan pakkausmerkinnät
 - päivitetään käyttöturvallisuustiedotteet
 - arkistoidaan käytöstä poistettujen aineiden tiedot
 - päivitetään kemikaalitoimittajien yhteystiedot
 - selvitetään, tarvitaanko kaikkia aineita
 - hävitetään tarpeettomat kemikaalit
 - selvitetään, syntyykö työnteon yhteydessä ilman epäpuhtauksia.
- (Työturvallisuuskeskus)

4.4. Altistuminen ja sen arviointi

Kemikaali vaikuttaa haitallisesti vain, jos sen kanssa joutuu kosketuksiin. Terveydelle vaarallinen aine voi vaikuttaa välittömästi kosketuskohdassa iholla tai limakalvolla tai välillisesti jouduttuaan elimistöön, esimerkiksi keuhkoihin, luustoon, munuaisiin tai hermostoon. Vaikutukset voivat olla akuutteja tai ilmetä vasta vuosien kuluttua. Pääosin kemikaaleille altistutaan hengityselinten ja ihon kautta. Käsistä suun kautta tapahtuva altistuminen on mahdollista esimerkiksi tupakoinnin tai syömisen yhteydessä. (Työturvallisuuskeskus)

Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden kemikaaleille altistumisen luonne ja määrä niin, että voidaan arvioida terveysvaarat ja tarvittavat torjuntatoimet. Riskin arviointi edellyttää työnantajalta tietoa kemiallisista aineista ja tuotteista, altistumisen selvittämisestä sekä raja-arvoista. Kemikaalien vaarallisuus selvitetään niiden luokituksista, merkinnöistä ja käyttöturvallisuustiedotteista. Tarvittaessa voi pyytää lisätietoja kemikaalin toimittajalta. (Työturvallisuuskeskus)

Altistumisen selvittäminen voi perustua kokemukseen, aikaisempiin työhygieenisiin mittauksiin tai muissa vastaavanlaisissa työpaikoissa tehtyihin mittauksiin. Selvitys

tehdään käymällä läpi kemikaalien käyttökohteet sekä mahdolliset päästölähteet ja -tilanteet. Tavanomaisten työtehtävien lisäksi kiinnitetään huomiota poikkeaviin työtehtäviin, esimerkiksi altistumiseen kunnossapito- ja siivoustöissä sekä häiriötilanteissa. (Työturvallisuuskeskus)

Kemikaalialtistukseen vaikuttavat käytettyjen kemikaalien laatu, käyttötavat, -ajat ja -määrät. Työntekijöiden kokonaisaltistumiseen vaikuttavat myös hengitysvolyymi eli työn raskaus, muualla kuin työpaikalla mahdollisesti saatava tausta-altistuminen sekä työntekijän oma käyttäytyminen, kuten henkilökohtainen hygienia sekä suojainten käyttö ja huolto. (Työturvallisuuskeskus)

Altistumista voidaan mitata työilman epäpuhtausmittauksilla ja työntekijäkohtaisilla biologisilla näytteillä. Biologinen määrittäminen on hyvä pitkäaikaisen altistumisen mittari, kun mitataan esimerkiksi ihmiseen kertyviä raskasmetalleja. Altistumista liuotinseoksille tai työjärjestelyjen vaikutuksia altistumiseen voi parhaiten seurata ilman epäpuhtausmittauksilla. Altistumisen arvioinnissa ja altistusmittauksissa on syytä käyttää työterveyshuollon asiantuntemusta. (Työturvallisuuskeskus)

4.5 Raja-arvot

Työpaikan ilmassa olevien epäpuhtauksien haitallisuutta arvioitaessa ja mitattaessa vertailuarvoina käytetään haitalliseksi tunnettuja pitoisuuksia, niin sanottuja HTP-arvoja. Työnantajan on otettava HTP-arvot huomioon arvioidessaan työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä. HTP-arvoja tarkistetaan ja päivitetään jatkuvasti tutkimustietoon pohjautuen. HTP-arvot julkaistaan sosiaali- ja terveysministeriön turvallisuustiedotteessa. (Työturvallisuuskeskus)

HTP-arvot ilmoitetaan aineen tai aineryhmän ominaisuuksien mukaan kahdeksalle

tunnille, viidelletoista minuutille ja hetkelliselle keskipitoisuudelle. HTP-arvoilla tarkoitetaan sellaisia enimmäispitoisuuksia eli turvallisia raja-arvoja, joissa kaikkien työntekijöiden uskotaan voivan jatkuvasti työskennellä ilman haittaa kahdeksan tuntia päivässä ja viisi päivää viikossa. (Työturvallisuuskeskus)

Ilman epäpuhtauksien sitovat raja-arvot, suurimmat sallitut pitoisuudet, on annettu asbestille, bentseenille, kovapuupölylle, lyijylle ja vinyylikloridille. (Työturvallisuuskeskus)

5 Henkilökunnan haastattelut

Tutkimusten kohteiksi pyrittiin valitsemaan eri-ikäisiä oppilaitoksia Tampereen alueelta. Näiksi valittiin Tampereen klassillinen lukio, Kaarilan lukio, Sammon keskuslukio sekä Pirkanmaan ammattikorkeakoulu (PIRAMK) ja Pirkanmaan ammattiopisto (PIRKO).

Oppilaitosten henkilökunnan haastattelut hoidettiin pääasiallisesti henkilökohtaisina tapaamisina ja muutama haastattelu tehtiin puhelimitse. Haastateltaviksi henkilöiksi valittiin jokaisesta koulusta kemian laboratorioita käyttävä henkilö, joko opettaja tai laboratorioinsinööri. Lisäksi haastateltiin mahdollisuuksien mukaan oppilaitosten isännöitsijää, vahtimestaria tai vastaavaa sen mukaan, kuka oli haastateltavaksi saatavilla.

Laboratorioiden käyttöajat vaihtelevat muutamasta tunnista aina täysiin tuntimääriin viikossa. Oppilasmäärät laboratorioissa työkerroilla ovat 10–40 henkilöä. Lukioissa tehtävät laboratoriotyöt ovat pääasiallisesti titrauksia, hapetus- ja pelkistystöitä, liekkikokeita sekä liuosten valmistamista. PIRKOssa ja PIRAMKissa tehdään laajempiakin töitä useilla erilaisilla menetelmillä. Lukioissa käytössä ovat bunsenpolttimet ja tisluslaitteistot. PIRKOssa käytetään peruslaitteiden lisäksi kromatografeja, spektrometriä sekä autoklaavia. PIRAMK:n tiloissa käytetään näiden lisäksi mm. atomiabsorptiospektrometriä ja kaasukromatografiaa. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

Laboratorioiden lämpötila on pääosin koettu sopivaksi. Oppilaitosten ilmanlaadussa on selviä eroja. Uudemmissa kiinteistöissä (PIRAMK, Sammon keskuslukio) ilmanlaatu on hyvä, mutta vanhemmissa rakennuksissa yleensä hieman tunkkainen. Ainoastaan PIRKOn tiloissa on havaittu vetoa. Pintojen sähköisyyttä ei ole puolestaan havaittu yhdessäkään oppilaitoksessa. Hajuongelmia esiintyy PIRKOssa ja Klassillisessa lukiossa erinäisten laboratoriotöiden jälkeen. Meluongelmia ei ole yhdessäkään kohteessa. Pölyä on havaittu PIRKOssa ja Kaarilassa. Oppituntien jälkeistä pääkipua ei ole havaittu, mutta PIRKOn ja Klassillisen lukion henkilökunnalla on ilmennyt mystistä tukkoisuutta sekä poskiontelontulehdusta. Hiilidioksidimääriä ei ole mitattu

yhdestäkään oppilaitoksesta, sen sijaan ilmamäärämittauksia on suoritettu Kaarilassa. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

Lukioissa on käytössä melko perinteisiä kemikaaleja kuten alkoholeja, heikkoja happoja sekä emäksiä ja suolaliuoksia. PIRKOssa käytetään niiden lisäksi myös eetteriä. PIRAMKissa on käytössä laaja valikoima erilaisia kemikaaleja harvinaisempiin ja myrkyllisiin asti. Epäorgaanisten kemikaalien säilytys hoidetaan joka koululla lukitussa ja ilmastoidussa kaapissa. Lukioissa ei ole kaasuja käytössä lainkaan, PIRAMKin palavat kaasut ovat laboratoriotiloissa. PIRKOssa ne on sijoitettu erilliseen tilaan, jonne on kulku ulkokautta. Myrkylliset kemikaalit on myös sijoitettu lukittuun ja ilmastoituun kaappiin joka koululla. Kemikaalijätteet kaadetaan viemäriin jos se on sallittua. Pirkanmaan jätehuolto toimittaa tavallisesti myrkylliset jätteet Ekokemille niin sanotuissa ekobokseissa. Oppilaitoksissa pyritään lajittelemaan jätteet kokonaisvaltaisesti, mutta kuitenkin osassa oppilaitoksissa on epäselvyyksiä esimerkiksi eri jäteastioiden sijainnista ja niiden olemassaolosta. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

Käyttöturvallisuustiedotteita käytetään kaikissa oppilaitoksissa ahkerasti. Ne ovat joka paikassa saatavilla joko internetin, kirjallisuuden tahi oman ohjelman kautta. Kemikaalimerkinnot ovat kunnossa kaikkialla. Varsinaista työturvallisuuskurssia ei suoriteta ennen työkurssien alkua muualla kuin PIRKOssa. Turvallisuusasioihin kyllä perehdytään, ja oppilaita opastetaan laboratorioden suoja- ja turvallisuusvälineiden käytössä kouluissa. Hätäsuihkuja on yhtä lukiota lukuun ottamatta joka laboratoriossa. Silmäsuihkuja puuttuu kahdesta lukiosta, toisessa ei ole edes silmähuuhtelupulloa. Happokäsineitä ei ole saatavilla lukioissa. PIRKOssa ja PIRAMKissa käsineet on käytössä. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

Sekä tulo- että poistoilmanvaihto on oppilaitoksissa hoidettu koneellisesti. Ilmanvaihto on osassa kouluista yöt puoliteholla, osassa kouluista pois päältä. Kosteutta on havaittu yhdessä oppilaitoksessa. Vanhempiin oppilaitoksiin on tehty remontteja noin 15 vuotta sitten. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

Klassillisen lukion kemian opetustilan pinta-ala on 66 neliometriä, Sammon keskuskoulun 82 neliometriä, Kaarilan lukion 62 neliometriä, Pirkanmaan

ammattiopiston 80 neliometriä ja Pirkanmaan ammattikorkeakoulun 243 neliometriä. Maksimihenkilömäärä Klassillisen lukion kemian opetustilassa on 41, Sammon keskuskiossa 31, Kaarilan lukiossa 30, Pirkanmaan ammattiopistossa 12 ja Pirkanmaan ammattikorkeakoulussa 40. (Ahde, Hakala, Halme, Knuutila, Lähde 2009)

6 Ilmanlaatumittaukset

Sisäilman mittaukset suoritettiin Testo 445 -mittarilla, joka on kuviossa 1. Mittauspöytäkirjaan merkittiin ylös mittauksen kohteena kulloinkin ollut tila, päivämäärä sekä se, mitä tilassa tehtiin. Mittarista luettiin arvot viidentoista minuutin välein. Tällöin kirjattiin tilassa olevien henkilöiden lukumäärä, ilman hiilidioksidipitoisuus, ilman suhteellinen kosteus ja ilman lämpötila sekä mahdolliset huomautukset. Mittausten jälkeen käytettiin hyväksi Ilmatieteenlaitoksen Internet-sivuja, joista otettiin ylös mittauksien aikana Tampereella vallinneet ulko-olosuhteet. Näitä olivat ilmanpaine, ulkoilman suhteellinen kosteus ja ulkolämpötila.



Kuvio 1: Mittauksissa käytetty Testo 445 (Kuva: Teemu Multisilta)

6.1 Hiilidioksidipitoisuus

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus on syytä mitata aina samalla tavalla.

Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden vaihteluita on suositeltavaa seurata sellaisilla jatkuvatoimisilla, rekisteröivillä mittalaitteilla, joiden toiminta perustuu esimerkiksi infrapunasäteilyn absorptioon (SFS 5412) tai sähkökemialliseen kennoon. Mittalaitteet on kalibroitava säännöllisesti ja

sähkökemiallisten laitteiden kennot uusittava muutaman vuoden välein. Hetkellinen hiilidioksidipitoisuus voidaan mitata myös suoraan osoittavilla ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät imettäessä niiden läpi tietty ilmamäärä. (Sisäilmaohje 1997, 53)

6.2 Lämpötila

Sisäilman lämpötilan mittauksesta on ohjeistettu seuraavaa:

Asunnon lämmityksen ja ilmanvaihdon on oltava samanlaiset kuin tavanomaisessa käyttötilanteessa. Ikkunatuuletusta tulisi välttää vähintään 4-6 tuntia ennen mittausta ja mittauksen aikana. Mittalaitteiden on oltava kalibroituja. Elektronisten mittalaitteiden toiminta on tarkistettava jokaisen mittauksen alussa mittausvirheiden välttämiseksi. Huoneilman lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti. (Sisäilmaohje 1997, 15)

Standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaan huonelämpötila mitataan 1,1 metrin korkeudelta lattiasta. (SFS 5511, 1989)

6.3 Suhteellinen kosteus

”Huoneilman kosteus mitataan standardin SFS 5511 kohdan 8 mukaisesti samasta kohdasta kuin huoneilman lämpötila” (Sisäilmaohje 1997, 16)

Standardin SFS 5511 kohdan 8 mukaan kosteusmittaukset tehdään yleensä yhdestä pisteestä, vaikka huonetila olisi suurikin, sillä ilman absoluuttinen kosteus on yleensä jokseenkin vakio koko huonetilan oleskeluvyöhykkeellä. (SFS 5511 , 1989)

7 Mittaustulokset

Oppilaitoksissa suoritettut mittaukset löytyy kokonaisuudessaan liitteessä 2. Taulukossa 1 on esitetty mittaustulokset Sammon keskuslukiolta 11.3.2009. Tuolloin ulkolämpötila oli -2 °C, ilmanpaine 1009 hPa ja ulkoilman suhteellinen kosteus 85 %. Mittaus tapahtui kemiantuntien aikaan, jolloin oppilaat valmistivat kompleksiyhdisteitä.

Taulukko 1: Sammon keskuslukion mittaustulokset 11.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
08:15	4	520	18,2	21,7
08:30	13	570	19,5	21,8
08:45	13	600	19,6	22,0
09:00	13	650	20,3	22,3
09:15	13	640	20,2	22,6
09:30	13	630	19,2	22,8

Taulukossa 2 on esitetty mittaustulokset Sammon keskuslukiolta 20.3.2009. Mittaukset suoritettiin teoriaopetuksen aikana. Ulkolämpötila oli 5,4 °C, ilmanpaine 1014 hPa ja ulkoilman suhteellinen kosteus 69 %.

Taulukko 2: Sammon keskuslukion mittaustulokset 20.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
11:45	2	500	19,4	21,7
12:00	23	700	21,0	22,1
12:15	23	790	21,4	23,0
12:30	23	850	21,8	23,4
12:45	23	840	22,3	23,6
13:00	23	840	23,1	23,8
13:15	4	680	21,1	23,9
13:30	14	680	21,2	24,0
13:45	14	680	22,0	24,1
14:00	14	690	22,1	24,1
14:15	14	660	22,3	24,1
14:30	14	650	22,4	24,1

Taulukossa 3 on esitetty mittaustulokset Pirkanmaan ammattikorkeakoulun kemian laboratorioista 12.3.2009. Ulkolämpötila oli -0,7 °C, ilmanpaine 1019 hPa ja suhteellinen kosteus 79 %. Laboratoriotilat on jaettu kahteen osaan, toisessa tehtiin

analyyttisen kemian töitä ja toisessa biokemian töitä. Taulukossa 3 on esitetty ensin tila, jossa tehtiin biokemian töitä

Taulukko 3: PIRAMKin mittaustulokset 12.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
12:45	5	570	22,7	22,0
13:00	6	470	17,2	23,2
13:15	6	450	16,0	24,3
13:30	7	450	17,0	23,6
13:45	7	460	16,3	24,3
14:00	6	460	17,5	23,7
14:15	6	450	16,4	24,3
14:30	5	480	17,0	23,9
14:45	3	440	16,7	24,3
15:00	5	470	17,6	23,5
15:15	6	450	17,9	24,4
15:30	4	460	17,1	24,2
15:45	5	450	16,0	25,2
12:45	4	490	19,2	22,3
13:00	4	450	18,3	22,4
13:15	4	480	18,0	23,6
13:30	3	470	18,4	22,9
13:45	2	460	17,4	23,6
14:00	3	440	17,6	23,2
14:15	1	470	17,6	24,0
14:30	3	440	18,9	22,9
14:45	1	480	22,2	23,1
15:00	2	450	19,0	22,7
15:15	1	470	18,7	23,9
15:30	1	430	18,0	23,0
15:45	2	450	17,3	23,6

Taulukossa 4 on esitetty Kaarilan lukion mittaustulokset. Mittaukset suoritettiin 19.3.2009. Mittausten aikana opiskelijat määrittivät makkaran suolapitoisuutta saostustitraamalla. Mittausten aikana ulkolämpötila oli -2,6 °C, ilmanpaine 1026 hPa ja ulkoilman suhteellinen kosteus 82 %.

Taulukko 4: Mittaustulokset Kaarilan lukiosta 19.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
09:30	20	990	24,6	21,1
09:45	25	1100	26,2	21,8
10:00	25	1200	26,1	22,3
10:15	25	1490	28,5	22,4
10:30	25	1430	27,6	22,0
10:45	25	1000	25,4	22,1

Taulukossa 5 on esitetty Klassillisen lukion mittaustulokset. Mittaukset suoritettiin 24.3.2009 fysiikan oppituntien aikana. Mittausten aikana ulko-olosuhteet muuttuivat merkittävästi. Aamulla mittausten alkaessa ulkona oli pakkasta 10 °C ja päivällä mittausten loppuessa lämpötila oli +1 °C. Liitteessä 2 oleva ilmanpaine sekä ulkoilman suhteellinen kosteus ovat keskiarvoja mittausten aikana vallinneista ulko-olosuhteista.

Taulukko 5: Mittaustulokset Klassillisesta lukiosta 24.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
07:45	5	480	14,3	19,7
08:00	16	660	12,2	22,4
08:15	21	720	13,4	23,0
08:30	21	760	13,3	23,4
08:45	21	770	13,6	23,7
09:00	21	770	13,2	23,8
09:15	21	810	13,5	24,1
09:30	28	840	14,1	24,7
09:45	30	920	13,5	26,0
10:00	30	950	12,7	26,5
10:15	30	940	13,1	26,5
10:30	30	970	14,0	26,8
10:45	2	900	14,0	27,0

Taulukossa 6 on esitetty Pirkanmaan ammattiopiston mittaustulokset. Mittaukset suoritettiin 31.3.2009 märkälaboratoriossa opiskelijoiden valkaistessa puumassaa. Ulkolämpötila oli 2,1 °C, ilmanpaine 1004 hPa ja ilman suhteellinen kosteus 75 %.

Taulukko 6: Mittaustulokset PIRKOSTA 31.3.2009

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
08:00	2	470	26,2	21,2
08:15	9	480	26,0	21,5
08:30	6	530	26,3	21,6
08:45	12	580	27,6	22,0
09:00	5	470	25,9	22,1
09:15	2	450	26,7	22,0
09:30	4	450	25,1	22,0
09:45	6	490	26,8	22,1
10:00	6	530	25,4	22,1
10:15	11	560	25,3	22,5
10:30	12	510	23,9	22,4
10:45	13	520	25,4	22,5
11:00	2	510	25,3	22,4
11:30	7	540	28,6	21,9
11:45	2	560	27,4	22,7
12:00	2	430	22,4	22,5
12:15	6	500	23,7	22,6
12:30	7	550	32,0	21,9
12:45	8	560	28,2	22,5
13:00	3	660	25,2	22,6
13:15	2	510	24,9	22,4

8 Mittaustulosten analysointi

Mittausten tulokset osoittivat ennako-odotukset oikeasuuntaisiksi. Sisäilmanlaadussa havaittiin huomattavia eroja uudempien ja iäkkäämpien rakennusten välillä. Suurimmat erot tulivat oppilaitosten sisäilman hiilidioksidipitoisuudessa. Kaarilan lukion hiilidioksidipitoisuus oli jopa kolme kertaa suurempi kuin Pirkanmaan ammattikorkeakoululla tai Pirkanmaan ammattiopistolla mitattu. Taulukossa 7 on verrattu Kaarilan lukion ja Sammon keskuslukion hiilidioksidipitoisuuksia. Molemmissa oppilaitoksissa tehtiin mittaushetkellä samankaltaisia kemian töitä ja opiskelijamäärät olivat hyvin lähellä toisiaan.

Taulukko 7: Hiilidioksidipitoisuusvertailu Kaarilan lukion ja Sammon keskuslukion kesken

Kulunut aika	Kaarilan lukio		Sammon keskuslukio	
	Henkilömäärä	CO ₂ -pitoisuus / ppm	Henkilömäärä	CO ₂ -pitoisuus / ppm
0 min	20	990	2	500
15 min	25	1100	23	700
30 min	25	1200	23	790
45 min	25	1490	23	850
60 min	25	1430	23	840
75 min	25	1000	23	840

Ensimmäinen mittaus tehtiin heti, kun saavuttiin opetustilaan ja tästä lähtien aina 15 minuutin välein. Kaarilan lukiossa oli ollut yksi oppitunti ennen mittausten aloittamista, joka selittää hiilidioksidipitoisuuden korkean alkuarvon. 60 minuutin jälkeen Kaarilan lukiossa opiskelijat saivat työnsä kaasupolttimilla tehtyä, sulkivat ne, ja avasivat ulko-oven ilmanvaihdon tehostamiseksi. Kyseiset toimenpiteet alensivat tuntuvasti hiilidioksidipitoisuutta.

Taulukosta 7 huomataan Kaarilan lukion hiilidioksidipitoisuuden olevan huomattavasti yli 1200 ppm, joka on sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan tyydyttävän ilmanlaadun raja-arvo. Hiilidioksidipitoisuuden todella suuri pitoisuus ilmaisee ilmanvaihdon säätöjen olevan pahasti pielessä tai ilmanvaihdon totaalisen liian pienestä tehosta.

Taulukossa 8 on vertailtu Klassillisen lukion sekä Kaarilan lukion lämpötilamuutoksia oppituntien aikana. Molemmissa oppilaitoksissa on suoritettu peruskorjausta 90-luvun puolivälissä.

Taulukko 8: Lämpötilamuutosten vertailu Klassillisen lukion sekä Kaarilan lukion kesken

Kulunut aika	Klassillinen lukio		Kaarilan lukio	
	Henkilömäärä	Lämpötila / °C	Henkilömäärä	Lämpötila / °C
0 min	5	19,7	20	21,1
15 min	16	22,4	25	21,8
30 min	21	23,0	25	22,3
45 min	21	23,4	25	22,3
60 min	21	23,7	25	22,0
75 min	21	23,8	25	22,1
90 min	21	24,1		
105 min	28	24,7		
120 min	30	26,0		
135 min	30	26,5		
150 min	30	26,5		
165 min	30	26,8		
180 min	2	27,0		

Klassillisella lukiolla mittauksia suoritettiin huomattavasti pidempi aika kuin Kaarilan lukiolla. Mitatun 75 minuutin aikana lämpötila Kaarilan lukiossa ei muuttunut merkittävästi. Siksi voidaan olettaa, ettei suurta lämpötilamuutosta tapahtuisi, vaikka mittauksia jatkettaisiin pidempään. Klassillisella lukiolla mitatuissa lämpötila-arvoissa sen sijaan on huomattavaa muutosta. Lämpötila on kolmen tunnin aikana kohonnut yli seitsemän astetta.

Tuo merkittävä, lähes kymmenen asteen nousu voi johtua useammasta yksittäistekijästä tai näiden summasta. Mittauksissa käytetty Testo-mittari tuotiin sisään oppilaitokseen kymmenen asteen pakkasesta, eikä sen lämpötila-anturi välttämättä ehtinyt aivan asettua todelliselle lämpötilatasolle. Ulko-olosuhteet muuttuivat myös radikaalisti mitatun kolmen tunnin aikana, ja ulkolämpötila kohosi yli kymmenen astetta. Mahdollista on myös se, että ilmanvaihto ei ehtinyt reagoida riittävän nopeasti äkilliseen ulkolämpötilan muutokseen. Tässä tapauksessa ilmanvaihto olisi jatkanut lämpimän ilman puhaltamista opetustilaan, vaikka viileämpi ilma olisi riittänyt mainiosti. Todennäköisin syy on juuri ilmanvaihdon huonot säädöt.

Taulukossa 9 on esitetty mittaustuloksia Sammon keskuslukioista kahtena eri päivänä, jolloin opetustilassa oli eri oppilasmäärät.

Taulukko 9: Sammon keskuslukion mittaustulokset kahtena eri päivänä

Kulunut aika	Sammon keskuslukio 11.3.2009		Sammon keskuslukio 20.3.2009	
	Henkilömäärä	CO ₂ - pitoisuus / ppm	Henkilömäärä	CO ₂ - pitoisuus / ppm
0 min	4	520	2	500
15 min	13	570	23	700
30 min	13	600	23	790
45 min	13	650	23	850
60 min	13	640	23	840
75 min	13	630	23	840

Mittaustuloksista huomataan hiilidioksidipitoisuuden olevan noin 200 ppm korkeammalla tasolla, kun oppilasmäärä kasvaa kymmenellä. Toimivasta ilmastoinnista huolimatta ihmisten tuottama hiilidioksidimäärä kohoaa huomattavasti. Kuitenkin huolimatta hiilidioksidipitoisuuden kohoamisesta, voidaan todeta ilmanvaihdon olevan riittävän tehokasta, sillä pitoisuus ei missään vaiheessa kohoakaan liian korkeaksi ylittäen suositeltuja arvoja.

Taulukossa 10 on esitetty Kaarilan lukiolta mitatut arvot.

Taulukko 10: Kaarilan lukion mittaustuloksia

Kulunut aika	Kaarilan lukio		Lämpötila / °C
	CO ₂ - pitoisuus / ppm	Suht. kosteus / %	
0 min	990	24,6	21,1
15 min	1100	26,2	21,8
30 min	1200	26,1	22,3
45 min	1490	28,5	22,4
60 min	1430	27,6	22,0
75 min	1000	25,4	22,1

Oppitunnin alussa opiskelijat aloittivat työskentelyn kaasupolttimilla ja jatkoivat sitä 60 minuutin ajan. Kun tunti oli kulunut, kaasupolttimet sammutettiin ja luokan ovi avattiin. Tuloksia tutkittaessa huomataan hiilidioksidipitoisuuden ja ilman suhteellisen kosteuden nousseen oppitunnin aikana merkittävästi, mutta lämpötila on pysynyt

lähellä alkuarvoaan. Hiilidioksidipitoisuuden nousu johtuu oppilaiden tuottaman hiilidioksidin lisäksi kaasupoltinten palaessa muodostuvasta hiilidioksidista. Ilman suhteellinen kosteus kohoaa hetkellisesti jopa 4 prosenttiyksikköä lähtöarvoaan korkeammaksi. Tämä selittyy osaltaan oven kiinni olemisella.

Jos ilmanvaihto ja lämmitys olisivat totaalisesti riittämättömät tilaan, olisi lämpötilan tullut myös kohota muiden mitattujen suureiden tavoin. Koska näin ei tapahtunut, voidaan todeta että ilmanvaihdon säädöt olisi tarkistettava.

Taulukossa 11 on verrattu PIRAMK:n sekä PIRKOn laboratorioiden mittaustuloksia. Oppilaitosten laboratorioissa oli paikalla lähes samansuuruiset opiskelijaryhmät.

Taulukko 11: Hiilidioksidipitoisuuden ja ilman suhteellisen kosteuden vertailu PIRAMK:n ja PIRKOn kesken

Kulunut aika	PIRAMK kemian laboratorio		PIRKO märkälaboratorio	
	CO ₂ - pitoisuus / ppm	Suht. kosteus / %	CO ₂ - pitoisuus / ppm	Suht. kosteus / %
0 min	570	22,7	470	26,2
15 min	470	17,2	480	26,0
30 min	450	16,0	530	26,3
45 min	450	17,0	580	27,6
60 min	460	16,3	470	25,9
75 min	460	17,5	450	26,7
90 min	450	16,4	450	25,1
105 min	480	17,0	490	26,8
120 min	440	16,7	530	25,4
135 min	470	17,6	560	25,3
150 min	450	17,9	510	23,9
165 min	460	17,1	520	25,4
180 min	450	16,0	510	25,3

PIRAMK:ssa tehtyjen mittausten ensimmäisiä tuloksia ei tarvitse huomioida tulosten käsittelyssä, koska merkittävästi poikkeavat arvot johtuvat mittarista. Mitattujen kolmen tunnin aikana kummankaan oppilaitoksen ilmanlaadussa ei tapahtunut muutoksia. Molemmissa laboratorioissa on riittävän tehokas ilmastointi, joka toimii moitteettomasti. Hiilidioksidipitoisuudet, lämpötilat ja suhteelliset kosteudet pysyvät lähes muuttumattomina. PIRKO:ssa oleva, melkein 10 % korkeampi, ilman suhteellinen kosteus johtuu laboratorioissa tehtävien töiden erilaisuudesta.

Märkälaboratorioissa tehtävä puumassan valkaisu tapahtuu selvästi kosteammassa tilassa.

Taulukossa 12 on esitetty 20.3.2009 Sammon keskuslukiolla suoritetut mittaukset ja neljä päivää myöhemmin Klassillisella lukiolla tehdyt mittaukset. Mittausten aikana vallitsivat hyvin erilaiset ulko-olosuhteet, lämpötilaero mittausten alkaessa oli noin 15 °C.

Taulukko 12: Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilamittausten vertailua Sammon keskuslukiolla ja Klassillisella lukiolla

Kulunut aika	Sammon keskuslukio		Klassillinen lukio	
	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C	Suht. kosteus / %	Lämpötila / °C
0 min	19,4	21,7	14,3	19,7
15 min	21,0	22,1	12,2	22,4
30 min	21,4	23,0	13,4	23,0
45 min	21,8	23,4	13,3	23,4
60 min	22,3	23,6	13,6	23,7
75 min	23,1	23,8	13,2	23,8
90 min	21,1	23,9	13,5	24,1
105 min	21,2	24,0	14,1	24,7
120 min	22,0	24,1	13,5	26,0
135 min	22,1	24,1	12,7	26,5
150 min	22,3	24,1	13,1	26,5
165 min	22,4	24,1	14,0	26,8

Oppilaitosten ilman suhteellisessa kosteudessa on noin kahdeksan prosenttiyksikön välinen ero. Ero selittyy ulko-olosuhteiden eroavaisuudella. Suomessa huoneilma talvisin on miltei aina kuivaa. Se johtuu pakkasilman sisältämän vesimäärän vähäisyydestä. Klassillisen lukion mittausten alkuhetkenä ulkona oli noin 10 astetta pakkasta.

9 Johtopäätökset

Tutkimuksissa selvisi, että suurin osa tutkimuksen kohteena olleista oppilaitoksista pärjäsi sisäilman osalta kohtuullisesti. Kuitenkin poikkeuksiakin löytyi. Huolestuttavinta oli erittäin korkeat ilman hiilidioksidipitoisuudet yhdessä koulussa laboratoriotyötä tehtäessä. Myös todella voimakas sisäilman lämpötilan nousu toisessa koulussa oppituntien aikana kielii siitä, että ilmanvaihdon sopeutumisessa nopeasti muuttuvaan ulkolämpötilaan on ongelmia. Nyt tehdyn selvityksen pohjalta on perusteltua kehottaa tarkistamaan jokaisen Tampereen seudun oppilaitoksen ilmastoinnin toimivuus ja optimoimaan ilmanvaihtokoneen säädöt.

Silloin kun pidetään pitkiä oppitunteja, ja mahdollisesti vielä useampia peräjälkeen, luokan ollessa lähes täynnä opiskelijoita, tulee huolehtia siitä ettei ilman hiilidioksidipitoisuudet pääse nousemaan työn tekoa haittaavalle tasolle. Tästä on helpoin huolehtia siten, että opetustilan ovi pidetään avattuna mahdollisuuksien mukaan. Tämä on toki vaikeaa silloin, kun oven takana on käytävä tai muu tila, jossa oleskellaan paljon.

Ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus on hyvä tarkastaa säännöllisesti. Parhaiten tämä hoituu mittaamalla juuri tässäkin työssä mitatut sisäilman fysikaaliset ominaisuudet sekä mahdollisesti myös sisääntuloilman ja poistoilman ilmamäärät useammassa oppilaitoksen tilassa. Myös ilmanvaihtokoneiden suodattimet tulee puhdistaa tai vaihtaa säännöllisesti. Jokainen oppilaitoksen tiloissa työskentelevä henkilökuntaan kuuluva on velvollinen ilmoittamaan havaitsemistaan puutteista sisäilman laadussa, jos sellaisia havaitsee.

Kemian töitä tehtäessä on syytä kiinnittää huomiota oikeisiin ja turvallisiksi todettuihin työskentelymenetelmiin sekä tarpeen mukaiseen varovaisuuteen kemikaaleja käsiteltäessä. Laboratoriotakkien, suojalasien ja muiden suojavälineiden käyttöön tulee kohdistaa parannusta erityisesti lukioissa. Ensisijaisesti pitää varmistaa, että suojavälineitä on hankittuna oppilaitokseen tarvittava määrä. Käyttöturvallisuustiedotteisiin ja kemikaalimerkintöihin tulee tutustua jokaisessa

työssä huolellisesti, mikäli käytettävät reagenssit ovat ennestään tuntemattomia. Ei pidä unohtaa myöskään kertauksen merkitystä tässä asiassa.

Toivomme, että tämä työ toimisi jonkinlaisena alkusykäyksenä laajemmalle ja yksityiskohtaisemmalle opetustilojen sisäilmatutkimukselle Tampereen seudulla. Tulevaisuudessa olisi myös syytä tutkia radonpitoisuuksia, kokonaisvaltaisen jätehuollon toimivuutta, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sekä ainakin lyijyn ja elohopean pitoisuuksia. Mittauksia tehtäessä olisi mielestämme hyödyllistä verrata erityisesti kemiantilojen ilmanlaatua muiden opetustilojen ilmanlaatuun samassa rakennuksessa. Näistä tutkimuksista tarjoutuu varmasti myös tulevaisuudessa opinnäytetyön aiheita. Aikaisemmin tähän opinnäytetyöhön liittyvän projektin myötä olemme tehneet yhteistyötä muun muassa Työterveyslaitoksen kanssa ja tämän yhteistyön jatkamista suosittelemme lämpimästi.

Lähteet

- Ahde, Tiina, kemian opettaja. Haastattelu 10.2.2009. Klassillinen lukio.
 Asetus kemiallisista tekijöistä työssä 9.8. 2001/715.
 Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 29.1. 1999/59.
 Asumisterveysopas 2008. 2., korjattu p. Pori: Ympäristö ja terveys-lehti.
 Hakala, Hanna, kemian opettaja. Haastattelu 12.2.2009. Pirkanmaan ammattiopisto.
 Halme, Johanna, kemian opettaja. Haastattelu 5.2.2009. Sammon keskuslukio.
 Hengityслиitto. [online] [viitattu 13.3.2009].
<http://www.hengityслиitto.fi/Home/Muutteisailmaongelmat/Voc-paastot/>
<http://www.hengityслиitto.fi/Ilma/Merkittavimmatilmanasaasteet/Otsoni/>
 Ilmastositut. [online] [viitattu 17.3.2009].
<http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/perusteet/kasvihuonekaasut/hiilid ioksidi.html>.
 Kansallinen vaarallisia kemikaaleja koskeva ohjelma. 2006. Helsinki: Ympäristöministeriö.
 Kemikaaliasetus 12.7. 1993/675.
 Kemikaalilaki 14.8. 1989/744.
 Knuutila, Heli, laboratorioinsinööri. Haastattelu 11.2.2009. Pirkanmaan ammattikorkeakoulu.
 Lähde, Päivi, kemian opettaja. Haastattelu 16.2.2009. Kaarilan lukio.
 Rakennustietosäätiö. [online] [viitattu 21.3.2009]
<http://www.rts.fi/M1/index.htm>.
 Rakentaja. [online] [viitattu 18.3.2009].
<http://www.rakentaja.fi/suorakanava/artikkeli2.asp?sivuid=576>.
 Salminen, Tero, Pennanen, Martti & Säteri, Jorma 2002. Hyvän sisäilmaston varmistaminen isännöinnissä. Espoo: SIY Sisäilmatieto.
 Seuri, Markku, Palomäki, Eero 2000. Haasteellinen sisäilma: Riskianalyysi sisäilmaongelmissa. Tampere: Rakennustieto OY.
 SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilma. Lämpöolojen kenttämittaukset. 1989. Suomen standardoimisliitto ry.
 Sisäilmaohje 1997. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
 Sisäilmayhdistys. [online] [viitattu 21.3.2009].
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/sisailman_tekijat/
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/fysikaaliset_tekijat/
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/kemialliset_epapuhtaudet/.
 Työturvallisuuskeskus. [online] [viitattu 13.4.2009].
<http://www.tyoturva.fi/index.phtml?s=30>.
 Vaasio, Pertti 2009. Laadukas sisäilma – terveellinen ja viihtyisä rakennus. *Ria. Rakennusinsinööri ja –arkkitehti*. 43 (1).

Liitteet

Liite 1: Haastattelupohja

HAASTATTELUPOHJA OPETTAJILLE

Oppilaitos?

Tila?

Paljonko käytät laboratoriota viikossa?

Henkilömäärä opetustiloissa työkerralla?

Mitä laboratoriotöitä tehdään?

Mitä laitteita laboratoriotöissä käytetään?

Työympäristö:

-lämpötila (kuuma, kylmä, sopiva)?

-ilma (tunkkainen, kuiva, hyvä)?

-veto?

-haju (epämiellyttävä, hyvä)?

-pintojen sähköisyys?

-melu?

-pöly ja lika?

-Tuleeko pää kipeäksi tai muita oireita?

Onko jo mitattu esim. hiilidioksideja tai ilmamääriä?

Kemikaalit ja kaasut:

Mitä kemikaaleja, reagensseja on käytössä ?

Miten on hoidettu epäorgaanisten kemikaalien säilytys?

– liuottimia?

- kaasuja?
- myrkyllisiä kemikaaleja?
- kemikaalijätteet ja niiden lajittelu ?

-Onko oppilaitoksessa kokonaisvaltainen jätelajittelu toiminnassa?

Työturvallisuus :

- Käytetäänkö Käyttöturvallisuustiedotteita aktiivisesti?
- Ovatko ne saatavilla päivitettyinä kemian työtiloissa, esim. nettiyhteys?
- Onko kemikaalimerkinnot kohdallaan?
- Suorittaako oppilaat työturvallisuuskurssia ennen työkurssin alkua?
- Opastetaanko heitä ennen kemian työkurssia laboratorion suoja- ja turvallisuusvälineiden käytössä?
- Hätäsuihkut?
- Silmäsuihkut?
- Happojen säilytys?
- Happohanskat ?
- Kaasun pääsulkuventtiili?
- Onko kaasujen pääsulkuventtiili tiedossa myös oppilailla?

HAASTATTELUPOHJA ISÄNNÖITSIJÄLLE

Oppilaitos?

Miten ilmanvaihto hoidetaan?

Ilmanvaihdon käyntiajat?

Onko jo mitattu esim. hiilidioksideja tai ilmamääriä?

Onko näissä havaittu puutteita?

Kosteusvaurioita yms?

Minä vuonna kemiantilat remontoitu?

Peruskorjattu?

Onko pienempiä remontteja, millaisia?

Liite 2: Mittaustulokset

Oppilaitos: Sammon keskuslukio

Tila: Kemian luokka/laboratorio

Päivämäärä: 11.3.2009

Työn/töiden nimi: Kompleksiyhdisteen valmistus/ oppitunti

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko-lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
08:15	4	520	18,2	21,7	-2,0	1009	85
08:30	13	570	19,5	21,8			
08:45	13	600	19,6	22,0			
09:00	13	650	20,3	22,3			
09:15	13	640	20,2	22,6			
09:30	13	630	19,2	22,8			

Oppilaitos: Sammon keskuslukio

Tila: Kemian luokka/laboratorio

Päivämäärä: 20.3.2009

Työn/töiden nimi: Oppitunteja

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko-lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
11:45	2	500	19,4	21,7	5,4	1014	69
12:00	23	700	21,0	22,1			
12:15	23	790	21,4	23,0			
12:30	23	850	21,8	23,4			
12:45	23	840	22,3	23,6			
13:00	23	840	23,1	23,8			
13:15	4	680	21,1	23,9			
13:30	14	680	21,2	24,0			
13:45	14	680	22,0	24,1			
14:00	14	690	22,1	24,1			
14:15	14	660	22,3	24,1			
14:30	14	650	22,4	24,1			

Oppilaitos: Kaarilan lukio

Tila: Kemian luokka

Päivämäärä: 19.3.2009

Työn/töiden nimi: Makkaran suolapitoisuuden määrittäminen saostustitraamalla

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko- lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
09:30	20	990	24,6	21,1	-2,6	1026	82
09:45	25	1100	26,2	21,8			
10:00	25	1200	26,1	22,3			
10:15	25	1490	28,5	22,4			
10:30	25	1430	27,6	22,0			
10:45	25	1000	25,4	22,1			

Oppilaitos: Klassillinen lukio

Tila: Fysiikan/kemian luokka

Päivämäärä: 24.3.2009

Työn/töiden nimi: Fysiikan oppitunti/

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko- lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
07:45	5	480	14,3	19,7	-6,6	998	72
08:00	16	660	12,2	22,4			
08:15	21	720	13,4	23,0			
08:30	21	760	13,3	23,4			
08:45	21	770	13,6	23,7			
09:00	21	770	13,2	23,8			
09:15	21	810	13,5	24,1			
09:30	28	840	14,1	24,7			
09:45	30	920	13,5	26,0			
10:00	30	950	12,7	26,5			
10:15	30	940	13,1	26,5			
10:30	30	970	14,0	26,8			
10:45	2	900	14,0	27,0			

Oppilaitos: PIRAMK

Tila: Kemian laboratorio

Päivämäärä: 12.3.2009

Työn/töiden nimi: Analyttisen kemian töitä

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko- lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
12:45	4	490	19,2	22,3	-0,7	1019	79
13:00	4	450	18,3	22,4			
13:15	4	480	18,0	23,6			
13:30	3	470	18,4	22,9			
13:45	2	460	17,4	23,6			
14:00	3	440	17,6	23,2			
14:15	1	470	17,6	24,0			
14:30	3	440	18,9	22,9			
14:45	1	480	22,2	23,1			
15:00	2	450	19,0	22,7			
15:15	1	470	18,7	23,9			
15:30	1	430	18,0	23,0			
15:45	2	450	17,3	23,6			

Oppilaitos: PIRAMK

Tila: Kemian laboratorio

Päivämäärä: 12.3.2009

Työn/töiden nimi: Biokemian töitä

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko- lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
12:45	5	570	22,7	22,0	-0,7	1019	79
13:00	6	470	17,2	23,2			
13:15	6	450	16,0	24,3			
13:30	7	450	17,0	23,6			
13:45	7	460	16,3	24,3			
14:00	6	460	17,5	23,7			
14:15	6	450	16,4	24,3			
14:30	5	480	17,0	23,9			
14:45	3	440	16,7	24,3			
15:00	5	470	17,6	23,5			
15:15	6	450	17,9	24,4			
15:30	4	460	17,1	24,2			
15:45	5	450	16,0	25,2			

Oppilaitos: PIRKO

Tila: Märkälaboratorio

Päivämäärä: 31.3.2009

Työn/töiden nimi: Puumassan valkaisu

Kellonaika	Henkilömäärä	CO ₂ / ppm	Suht. Kosteus / %	Lämpötila / C	Ulko- lämpötila / C	Ilmanpaine / hPa	Ulkoilman suht. kosteus / %
08:00	2	470	26,2	21,2	2,1	1004	75
08:15	9	480	26,0	21,5			
08:30	6	530	26,3	21,6			
08:45	12	580	27,6	22,0			
09:00	5	470	25,9	22,1			
09:15	2	450	26,7	22,0			
09:30	4	450	25,1	22,0			
09:45	6	490	26,8	22,1			
10:00	6	530	25,4	22,1			
10:15	11	560	25,3	22,5			
10:30	12	510	23,9	22,4			
10:45	13	520	25,4	22,5			
11:00	2	510	25,3	22,4			
11:30	7	540	28,6	21,9			
11:45	2	560	27,4	22,7			
12:00	2	430	22,4	22,5			
12:15	6	500	23,7	22,6			
12:30	7	550	32,0	21,9			
12:45	8	560	28,2	22,5			
13:00	3	660	25,2	22,6			
13:15	2	510	24,9	22,4			