

**SISÄILMAN ILMANVAIHTOASTEEN VAIKUTUS
KOGNITIIVISEEN SUORIUTUMISEEN JA TYÖYMPÄRISTÖN
ITSEARVIOINTEIHIN AVOTOIMISTOYMPÄRISTÖSSÄ**

Viivi Moberg

Pro gradu –tutkielma

Kevät 2014

Käyttäytymistieteiden ja filosofian laitos

Turun yliopisto

TURUN YLIOPISTO

Käyttäytymistieteiden ja filosofian laitos

MOBERG, VIIVI: Sisäilman ilmanvaihtoasteen vaikutus kognitiiviseen suoriutumiseen ja työympäristön itsearviointeihin avotoimistoympäristössä

Pro gradu –tutkielma, 42 s.

Psykologia

Helmikuu 2014

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, miten ilmanvaihdon aste vaikuttaa kognitiiviseen suoriutumiseen ja itsearviointeihin avotoimistoympäristössä. Aikaisempien tutkimusten mukaan matalan ilmanvaihdon työympäristössä esiintyy tilastollisesti merkitsevästi enemmän oireilua (mm. päänsärkyä, häiritseviä tuoksuja, väsymystä) sekä työtasonlaskua (mm. hitaampi konekirjoitustahti, virheiden lukumäärän kasvu, vaikeuksia ajattelussa). Ilmanvaihdon astetta tutkimuksessa indikoi sisäilman hiilidioksidipitoisuus. Tutkimukseen osallistui 36 tutkittavaa, jotka suorittivat avotoimistolaboratoriossa toimistotyöskentelyä simuloivia työmuistia, lyhyt- ja pitkäkestoista muistia, tarkkaavaisuutta, luovaa ajattelua sekä psykomotorisia toimintoja mittaavia tehtäviä (konekirjoitus-, n-back-, tiedonhaku-, operation span-, pitkäkestoisen muistin ja x-kirjainten laskemisen tehtävät sekä luovan ajattelun tehtävä). Subjektiiivisia arvioita mitattiin ilmanlaadun arvioinnin, koetun oireiston, väsymyksen ja kuormittuneisuuden kyselyillä (muokatut MM040-, SOFI- ja NASA-TLX -kyselyt) sekä kysymyksillä työskentelyolosuhteista.

Tutkimusaineiston analysointi toistettujen mittausten ANOVA:lla tai t-testeillä indikoi, että ilmanvaihdon asteella ei tutkimuksessa juuri ollut vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen. Väsymyksen ja kuormittuneisuuden itsearviointien osalta ilmanvaihdon aste vaikutti pienessä määrin siten, että kokemukset olivat voimakkaampia pienen ilmanvaihdon tilanteessa. Ero oli tilastollisesti merkitsevä, mutta kokemusten voimakkuus arvioitiin vähäisiksi. Näin ollen käytännön vaikutus toimistotyöskentelyyn sekä objektiivisen että subjektiivisen suoriutumisen osalta kuitenkin jäi vähäiseksi, mikä poikkeaa aikaisemmista tuloksista. Tutkimus hyödynsi aikaisempia tutkimuksia enemmän psykologisia lähtökohtia, minkä vuoksi tulosten todentaminen uusilla tutkimuksilla on aiheellista. Lisäksi vaikka suuren ilmanvaihdon edut suoriutumisessa jäi tutkimuksessa pieniksi, on suorituksen tason nousua huomioitava, sillä huonon sisäilman pitkäaikaisaltistuksella, sisäilman kohoavalla lämpötilalla sekä työn muilla kuormittavilla tekijöillä (huono työilmapiiri, työn organisoinnin ongelmat, esimiestyöskentely) lienee efektiä lisäävä vaikutus todellisessa työelämässä.

Avainsanat: avotoimisto, kognitiivinen suoriutuminen, itsearviointit, ilmanvaihto, hiilidioksidipitoisuus sisäilmassa

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
1.1 Sisäilmanlaadun vaikutus kognitiiviseen suoriutumiseen	3
1.2 Sisäilmanlaatu ja ilmanvaihto	4
1.3 Sisäilman merkitys kognitiivisessa suoriutumisessa	4
2 MENETELMÄT	6
2.1 Tutkittavat	6
2.2 Laitteet	7
2.3 Mittarit	8
2.3.1 Itsearviointit	9
2.3.2 Kognitiiviset tehtävät	11
2.4 Tutkimuksen kulku	16
2.5 Aineiston analysointi	18
3 TULOKSET	19
3.1 Objekttiivinen työsuoriutuminen	19
3.1.1 Tiedonhakutehtävä	20
3.1.2 N-back	21
3.1.3 Luovuustehtävä	25
3.1.4 Sanat ja laskut -tehtävä	25
3.1.5 X-kirjainten laskemistehtävä	25
3.1.6 Konekirjoitustehtävä	25
3.1.4 Luetun muistamistehtävä	26
3.2 Subjekttiivinen työsuoriutuminen	28
4 POHDINTA	31
LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Työhyvinvointiin liittyvät kysymykset ovat ajankohtaisia Suomessa työelämän epävarmuuden ja kiireen kasvaessa sekä työelämän muutosten lisääntyessä aina lainsäädännön tasolta asti. Samalla suomalaisen työelämän laadusta ja työntekijöiden hyvinvoinnista ja toisaalta työn tuottavuudesta on oltu huolissaan (Kinnunen, Feldt & Mauno, 2005). Yhä useammin työskentely tapahtuu avotoimistomallisissa toimistoissa, mikä on yhteydessä kommunikoinnin, arkkitehtonisten ja taloudellisten hyötynäkökulmien kanssa (Haapakangas, Kankkunen, Hongisto, Virjonen, Oliva & Keskinen, 2011; Haka, Haapakangas, Keränen, Hakala, Keskinen & Hongisto, 2009). Kuitenkin on paljon tutkimuksia, joissa on havaittu avotoimistojen vähentävän työntekijöiden psykologista yksityisyyttä ja työtyytyväisyyttä sekä toisaalta lisäävän kognitiivista työkuormaa ja heikentävän ihmissuhteita. Tämän seurauksena työntekijöillä saattaa olla hankaluuksia työhönsä keskittymisessä (de Croon, Sluiter, Kuijer, & Frigs-Dresen, 2005).

Tutkimus on osa Työterveyslaitoksen “Käyttäjälähtöiset toimistotilat (TOTI)” –hanketta, joka on pyrkinyt kartoittamaan avotoimiston ympäristöolosuhteista akustisten ominaisuuksien, valaistus- ja lämpöolosuhteiden sekä sisäilmaan liittyvien tekijöiden vaikutusta työskentelytehoon eli tuottavuuteen ja subjektiiviseen tyytyväisyyteen. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten ilmanvaihdon aste vaikuttaa kognitiiviseen työsuoriutumiseen ja subjektiivisiin arvioihin avotoimistotilassa. Ilmanvaihdon tehokkuutta tutkimuksessa indikoi sisäilman hiilidioksidipitoisuus.

Työympäristö tarjoaa ihmisen hermojärjestelmälle rikkaan ärsykeympäristön. Clemets-Croomen (2006) mukaan tuottavuus on yksinkertaisesti hermoston tuottamia vasteita tässä ympäristössä. Hän kuvaa karkeasti tuottavuuden olevan tietyn tehtävän suorittamiseen vaadittavaa nopeutta ja tarkkuutta. Työsuoriutumisen kasvaneen tuottavuuden saattaa havaita lisääntyneenä tarkkuutena, nopeuden kasvuna ilman tarkkuuden vähentymistä, jaksavuuden lisääntymisenä, luovuuden kasvuna, ennustamattomien olosuhteiden lisääntyneenä sietämisenä sekä lisääntyneenä stressinsietokykyinä. Laajasti katsottuna työympäristöön kuuluvat organisaation rakenne ja esimiestyöskentely, sosiaaliset suhteet, taloudelliset tekijät, tukirakenteet ja fyysiset tekijät kuten valaistus, melu ja sisäilmanlaatu. Sisäilman merkityksen arviointi on jo

sinällään tärkeää, sillä ihmiset viettävät 90 % ajastaan sisätiloissa, joista työikäiset (18-65-vuotiaat) 20-60 tuntia viikossa toimistoissa tai tehtaissa (Clements-Croome 2006; Kosonen & Tan, 2004).

Kunnollinen sisäilma on lueteltu WHO:n lausumassa ihmisoikeudesta terveeseen sisäympäristöön, joka sisältää oikeuden hengittää raikasta ilmaa ja oikeuden mukavuusalueen lämpötilaan (Han, Zhang, Wargocki, Knudsen, & Guo, 2010; Hansen, Meyer, & Gyntelberg, 2008; Kosonen & Tan, 2004). Tutkimuskirjallisuudessa sisäilman merkitys huomioidaan myös taloudellisessa mielessä: sairastuminen sisäilman vuoksi merkitsee työnantajalle merkittävää kuluerää, kun mukaan luetaan vielä työpäivän aikana sisäilman vuoksi menetetty työteho (Clements-Croome, 2006; Fisk & Rosenfeld, 1997; Kosonen & Tan, 2004; Sundell, Levin, Nazaroff, Cain, Fisk, Grimsrud, Gyntelberg, Li, Persily, Pickering, Pickering, Samet, Spengler, Taylor & Weschler, 2011). Sisäilman merkitys kustannusarvioissa korostuu myös, koska sisäilmalla on havaittu yhteys työsuoriutumiseen (mm. Federspiel ym., 2004; Fisk ym., 2002; Seppänen, Fisk, & Lei, 2006; Wargocki, Wyon, Sundell, Clausen, & Fanger, 2000; Wyon, 2005; Wyon, 2004). Tutkimukset sisäilman vaikutuksesta ovat keskittyneet varsin kapealle alalle: sisäilman vaikutusta on tutkittu ilmanvaihdon asteen kautta suoriutumiseen tai lisäämällä sisäilman materiaalipäästöjä tuomalla esimerkiksi vanha matto tutkimustilaan (Bakó-Biró, Wargocki, Weschler, & Fanger, 2004; Wargocki, Bakó-Biró, Clausen, & Fanger, 2002; Wargocki ym., 2002). Merkittävää sisäilmatutkimuksessa on subjektiivisen arvioinnin keskittyminen patologian puolelle, jota tutkimuskentällä hallinnoi SBS (“Sick Building Syndrome”)-oirekeskeisyys (Bakó-Biró ym., 2004; Sundell ym., 2011; Wargocki ym., 2002; Wargocki ym., 1999). Hyvin kontrolloitua, vain sisäilman hiilidioksidipitoisuutta manipuloivaa kokeellista tutkimusta kognitiivisesta suoriutumisesta avotoimistotilassa ei ole tehty. Kaiken kaikkiaan tutkimuskenttää ja sisäilman luonnetta ylipäättään luonnehtii epämääräisyys: jo hyvän sisäilman määritelmä ei ole selkeä tai vakioitu. Joskin määritelmän hankaluutta on pyritty poistamaan kuvailemalla sitä subjektiivisin (havaittu ilmanlaatu IAQ = “indoor air quality”; SBS-oireilu) ja objektiivisin asteikoin (suoriutuminen, ilmanlaatukyselyiden pisteet).

1.1 Sisäilmanlaadun vaikutus kognitiiviseen suoriutumiseen

Wargocki ym. (1999, 2000, 2002) ovat tutkineet sisäilman vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen ja subjektiivisiin itsearviointeihin. Tutkimuksissa sisäilmaan on vaikutettu nostamalla ilman materiaalipäästöjä tuomalla laboratorioon 20 vuotta vanha, oireilua aiheuttanut matto tai tuomalla tilaan vanhoja tietokoneita. Suoriutumista ja arviointeja on tällöin verrattu tilanteeseen, jossa materiaalipäästöjä tuovia elementtejä ei ole tai tilanteeseen, jossa on kevennetty huonetilan materiaalipäästöjä lisäämällä ilmanvaihtoa. Wargockin ym. (1999, 2000, 2002) ja Bakó-Birón ym. (2004) tutkimuksissa riippuvina muuttujina ovat olleet kognitiivista suoriutumista mittaavat tehtävät (konekirjoitus, luova ajattelu, oikoluku ja psykologiset testit), SBS-oireiden ilmeneminen (silmä-, nenä- ja kurkkuärsyntyminen sekä kuivuus, ihon punoittavuus, päänsärky, henkinen väsymys ja huonovointisuus) ja sisäilman subjektiivinen arvio (1=selvästi hyväksyttävä, 0=juuri hyväksyttävä, -1=ei lainkaan hyväksyttävä). Koehenkilöiden määrä on ollut tilastollisten analyysien tekoon riittävä (30 tai 90 koehenkilöä). Wargockin ym. tutkimusasetelmaa, jossa koehenkilöt suorittavat kognitiivisia tehtäviä ja tekevät subjektiivisia itsearvioita puolikkaan työpäivän ajan (4,5 h), on tosinnettu, ja tulokset ovat pysyneet samansuuntaisina: materiaalipäästöisessä sisäilmassa ilmanlaatua on pidetty huonompana ja suoriutuminen konekirjoituksessa, oikoluvussa ja luovuustehtävissä on ollut heikompaa. Lisäksi huonomman sisäilman tilanteissa koehenkilöt ovat kokeneet enemmän kurkkuärsytystä, päänsärkyä ja vaikeutta ajatella.

Wargockin tutkimusryhmän ansiona on ollut sisäilma-ajattelun laajentaminen materiaalipäästöarvioinneista ja patologisista SBS-arvioista todellisen kognitiivisen työsuoriutumisen suuntaan. Kuitenkin työsuoriutumisen mittaaminen useammalla kognitiivista suoriutumista mittaavalla testillä ja riippumattoman muuttujan vaihtaminen ilman hiilidioksidipitoisuuden huoneen lämpötilan ja -kosteuden pysyessä vakiona lähestyisi uudesta kulmasta Wargockinkin mainitsemaa ongelmaa. Sisäilman laadun mainittu ongelma on se että, mekanismit, jolla ilmanlaatu vaikuttaa ihmisen suoriutumiseen on tuntemattomat, mutta sen negatiiviset vaikutukset ovat tunnettuja. Tutkimus pyrkii selvittämään ilmanlaadun vaikutusmekanismeja tarkastelemalla, vaikuttaako hiilidioksidin lisääntynyt määrä ilmassa kognitiiviseen suoriutumiseen.

1.2 Sisäilmanlaatu ja ilmanvaihto

Hyvä sisäilma ja sitä indikoiva ilmanvaihdon aste on Wargockin ym. (2002) meta-analyysin mukaan vahvasti yhteydessä mukavuuteen (havaittu ilmanlaatu) ja terveyteen (SBS-oireet). Heidän mukaansa ulkoilman ilmanvaihtoasteen tippuessa alle 25 l/s henkilöä kohden ja ilman hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 800 ppm:n (ilman hiilidioksidipitoisuus 0.08 %) riski kärsiä SBS-oireista ja lyhyiden sairaspöissaolojen määrä nousevat sekä työn tuottavuus laskee. Ilmanvaihdon avulla sisäilmaa parannetaan vaihtamalla saastunut sisäilma raikkaalla ulkoilmalla. Tällä pyritään luomaan optimaalinen sisäympäristö sisäilman osalta, johon kuuluu ilman lämpötilan ja – kosteuden optimaalisuus sekä ihmis- ja rakenneperäisten päästöjen vähäisyys. Wargocki ym. (2000) havaitsivat tutkimuksessaan, että kaksinkertaistamalla ilmanvaihdon määrän tai puolittamalla ilman partikkelipäästöjen määrä voidaan lisätä kokonaissuoritus- tusta 1,9%:lla. Hiilidioksidin konsentraatio ilmassa on ilmanvaihdon hyvä kuvaaja, sillä biologisten päästöjen (kuten hajut ja molekyylit) määrä sisäilmassa kasvaa hiilidioksidipitoisuuden ollessa yli 350 ppm (Seppänen, Fisk, & Mendell, 1999).

Ilmanlaadun arviointiin tutkimuskenttä ei kuitenkaan tarjoa suoraa objektiivista mittaria: sitä kysytään usein sisäilman ”hyväksyttävyyden asteikolla”: Kun alle 30 % vastaajista on tyytymättömiä ilmanlaatuun, voidaan sen katsoa olevan hyväksyttävä. Tutkimuskentällä ilmanlaadun indikaattorina käytetään käytännössä kaikissa tutkimuksissa SBS-oireita, vaikka sen soveltuvuusalue ulottuu nimensä mukaisesti ”sairaisiin rakennuksiin”. Tämänkaltainen muuttujien valinta kertoo aiheen lisätutkimuksen tarpeesta. SBS-oireita ovat WHO:n määritelmän mukaan silmä-, nenä- ja kurkkuärsyntyminen sekä kuivuus, ihon punoittavuus, päänsärky, henkinen väsymys ja huonovointisuus (Adersson, 1998; Norbäck, 2009; Reijula & Sundman-Digert 2004; Seppänen ym., 1999).

1.3 Sisäilman merkitys kognitiivisessa suoriutumisessa

Sisäilmatutkimuksissa kognitiivista suoriutumista on aikaisemmin mitattu kokeellisilla laboratoriotutkimuksilla, joissa työsuoritusta on arvioitu muun muassa psykomotoriikkaa mittaavalla konekirjoitustehtävällä, valikoivaa tarkkaavaisuutta ja toiminnanohjausta mittaavalla Stroop-testillä, lyhytkestoista muistia mittaavalla digit

span –testillä ja luovuutta mittaavilla testeillä (mm. Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 1999; Wyon, 2004, 2005). Suoriutumista on mitattu myös puhelinpalvelukeskuksien puheaikoina (Federspiel ym., 2004; Fisk ym., 2002) ja reaktioaikoina (yksinkertainen reaktioaika, valintapäätökseen kuuluva reaktioaika ja vigilanssitehtävän reaktioaika; Myhrvold & Olesen, 1997). Jokaisessa tutkimuksessa on saatu vähintäänkin yhden työsuoriutumista mittaavan tehtävän tai toiminnon osalta merkitsevä tulos sisäilman vaikutuksesta suoriutumiseen, mikä puoltaa suurempaa ilmanvaihdon astetta tai päästölähteen poistamista. Tyypillisimmin kognitiivinen suoriutuminen paranee paremmissa ilmanlaadun olosuhteissa (ilmanvaihdon asteen nostaminen ja materiaalipäästöjä aiheuttavan elementin poistaminen) nimenomaan konekirjoitustehtävän (6,5% vähemmän kirjoitusta, 5% enemmän virheitä) ja oikolukua sekä luovuutta mittaavien tehtävien osalta (Bakó-Biró ym., 2004; Kosonen & Tan, 2004; Park & Yoon, 2011; Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 2002; Wargocki ym., 2000; Wargocki ym., 1999). Lisäksi yhteenvetona useammassa tutkimuksessa (mm. Bakó-Biró ym., 2004; Fanger, 2006; Kosonen & Tan, 2004; Wyon, 2005) ja meta-analyyseissä (Wyon, 2005) todetaan, että huono ilmanlaatu heikentää työsuoriutumista noin 6-9 %:lla.

Tutkimuskenttää hallitsee insinööri- ja luonnontieteet, minkä vuoksi tutkimukset ovat keskittyneet psykologisia näkökantoja enemmän työympäristön fyysisiin ominaisuuksiin. Työn tuottavuuden mittaaminen on myös psykologisista kognitioista ja toisaalta työ- ja organisaatiopsykologisista (työilmapiiri, johtaminen, työn organisointi) painottavista lähtökohdista eroava. Tyypillisimmin työsuoriutumista mitataan noin neljällä tehtävällä, joiden alkuperää tai reliabiliteettia ei aina esitetä perusteellisesti. Toisaalta mukana on myös vakiintuneita kognitiivisen suoriutumisen mittareita (Stroop-testi, digit span –testi). Psykologinen tutkimus on uutta sisäilman tutkimuskentällä.

Kaiken kaikkiaan sisäilman tutkimuskentän voi katsoa olevan jakaantunut kolmeen tasoon: sisäilmatekijöihin keskittyvään SBS-oirekeskeiseen tutkimusperinteeseen, Wargockin tutkimusryhmän kokeellisiin laboratoriotutkimuksiin sekä hyvin spesifin riippumattoman tekijän tarkasteluun keskittyvään lääketieteelliseen tutkimukseen, jossa henkiseen työsuoriutumiseen on vaikutettu suoraan säätelemällä ilman hiilidioksidipitoisuutta (Bloch-Salisbury, Lansing & Shea, 2000; Sayers, Smith, Holland & Keatings, 1987). Tutkimuskenttä on moninaisuutensa vuoksi myös hajanainen ja se on painottunut psykologisten ilmiöiden (työsuoriutuminen, kognitiiviset toiminnot)

tarkastelussa kuvailevaksi. Sisäilman pelkän ihmisperäisen hiilidioksidipitoisuuden kasvua ja vaikutusta kognitiiviseen työsuoriutumiseen ja itsearviointeihin (esim. koettu väsymys) ei juurikaan ole kokeellisesti tutkittu, joten kokeellinen, psykologista lähtökohdista toteutettava tutkimus on ilmiön ymmärtämistä ja tuntemista monipuolistava.

Tutkimuksen päätavoitteena oli tarkastella, miten kognitiivinen työsuoriutuminen ja itsearviot työn kuormittuvuudesta, koetusta väsymyksestä sekä sisäilma-arvioista eroavat tehokkaan ja heikon ilmanvaihdon tilanteessa. Näin ollen ensimmäiseksi haluttiin tutkia, toisintaako tutkimustulokset aikaisemmat tulokset työsuoriutumisesta ja itsearvioinneista. Ilmanvaihdon astetta haluttiin tutkimuksessa indikoida ilman hiilidioksidipitoisuudella, joka on puhtaasti ihmisperäinen. Lisäksi sisäilmaan vaikuttavien ilman lämpötila ja -kosteus haluttiin pitää vakioisena. Toiseksi haluttiin selvittää, miten vain ja ainoastaan ihmisperäisen ilman hiilidioksidipitoisuuden variointi vaikuttaa työsuoriutumiseen ja itsearviointeihin. Aiemmista tutkimuksista poiketen haluttiin painottaa enemmän psykologisia näkökohtia, mikä näkyy tutkimuksen kulun suunnittelussa ja toteutuksessa, valituissa objektiivisissa työsuoriutumisen mittareissa sekä tulosten analysoimisessa. Merkittävä ero aikaisempiin tutkimuksiin on kognitiivista suoriutumista mittaavien tehtävien suurempi määrä ja monipuolisuus.

2 MENETELMÄT

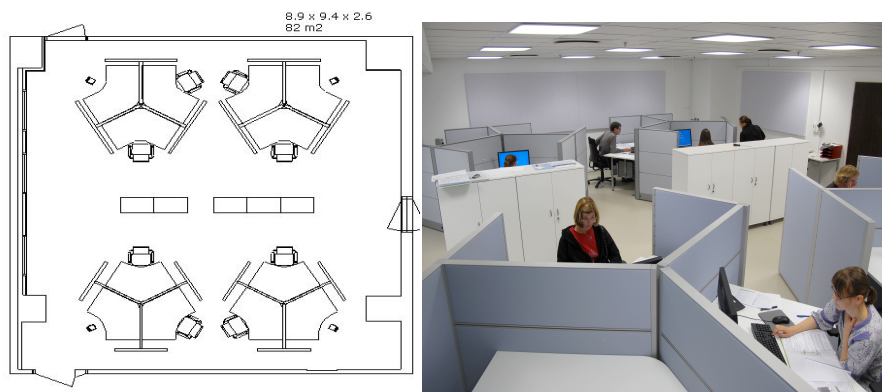
2.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistui 21 naista ja 15 miestä (yhteensä 36), jotka olivat 19–35-vuotiaita (mediaani 25) vapaaehtoisia suomenkielisiä korkeakouluopiskelijoita. Tutkittavat olivat tupakoimattomia tai epäsäännöllisesti polttavia. Lisäksi he eivät sairastaneet astmaa eikä heillä ollut muuta tutkimukseen mahdollisesti vaikuttavaa häiriötä (esim. lukihäiriö tai tarkkaavaisuushäiriö). Kaksipäiväisestä osallistumisestaan he saivat 70 euron verollisen palkkion. Tutkittavat ohjeistettiin etukäteen nukkumaan koetta edeltävä yö mahdollisimman hyvin, välttämään alkoholin käyttöä edeltävänä päivänä sekä nauttimaan lounaan ennen saapumistaan. Näin lähtökohdat jaksamiseen tutkimuspäivän aikana pyrittiin saamaan mahdollisimman samankaltaisiksi tutkittavien kesken. Lisäksi tutkittavia pyydettiin pukeutumaan yhtenäiseen vaatetukseen, jonka

oikeellisuus tarkistettiin ennen tutkimuksen alkua. Tällä pyrittiin yhtenäistämään sisäilman lämpötilakokemusta ja vähentämään vaatetuksen mahdollista tuomaa vaihtelua lämpötilakokemukseen, sillä nämä saattavat vaikuttaa itsearvioihin.

2.2 Laitteet

Laboration kahdeksasta työpisteestä käytettiin kerrallaan korkeintaan kuutta, jotta tutkittavat olivat riittävän etäällä toisistaan. Työpisteiden välillä oli 1,3 metriä korkeat sermit, jotka peittivät suoran kontaktin lämmönlähteisiin ja näköyhteyden toisiin tutkittaviin. Laboratorio rakennettiin mahdollisimman aitoa avotoimistotilaa vastaavaksi (kuva 1). Tutkittavien subjektiivista suoriutumista mitattiin kyselyin, jotka toteutettiin internetpohjaisella Digium-aineistonkeruuhjelmalla. Objektivisen suoriutumisen arviointi puolestaan toteutettiin tietokoneavusteisesti tehtävillä, jotka mittasivat kognitiivista suoriutumista tarkkaavaisuuden, työmuistin, pitkäkestoisen muistin, psykometriikan ja luovan ajattelun alueilla. Käytetyt tietokoneella suoritettavat kognitiiviset tehtävät pohjautuivat E-Prime 2.0 ja Visual Basic -ohjelmiin. Psykometrinen konekirjoitustehtävä suoritettiin Strömqvistin ja Malmsteinin (1998) kehittämällä ScriptLog-tietokoneohjelmalla.



KUVA 1. Avotoimistolaboratorio (82 m²)

Huoneen ilmanvaihtoa säädettiin muuttamatta huoneen lämpötilaa, joten tuloilmamäärä pidettiin samana eri koetilanteiden välillä. Tuloilma tuotiin huoneeseen kuudella Haltonin CSW-pyörreilmavirtausyksiköllä. Sisäilman hiilidioksidipitoisuutta mitattiin Delta OHM HD21AB17-, ilmankosteutta Vaisala HMP143A- ja lämpötilaa Craftemp -mittalaitteilla.

2.3 Mittarit

Tutkittavien työsuorittumista mitattiin objektiivisesti ja subjektiivisesti kahtena erillisenä tutkimuskertana. Tutkittavat suorittavat seitsemän tehtävää, jotka mittaavat toimistotyössä melko laaja-alaisesti (mm. Federspiel ym., 2004; Fisk & Rosenfeld, 1997; Kosonen & Tan, 2004; Park & Yoon, 2011; Seppänen ym., 2006; Tanabe & Nishihara, 2004; Wargocki ym., 2000; Wargocki, Wyon & Fanger, 2000; Wyon, 2004). Tehtävistä kaksi (vigilanssi ja lausettehtävä) suoritettiin vain toisen tutkimuspäivän harjoitteluosuuden aikana täytetehtävinä eikä niitä analysoitu (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Tutkimuksessa käytetyt kognitiiviset tehtävät ja niiden pääasiallinen mittauskohde

Tehtävä	Mittauskohde
Tiedonhaku	Työmuisti
N-back	Työmuisti
Luovuus	Luova ajattelu, episodisen muistin joustava käyttö
Operaatiotehtävä	Työmuisti
X-kirjainten laskeminen	Tarkkaavaisuus
Konekirjoitus	Psykomotoriikka
Luetun muistaminen	Pitkäkestoinen muisti
Vigilanssi*	Tarkkaavaisuus
Lauseet*	Työmuisti

* Tehtävät täytetehtäviä, joita ei otettu mukaan analyysiin

Tutkimuksen riippumaton tekijä eli hiilidioksidipitoisuuden määrä sisäilmassa säädettiin Sisäilmayhdistyksen Sisäilmastoluokituksen 2008 mukaiseen hyvän raja-arvon ja tutkimuskentällä (Norback, 1995; Norback, Torgen & Edling, 1990; Smedje, Norback & Edling, 1997) käytetyn heikon sisäilmanlaadun mukaiseen arvoon. Suuren ilmanvaihdon tilanteeseen valittiin S1-luokituksen vaatimukset selkeästi ylittävä arvo ($\text{CO}_2 < 750 \text{ ppm}$). Näin suuren ilmanvaihdon tilanteessa sisäilman laatu oli tällöin erittäin hyvä eikä tilassa ole havaittavia hajuja. S3-luokituksen tyydyttävä sisäilmasto eli pienen ilmanvaihdon tilanne täyttää vielä rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset, mutta ilman hiilidioksidipitoisuuden osalta raja-arvo on < 1200 . Pienen ilmanvaihdon tilanteeseen valittiin selkeästi heikompi, $> 2000 \text{ ppm}$:n ilman hiilidioksidipitoisuus (taulukko 2). Tällainen ilman hiilidioksidipitoisuus on täysin mahdollinen avotoimistotilassa, josta puuttuu ilmanvaihto (Säteri, 2008). Ilman epäpuhtauspitoisuuksia tai huoneen lämpötilaa ei tilanteissa muutettu. Ilman epäpuhtauksien määrä kuitenkin nousi pienen ilmanvaihdon tilanteessa ihmisperäisistä päästöistä sekä materiaaalipäästöistä johtuen. Tämä kuitenkin on luonnollinen tapahtuma

ilman hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 1000 ppm:n (Daisey, Angell & Apte, 2003; Fanger, 2006; Geelen ym., 2008; Persily, 1997; Wargoeki ym., 2002; Wargoeki ym., 2002). Pienen ilmanvaihdon tavoitteellinen lähtöhiilidioksidipitoisuus saatiin aikaiseksi siten, että ennen tutkittavien saapumista avotoimistolaboratorioon oli tilassa työskennellyt vähintään kahdeksan henkilöä 4,5 tuntia niin, että tilan ilmanvaihto oli poiskytketty. Induktio tehtiin siis täysin ihmisperäisesti. Tutkimusryhmien koot selviävät taulukosta 3.

TAULUKKO 2. Avotoimistolaboratorion fyysiset olosuhteet (keskiarvoina)

	Suuri ilmanvaihto	Pieni ilmanvaihto
CO ₂ keskiarvo (ppm)	542	2257
Ilman lämpötilan keskiarvo C°	23.6	23.4
Suhteellinen ilmankosteus (%)	32	45
Ulkoilmavirta (l/s henkilö)	28.2	2.3

TAULUKKO 3. Varsinaisten tutkittavien määrä kussakin ryhmässä

Ryhmä	Tutkittavia
1	6
2	5
3	3
4	5
5	6
6	6
7	5

2.3.1 Itsearviointit

Tutkittavien subjektiivista suoriutumista mitattiin kyselyillä, jotka esitettiin viisi kertaa tutkimuspäivän aikana. Kyselyiden rakenne ja sisältö eivät olleet keskenään identtisiä, mutta arviot sisäilmasta sekä väsymystä, työnkuormittavuutta ja oireilua kartoittavat kysymykset esiintyvät jokaisessa kyselyssä näiden ollessa analyysin ja tutkimuskysymyksen kohteita. Työsuoriutumista mittaavina kysymyksinä olivat työympäristön olosuhteiden häiritsevyyttä koskevat kysymykset (esim. “Miten hyvin seuraavat väittämät kuvaavat kokemustasi edellisen työjakson aikana: Työpisteen ergonomia oli hyvä”), joita mitattiin viisiportaisesti 1 (=ei lainkaan) – 5 (=erittäin paljon). Häiritsevyyden kartoitukseen otettiin mukaan myös kysymykset tehtävien haasteellisuudesta ja kiinnostuvuudesta, motivaatiosta tehtävien suorittamiseen, olosuhteiden kokonaisvaltaisesta sopivuudesta sekä keskittymisestä ja valmiudesta työskennellä pitkiä aikoja tehokkaasti vastaavissa olosuhteissa. Työympäristön

olosuhteiksi lukeutuvat valaistuksen riittävyys, äänet, hajut, lämpötila, vetoisuus ja ergonomia olivat myös mukana häiritsevyyksiä kartoittavissa kysymyksissä. Herkkyyksiä kartoitettiin lämpöviihtyvyysskyselyillä (“Onko olosi tällä hetkellä?”) seitsemänportaisella asteikolla (1=kylmä, 7=kuuma) (Fanger, 1973) ja neljän muuttujan lyhennetyllä NOISE-Q -kyselyn työfaktorilla (Schutte, Marks, Wenning & Griefahn, 2007), joka mittasi meluherkkyyttä.

Sisäilman subjektiiviseen arviointiin ei ollut tutkimukseen sopivaa valmista kyselyä. Ilmanvaihdon kautta manipuloitua ilman hiilidioksidipitoisuutta arvioitiin subjektiivisesti seitsemänportaisella raikas-tunkkainen -jatkumolla (1=tunkkainen, 7=raikas). Lisäksi sisäilmassa olevia hajuja pyydettiin arvioimaan kuusiportaisella (1=ei hajuja, 6=sietämättömän vahvoja hajuja) asteikolla (Fanger, 2006). Sisäilman subjektiivista arviointia koskevat kyselyt perustuivat Fangerin (1988) malliin havaitusta sisäilmanlaadusta. Sisäilman mahdollisia vaikutuksia pyrittiin kartoittamaan MM040-kyselystä mukailulla viisiportaisella (1=ei lainkaan, 5=erittäin paljon) kyselyllä. Kysely sisälsi oireiston kartoittamisen, jossa mitattiin päänsärkyä, huonovointisuutta, keskittymisvaikeuksia, nenän vuotamista ja tukkoisuutta, kurkun kuivumista sekä silmien kuivumista ja ärtyisyyttä kartoittavina kysymyksinä (esim. “Oliko sinulla edellisen työskentelyjakson aikana tai nyt päänsärkyä?”) (Anderson, 1998; Hansen ym., 2008; Norback, 2009; Reijula & Sundman-Digert, 2004; Seppänen ym., 1999; Wargoocki ym., 2000).

Väsymystä kartoitettiin muokatulla SOFI-kyselyllä jokaisena kyselykertana yhteensä viisi kertaa (Åhsberg, Gamberale & Gustafsson, 1998; Åhsberg, Gamberale & Kjellberg, 1995). Käytetty kysely sovitettiin henkiseen työhön sopivaksi: kyselyyn mukaan otetut faktorit olivat energian puute, motivaation puute ja unisuus, joita mittasi kyselyn yhdeksän kysymystä (esim. “Arvioi tämän hetkistä oloasi: unelias”) viisiportaisesti (1=ei lainkaan, 5=erittäin paljon). Työn kuormittavuutta arvioitiin kaikissa kyselyissä alkukyselyä lukuun ottamatta muokatulla NASA-TLX -kyselyllä (Hart & Staveland, 1988; Moroney, Biers & Eggemeier, 1995). Työn kuormittavuuden mittaaminen suoritettiin ilman erillisiä merkityspainokertoimia, jotka esiintyvät alkuperäisessä NASA-TLX -kyselyssä. Mitattavat osuudet tutkimuksessa olivat koettu kuormittuminen, suoriutumisen, tarvittava ponnistelu ja turhautuminen (esim. “Miten

kuormittuneeksi tunsit itsesi edellisen työskentelyjakson aikana?”), joita mitattiin viisiportaisesti (1=ei lainkaan, 5=erittäin paljon).

2.3.2 Kognitiiviset tehtävät

Tiedonhakutehtävät

Tiedonhakutehtävä, joka mittasi lyhytkestoista muistia, tarkkaavaisuutta ja toiminnan strategista ohjausta perustuu Jahncken kehittämään, alkujaan ruotsinkieliseen tehtävään (Jahncke & Halin, 2012). Tutkittavien tuli vastata taulukon alla esitettyyn kysymykseen (kuva 2: ”Millä maalla, joka on monikielinen ja jonka korkein pinnankohta on yli 1000 m, on eniten asukkaita?”) valitsemalla kysymykseen vastaava oikean sarakeyhdistelmän maan numero ja syöttämällä se vastauskenttään (kuva 2: oikea vastaus on maa numero 12). Sekä taulukko että kysymys esitettiin tietokoneen näytöllä. Jokaista kysymystä kohden vastausaikaa oli yksi minuutti. Kysymysten muoto oli vakio, joskin tämä ei täydellisesti vastannut suomen kielen kielioppia. Menettelyllä kuitenkin varmistettiin, että tutkittavien oli mahdollista nopeasti hahmottaa tehtävän aikaraameissa kunkin kysymyksen olennaiset osat. Tehtävässä oli yhteensä 20 kysymystä, joista 10 oli aina samasta taulukosta: tällöin erilaisia taulukoita oli kaksi. Tehtävästä analysoitiin oikeiden vastausten prosentuaalinen osuus ja ei-vastausten lukumäärä. Oikeiden vastausten prosentuaalinen osuus sisältää vain oikeat vastaukset. Mukana ei siis ole vastaukset, joita ei ehditty antaa. Vastaamatta jääneiden vastausten lukumäärä kertoo aikakiintiön ylittäneiden vastausten lukumäärän.

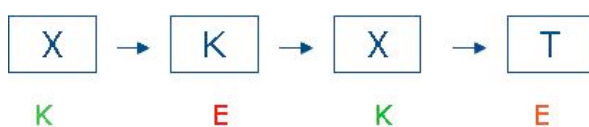
Maa	Asukas- määrä (milj.)	Moni- kielisyys	Pinta-ala (km ²)	Valtiomuoto	BKT (mrd \$)	Enemmistö- uskonto	Korkein pinnankohta (m)
1	12.26	Ei	449 964	Monarkia	1046	Protestanttinen	2104
2	4.79	Kyllä	385 199	Monarkia	207	Katolinen	2002
3	62.20	Ei	357 104	Tasavalta	2583	Protestanttinen	896
4	10.58	Kyllä	30 528	Monarkia	387	Katolinen	1007
5	61.54	Ei	551 695	Tasavalta	1953	Protestanttinen	2028
6	7.52	Kyllä	41 258	Tasavalta	309	Katolinen	875
7	16.49	Ei	41 526	Monarkia	625	Protestanttinen	2200
8	58.13	Ei	301 230	Tasavalta	1809	Katolinen	2541
9	10.61	Ei	92 391	Monarkia	203	Katolinen	788
10	5.32	Kyllä	338 145	Tasavalta	367	Protestanttinen	902
11	3.32	Ei	103 125	Tasavalta	215	Katolinen	756
12	56.16	Kyllä	504 782	Monarkia	1029	Katolinen	1009
13	3.05	Kyllä	39 250	Tasavalta	1121	Protestanttinen	802
14	4.40	Kyllä	38 316	Tasavalta	255	Katolinen	2225
15	5.51	Ei	43 094	Monarkia	212	Protestanttinen	668
16	28.15	Kyllä	499 352	Monarkia	2355	Protestanttinen	1725
17	8.45	Kyllä	68 752	Monarkia	1479	Katolinen	907
18	48.29	Kyllä	30 575	Tasavalta	2566	Protestanttinen	1655
19	3.07	Ei	537 625	Tasavalta	218	Katolinen	640
20	6.10	Ei	62 258	Monarkia	1209	Protestanttinen	725

KYSYMYKS 1: Millä maalla, joka on monikielinen ja jonka korkein pinnankohta on yli 1000 m, on eniten asukkaita?

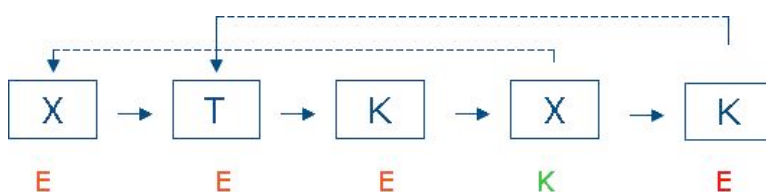
KUVA 2. Tiedonhakutehtävä

N-back

Tarkkaavaisuuden ylläpitoa ja työmuistia mittaavassa n-back -tehtävässä (Gray, Chabris & Braver, 2003) tutkittaville esitettiin tietokoneen näytölle yksi kerrallaan kirjaimia 500 ms:n ajan. Näytettyjen kirjainten välillä oli 2500 ms:n tauko. Tutkittavien tuli reagoida esitettyihin kirjaimiin tehtävän vaikeusasteen mukaisesti. Helppoimmalla 0-back -nimisellä tasolla tutkittavien tuli painaa kyllä-näppäintä aina, kun esitetty kirjain oli X-kirjain. Muiden kirjaimien kohdalla heidän tuli painaa ei-näppäintä. 1-back -nimisellä tasolla tuli painaa kyllä-näppäintä aina, kun näytölle ilmestynyt kirjain oli sama kuin edellinen kirjain. Muussa tapauksessa tuli painaa ei-näppäintä. 2-back -nimisellä tasolla tuli painaa kyllä-näppäintä, kun näytölle ilmestynyt kirjain oli sama kuin toiseksi edellinen kirjain, muutoin tuli painaa ei-näppäintä. 3-back -nimisellä tasolla puolestaan tutkittavan tuli painaa kyllä-näppäintä aina, mikäli esitetty kirjain oli sama kuin kolmanneksi edellinen kirjain, muutoin tuli painaa ei-näppäintä (kuvat 3 ja 4). Jokaista vaikeustasoa toistettiin 40 kirjaimen sarjalla. Kukin taso puolestaan tehtiin kerrallaan kahdesti ($4 \times 40 \times 2 = 320$ kirjainta) ja koepäivän aikana tehtävä suoritettiin kaksi kertaa (yhteensä 640 tehtävää). Molempien toistokertojen suorittamiseen kului noin 20 minuuttia, yhteensä siis 40 minuuttia. Kirjainten esitysjärjestys oli poikkeava eri esityskerroilla. Kunkin n-back -vaikeustason (1-, 2-, 3-back) vastabalansointi puolestaan oli suoritettu tutkittavien ja sisäilman laadun välillä. Tehtävästä analysoitiin reaktioaika ja -tarkkuus.



KUVA 3. N-back -tehtävän 0-taso



KUVA 4. N-back -tehtävän 3-back -taso

Sanat ja laskut -tehtävä

Työmuistia eksekutiivista osaa ja säilömuistia mitattiin sanat ja laskut –tehtävällä, joka perustuu Turnerin ja Englen (1989) kehittämään operation span –tehtävään, josta on myöhemmin kehitetty useita tietokoneistettuja, ryhmäkäyttöisesti validoituja versioita (mm. Pardo-Vasquez & Fernandez-Rey, 2008; Unsworth ym., 2005). Tehtävässä esitettiin tietokoneen näytöllä vuorotellen sanoja (esitysaika 2 s) ja laskuja (esitysaika 10 s). Tutkittavan tuli painaa mieleen esitetyt sanat ja tarkistaa esitetyn laskun vastauksen oikeellisuus. Esitettävien sana-laskuparien määrä vaihteli tehtävän aikana kolmesta kahdeksaan. Tehtävä kokonaisuudessaan kesti noin kymmenen minuuttia. Puolet laskuista muodostui yhdistetystä kerto- ja yhteenlaskusta, puolet yhdistetystä kerto- ja vähennyslaskusta. Muistettavat sanat valikoitiin WordMill-ohjelmalla (Laine & Virtanen, 1999). Kriteerinä sanojen valinnassa oli 5-7 yksikön kirjainpituus, 2-3 yksikön tavupituus ja esiintymisfrekvenssi 50-999 välillä. Tulosten analysoinnissa käytettiin laskuoperaatioiden osalta 65%:n onnistumisrajaa. Tällä vähennetään todennäköisyyttä siihen, että koehenkilöt olisivat suorittaneet muistitehtävää laiminlyöden eksekutiivista, muistitehtävää hankaloittavaa laskutehtävää. Tutkittavat saivat palautetta laskusuorituksistaan tehtävän aikana. Heitä ohjeistettiin pyrkimään saamaan laskut vähintään 85 %:sti oikein. Tehtävästä analysoitiin, kuinka monta prosenttia esitetyistä laskuista tutkittava sai oikein sekä oikein muistettujen sanojen absoluuttinen lukumäärä.

X-kirjainten laskemistehtävä

Tarkkaavaisuutta ja työmuistia mitattiin lisäksi vielä X-kirjainten laskemistehtävällä, joka pohjautuu de Jongin ja Das-Smaalin kehittämään Star Counting Testiin (de Jong, 1995; de Jong & Das-Smaal, 1990). Alkujaan tehtävä on kehitetty lapsien tarkkaavaisuusongelmien havaitsemiseen. Myöhemmin siitä on kehitetty nuoria aikuisia varten vaikeampi versio (Das-Smaal, de Jong & Koopmans, 1993). Käytössämme oli mukailtu versio alkuperäisestä, lapsille kehitetystä testistä. Tehtävässä tutkittavat laskivat tietokoneen näytöllä olevia X-kirjaimia (kuva 5). Jokainen lasku koostui aloitusluvusta sekä kolmelle riville jakautuneesta X-kirjainten ja plus- että miinusmerkkien muodostamasta sarjasta. Tutkittavat aloittivat laskemisen aloitusluvusta (kuva 5: esim. aloitusluku 35). Sarjasta riippuen he laskivat X-kirjaimia joko yhteen tai vähentäen plus- ja miinusmerkkien osoittamalla tavalla (kuva 5: + ylöspäin =

Luovuustehtävä

Luovuutta mittaava esinetehtävä on mukailtu Guilford's Alternative Uses Task:sta. Siinä tutkittavat keksivät uusia käyttötarkoituksia kuudelle tavalliselle esineelle siten, että aikaa oli käytettävissä kolme minuuttia esinettä kohden (Gilhooly, Fioratou, Anthony & Wynn, 2007; Haapakangas ym., 2011; Wyon, 1996). Tehtävä mittaa luovaa ajattelua, pitkäkestoisen episodisen muistin joustavaa käyttöä ja toiminnanohjausta. Tehtävän tulosten analysoinnissa käytettiin kahta riippuvaa muuttujaa: tuotettujen käyttöehdotusten fluenssia eli lukumäärää ja ideationaalisuutta eli omaperäisyyttä. Käyttöehdotusten lukumäärät ovat analysoinnissa otettu huomioon summamuuttujina molemmilta tutkimuspäiviltä. Omaperäisyyttä (keksityn käyttöehdotuksen frekvenssi suhteessa kaikkiin keksittyihin) ilmentää logaritminen C-pistemäärä, jonka ollessa korkea voidaan omaperäisyyden aste todeta korkeaksi. Esimerkiksi kaikkien koehenkilöiden keksiessä saman käyttöehdotuksen esineelle C-pistemäärä on 0 (periaatteellinen vaihteluväli nollasta äärettömään). Normalisoitu C-pistemäärä puolestaan on arvo, joka saadaan jakamalla kaikkien tutkittavien summapistemäärä jokaisen tilanteen kattavan keskiarvoisella C-pistemäärällä lausekkeella $\log 1/p$. Normalisoitua C-pistemäärää käytettiin omaperäisyyden arvona, sillä se huomioi suhteessa sekä koehenkilön omat vastaukset että muiden koehenkilöiden vastaukset. Tehtävät esitettiin kolmen esineen sarjassa, jotka oli vastabalansoitu koehenkilöiden välillä. Huomionarvoista tehtävän kannalta on, että sanaryhmien vastabalansointi ei lisäryhmän mukaantulon vuoksi onnistunut, mistä johtuen suuressa ilmanvaihdossa ns. A-sanalistan (tiili, autonrenkas, tynnyri) ja B-sanalistan (kenkä, kynä, vaateripustin) saaneiden vallitsee epäsuhta ($n_{(A-lista)}=25$, $n_{(B-lista)}=11$, $n_{(yhteensä)}=36$). Näin ollen ryhmien toistettujen varianssianalyysien yhtäsuuruusoletus ei toteudu sanalistan osalta, mutta kuten tulososiosta käy ilmi, tällä ei ole tulospäätelmiin vaikutusta.

Konekirjoitustehtävä

Psykomotoriikka kartoittavassa konekirjoitustehtävässä tutkittavien tuli jäljentää saamansa teksti mahdollisimman tarkasti virheitä välttämällä. Jäljentäminen tapahtui tietokoneen QWERTY-näppäimistöllä. Tutkittavien tuli jäljentää teksti esitetyssä muodossa mahdollisine kirjoitus- ja kielioppivirheineen. Ohjeistuksessa kehoitettiin korjaamaan tutkittavien omat mahdolliset kirjoitusvirheet. Aika tehtävän suorittamiseen oli kymmenen minuuttia. Tutkimuksen tiedonkeruussa hyödynnettiin osittain ScriptLog-

ohjelmistoa (Johansson, 2012). Suoriutumisessa mitattiin nopeutta (näppäintenpainalluksien kokonaismäärä, lopullisen tekstituotoksen merkkien määrä, sanansisäisen kirjoittamisen mediaaninopeus), tarkkuutta (korjattujen virheiden määrä ja huomaamatta jääneiden virheiden määrä) ja kirjoittamisen aikana tapahtuneiden lyhyiden taukojen pituutta. Konekirjoitustehtävän suorittaminen vaatii tutkittavalta havaitsemisen, kognition ja motoriikan eri osatoimintojen yhdistämistä (Crump & Logan, 2010; Rumelhart & Norman, 1982; Salthouse, 1986).

Luetun muistamistehtävä

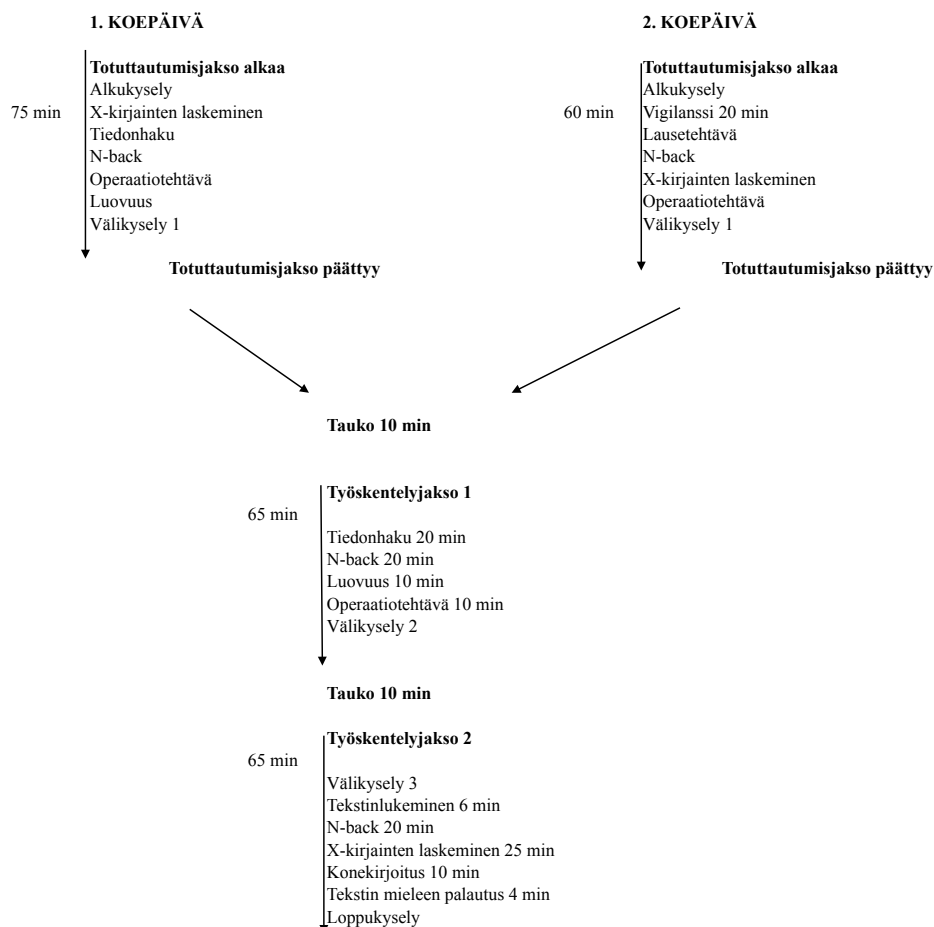
Kognitiivista suoriutumista mitattiin vielä luetun muistamistehtävällä, joka perustui Kaakisen (Kaakinen, Hyönä & Keenan, 2002) kehittämään tehtävään. Tehtävä mittaa pitkäkestoiseen muistiin tallentamista ja muistista palauttamista, luetun ymmärtämistä ja oppimista. Tehtävässä tutkittavat lukivat asiapitoisen kolmisivuisen tekstin vieraasta aihepiiristä, harvinaisista sairauksista tai pikkuvaltioista. Aihepiirin valinnalla voitiin ehkäistä aiemman tiedon mahdollinen vaikutus tehtävästä suoriutumiseen. Tutkittavia ohjeistettiin lukemaan teksti ja painamaan mieleensä mahdollisimman monta asiaa annetusta näkökulmasta eli juuri tietystä valtiosta tai sairaudesta. Lukemiseen annettiin aikaa 6 minuuttia ja palautusvaiheen kirjoittamiseen 4 minuuttia. Mieleen painamisen ja palauttamisen välillä aikaa oli noin tunti, ja se käytettiin prosessointia kuormittavaan tehtävään (X-kirjainten laskeminen ja n-back). Tällä pyrittiin estämään luetun materiaalin mahdollista aktiivista ylläpitoa ja kertaamista lyhytkestoisessa muistissa. Muistista palauttaminen tapahtui tietokoneella kirjoittaen. Suorituksesta mitattiin muistettujen asioiden määrää annetusta näkökulmasta (teorettinen maksimi pistemäärä 30).

2.4 Tutkimuksen kulku

Testaukset toteutettiin syys-lokakuussa (19.9.-25.10.) 2011 Turun avotoimistolaboratoriossa Työterveyslaitoksella. Tutkimuspäiviä oli kaksi (hyvässä ja huonossa ilmanvaihtotilanteessa) ja molempien tutkimuspäivien varsinainen koetilanne kesti noin neljä tuntia. Tätä edelsi ohjeistus erillisessä tilassa sekä tehtäviin harjoittava totuttautumisjakso avotoimistolaboratoriossa. Totuttautumisjakso toteutettiin tutkittavien tietämättä sen tarkoitusta. Tämän tarkoituksena oli kontrolloida mahdollisia

oppimisvaikutuksia. Varsinainen tutkimusosio koostui kahdesta noin tunnin pituisesta työskentelyjaksosta, joiden välillä pidettiin pieni tauko (kuva 6). Kaikissa tehtävissä eri versioiden esitysjärjestykset vastabalansoitiin, mikä tehtiin riippumattomasti ilmanvaihtotilanteiden vastabalansoinnista. Työskentely tutkimuspäivinä tapahtui itsenäisesti, ilman tutkittavien välistä kommunikaatiota tutkimusjohtajan johtamana.

Korkean hiilidioksidaltistuksen tilanteessa mukana oli yhteensä kolme tutkittavaa, jotka suorittivat tutkimuspäivän vain yhden kerran. Näin meneteltiin, sillä korkean hiilidioksidipitoisuuden ylläpitämiseksi avotoimistolaboratoriossa tuli olla vähintään viisi henkilöä, eikä peruuntumisten vuoksi ryhmät olleet samankokoisia varsinaisten tutkittavien osalta. Ylimääräisten tutkittavien osalta tuloksia ei analysoitu, koska he olivat tutkimusryhmään kuuluvia nuoria jäseniä ja mukana vain huonon ilmanvaihdon tilanteessa. Suunniteltujen tutkimusviikkojen jälkeen järjestettiin koehenkilökadon vuoksi täydentävät tutkimuspäivät ryhmälle 7 (taulukko 3).



KUVA 6. Tutkimuksen kulku 1. ja 2. Päivänä

2.5 Aineiston analysointi

Tutkimuksessa kerätty data analysoitiin PASW-ohjelmalla (PASW Statics 17.0, SPSS Inc). Parametristen menetelmien edellyttämän normaalijakaumaoletuksen toteutuminen testattiin Shapiro-Wilk –testillä. Jakaumien sijaintia verrattiin toistettujen mittausten t-testillä (kyselyt ja tiedonhakutehtävä) tai toistettujen mittausten varianssianalyysillä (muut objektiivista työsuoritumista mittaavat tehtävät). Mainittujen testien epäparametrisiä testejä, Wilcoxonin ja Friedmanin testejä, käytettiin myös vertailuun, mutta tulokset pysyivät samoina kuin parametrisillä menetelmillä saadut, eikä niitä raportoida. Riippumattomana muuttujana oli ilmanvaihdon aste (suuri, pieni), aika (tehtiinkö tehtävä 1. vai 2. työosuudella), kerta (oliko kyseessä 1. vai 2. tutkimuskerta) sekä eri tehtävien kohdalla tekijä, kuten esimerkiksi tehtävän sisäinen blokki (tehtiinkö tehtävä tehtävän sisäisessä 1. vai 2. osiossa; n-back -tehtävä) ja vaatavuustaso (0-, 1-, 2- ja 3-back). Tutkimuksessa käytettiin toistettujen mittausten asetelmaa ilmanvaihdon ollessa suuri tai pieni. Tutkimustilanne toistettiin kullakin tutkittavalla viikon päästä samaan aikaan iltapäivisin. Tästä poikkesi tutkimusryhmä 7 kuitenkin niin, että ryhmän tutkimuspäivien välillä oli viikonloppu. Ilmanvaihtotilanteiden järjestys tutkittavilla oli vastabalansoitu.

Toistettujen mittausten varianssianalyysissä muuttujan eri tasojen, kuten mittausajankohtien, erotusten varianssien homogeenisuus tarkistettiin Mauchlyn sfäärisyystestillä. Riippumattomien otosten t-testiä käytettäessä varianssien homogeenisuus tarkistettiin Levenen testillä. Mikäli ilmeni, että varianssit poikkesivat toisistaan, suoritettiin vapausasteiden Greenhoue-Geisser –korjaus. Jatkovertailulle tehtiin lisäksi Bonferroni-korjaukset. Kaikissa merkitsevyytestauksissa p-arvon kriteeriarvona käytettiin vähintään .05:ä.

Vigilanssi- ja lausetehävän kohdalta tarkasteluja ei suoritettu, sillä nämä tehtävät toimivat totuttautumiskaksen täytetehtävinä. Tiedonhakutehtävän osalta tarkastelu suoritettiin ryhmien välisenä vertailuna käytetyn ohjelmiston teknisen häiriön vuoksi. Alkuperäisen tarkoituksen mukaan tehtävä oli määrä tarkastella sekä koehenkilöiden sisäisenä että välisenä vertailuna.

3. TULOKSET

3.1 Objekttiivinen työsuoritus

Kuvailevat tunnusluvut objektiivista työsuoritusta mittaavista tehtävistä on koottu taulukkoon 4.

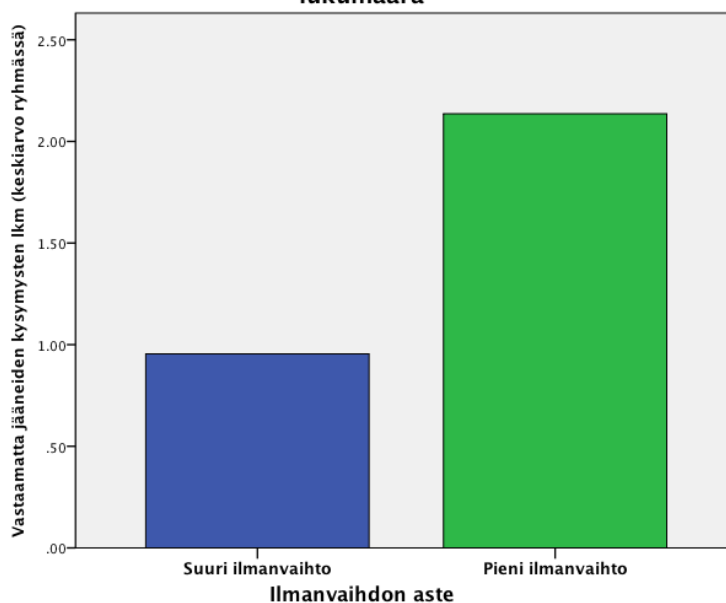
TAULUKKO 4. Kognitiivista työsuoritusta mittaavien tehtävien kuvailevat tunnusluvut (poislukien n-back)

Tehtävä	Suuri ilmanvaihto			Pieni ilmanvaihto		
	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli
Tiedonhaku						
ei-vastausten lkm	0.71	1.21	0-4	0.00	0.00	0-4
vastauksista %:a oikein	76.77	12.86	45.00-100	75	73.17	7.00-100
Luovuus						
sanojen lkm	21.00	8.54	6.00-48.00	20.00	20.94	7.00-51.00
C-pistemäärä	29.66	15.51	8.57-76.74	27.36	29.93	8.63-82.10
normalisoitu C-pistemäärä	1.00	0.14	.60-1.27	1.00	1.00	.73-1.40
Operation span						
muistettujen sanojen lkm	48.12	7.64	24.00-57.00	49.00	46.97	25.00-57.00
laskuista %:a oikein	86.95	6.74	74.10-98.30	87.90	86.26	67.20-98.30
X-kirjainten laskeminen laskuista %:a oikein	72.63	15.97	27.78-100	72.22	72.96	27.78-100
Konekirjoitus						
valmiin tekstin merkkien lkm	2413.83	695.55	1355-4325	2281	2410.63	1333-4273
näppäinpainallusten lkm	2670.20	722.78	1422-4507	2582.5	2667.93	1410-4400
sanansis. mediaaninopeus (ms)	163.17	56.19	109-410	141	153.60	109-234
virheet	8.77	49.56	0-32	7.00	8.10	1.00-18.00
korjatut virheet	54.97	31.43	13-138	50	56.00	17.00-152
nopeus (s)	584.40	44.36	434-600	600	582.30	414-600
Luetun muistaminen						
pistemäärä	11.56	5.02	2.00-23.00	12.5	13.75	1.00-21.00

3.1.1 Tiedonhakutehtävä

Objektiivista suoriutumista mittaavista tehtävistä tutkimuksen ainoa ilmanvaihdon asteesta johtuva merkitsevä tulos löytyi tiedonhakutehtävän vastaamatta jääneiden kysymysten (tutkittavalta loppui aika kysymyksen vastaamisessa) lukumäärässä ($t(33) = -2.37, p < .05$; kuva 7). Tulos antaa viitteitä siitä, että suurempi ilmanvaihto on edullisempi vallitseva olosuhde suoritettaessa lyhytkestoista muistia, tarkkaavaisuutta ja toiminnan strategista ohjausta vaativaa tiedonhakutehtävää. Oikeiden vastausten prosentuaaliseen osuuteen ilmanvaihdon aste ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi ($p > .05$). Huomionarvoista on, että ohjelmistovian vuoksi ensimmäisen viikon datan jäätyä pois analyysi suoritettiin ryhmien välisenä t-testinä. Analysoitavat tulokset ovat molempien altistusryhmien toiselta tutkimuspäivältä, ja näin ollen vastabalansoinnin lisäksi oppimisvaikutus tuloksiin saatiin kontrolloitua. Tämä lisää saadun tuloksen luotettavuutta. Suoriutumisen nopeutta ei tehtävästä analysoitu, koska taustateorian (Das-Smaal ym., 1993) mukaan sillä ei käytännöllistä merkitystä. Ohjelmistona käytetty Visual Basic ei myöskään ollut kokeessamme luotettava suoritusajan tallentaja. Analyyseistä jätettiin pois yksi tutkittava, sillä hän kertoi arvanneensa vastaukset ($n=35$).

Tiedonhakutehtävässä vastaamatta jääneiden kysymysten lukumäärä



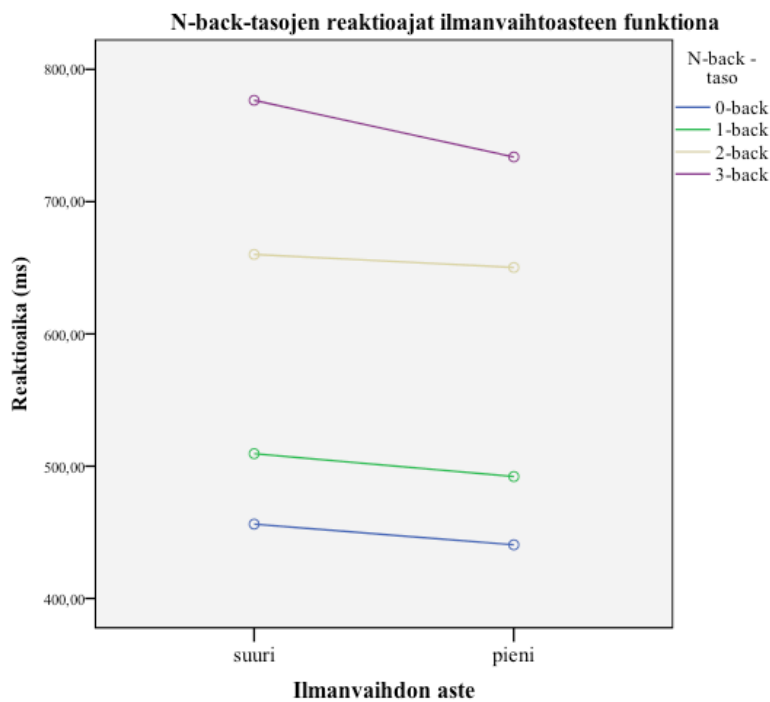
KUVA 7. Ilmanvaihdon vaikutus vastaamatta jääneiden kysymysten lukumäärään tiedonhakutehtävässä ($p < .05$)

3.1.2 N-back

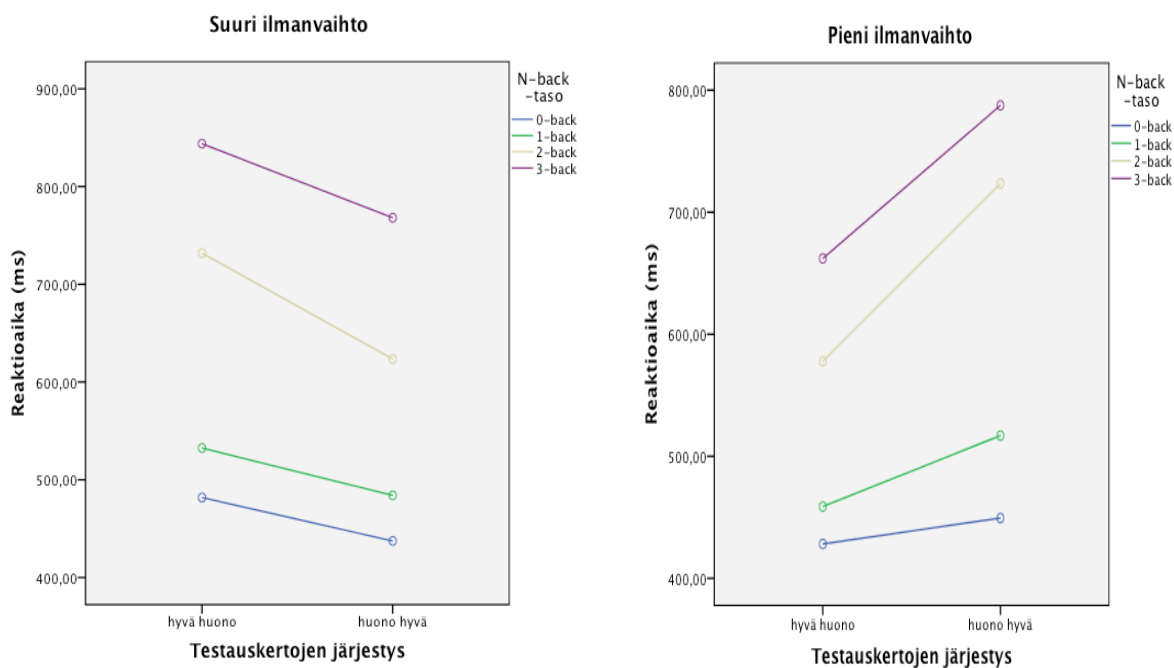
Päävaikutusta ilmanvaihdolla n-back -tehtävässä ei ollut reaktioaikaan eikä -tarkkuuteen ($F_{1.32}=1.07$, $p>.05$ $\eta^1_p=.032$; $F_{1.32}=.095$, $p>.05$, $\eta^1_p=.003$), kun riippumattomina muuttujina olivat ilmanvaihdon aste (suuri, pieni), testauskerta (1. päivä, 2. päivä), aika (1. työskentelyjakso, 2. työskentelyjakso) ja n-back -taso (0-, 1-, 2- ja 3-back). Merkitsevä päävaikutus tehtävässä oli ajalla (tehtiinkö tehtävä ensimmäisellä vai toisella työosuudella) sekä reaktioajassa että -tarkkuudessa ($F_{1.32}=21.58$, $p<.001$ $\eta^1_p=.403$; $F_{1.32}=.184$, $p<.05$ $\eta^1_p=.184$) ja n-back -tasolla (suoritus heikentyi lineaarisesti tasojen kasvaessa) sekä reaktioajassa että -tarkkuudessa siten, että ensin pienen ilmanvaihtoon tulleet pärjäsivät hieman heikommin 3-back -tehtävässä ($F_{1.32}=42.40$, $p<.001$ $\eta^1_p=.570$; $F_{1.32}=33.49$, $p<.001$, $\eta^1_p=.77$).

Reaktioaika

Analyyseistä on jätetty pois reaktioajat, jotka ovat 2,5 kertaa keskihajontaa suuremmat tai 180 ms pienempiä, sillä nämä reaktioajat eivät ole luotettavia poikkeavuutensa vuoksi. Lisäksi yhden tutkittavan tiedot poistettiin aineistosta, sillä hän ei suorittanut tehtäviä annetussa järjestyksessä ($n=35$). N-back -tasolla on päävaikutus reaktioaikaan: mitä vaikeampi n-back -taso, sitä enemmän suorituksen tarkkuus putosi ($F_{1.33}=42.40$, $p<.001$, $\eta^1_p=.570$, kuva 8). N-back -tehtävässä tilastollisesti merkitseväksi tulokseksi nousi myös ilmanvaihdon asteen ja testauskerran yhdysvaikutus ($F_{1.32}=22.56$, $p<.001$, $\eta^1_p=.413$) sekä ilmanvaihtoasteen, n-back -tason ja testauskerran yhdysvaikutus ($F_{1.32}=7,82$, $p<.01$, $\eta^1_p=.196$, kuva 9). Tämä tarkoittaa, että suureen ilmanvaihdon tilanteeseen ensin tulleet suoriutuivat toisella kerralla suhteessa paremmin vaikeammilla n-back -tehtävän tasoilla kuin ensin pienen ilmanvaihdon tilanteeseen tulleet, joskin parannusta tapahtui yleisesti molemmissa ryhmissä toisena tutkimuspäivänä.



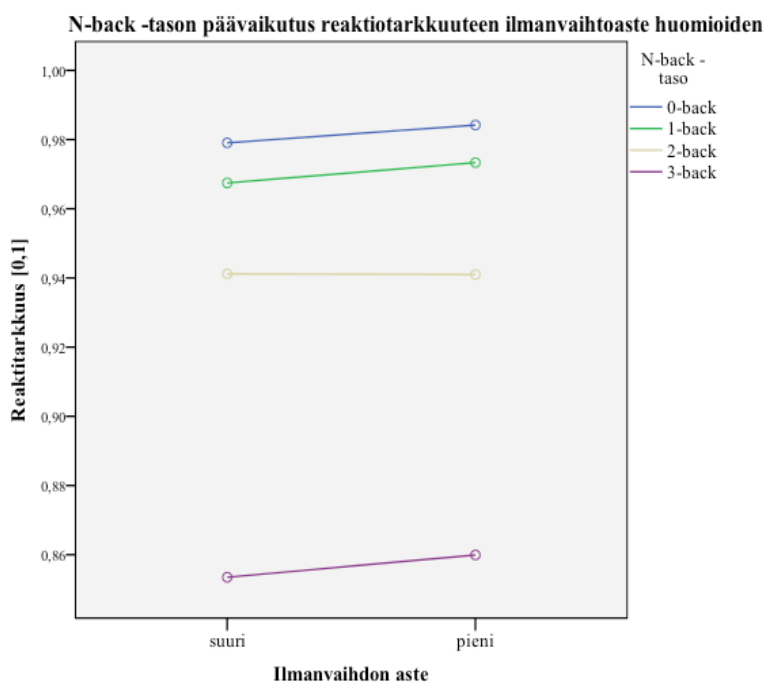
KUVA 8. N-back –tason ja ilmanvaihtoasteen vaikutus reaktioaikoihin



KUVA 9. Testauskerran ja ilmanvaihdon yhdysvaikutus reaktioaikoihin n-back –tehtävässä

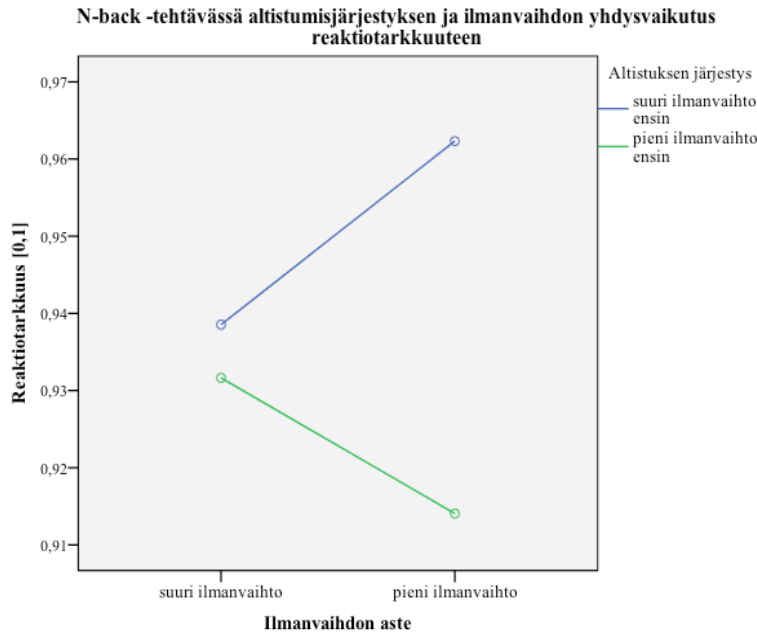
Reaktiotarkkuus

Reaktiotarkkuuden osalta n-back –tehtävässä merkitseväksi tulokseksi nousi ajan ($F_{1.32}=7.21$, $p<.05$, $\eta^1_p =.184$) ja vaikeusasteen eli n-back –tason päävaikutus ($F_{1.30}=33.49$, $p<.001$ $\eta^1_p=.77$, kuva 10).

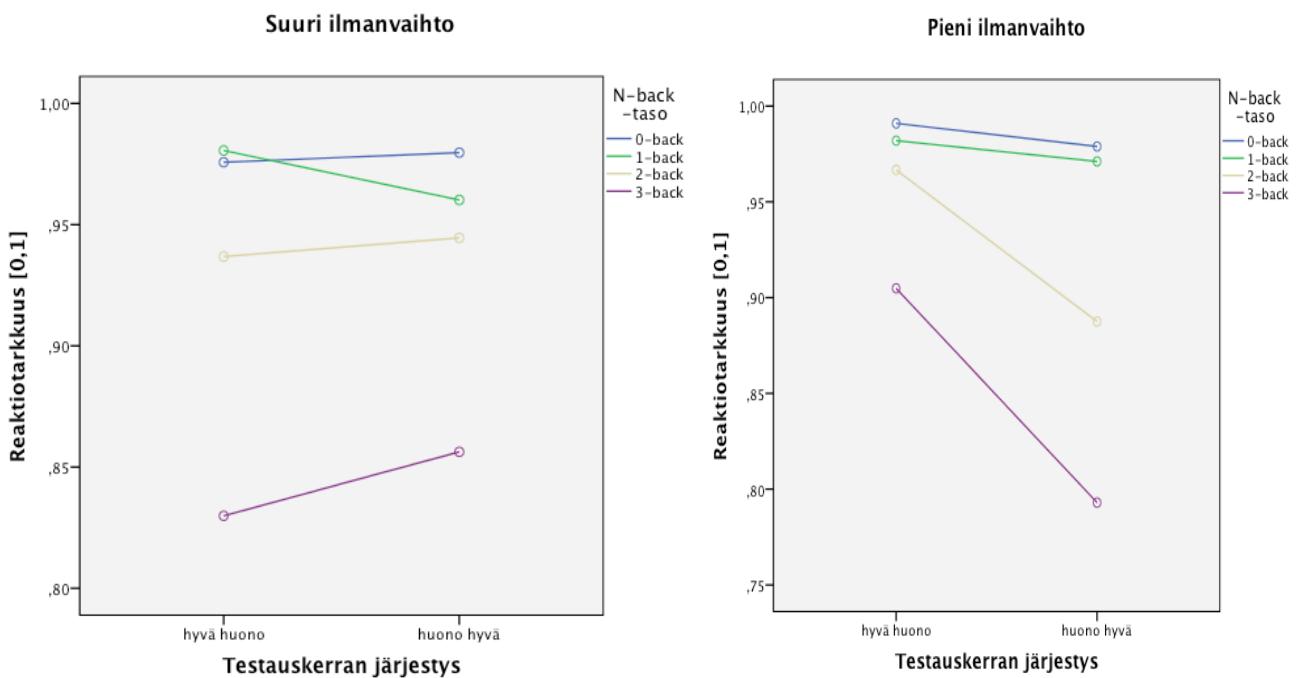


KUVA 10. N-back –tason ja ilmanvaihtoasteen vaikutus reaktiotarkkuuteen.

Reaktiotarkkuudessa tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus löydettiin ilmanvaihdon ja testauskerran välillä ($F_{1.32}=27.26$, $p<.001$, $\eta^1_p =.46$, kuva 11). Kumpaankin eri ilmanvaihtotilanteeseen ensin tulleet ryhmät paransivat suoritustaan toisella kerralla. Lisäksi ilmanvaihdolla, ajalla ja testauskerralla ($F_{1.32}=4.91$, $p<.05$, $\eta^1_p =.133$) ilmanvaihdolla, blokilla ja testauskerralla ($F_{1.32}=15.98$, $p<.001$, $\eta^1_p =.333$) sekä ilmanvaihdolla, n-back -tasolla ja testauskerralla ($F_{1.30}=12.24$, $p<.001$, $\eta^1_p=.551$, kuva 12) oli yhdysvaikutus. Kahta ensimmäistä 3-suuntaista yhdysvaikutusta en kuvaa tarkemmin, sillä näillä ei ole teoreettista merkitystä. Jälkimmäisen tuloksen osalta puolestaan voidaan todeta, että pieneen ilmanvaihtotilanteeseen ensin tulleet suoriutuivat enemmän laskusuhdanteisesti eri n-back-tehtävistä, erityisesti vaikeammilla n-back –tasoilla.



KUVA 11. Testauskerran ja ilmanvaihdon asteen yhdysvaikutus reaktiotarkkuuteen n-back -tehtävässä



KUVA 12. Ilmanvaihdon, n-back -tason ja testauskerran yhteisvaikutus reaktiotarkkuuteen

3.1.3 Luovuustehtävä

Luovuutta mittaavassa tehtävässä ei noussut analyyseissä esille tilastollisesti merkitsevää tulosta tuotetuissa käyttöehdotuksissa tai ehdotusten omaperäisyydessä ($p > .05$), kun riippumattomina tekijöinä olivat ilmanvaihdon aste (suuri, pieni) ja kerta (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä).

3.1.4 Sanat ja laskut -tehtävä

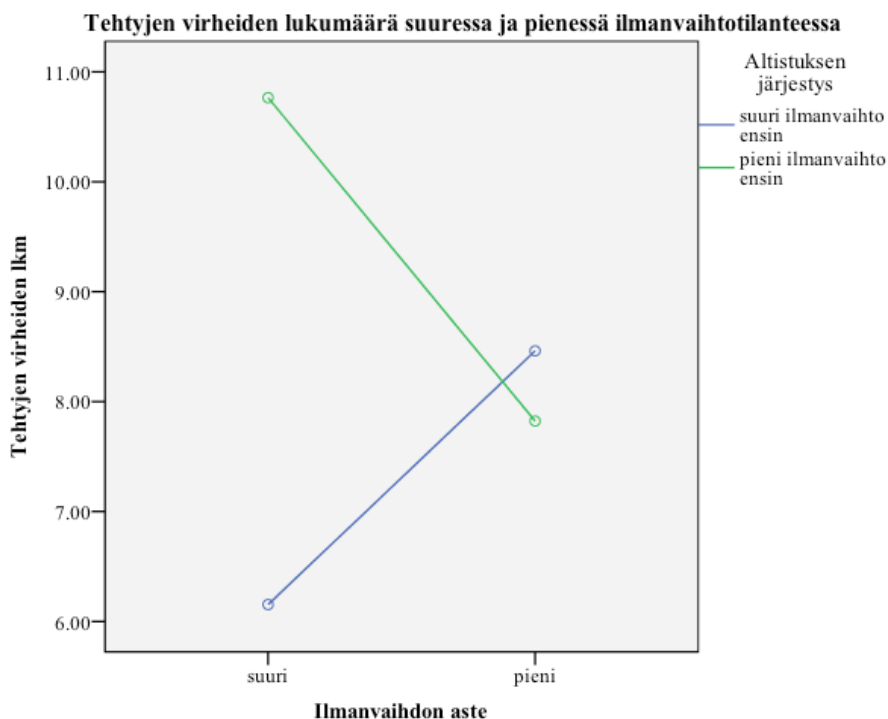
Sanat ja laskut -tehtävässä ei noussut tilastollisesti merkitseviä eroja eri ilmanvaihtotilanteissa suoriutumisen osalta. Laskutehtävissä onnistuminen ja muistettujen sanojen lukumäärä eivät myöskään eronneet ilmanvaihdon asteen (suuri, pieni), ajan (tehtiinkö tehtävä 1. vai 2. työskentelyjaksolla) tai kerran (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä) suhteen ($p > .05$). Epäparametrisissä vertailuissa laskutehtävissä suoriutuminen oli heikompaa pienen ilmanvaihdon tilanteessa ($F_R = 4.80$, $df = 1$, $p < .05$). Bonferroni-korjattuna merkitsevyystaso kuitenkin jää merkitsevyystason yläpuolelle. Analyyseistä jäi pois kolme koehenkilöä pois ($n = 33$) liian alhaisen laskutehtävässä onnistumisprosentin ($< 65\%$) tai vilpin vuoksi.

3.1.5 X-kirjainten laskemistehtävä

X-kirjainten laskemistehtävän onnistumistarkkuudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ilmanvaihdon asteen (suuri, pieni), ajan (tehtiinkö tehtävä 1. vai 2. työskentelyjaksolla) tai kerran (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä) suhteen.

3.1.6 Konekirjoitustehtävä

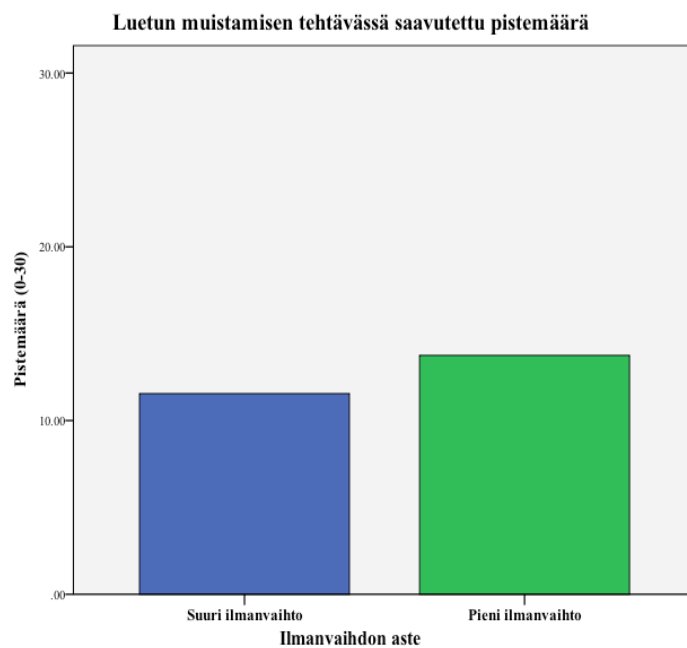
Konekirjoitustehtävässä ei noussut tilastollisesti merkitseviä eroja kirjoitusnopeudessa tai kirjoitusvirheiden lukumäärässä ilmanvaihtotilanteiden välillä. Kuitenkin tehtyjen virheiden lukumäärässä ilmanvaihdon ja testauskerran yhdysvaikutus nousi tilastollisesti merkitseväksi ($F_{1,28} = 6.55$, $p < .05$, $\eta^2_p = .15$; kuva 13). Tämä kuvastaa sitä, että toisen kerran tehtävää tehtäessä virhealttius on ylipäättään suurempaa. Huomionarvoista on, että ensimmäisen koepäivän data ei teknisen vian vuoksi tallentunut ($n = 6$), mistä seuraa, että otos käsittää 30 koehenkilöä onnistuneella vastabalansoinnilla.



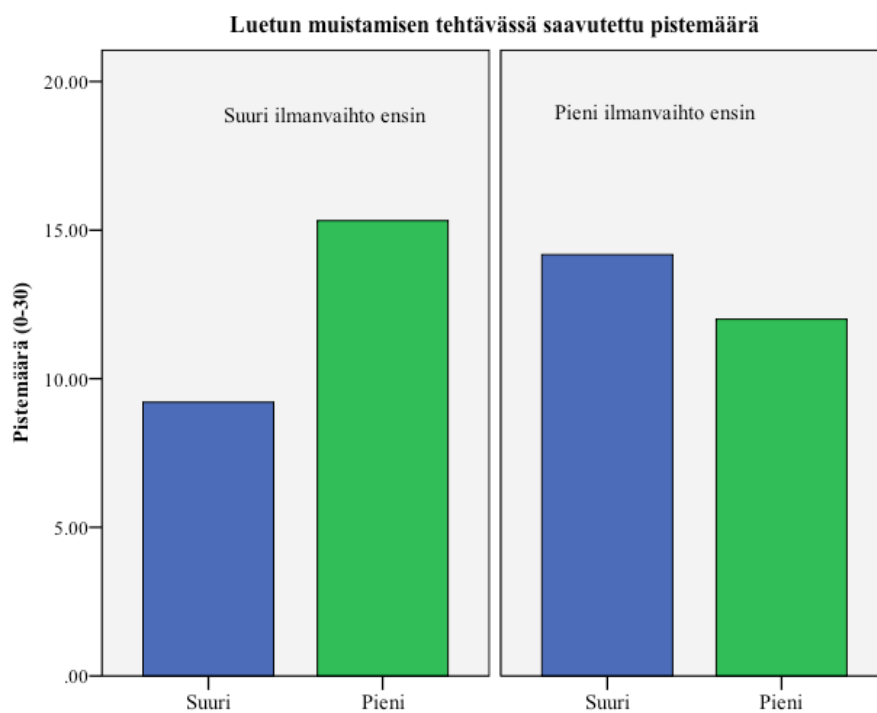
KUVA 13. Ilmanvaihtotilanteen testauskerran ja ilmanvaihtotilanteen yhdysvaikutus konekirjoitustehtävässä tehtyjen virheiden lukumäärässä

3.1.7 Luetun muistamistehtävä

Pitkäkestoiseen semanttiseen muistiin tallentamista, mieleen palauttamista ja luetun ymmärtämistä mittaava luetun muistamistehtävässä ilmanvaihdolla on tilastollisesti merkitsevä päävaikutus: pienen ilmanvaihdon tilanteessa tutkittavat saivat oletuksen vastaisesti paremmat pisteet kuin suuren ilmanvaihdon tilanteessa ($F_{1,34}=5.83$, $p<.05$, $\eta^2_p =.15$; kuva 14). Tarkastelu tapahtui ilmanvaihdon asteen (suuri, pieni), ajan (tehtiinkö tehtävä 1. vai 2. työskentelyjaksolla) ja kerran (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä) suhteen. Toisaalta ilmanvaihtotilanteen vaikutus kokonaisuudesta jää vaatimattomaan 15 %:iin. Tilastollisesti merkitsevä vaikutus löytyi myös ilmanvaihdon ja testauskerran on yhdysvaikutuksena ($F_{1,34}=25.89$, $p<.001$, $\eta^2_p =.43$; kuva 15). Tämä tarkoittaa, että toisella kerralla tutkittavien suoriutuminen parantui ensimmäisestä, mutta merkittävämpi suorituksen nousu oli tutkittavilla, jotka ensin olivat tulleet suuren ilmanvaihdon tilanteeseen.



KUVA 14. Ilmanvaihdon asteen päävaikutus saavutettuihin pistemääriin luetun muistamistehtävässä



KUVA 15. Ilmanvaihtotilanteet ja testauskerran yhdysvaikutus luetun muistamistehtävän pistemäärissä

3.2 Subjektiiivinen työsuoriutuminen

Kyselyillä (työskentelyjaksojen välissä esitetyt arviointikyselyt, kuva 6) mitatut subjektiiviset itsearviot työsuoriutumisesta, oireistosta, kuormittavuudesta, viihtyvyydestä ja työympäristön olosuhteista noudattavat objektiivisten arvioiden suuntaa: arviot suuren ja pienen ilmanvaihdon tilanteiden välillä eivät yleisesti eronneet paljontaan toisistaan. Kaikissa subjektiivista työsuoriutumista mittaavissa analyyseissä huomioitiin ilmanvaihdon aste (suuri, pieni), aika (oliko kyseessä 1. vai 2. työskentelyjakso), kerta (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä), sukupuoli (mies, nainen) ja mahdolliset kyselyn eri osatekijät (kuten NASA-TLX:n faktoritasot). Sukupuoli on mukana vertailuissa, sillä taustateorian mukaan naiset ovat herkempiä kokemaan fyysisiä oireita; halusin tarkastella, toteutuuko vastaava aineistossamme. Kuormittuneisuuden, väsymyksen osatekijöiden ja oireiston osalta subjektiivisesti arvioituja tilastollisesti merkitseviä eroja ilmeni suuren ilmanvaihdon eduksi (taulukko 5). Koehenkilöille työskentelyjaksojen väleissä esitetyissä kyselyissä ilmanlaatutilanteiden eroa ei kuitenkaan käytännössä huomattu edes alkuarvioissa eli ensimmäisessä arvioissa, joka tehdään tilaan saapuessa ($F_{1,34}=4.47$, $p<.05$, $\eta^2_p =.122$; taulukko 5). Alkuarviossa koehenkilöt arvioivat huoneilmaa seitsemänportaisella asteikolla (1=tunkkainen, 7=raikas). Tämä ero on tilastollisesti merkitsevä ($p<.05$), mutta käytännössä sillä ei ole merkitystä, sillä arviot ovat lähellä toisiaan asteikon keskivälillä. Tutkittavat eivät alkuarvioiden perusteella aistineet kummassakaan ilmanvaihtotilanteessa häiritseviä hajuja tai tuoksua ($F_{1,34}=4.20$, $p<.05$, $\eta^2_p =.110$), mutta merkitsevä ero hajujen vähäisyydessä ilmeni suuren ilmanvaihdon tilanteessa (taulukko 5). Tällä erolla ei kuitenkaan skaalan huomioiden ole käytännöllistä eroa (taulukko 5).

Muokatulla NASA-TLX –kyselyllä kuormittuneisuuden tunne oli suurempaa pienen kuin suuren ilmanvaihdon tilanteessa loppukyselyn kohdalla ($t(35)=-2.17$, $p<.05$), mutta muuten työkuormittavuuden osalta ei löytynyt eroja mittausajankohdan, tilanteen tai sukupuolen osalta ($p>.05$). Turhautuneisuuden, ponnistelun tarpeen tai tyytyväisyyteen omasta suorituksesta tilastollisia eroa ei löytynyt ajan tai ilmanvaihtotilanteiden välillä.

TAULUKKO 5. Yhteenvetotaulukko tilastollisesti merkitsevistä ilmanvaihtoasteen päävaikutuksista subjektiivisissa arvioissa eri kyselysisällöittäin (IL2 tarkoittaa vaikutuksen suuntaa pienen ilmanvaihdon tilanteeseen päin).

Kysely	Mittauskohde	keskiarvo suuri	keskiarvo pieni	F / t	df	p	suunta
Ilman arviointi	Alkukysely "Arvioi ilman tunkkaisuutta"	4.69	4.72	4.74	1,34	<.05	IL2
	Alkukysely "Hajujen ja tuoksujen määrä"	1.53	1.47	4.2	1,34	<.05	IL2
MM040	Alkukysely "hikoilu"	1.13	1.50	-3.17	35	<.05	IL2
	"väsymys"	1.5	1.94	-2.94	35	<.05	IL2
Välikysely 1	"silmiä kuivuminen"	1.50	1.94	-2.58	35	<.05	IL2
Välikysely 2	"väsymys"	1.97	2.36	-2.83	35	<.05	IL2
SOFI	Alkukysely "uneliaisuus"	1.52	1.97	-2.67	35	<.05	IL2
	"väsähtänyt"	1.41	1.67	-2.05	35	<.05	IL2
Välikysely 2	"innoton"	1.86	2.31	-2.84	35	<.05	IL2
	"haukotteleva"	1.94	2.33	-2.68	35	<.05	IL2
	"välipitämätön"	1.78	2.11	-2.16	35	<.05	IL2
Välikysely 3	"innoton"	2.19	2.67	-3.16	35	<.05	IL2
	"välipitämätön"	1.94	1.72	-2.33	35	<.05	IL2
NASA-TLX	Loopukysely "kuormittuneisuus"	1.64	1.97	-2.17	35	<.05	IL2
Häiritsevyydet	Loppukysely "kuumuus"	1.2	1.46	-3.01	35	<.05	IL2

Sisäilman mahdollisia vaikutuksia kartoittanut muokattu MM040–kysely erotti tilastollisesti merkitseviä eroja hikoilussa, väsymyksessä ja silmien kuivumisessa siten, että oireiden ilmaantuminen pienessä ilmanvaihdon tilanteessa oli suurempaa (taulukko 5). Pienessä ilmanvaihdon tilanteessa oireiden kokeminen oli suurempaa, mutta huomioiden pisteytyksen jäävän 1:n (“ei lainkaan”) ja 2:n (“vähän”) väliin tällä ei ole käytännön merkitystä. Taustateoriasta poiketen (Bakke, Moen, Wieslander & Norbäck, 2007; Norbäck, 2009; Reijula & Sundman-Digert, 2004; Reijula & Sundman-Digert, 2002) sukupuolten kokemus oireiden ilmenemisestä ei eronnut toisistaan: naiset eivät olleet miehiä herkempiä.

Väsymyksen osatekijöitä tarkasteltiin SOFI:n avulla. Ilmanvaihdon asteella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus energisyysfaktorin uneliaisuuteen, motivaatiofaktorin väsähtyneisyyteen, innottomuuteen ja välinpitämättömyyteen sekä vireysfaktorin haukottelevuuteen (taulukko 5) siten, että pienessä ilmanvaihdon tilanteessa tuntemukset olivat voimakkaampia. Tutkimuspäivän aikana väsymyksen osatekijöiden kokeminen ei muuttunut, myöskään sukupuolten kokemukset eivät eronneet toisistaan.

Vertaillen työympäristön häiritsevyyksiä suuren ja pienen ilmanvaihdon välillä pienen ilmanvaihtoasteen tilanteessa merkittäväksi nousi kuumuus ($t(35)=-3.01$, $p<.05$), mutta käytännössä tällä ei ole merkitystä, sillä vastaukset painottuivat 1=“ei-lainkaan” -pistearvon lähelle ($\bar{x}_{\text{suuri}}=1.20$, $\bar{x}_{\text{pieni}}=1.46$, taulukko 5). Arviot tehtävien haasteellisuudesta, mielenkiintoisuudesta tai tyytyväisyydestä omaan suoritukseen sekä pyrkimyksestä tehdä parhaansa eivät riippuneet ilmanvaihdon asteesta. Työympäristön lämpöolosuhteet, oma keskittymiskyky ja jaksaminen ja tyytyväisyys kokonaisolosuhteisiin koettiin hyviksi. Kokemukset eivät eronneet ilmanlaadun, tutkimuksen kulun tai sukupuolen suhteen, kun huomioitiin ilmanvaihdon aste (suuri, pieni), aika (oliko kyseessä 1. vai 2. työskentelyjakso) ja kerta (oliko kyseessä 1. vai 2. päivä).

4. POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten ilmanvaihdon aste sisäilman hiilidioksidipitoisuudella indikoituna vaikuttaa kognitiiviseen työsuoriutumiseen ja subjektiivisiin arvioihin avotoimistotilassa. Tutkimuskentän ja -kirjallisuuden tuloksiin verrattuna (mm. Federspiel ym., 2004; Fisk ym., 2002; Kosonen & Tan, 2004; Park & Yoon, 2011; Seppänen & Fisk, 2001; Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 2000; Wyon, 2005) tämän tutkimuksen ilmavaihdon asteen vaikuttavuus kognitiiviseen suoriutumiseen ja itsearviointeihin eivät analyysien perusteella nousseet voimakkaasti. Objektiiiviseen työsuoriutumiseen ilmanvaihdolla ei ollut tilastoanalyysien perusteella suurta vaikutusta, sillä merkitsevä päävaikutus saatiin vain tiedonhakutehtävän vastaamatta jääneiden vastausten osalta muiden tehtäväanalyysitulosten jäädessä nollahypoteesia tukeviksi. Työmuistin ja tarkkaavaisuuden toimintaan (ylläpitoon ja jakamiseen) ilmanvaihdon asteella oli mahdollinen välittävä vaikutus työsuoriutumisessa. Viitteitä tästä löytyy yhdysvaikutuksista (n-back, konekirjoitus, luetun muistaminen), joiden mukaan saapuminen ensin suuren ilmanvaihdon tilanteeseen mahdollisesti tukee työsuoriutumista toisena tutkimuspäivänä - erityisesti vaativimmissa tehtävissä - verrattuna tilanteeseen, jossa saavutaan ensin pienen ilmanvaihdon tilanteeseen. Silmämääräisestikään erot kognitiivisessa työsuoriutumisessa eivät ole suuria (taulukko 4). Mielenkiintoinen poikkeus suuren ilmanvaihdon edullisuudesta on kuitenkin luetun muistamisen tehtävä: se lievästi eroaa tuloksiltaan muiden tehtävien tuloksista, sillä pienessä ilmanvaihdossa saavutettiin paremmat pistemäärät. Huomionarvoista kuitenkin on, että käytännössä ero ei ole kovin suuri. Tulos voi mahdollisesti selittyä myös tutkittavien strategian käytön erilaisuudella, vaikka yhteisellä ohjeistuksella tätä pyrittiin välttämään.

Tutkimuksessa käytetyillä ilmanvaihdon asteen tilanteilla ei vaikuta olevan vaikutusta luovaan ajatteluun eikä psykomotorisiin suorituksiin (liikesuorituksiin ja yksinkertaiseen reaktionopeuteen). Nämä tulokset ovat ristiriidassa monien aikaisempien löydösten kanssa (Bakó-Biró ym., 2004; Kosonen & Tan, 2004; Seppänen, Fisk, & Lei, 2006; Wargocki ym., 2002; Wargocki ym., 2000; Wyon, 2005). Ilmanvaihdon asteen vaikutus oman suorituksen monitorointiin eli huolellisuuteen ja spontaaniin tarkkaavaisuuteen konekirjoitustehtävän tulosten perusteella ei niin ikään ollut merkityksellinen tutkimuksen tulosten perusteella. Tiedonkäsittelyyn (tiedonhakutehtävä) ja oppimiseen (luetun muistamistehtävä) sekä

työmuistitoimintoihin (sanat ja laskut –tehtävä) ilmanvaihdon aste ei myöskään nouse tutkimuksen perusteella tärkeäksi suoritusta haittaavaksi tekijäksi, mikä eroaa aikaisemmasta tutkimustiedosta (Bakó-Biró ym., 2004; Kosonen & Tan, 2004; Seppänen ym., 2006; Wargoocki ym., 2002; Wargoocki ym., 2000; Wyon, 2005). X-kirjainten laskemistehtävän, luovuutta mittaavan tehtävän ja sanat ja laskut –tehtävän osalta voidaan puhua jopa puhtaasta nollatuloksesta. X-kirjainten laskemistehtävän osalta tosin nopeuden analysoiminen olisi saattanut tuoda lisätietoa suoriutumisesta; huonosti tehtävässä pärjänneet saattoivat tehdä tehtävän nopeammin. Siten suoriutumisoero saattaa selittyä erilaisten strategioiden käytöllä, vaikka tehtävään annettiin yhteinen selkeä ohjeistus. Strategioiden käyttämisen erosta kertoo mahdollisesti myös suoriutumisaikojen erot: tehtävän suorittamiseen kulunut aika vaihteli koehenkilöiden välillä paljon (15-25 minuuttia).

Objektiivista työsuoriutumista mitanneiden tehtävien tuloksista on kuitenkin havaittavissa suuntaus, jossa ilmanvaihtotilanteiden testauskerralla on olemassa mahdollinen vaikutus tehtäväsuoriutumiseen: ensin suuren ilmanvaihdon tilanteessa tutkimuspäivänsä suorittaneet tuntuivat saaneen paremman lähtökohdan toisen tutkimuspäivän suoriutumiselleen, erityisesti vaikeammissa tehtävissä. Tämäntyyppinen tulkinta on mahdollista tehtävissä konekirjoitustehtävän, luetun muistamistehtävän ja n-back –tehtävän (3-back) tuloksista. Oppimisvaikutuksella ilmiötä ei voi selittää, sillä tulosten paraneminen ei systemaattisesti liittynyt koepäivän järjestykseen. Kuitenkin on mahdollista, että ensin suurelle ilmanvaihdon tilanteelle altistuneet erosivat ryhmänä jo lähtökohtaisesti. Huomionarvoista on myös, että koetilanteiden vastabalansoinnilla pyrittiin välttämään altistusjärjestyksen vaikutus.

Tehtäväkohtaisia, objektiivisten työsuoriutumista mittaavien tehtävien kohdalla luottamusta heikentäviä seikkoja löytyy luovuustehtävästä ja konekirjoitustehtävästä: luovuustehtävän pisteytyksessä käytettyä matemaattista mallia ja adaptiivista normalisoitua C-pistemäärää hyödynnettiin tässä muodossa ensimmäistä kertaa. Luovuustehtävä ei eri ilmanvaihto-olosuhteissa erotellut tutkittavia toisistaan, mikä eroaa aikaisemmista tutkimuksista (Park & Yoon, 2011; Wargoocki ym., 2000; Seppänen ym., 2006). Selityksenä saattaa olla se, että luovuus on kohtalaisen pysyvä piirre ihmisessä. Olosuhteet avotoimistotilassa eivät olleet äärimmäiset, vaan todellisessa

avotoimistossa mahdolliset ja suhteellisen hyvin siedettävät, vaikka toki pienen ilmanvaihdontilanteessa suosituksia selvästi heikommat. Ilmanvaihdon astetta lukuun ottamatta muu työskentely-ympäristö oli säädösten mukainen ja neutraali (Säteri, 2008). Lisäksi subjektiivisten arvioiden perusteella voidaan vahvistaa, että olosuhteet työskentelyyn kaiken kaikkiaan olivat kummankin tutkimuspäivän osalta kelvolliset. Luotettavuutta konekirjoitustehtävän kohdalla heikentää se, että ensimmäisen koepäivän data ei teknisen vian vuoksi tallentunut (n=6), mistä seuraa, että otos käsittää 30 koehenkilöä onnistuneella vastabalansoinnilla.

Subjektiivisiin arvioihin (ilmanlaadun arviot sekä oireistoa, kuormittavuutta ja väsymystä mittaavat kyselyt) ilmanvaihdon aste vaikutti tutkimuskentän aiempiin tuloksiin verrattuna selvästi vähemmän. Taustakirjallisuuden mukaista, naisten suurempaa herkkyyttä erityisesti SBS-oireille ei ilmennyt (mm. Federspiel ym., 2004; Fisk & Rosenfeld, 1997; Kosonen & Tan, 2004; Park & Yoon, 2011; Seppänen ym., 2006; Seppänen ym., 1999; Wargocki ym. 2000; Wargocki ym., 1999; Wyon, 2005; Wyon, 2004). Kuitenkin pienessä ilmanvaihdossa NASA-TLX –kyselyn kuormittuneisuutta mittaava itemi erosi merkitsevästi suuren ilmanvaihdon eduksi. Tämän lisäksi kuormittuneisuuden, väsymyksen osatekijöiden ja oireiston osalta subjektiivisesti arvioituja, tilastollisesti merkitseviä eroja ilmeni suuren ilmanvaihdon eduksi (taulukko 5). Tätä tukevat useat aiemmat tutkimukset aiheesta (mm. Fisk & Rosenfeld, 1997; Kosonen & Tan, 2004; Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 2000; Wyon, 2005; Wyon, 2004). Tämän tutkimuksen itsearvioinneissa tilastollinen merkitsevyys löytyi pienessä ilmanvaihdossa hikoilun, väsymyksen ja silmien kuivumisen osalta. Kokonaisvaltaista väsymystä mittaava SOFI-kyselyn motivaatiotekijä sai huonossa ilmanvaihdossa suurempia arvioita kuin hyvässä ilmanvaihdossa: väsähtäneisyys, innottomuus ja välinpitämättömyys erottuvat tilastollisesti merkitsevästi. Energisyysfaktorin uneliaisuus ja unisuusfaktorin haukottelevuus saivat myös huonossa ilmanvaihdossa hyvää ilmanvaihdontilannetta suurempia arvioita. Huomionarvoista kuitenkin on, että nämä erot ovat täysin asteikon alapäässä liikkuvia, joten niiden käytännöllinen ero ei ole kovin suuri.

Yhteenvetona tutkimus osoittaa, että ilmanvaihdonasteen vaikutus työsuoriutumiseen on lyhyellä aikavälillä vähäinen. Motivoituneet tutkittavat pystyvät kompensoimaan

pienemmän ilmanvaihdon aiheuttaman ylimääräisen rasituksen suoritustasoaan heikentämättä, mikä on ollut tyypillistä myös aikaisemmissa tutkimuksissa (Clements-Croome, 2006; Kinnunen, Feldt, & Mauno, 2005; Lahtinen, Huuhtanen, & Reijula, 1998; Lahtinen, Huuhtanen, Kähkönen, & Reijula, 2002; Moroney ym., 1995; Oldham, Kulik, & Stepina, 1991). Arviot olosuhteiden sopivuudesta pitkäkestoiseen työskentelyyn eivät eronneet tilanteiden välillä, mitä tukevat tulokset objektiivisesti mitatusta ja subjektiivisesti arvioidusta työsuoriutumisesta. Kokeessa käytettiin puolikasta työpäivää vastaavaa tutkimusaikaa, minkä vuoksi päätelmissä mahdollisista pidempiaikaisista vaikutuksista on oltava varovainen. Ilmanvaihdon vaikutukset kasvavat altistusajan kasvaessa ja on mahdollista, että täyspitkän työpäivän kuluessa olosuhteiden vaikutus näkyisi suoriutumisessakin. Erityisesti olosuhteiden jatkuessa useiden työpäivien ajan on mahdollista, että subjektiivisesti koettu rasitus ja epämiellyttävyys välittyvät lopulta myös varsinaiseen työtehoon, työmotivaatioon, taukojen pitämiseen - sen ollessa mahdollista - tai poissaoloihin. Tutkittavien matala mediaani-ikä (25 v.) ja korkeakoulutausta ovat kognitiivisten tehtävien suorittamisen kannalta mahdollinen etua tuova tekijä, minkä huomioiden pienikin suoritustason laskeminen on huomioitava asia pitkäaikaisen altistumisen lisäksi. Näin ollen pienikin ero suoriutumisessa saattaa saada käytännössä isomman merkityksen.

Puutteena tutkimuksessa on suoriutumisaajan mittaaminen sanat ja laskut -tehtävässä: ajanmittausta ei käytetyistä ohjelmistoista johtuen voitu suorittaa luotettavasti jokaisen tehtävän kohdalla. Raaka-analysoinnissa suoriutumisaika kuitenkin otettiin huomioon – kuitenkin merkitseviä tuloksia tuottamatta. Suoriutumisen tarkkuus ja aika ovat käsi kädessä kulkevia tekijöitä, jotka tulisi huomioida mahdollisissa tulevilla tutkimuksissa. Hyvää tutkimuksessa on aikaisempia tutkimuksia monipuolisempi, kognitiivisia toimintoja mittaava psykologinen testaus (seitsemän psykologisia toimintoja mittaavaa tehtävää), mikä antaa lisäarvoa aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna (Bakó-Biró ym., 2004; Kosonen & Tan, 2004; Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 2002; Wargocki ym., 2000; Wyon, 2005). Lisäksi tutkimuksen suorittamiseen kiinnitettiin huomiota: aikaisemmasta poiketen oppimisvaikutuksia huomioitiin totuttautumisjakson järjestämisellä ja järjestysvaikutuksia kontrolloitiin sekä tehtävien että tilanteiden vastabalansoinnilla. Lisäarvoa tuo tutkimusasetelman yksinkertaisuus: vain hiilidioksidin määrää muutettiin tutkimustilanteissa. Ilman hiilidioksidinpitoisuuden lisääminen oli ihmisperäistä ja maltillista, jolloin koehenkilöitä asetettu ei asetettu

eettisesti arveluttavaan tilanteeseen. Tutkimuskentän aikaisemmat tutkimukset ovat olleet pääosin joko kenttätutkimusta (puhelinkeskukset, koulut, sairaalat), jossa tilanteiden kontrolloitavuus ei ole ollut suuri, tai kokeellista tutkimusta, jossa enimmäkseen on tutkittu havaitun ilmanlaadun vaikutusta suoriutumiseen. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi suoritettu tutkimus tuo kokeellisen tutkimuksen lisän jo olemassa olevaan tutkimuskenttään.

Tutkimuksen merkitsevien tulosten vähäisyys on mielenkiintoinen, sillä aikaisempiin tutkimuksiin (Bakó-Biró ym., 2004; Kosonen & Tan, 2004; Seppänen ym., 2006; Wargocki ym., 2002; Wargocki ym., 2000; Wyon, 2005) verrattuna ilmanvaihdolla ei vaikuta olevan suurta merkitystä ainakaan niissä rajoissa, joita tässä tutkimuksessa käytettiin. Vaikka tulokset vahvasti antavat näyttöä nollatuloksesta, on hyvä muistaa, että tämä ei sulje pois vaihtoehdoisen hypoteesin todenperäisyyttä, jota aiemmat tutkimukset tukevat. Tutkimus olisi kuitenkin hyvä toistaa, sillä se paitsi poikkeaa monista aikaisemmista, mutta myös huomioi aikaisempia tutkimuksia laajemmin psykologiset lähtökohdat; tutkimuskenttää kun hallinnoi insinööri- ja luonnontieteet sekä ilmanvaihtoon perehtyneet kattojärjestöt ja yritykset, jotka vaikuttavat sisäilmanvaihtoa sääteleviin asetuksiin ja säädöksiin. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella olisi hyvä esimerkiksi pohtia nykyisten toimistotilojen ilmavaihdon raja-arvoja: onko vähäpäästöisillä rakennus- ja sisustusmateriaaleilla varustettu terve rakennus pienemmällä ilmanvaihdolla yhä hyvä mutta energiatehokkaampi työympäristö?

LÄHTEET

- Andersson, K. (1998). Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air*, 4, 32-39.
- Bakke, J. V., Moen, B. E., Wieslander, G., & Norbäck, D. (2007). Gender and the physical and psychosocial work environments are related to indoor air symptoms. *Journal of Occupational Environment Medicine*, 49, 641-650.
- Bakó-Biró, Z., Wargocki, P., Weschler, C. J., & Fanger, P. O. (2004). Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices. *Indoor Air*, 14, 178-187.
- Bloch-Salisbury, E., Lansing R., & Shea, S. T. (2000). Acute changes in carbon dioxide levels alter the electroencephalogram without affecting cognitive function. *Psychophysiology*, 3, 418-426.
- Butala, V., & Muhic, S. (2007). Perception of air quality and the thermal environment in offices. *Indoor and Built Environment*, 16, 302-310.
- Clements-Croome, D. (2006). *Creating the productive workplace*, 2. painos. New York: Taylor & Francis.
- Crump, M. J. C., & Logan, G. D. (2010). Hierarchical control and skilled typing: Evidence for word-level control over the execution of individual keystrokes. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 1369–1380.
- Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: An analysis of existing information. *Indoor Air*, 13, 53-64.
- Das-Maal, E. A., de Jong, P. F., & Koopmans, J. R. (1993). Working memory, attentional regulation and the star counting test. *Personality and Individual Differences*, 14, 815-824.
- de Croon, E., Sluiter, J., Kuijer, P. P., & Frings-Dresen, M. (2005). The effect of office concepts on worker health and performance: A systematic review of the literature. *Ergonomics*, 48, 119-134.
- de Jonge, P., & de Jong, P. F. (1996). Working memory, intelligence and reading ability in children. *Personality and Individual Differences*, 21, 1007-1020.

- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., & Schaufeli, W. B. (2001). The job demands – resources model of burn out. *Journal of Applied Psychology, 86*, 499-512.
- Fanger, P. O. (2006). What is IAQ? *Indoor Air, 16*, 328-334.
- Fanger, P. O. (1988). Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy and Buildings, 12*, 1-6.
- Fanger, P.O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine, 30*, 313-324.
- Federspiel, C. C., Fisk, W. J., Price, P. N., Liu, G., Faulkner, D., Dibartolomeo, D. L., Sullivan, D. P., & Latiff, M. (2004). Worker productivity and ventilation rate on a call center: Analyses of work performance data for registered nurses. *Indoor Air, 14*, 41-50.
- Fisk, W. J., & Rosenfeld, A. H. (1997). Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. *Indoor Air, 7*, 158-172.
- Fisk, W. J., Price P., Faulkner, D., Sullivan, D., Dibartolomeo, D., Federspiel, C., Liu, G., & Lahiff, M. 2002. Worker productivity and ventilation rate on a call center. Analyses of time-series data for a group of workers. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Geelen, L. M., Huijbregts, M. A., Ragas, A. M., Bretveld, R. W., Jans H. W., van Doorn, W. J., Evertz, S. J., & van der Zijden, A. (2008). Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. *Indoor Air, 18*, 416-424.
- Gilhooly, K. J., Fioratou, E., Anthony, S. H., & Wynn, V. (2007). Divergent thinking: Strategies and executive involvement in generating novel uses for familiar objects. *British Journal of Psychology, 98*, 611-625.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience, 6*, 316-322.
- Griffiths, M., & Eftekhari, M. (2008). Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom. *Energy and Buildings, 40*, 556-560.
- Haapakangas, A., Kankkunen, E., Hongisto, V., Virjonen, P., Oliva, D., & Keskinen, E.

- (2011). Effects of five speech masking sounds on performance and acoustic satisfaction. Implications for open-plan offices. *Acta Acustica United with Acustica*, 97, 1-15.
- Haka, M., Haapakangas, A., Keränen, J., Hakala, J., Keskinen, E., & Hongisto, V. (2009). Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types – a laboratory experiment. *Indoor Air*, 19, 454-467.
- Han, K. H., Zhang, J. S., Wargocki, P., Knudsen, H. N., & Guo, B. (2010). Determination of material emission signatures by PTR-MS and their correlations with odor assessments by human subjects. *Indoor Air*, 20, 341-354.
- Hannon, B., & Daneman, M. (2001). A new tool for measuring and understanding individual differences in the component processes of reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 93, 103-128.
- Hansen, Å, M., Meyer, H. W., & Gyntelberg, F. (2008). Building-related symptoms and stress indicators. *Indoor Air*, 18, 440-446.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. 1988. *Development of NASA-TLX (task load index). Results of empirical and theoretical research*. Teoksessa Hancock, P. A., & Meshkati, N. (toim.) Human Mental Workload. North Holland Press, Amsterdam.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. J., & Shaughnessy, R. J. (2011). Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor Air*, 21, 121-131.
- Jahncke, H., & Halin, N. (2012). Performance, fatigue and stress in open-plan offices: The effects of noise and restoration on hearing impaired and normal hearing individuals. *Noise & Health*, 14, 260-272.
- Johansson, V. (2012). ScriptLog. *A tool for studying writing*. Saatavilla [www.muodossa:>URL: http://www.humlab.lu.se/www-transfer/education/manuals/courses/scriptlogeng.pdf](http://www.muodossa:>URL:http://www.humlab.lu.se/www-transfer/education/manuals/courses/scriptlogeng.pdf)<. 21.5.2013.
- Kaakinen, J. K., Hyönä, J., & Keenan, J. (2002). Perspective effects on online text processing. *Discourse Processes*, 33, 159-173.
- Kinnunen, U., Feldt, T., & Mauno S. 2005. *Työ leipälajina. Työhyvinvoinnin*

psykologiset perusteet. Jyväskylä: PS-kustannus.

- Kosonen, R., & Tan, F. (2004). The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. *Energy and Buildings*, 36, 981-986.
- Lahtinen, M., Huuhtanen, P., & Reijula, K. (1998). Sick building syndrome and psychosocial factors - a literature review. *Indoor Air*, 4, 71-80.
- Lahtinen, M., Huuhtanen, P., Kähkönen, E., & Reijula, K. (2002). Psychosocial dimensions of solving an indoor air problem. *Indoor Air*, 12, 33-46.
- Laine, M., & Virtanen, P. (1999). WordMill. Lexical Search Program 2.2. University of Turku, Center for Cognitive Neuroscience.
- Moroney, W. F., Biers, D. W., & Eggemeier, F. T. (1995). Some measurement and methodological considerations in the application of subjective workload measurement techniques. *The International Journal of Aviation Psychology*, 5, 87-106.
- Norback, D. (1995). Subjective indoor air quality in schools - the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compound. *Indoor Air*, 5, 237-246.
- Norback, D. (2009). An update on sick building syndrome. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 9, 55-59.
- Norback, D., Torgen M., & Edling, C. (1990). Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools. *British Journal of Indian Medicine*, 47, 733-741.
- Oldham, G. R., Kulik, C. T., & Stepina, L. P. (1991). Physical environments and employee reactions: effects of stimulus-screening skills and job complexity. *Academy of management Journal*, 34, 929-938.
- Park, J. S., & Yoon, C. H. (2011). The effects of outdoor air supply rate on work performance during 8-h work period. *Indoor Air*, 21, 284-290.
- Pejtersen, J., Allerman, L., Kristensen, T. S., & Poulsen, O. M. (2006). Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor Air*, 16, 392-401.

- Persily, A. K. (1997). Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. *ASHRAE Transactions*, 103, 1-12.
- Reijula, K., & Sundman-Digert, C. (2004). Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire. *Journal of Occupational Environment Medicine*, 61, 33-38.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1982). Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive-motor performance. *Cognitive Science*, 6, 1-36.
- Salthouse, T. A. (1986). Perceptual, cognitive, and motor aspects of transcription typing. *Psychological Bulletin*, 99, 303-319.
- Sayers, J. A., Smith, R. E., Holland R. L., & Keatinge W. R. (1987). Effects of carbon dioxide on mental performance. *Journal of Applied Physiology*, 63, 25-30.
- Schutte, M., Marks, A., Wenning, E., & Griefahn B. (2007). The development of the noise sensitivity questionnaire. *Noise Health*, 9, 15-24.
- ScriptLog. [Viitattu 21.5.2013]. Saatavilla [www-muodossa](http://www.muodossa.fi): <URL: <http://scriptlog.no>>.
- Seppänen, O. A., & Fisk, W. J. (2001). *Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Seppänen, O. A., Fisk, W. J., & Mendell, M. J. (1999). Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9, 226-252.
- Seppänen, O., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2006). Ventilation and performance in office work. *Indoor Air*, 16, 28-36.
- Smedje, G., Norback, D., & Edling, C. (1997). Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure. *Indoor Air*, 7, 143-150.
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W. W., Cain, W. S., Fisk, W. J., Grimsrud, D. T., Gyntelberg, F., Li, Y., Persily, A. K., Pickering, A. C., Pickering, J. M., Samet, J. M., Spengler, J. D., Taylor, S. T., & Weschler, C. J. (2011). Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21, 191-204.
- Säteri, J. (2008) Sisäilmastoluokitus 2008. *Sisäympäristön uudet tavoitearvot*. Espoo: Sisäilmayhdistys. [viitattu 18.2.2012]. Saatavilla [www-muodossa](http://www.muodossa.fi): <http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/kehityshankkeet/sisailmastoluokitus>

2008-esittely.pdf.

- Tanabe, S., & Nishihara, N. (2004). Productivity and fatigue. *Indoor Air*, *14*, 126-133.
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, *37*, 498-505.
- Virta, M., & Villberg, K. 2008. *Sisäympäristöongelmien ratkaiseminen: yksi näkökulma vai kokonaisuuden selvittäminen. Sisäilmastoseminaariraportti. Sisäilmastoseminaari 2008 5.3.2008. Espoo.*
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G., & Fanger, O. (1999). Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air*, *9*, 165-179.
- Wargocki, P., Bakó-Biró, Z., Clausen, G., & Fanger, O. (2002). Air quality in a simulated office environment as a result of reducing pollution sources and increasing ventilation. *Energy and Buildings*, *32*, 775-783.
- Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D. P., & Fanger, P. O. (2002). Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor Air*, *12*, 74-80.
- Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O., Gyntelberg, F., Hanssen, S. O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O., & Wouters, P. (2002). Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air*, *12*, 113-128.
- Wargocki, P., Wyon, D. P., & Fanger, O. (2000). Productivity is affected by the air quality in offices. *Proceedings of Healthy Buildings*, *1*, 635-640.
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J., Clausen, G., & Fanger, P. O. (2000). The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air*, *10*, 222-236.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors*, *50*, 433-441.
- Wyon, D. P. (2005). The effects of indoor air quality (IAQ) on performance, behaviour

and productivity. *Pollution atmosphérique, 2005*, 35-41.

Wyon, D. P. 1996. *Creative thinking as the dependent variable in six environmental experiments: A review*. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - *Indoor Air, '96, Nagoya, Japan, 1996, 1*, 419-422.

Wyon, D. P. (2004). The effects of indoor air quality on performance and productivity. *Indoor Air, 14*, 92-101.

Åhsberg, E., Gamberale, F., & Kjellberg, A. (1995). Upplevd trötthetskvalitet vid olika arbetsuppgifter. Utveckling av ett mätinstrument. *Arbete och Hälsa, 1995*, 20.

Åhsberg, E., Gamberale, F., & Gustafsson, K. (1998). Upplevd trötthet efter mentalt arbete. En experimentell utvärdering av ett mätinstrument. *Arbete och Hälsa, 1998*, 8.