

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

**Teppo Tulokas**

**Sisäilmaolosuhteiden hallinta museokohteessa**

Insinööritö 5.3.2009

Ohjaaja: projektipäällikkö Juha Åberg  
Ohjaava opettaja: yliopettaja Olli Jalonen

Tekijä Otsikko	Teppo Tulokas Sisäilmaolosuhteiden hallinta museokohteessa
Sivumäärä Aika	58 sivua 5.3.2009
Koulutusohjelma	talotekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	projektipäällikkö Juha Åberg yliopettaja Olli Jalonen
<p>Tämä talotekniikan insinöörityö tehtiin Projectus Team Oy:lle. Työssä selvitettiin mahdollisuuksia museokohteen olosuhteiden hallintaan. Työ liittyi syksyllä 2008 tehtyyn Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmaan, jossa käytettiin osaltaan hyväksi insinöörityön tuloksia.</p> <p>Tavoitteena insinöörityössä oli laatia kattava selvitys, menemättä kuitenkaan aivan pienimpiin suunnitteludetaljeihin, erilaisista mahdollisuuksista maanalaisen tai päällisen museokohteen olosuhteiden hallintaan.</p> <p>Työn lähdeaineistona käytettiin alan kirjallisuutta ja internetistä löytyneitä lähteitä. Suurin osa lähteistä oli ulkomaisia.</p> <p>Museoiden sisäilmastovaatimukset ovat hyvin erilaisia verrattuna normaalien asuin- ja toimistorakennusten vaatimuksiin. Museorakennuksissa pyritään säilyttämään ai­nutlaatuista historiallista esineistöä, jolle vääränlaiset olosuhteet voivat olla tuhoisia. Säilyäkseen museoesineet vaativat puhtaan ympäristön, jossa on oikeassa tasossa pysyvä lämpötila ja suhteellinen kosteus. Nämä olosuhteet ovat saavutettavissa ai­noastaan huolellisen suunnittelun perusteella valituilla oikeanlaisilla ja oikein käy­te­tyillä LVI-järjestelmillä.</p>	
Hakusanat	museo, jäähdytys, kostutus, kuivaus, ilmastointi, kosteus

## Helsinki Metropolia University of Applied Sciences      Abstract

Author Title	Teppo Tulokas Control of the indoor air environment in museums
Number of Pages Date	58 5 March 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Juha Åberg, Project Manager Olli Jalonen, Principal Lecturer
<p>This final year project was made for the building services engineering office Projectus Team Ltd. Different possibilities for control of the indoor air environment in museums were examined in this project. The project was a part of the project planning of the Viikki Collection and Conservation Centre in the autumn 2008.</p> <p>The object of the project was to prepare an extensive analysis of different possibilities for control of the indoor air environment in an underground or aboveground museum collection of historical artefacts.</p> <p>The work was based on references taken from building services engineering literature and Internet documents. Most of the references used were written in English.</p> <p>Environmental requirements in museums are quite different from residential or office buildings. If the environments for historical artefacts are not correctly maintained and controlled, permanent damage can result. In order to maintain suitable clean environment for historical artefacts, where temperature and relative humidity fluctuations are minimized, a carefully planned heating, ventilation and air conditioning (HVAC) system is needed.</p> <p>Some of the choices made in the project planning of the Viikki Collection and Conservation Centre were adapted from this bachelor's thesis.</p>	
Keywords	museum, cooling, humidification, dehumidification, air conditioning, humidity

## ALKUSANAT

Haluan kiittää työnantajaani Projectus Team Oy:tä haastavasta ja mielenkiintoisesta insinööriyöaiheesta, taloudellisesta tuesta ja hyvästä työympäristöstä.

Kiitokset ohjaajalleni Juha Åbergille sekä kaikille projektissa apuna olleille työkavereille avusta, kannustuksesta ja tuesta työni aikana.

Haluan kiittää myös vaimoani hänen antamastaan tuesta ja ymmärryksestä pitkän opiskelurupeamani aikana.

Kiitos teille Santeri ja Maria kun olette olemassa. Nyt isin ei enää tarvitse mennä joka aamu kouluun. Toivottavasti minulla riittää jatkossa enemmän aikaa myös teille.

Espoossa 5.3.2009

Teppo Tulokas

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

1 Johdanto .....	7
2 Materiaalien säilyvyys .....	8
2.1 Kosteus ja lämpötila .....	9
2.2 Eri materiaalityyppien ideaaliset olosuhteet .....	11
2.2.1 Orgaaniset materiaalit .....	13
2.2.2 Epäorgaaniset materiaalit .....	14
2.3 Epäpuhtaudet .....	14
2.3.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutus orgaanisiin materiaaleihin ..	15
2.3.2 Ilman epäpuhtauksien vaikutus metalleihin .....	15
3 Sisäilman olosuhteiden hallinta .....	17
3.1 Yleistä .....	17
3.2 Lämmitys .....	18
3.2.1 Prosessi .....	18
3.2.2 Eri lämmitysmenetelmien soveltuminen museokohteeseen	18
3.3 Ilman jäähdytys ja kondenssikuivaus .....	19
3.3.1 Prosessi .....	19
3.3.2 Eri jäähdytysmenetelmien soveltuminen museokohteeseen	22
3.4 Sorptiokuivaus .....	23
3.4.1 Prosessi .....	24
3.4.2 Eri kuivausmenetelmien soveltuminen museokohteeseen ..	25
3.5 Kostutus .....	26
3.5.1 Prosessi .....	26
3.5.2 Eri kostutusmenetelmien soveltuminen museokohteeseen ..	27
3.6 Ilmavirtojen sekoittaminen .....	28
3.6.1 Prosessi .....	29
3.7 Lämmön talteenotto .....	29

4 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu museoympäristöön.....	31
4.1 Yleistä .....	31
4.2 Energiataloudellisuus.....	31
4.3 Järjestelmien valinta ja mitoitus .....	35
4.3.1 Tilaajan asettamat vaatimukset .....	35
4.3.2 Säilytettävät esineet.....	35
4.3.3 Ilmanvaihtojärjestelmä .....	36
4.3.4 Suodatus .....	38
4.3.5 Jäähdytysjärjestelmä .....	40
4.3.6 Kuivaus.....	40
4.3.7 Kostutus.....	43
4.4 Järjestelmien tilantarpeet .....	44
4.4.1 Tekniset tilat.....	45
5 Yhteenveto.....	46
Lähteet.....	47
Liitteet	
Liite 1: Kostean ilman h-x (Mollier) diagrammi, -30 °C...+30 °C	51
Liite 2: Ilmavirtalaskelma, maanalainen rakennus	52
Liite 3: Ilmavirtalaskelma, maanpäällinen rakennus	55
Liite 4: Maanalaisen museokohteen ilmastointiratkaisuesimerkki	58

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan mahdollisuuksia maanalaisen kokoelma- ja konservointikeskuksen olosuhteiden hallintaan. Työ tehdään Projectus Team Oy:n alaisuudessa ja liittyy syksyllä 2008 tehtyyn Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmaan. Työssä kerrotaan esimerkkejä hankesuunnitelman aikana kohteeseen tehdyistä ratkaisuksista, mutta itse pohjakuvia työn liitteenä ei esitetä johtuen kohteessa mahdollisesti myöhemmin säilytettävästä materiaalista, jonka sijaintia ei haluta saattaa yleiseen tietoon.

Museoiden ja historiallisten esineiden säilytyspaikkojen suunnittelussa tarvitaan erityistä tarkkuutta, koska vaadittavia olosuhteita on useita erilaisia. Kunkin esineen vaatimat olosuhteet riippuvat mm. materiaalista, aikaisemmista säilytysolosuhteista, aikaisemmasta käytöstä ja tehdyistä konservointitoimenpiteistä. Päällimmäisenä ongelmana esineiden säilyttämisessä on se, että mikään ei kestä ikuisesti. Olosuhteiden hallinnalla ei pyritäkään estämään esineiden ikääntymistä, vaan löytämään eräänlainen kompromissi olosuhteissa, jotta esineiden rappeutuminen olisi mahdollisimman hidasta ja olosuhteiden hallinta olisi kuitenkin mahdollisimman kustannustehokasta. (1, s. 14.)

Olosuhteiden jatkuva vaihtuminen voi olla museoesineille erittäin haitallista. Olosuhteet tulisi pitää mahdollisimman tasaisina, jotta esineet pystyisivät sopeutumaan vallitseviin olosuhteisiin ja näin rappeutuminen hidastuisi. LVI-teknisin toimenpitein pystytään vaikuttamaan säilytystilojen kosteuteen ja lämpötilaan.

Säilytettävän kulttuuriesineistön määrä kasvaa jatkuvasti, ja tästä syystä uusia museoita ja esineiden konservointikeskuksia tullaan jatkossa rakentamaan kasvavassa määrin. (2, takakansi) Tämä asettaa haasteita myös museorakennusten suunnittelulle, koska kokeneita suunnittelijoita ei ole tarpeeksi. Tämän insinööriyön tarkoituksena on valottaa museorakennuksen suunnittelua olosuhteiden kannalta ja ohjata suunnittelijoita oikeiden lähteiden äärelle.

## 2 Materiaalien säilyvyys

Museoissa säilytettävät esineet ovat materiaaliltaan joko orgaanisia tai epäorgaanisia. Taulukossa 1 on esitetty eri materiaalityypit jaoteltuina orgaanisiin ja epäorgaanisiin materiaaleihin. (2, s. 128.)

*Taulukko 1: Materiaalityypit*

<b>Orgaaniset materiaalit</b>	<b>Epäorgaaniset materiaalit</b>
Puu ja kuidut	Keraamiset
Paperi	Lasi
Tekstiilit	Kivet
Kumit	Mineraalit
Luut	Metallit
Turkit	Komposiitit (esim. metalli-kivi)
Sulat	
Nahka	
Muovit	
Kasvit	
Eläimet	

Kuten taulukosta 1 näkyy, museoesineet voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, orgaanisiin ja epäorgaanisiin. Orgaaniset materiaalit reagoivat hyvin helposti ympäristön olosuhteisiin ja niissä tapahtuviin muutoksiin, kun taas epäorgaaniset materiaalit (lasi, keramiikka, kivet ja jotkut metallit, jos ne eivät sisällä suoloja) ovat usein hyvinkin stabiileja.

Ympäristölle alttiit materiaalit vaativat stabiileja materiaaleja enemmän huolenpitoa. Kaikkien materiaallinen rappeutuminen jatkuu vaikka olosuhteet olisivatkin oikeanlaiset. Yleensä kuitenkin oikeanlaisilla konservointitoimenpiteillä ja olosuhteiden hallinnalla pystytään esineiden elinikää pidentämään huomattavasti. (1, s. 15.)



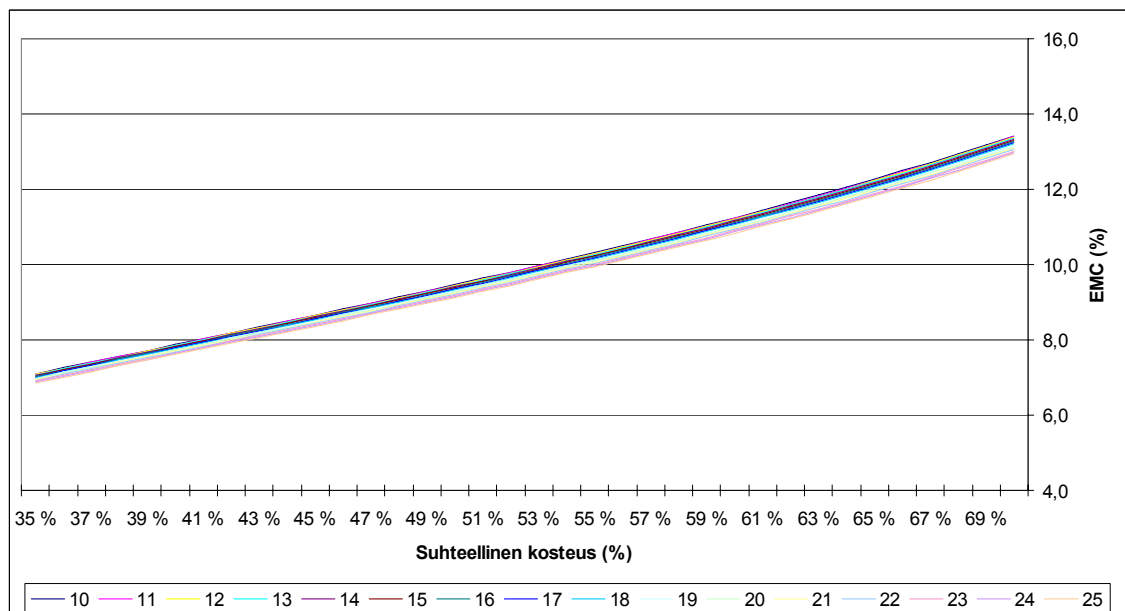
## 2.1 Kosteus ja lämpötila

Ilman kosteudella tarkoitetaan joko absoluuttista tai suhteellista kosteutta. Ilman absoluuttinen kosteus ilmoittaa veden absoluuttisen määrän tietyssä massa-yksikössä ilmaa. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan mitatun absoluuttisen vesisisällön ja sellaisen absoluuttisen vesisisällön, jossa ilma olisi samassa lämpötilassa täysin vesihöyryllä kylläinen, suhteena prosentteina.

Museoesineille suhteellisella kosteudella on suurempi merkitys kuin ilman absoluuttisella vesisisällöllä. Suhteellinen kosteus aiheuttaa kolmenlaista rappeutumista museoesineistössä (3, s. 83):

- fyysisiä muutoksia koossa ja muodossa
- kemiallisia reaktioita (esim. ruostuminen)
- biologista (mm. home)

Kuva 1 selventää suhteellisen kosteuden merkitystä absoluuttista kosteutta enemmän.



Kuva 1. Puun sisältämä vesimäärä tasapainotilassa suhteellisen kosteuden ollessa 35–70 % ja lämpötilan ollessa 10–25 °C.

Kuvassa 1 havaitaan puun itseensä sitoman vesimäärän pysyvän lähes vakiona riippumatta lämpötilasta, kunhan suhteellinen kosteus pidetään vakiona.

Esimerkiksi lämpötilan vaihdellessa välillä 10–25 °C ja suhteellisen kosteuden pysyessä 55 %:ssa vaihtelee ilman absoluuttinen kosteus välillä 0,0042–0,0109 kg vettä/kg(k.i.), mutta puun vesisisältö pysyy lähes muuttumattomana.

EMC (Equilibrium Moisture Content) kuvaa materiaalin sisältämää prosentuaalista vesimäärää tasapainotilassa. Kuva 1 kuvaa ”normaalin puun” vesimäärää, mutta tulokset käyvät soveltaen myös muille orgaanisille materiaaleille. Leskelmat on tehty allaolevalla kaavalla. (4; 5; 6)

$$M = \frac{1800}{W} \times \left( \frac{K \times H}{1 - (K \times H)} + \frac{(K_1 \times K \times H + 2 \times K_1 \times K_2 \times K^2 \times H^2)}{(1 + K_1 \times K \times H + K_1 \times K_2 \times K^2 \times H^2)} \right) \quad [1]$$

Jossa

M = kosteussisältö, EMC (%)

W = 330 + 0.452T + 0.00415T<sup>2</sup>

T = lämpötila (°F), [°C = (°F - 32) / 1,8]

H = suhteellinen kosteus (%)

W = 330 + 0.452T + 0.00415T<sup>2</sup>

K = 0.791 + 0.000463T - 0.000000844T<sup>2</sup>

K<sub>1</sub> = 6.34 + 0.000775T - 0.0000935T<sup>2</sup>

K<sub>2</sub> = 1.09 + 0.0284T - 0.0000904T<sup>2</sup>

Lämmityksellä pystytään muuttamaan ilman suhteellista kosteutta, mutta absoluuttinen kosteus säilyy muuttumattomana. Perinteisissä varastosuojissa, joissa ilman lämpötilalle ei ole asetettu erityisiä vaatimuksia, pyritään kosteus pitämään kesäisin asetusarvossaan pääsääntöisesti lämmittämällä. Tällöin varastosuojien lämpötila pyritään pitämään 7-12°C ulkoilmaa lämpimämpänä. Tällöin ulkoilman tilan ollessa esim. 18 °C / 80 %RH on sisäilman tila 25–30 °C / 42–55 %RH. (7, s. 17–18) Museokohteissa, joissa usein on asetettu myös sisäilman lämpötilalle ja sen vaihteluvälille vaatimuksia, ei kosteuden hallinta pelkästään lämmityksellä onnistu.

## 2.2 Eri materiaalityyppien ideaaliset olosuhteet

Ideaalisilla olosuhteilla pyritään yleensä esineiden parhaaseen mahdolliseen säilyvyyteen pitäen kuitenkin kustannukset kurissa. Jos samassa kokoelmatilassa säilytetään useita erityyppisiä esineitä, käytetään ohjeellisenä lämpötilana 19 °C:ta ja suhteellisenä kosteutena 50 %:a. Ohjeen mukaiset olosuhteet toimivat suhteellisen hyvin orgaanisille materiaaleille, mutta joillekin metalliesineille ja mineraaleille 50 %:n suhteellinen kosteus saattaa olla liikaa. (1, s. 15; 8.)

Johtuen eri materiaalityyppien erilaisista olosuhdevaatimuksista, on kokoelmatilat syytä jaotella materiaalityypeittäin. Näin voidaan eri tiloihin tuottaa eri olosuhteet.

Museoympäristön olosuhteille ei ole yleisesti hyväksytyjä standardeja. Kanadan konservaatioinstituutti (CCI) ja ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) tutkivat vuonna 1995 museoympäristöjä ja päätyivät taulukon 2 mukaiseen viisiportaiseen olosuhteiden luokittelujärjestelmään. (8)

*Taulukko 2. Museorakennusten olosuhdeluokittelu (8)*

Luokka	Kuvaus	Vaatimukset
<b>AA</b>	Ei mekaanisen vaurion riskiä suurimmalle osalle* esineitä ja tauluja  *Jotkut metallit ja mineraalit saattavat rappeutua suhteellisen kosteuden ylittäessä 50 %.	±5 %RH, ±2 °C lyhytaik, ei muutosta suhteellisessa kosteudessa vuodenaikojen mukaan, lämpötilaa voidaan nostaa/laskea 5 °C vuodenaikojen mukaan.
<b>A</b>	Pieni riski mekaanisille vaurioille kaikkein herkimmille esineille. Ei riskiä suurimmalle osalle esineitä, tauluja valokuvia ja kirjoja.	±10 %RH, ±2 °C lyhytaik, ei muutosta suhteellisessa kosteudessa vuodenaikojen mukaan, lämpötilaa voidaan nostaa 5 °C / laskea 10 °C vuodenaikojen mukaan <b>tai</b> ±5 %RH, ±2 °C lyhytaik, vuodenaikojen mukaan suhteellista kosteutta voidaan muuttaa ±10 %, lämpötilaa voidaan nostaa 5 °C / laskea 10 °C vuodenaikojen mukaan.
<b>B</b>	Vuodenaikojen mukaan auki olevat museot.	Kuten A, mutta lämpötilan laskua ei ole talvisaikaan rajoitettu
<b>C</b>	Valtaosa historiallisista rakennuksista saavuttaa tämän tason	Ympärivuotinen suhteellinen kosteus 25 %–75 %, lämpötila ei saa ylittää 30 °C kesällä.
<b>D</b>	-	Suhteellinen kosteus ei saa ylittää 75 %:a.

Taulukon 2 mukaisiin olosuhteisiin AA–B vaaditaan LVI-järjestelmiltä eikolaitteistoa (mm. kostutus, kuivaus). Luokat C ja D ovat saavutettavissa tavanomaisella laitteistolla tai jopa ilman koneellista ilmanvaihtoa.

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksessa erilaisia vaadittuja sisäilmaolosuhteita on 7. Taulukossa 3 on esitetty ko. olosuhteiden vaatimukset sekä niiden luokittelu taulukon 2 asteikon mukaan.

*Taulukko 3. Viikin Konservointikeskuksen olosuhteet*

Olosuhde	Säilytettävät esineet	Vaatimukset	Luokka (AA-D)
O1	- (Toimisto/muu normaali)	-	-
O2	Lastaustila	45±10 % / 20±2 °C	A
O3	Esinesäil. (veist., installaatiot)	40±5 % / 20±2 °C	AA
O4	Maalaukset+graf+valokuvat	50±5 % / 20±2 °C	AA
O5	Metalliesineet	30±5 % tai 35±5 % / 20±2 °C	AA
O6	Arkistomateriaali, tekstiilit	50±5 % / 18±2 °C	AA
O7	Ajoneuvot	40±15 % / 19±3 °C, kuivaus, ei kostutusta	A...C

Taulukosta 3 nähdään taulukon 2 mukaisen luokittelujärjestelmän puutteet. Pelkkä luokan ilmoittaminen vaatimukseksi ei riitä, vaan eri esineiden säilyttämiseksi halutut lämpötilan ja suhteellisen kosteuden asetusarvot on myös ilmoitettava.

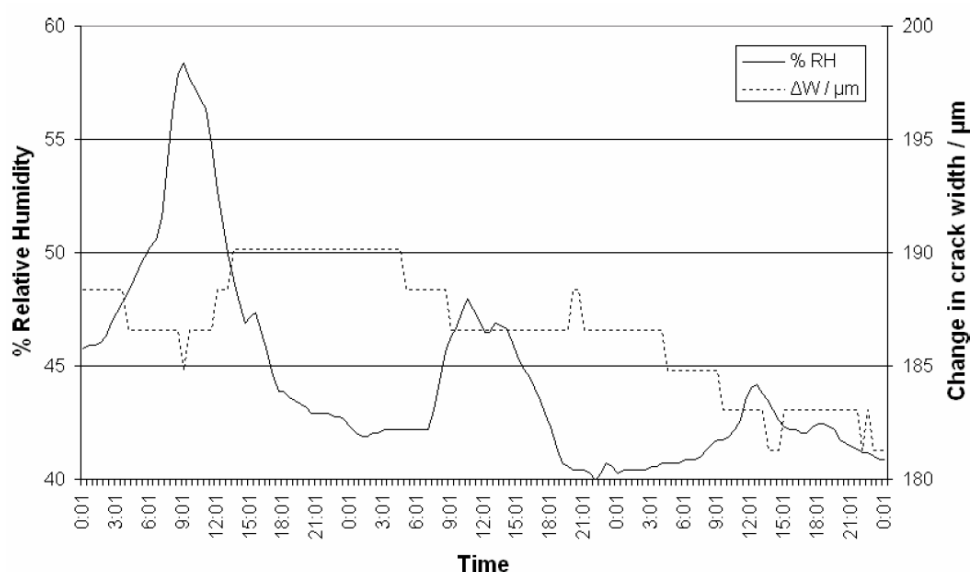
Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen lähes kaikki tilat ovat luokkaa AA tai A. Ajoneuvohallin, jossa vaadittuna sisäilman tilana on taulukko 3:n mukainen olosuhde O7, vaatimuksissa havaitaan kustannusten vaikutus haluttuihin olosuhteisiin. Vaikka säilytettävät ajoneuvot ovat suurelta osin metalliesineitä, ei koko ajoneuvohallia haluta pitää esimerkiksi olosuhteessa O5 siitä aiheutuvien suurten kustannusten vuoksi.

## 2.2.1 Orgaaniset materiaalit

Orgaanisille materiaaleille oikean olosuhteen löytymisessä tulee määrittää turvallisen alueen ylä- ja alaraja ja tämän jälkeen määrittää tältä alueelta turvallinen suhteellisen kosteuden taso. Suhteellisen kosteuden ylittäessä 70 % riski homekasvustojen esiintymiselle lisääntyy. Yleisenä turvallisena suhteellisen kosteuden ylärajana orgaanisille materiaaleille pidetään 65 %.

Turvallisen alueen alarajan määrittää orgaanisten materiaalien halkeaminen, kuitujen rikkoutuminen ja haurastuminen. Suhteellisen kosteuden alittaessa 40 % kasvaa paperin ja nahkan haurastumistodennäköisyys. Tätä pidetään turvallisen alueen alarajana.

Orgaanisille materiaaleille yleisenä turvallisena kosteustasona pidetään 55 %:n suhteellista kosteutta. (2, s. 86–87) Olosuhteiden liikkumavarat valitaan halutusta luokasta (taulukko 2). Liian suuret liukumamat olosuhteissa, vaikka olosuhteet olisivatkin muuten oikeanlaiset, aiheuttavat orgaanisiin esineisiin halkeamia. Muutokset ovat kuitenkin hitaita, ja tästä syystä esimerkiksi sähkökatkokset tai laitteiden toimintahäiriöt eivät ehdi lyhyessä ajassa tekemään suurta vahinkoa (kuva 2). (9)



Kuva 2. Suhteellisen kosteuden äkilliset piikit eivät ehdi vaikuttaa puun halkeaman kasvunopeuteen (9).

## 2.2.2 Epäorgaaniset materiaalit

Epäorgaaniset materiaalit jaetaan metalleihin ja erilaisiin mineraaleihin. Mineraaleille (mm. kivet) ulkopuolisena riskinä on kuluminen ja lämpötilan muutosten aiheuttamat halkeamat ja muodonmuutokset. Verrattuna orgaanisiin materiaaleihin mineraalit ovat hyvin stabiileja, eivätkä ne tarvitse yhtä valvottuja olosuhteita.

Metallit ovat hyvin herkkiä ympäristön kosteusolosuhteiden kasvamiseen. Korroosio on sähkökemiallinen ilmiö, jonka aiheuttaa metallipinnoilla oleva kosteus. Teräksen korroosio alkaa ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 40 %. Kuitenkin ilman suhteellisen kosteuden ollessa 40–60 % välillä korroosion etenemisnopeus pysyy pienenä. Kun ilman suhteellinen kosteus on 80 %, on korroosionopeus jo 90-kertainen verrattuna suhteelliseen kosteuteen 50 %. Korroosionopeutta kasvattaa myös ilman epäpuhtaudet (ks. luku 2.3), mutta ilman epäpuhtauksia eivät saa korroosiota alkamaan, jos kosteus on alhainen. (7, s. 13–14.)

## 2.3 Epäpuhtaudet

Ilman epäpuhtaudet ovat yleisiä nykyajan kaupungeissa ja teollisuusalueilla, ja ne ovat lähtöisin lähes pelkästään polttoaineiden poltosta. Näitä epäpuhtauksia syntyy mm. liikenteessä ja voimalaitoksissa.

Epäpuhtaudet esiintyvät joko partikkeleina tai kaasumaisina. Partikkelit, joiden läpimitta on yli 15–20  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 1/1000 mm) ovat niin isoja, että ne tippuvat lähelle lähdeään. Tätä pienemmät partikkelit ja kaasumaiset epäpuhtaudet voivat leijaila ilmassa pitkiäkin aikoja ja ovat näin kaikkein haitallisimpia. Pienimmät partikkelit ja kaasumaiset epäpuhtaudet ovat myös kaikkein vaikeimpia suodattaa. (3, s. 130-132.)

Typen oksideja on useita erilaisia, mutta ne hajoavat hyvin nopeasti ilmassa yksinkertaisempaan muotoon (NO, N<sub>2</sub>O tai NO<sub>2</sub>). Näistä yksinkertaisemmista muodoista N<sub>2</sub>O (typpioksiduuli I. ilokaasu) ja NO (typpioksidi) eivät ole niin reaktiivisia, että niistä olisi haittaa museoesineistölle. Typpidioksidi NO<sub>2</sub> sen sijaan reagoi veden kanssa muodostaen typpihappoa, joka ruostuttaa metalleja, hajottaa selluloosaa ja haurastuttaa ja syövyttää kalkkipitoisia materiaaleja. (3, s. 151–152.)

### **2.3.1 Ilman epäpuhtauksien vaikutus orgaanisiin materiaaleihin**

Orgaanisille materiaaleille kaasumaiset epäpuhtaudet (mm. otsoni ja typpidioksidi) ovat kaikkein haitallisimpia. Typpidioksidi on nestemäistä alle 21,2 °C:n lämpötilassa, ja sen takia sitä esiintyy ilmassa kaasumaisena Suomen oloissa hyvin harvoin.

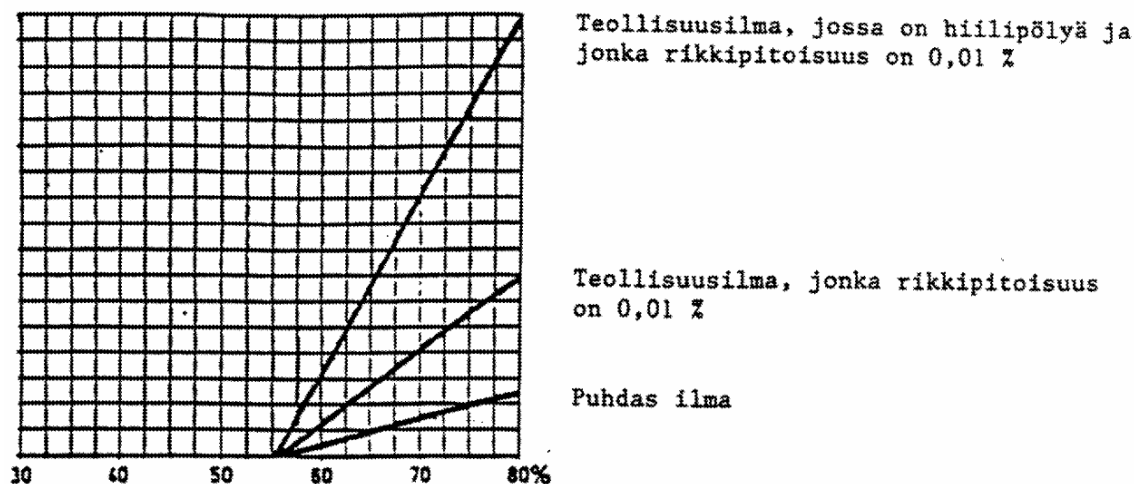
Suuret partikkeleina olevat epäpuhtaudet likaavat esineitä ja lisäävät tarvetta riskialttiiseen mekaaniseen puhdistukseen. Partikkeleina olevat epäpuhtaudet voivat happamina tai emäksisinä (mm. betonipöly) aiheuttaa syöpymiä kosteuden kanssa reagoidessaan.

Otsoni on erittäin tuhoisaa orgaanisille materiaaleille. Otsoni tuhoaa hiiliketjujen kaksoissidokset, joka aiheuttaa mm. kumiin halkeamia, jotka aiheuttavat kuminauhan katkeamisen venytettäessä. Otsoni toimii kumin lisäksi erittäin tehokkaana hapettimena lähes kaikille orgaanisille materiaaleille. (3, s. 150–151.)

### **2.3.2 Ilman epäpuhtauksien vaikutus metalleihin**

Epäpuhtauksien vaikutus metallien säilyvyyteen ei ole niin suuri kuin yleisesti luullaan. Yleinen käsitys on, että ilman epäpuhtaudet saavat teräksen ruostumaan. Tosiasiassa korroosiota ei voi syntyä ilman kosteutta. Ilman

epäpuhtaudet lisäävät korroosionopeutta, mutta suhteellinen kosteus aiheuttaa korroosion alkamisen. Kuvassa 3 on esitetty ilman epäpuhtauksien vaikutus korroosionopeuteen.



Kuva 3. Ilman epäpuhtauksien vaikutus korroosionopeuteen. X-akselilla ilman suhteellinen kosteus ja Y-akselilla korroosionopeus, joka kasvaa ylöspäin. (7, s. 13–14)

Kuvasta 3 huomataan korroosion alkavan aina samalta suhteellisen kosteuden tasolta riippumatta ympäristön epäpuhtauksista. Tämän jälkeen korroosio on nopeampaa likaisemmassa ympäristössä kuin puhtaassa.

Vaikka ilman epäpuhtauksilla ei olekaan suoranaista vaikutusta metallien ruostumisen alkamiseen tulee museoissa kiinnittää huomiota oikeanlaiseen ilman suodatukseen. Mahdollisen sähkökatkoksen tai virhetilanteen aikana kosteustaso voi hetkellisesti nousta museokohteessakin yllättävän suureksi. (ks. kuva 2 s. 13) Jos tällaisessa tilanteessa ilma on epäpuhdasta, voi jo lyhyessä ajassa tapahtua pysyviä vahinkoja korroosionopeuden ollessa suurempi.



## 3 Sisäilman olosuhteiden hallinta

### 3.1 Yleistä

Museo-olosuhteiden hallinta on Suomen olosuhteissa erittäin haasteellista. Kesäisin lämpötila ja kosteus nousevat korkeaksi, jolloin tiloihin tuotavaa ilmaa on samanaikaisesti jäähdytettävä, kuivattava (joko kondensoimalla tai sorptioimalla) ja edelleen jäähdytyksen jälkeen lämmitettävä. Talvisin lämpötila ja ilman kosteussisältö laskevat erittäin matalaksi, jolloin ilmaa on lämmitettävä ja kostutettava oikeiden olosuhteiden varmistamiseksi.

Ilmastoinnin perusprosesseja ovat (10, s. 185):

- Lämmitys
- Jäähdytys
  - ilmavirtaa jäähdyttävän pinnan lämpötila on alhaisempi kuin ilmavirran kastepiste (märkäjäähdytys)
  - ilmavirtaa jäähdyttävän pinnan lämpötila on suurempi kuin ilmavirran kastepiste (kuivajäähdytys)
- Kuivaus (joko kuiva-aineilla tai jäähdyttämällä)
- Kostutus
- Sekoitus
- Lämmön talteenotto.

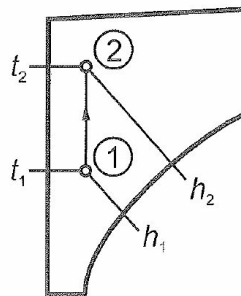
Tässä työssä käsitellään yleisimpiä museokohteen sisäilman hallinnan kannalta tärkeitä menetelmiä Mollier-diagrammin (liite 1) avulla.

## 3.2 Lämmitys

Ilmaa lämmitetään yleisimmin lamellipattereilla, jossa lämmittävänä aineena kiertää vesi. Myös höyry- tai sähköpatteria voidaan käyttää. Lämmityksessä ilman absoluuttinen kosteus pysyy muuttumattomana, mutta suhteellinen kosteus laskee. Mollier-piirustuksessa liikutaan vakio kosteussuoraa pitkin ylöspäin.

### 3.2.1 Prosessi

Lämmityksessä ilman kosteussisältö ei muutu, joten prosessi on pystysuora (10, s. 193).



Kuva 4. Ilman lämmitys Mollier-piirroksessa (11, s. 91)

### 3.2.2 Eri lämmitysmenetelmien soveltuminen museokohteeseen

Museokohteissa lämmitys hoidetaan yleisimmin ilmalla sen tuottamien tasaisten lämpötilaolojen vuoksi. Tilojen peruslämpöä voidaan ylläpitää myös pattereilla tai lattialämmityksellä, mutta ilmalämmitystä käytetään usein siitä syystä, että ilmamäärien täytyy muutenkin olla suuret pidettävien lämpötilaosuhteiden vuoksi ja ilmavirta on näin ollen riittävän suuri tilojen lämmittämiseksi.

### 3.3 Ilman jäähdytys ja kondenssikuivaus

Jäähdytyksessä pyritään laskemaan ilman lämpötilaa. Ilman jäähdytys voidaan toteuttaa joko evaporatiivisena, suorahöyrystyspatterilla tai patterilla, jossa virtaa jäähdyttävä väliaine.

Jäähdytettäessä ilmaa suorahöyrystyspatterilla pysyy patterin pintalämpötila lähes vakiona. Patterin pintalämpötila muuttuu ilmavirran mukana jos patterissa virtaa jäähdyttävä väliaine. Evaporatiivinen jäähdytys perustuu veden haihduttamiseen. (12, s. 255; 13)

#### 3.3.1 Prosessi

Jäähdytyspatterilla tapahtuvassa jäähdytyksessä ilma johdetaan jäähdytettyjen pintojen läpi. Jos jäähdytyspatterissa ei tapahdu kosteuden tiivistymistä, on prosessi pystysuora kuten lämmitysprosessissakin, mutta vastakkaissuuntainen (ks. kuva 4).

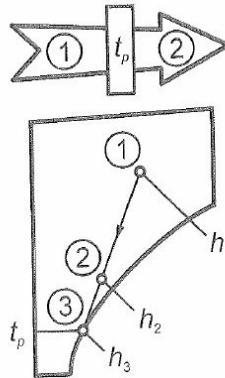
Märkjäähdytyksessä jäähdytyspatterin pinnalle tiivistyy kosteutta jäähdytysprosessin aikana. Prosessisuora liikkuu kyllästymiskäyrällä kohti keskimääräistä jäähdyttävän pinnan lämpötilaa. Ilman lopputila jää tässä prosessissa jäähdytyspatterilla noin 1 °C ja suorahöyrystyspatterilla noin 3 °C tätä keskimääräistä lämpötilaa korkeammaksi. Tässä prosessissa ilman absoluuttinen vesisisältö muuttuu.

Energiatehokkaan kondensoivasta jäähdytyksestä kuivaukseen käytettäessä tekee se, että jälkilämmitystarve on hyvin pieni ja sekin on katettavissa haluttaessa kokonaan jäähdytyksen lauhdelämmöllä. (Kondensoivan ja sorptiokuivauksen vertailu on luvussa 3.4.2.)

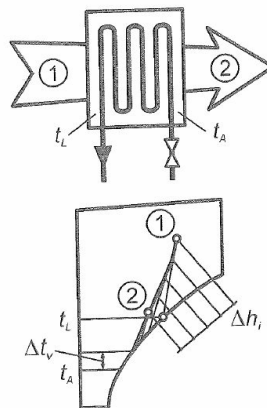
Prosessisuora (kuvat 5 ja 6) on erilainen riippuen siitä, pysyykö patterin pintalämpötila vakiona vai muuttuuko se ilman jäähdytyksen aikana.

Suorahöyrystyspatterilla ilmaa jäähdytettäessä patterin pintalämpötila ei pysy

täysin vakiona vaan muuttuu hieman ilmavirran mukana. Käytännön laskuissa tämä pieni muutos jätetään usein huomiotta. (11, s.92)



Kuva 5. Jäähdytysprosessi Mollier-piirroksessa jäähdytyspatterin pintalämpötilan pysyessä vakiona (11, s.92).

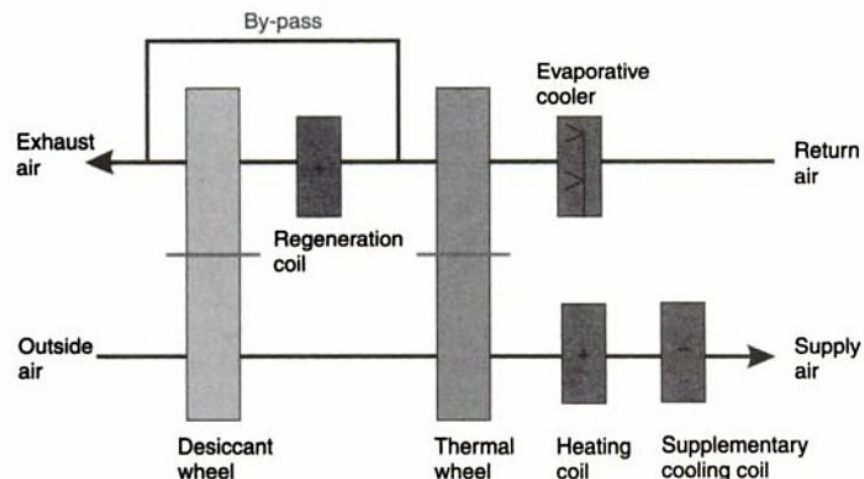


Kuva 6. Jäähdytysprosessi Mollier-piirroksessa jäähdytyspatterin pintalämpötilan muuttuessa ilmavirran mukana (11, s.92).

Evaporatiivinen jäähdytys eroaa perinteisistä jäähdytysmenetelmistä siinä, että siinä ei käytetä perinteisiä kylmäaineita ollenkaan. Jäähdytys perustuu siihen, että lämmin ilmavirta virtaa märän kennoston läpi. Lämpimän ilman lämpö siirtyy veteen, joka haihtuu ja siirtää kosteutensa virtaavaan ilmaan. Näin ilman lämpösisältö pysyy muuttumattomana (vrt. luku 3.5 Kostutus), mutta kosteussisältö muuttuu ja lämpötila laskee. (13) Evaporatiivisen jäähdytyksen prosessisuora on samanlainen haihdutuskostutusprosessin kanssa (ks. kuva 11).

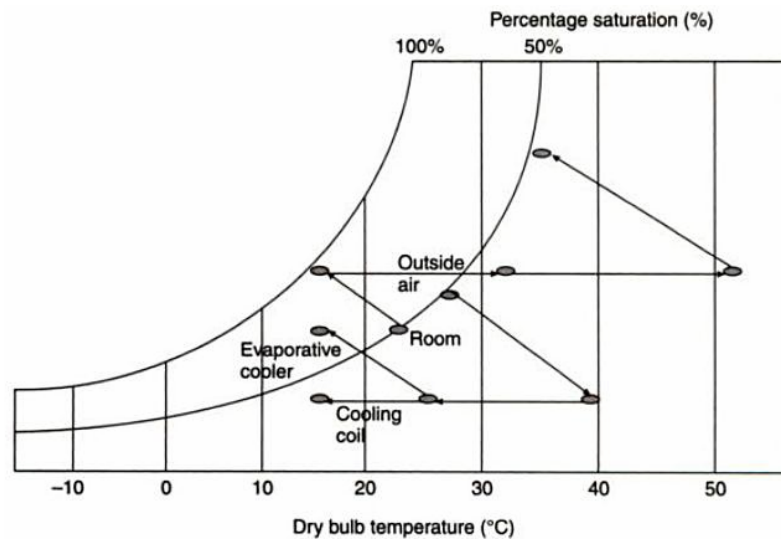
Evaporatiivinen jäähdytys soveltuu hyvin käytettäväksi alueilla, joissa ulkoilma on luonnostaan kuumaa ja kuivaa. Suomen oloissa yksittäisenä jäähdytysprosessina evaporatiivinen jäähdytys ei yleensä toimi, sillä tuloksena on (Helsingin) kesän mitoitusolosuhteissa vain 4–5 °C ulkoilmaa viileämpää ilmaa, jonka suhteellinen kosteus on erittäin korkea (RH 90–98 %). Laittamalla kostutuskennon poistoilmapuolelle ja lisäämällä kennoston jälkeen LTO-roottori (ks. luku 3.7 Lämmön talteenotto) ja kuivausroottori (ks. luku 3.4 Kuivaus), saadaan evaporatiivisesta jäähdytyksestä suhteellisen tehokas ja energiaa säästävä jäähdytysmuoto. Tulevaisuudessa evaporatiivisen jäähdytyksen käytön odotetaan kasvavan voimakkaasti energian käydessä entistä kalliimmaksi.

Kuvassa 7 on esitetty evaporatiivisen jäähdytyksen prosessi silloin, kun prosessiin on liitetty kuivausroottori ja LTO-roottori. Ylimääräistä jäähdytyspatteria (tulo puolella viimeisenä) ei tarvita, jos kohteessa ei vaadita kosteudenhallintaa. Jälkilämmitys- ja jäähdytyspatterit voidaan asentaa myös päinvastaiseen järjestykseen. (14, s. 215–216.)



*Kuva 7. Tyypillinen evaporatiiviseen jäähdytykseen perustuva ilmastointikone, jossa LTO-roottori ja kuivausroottori haihdutuskostuttimen jälkeen (14, s. 216).*

Kuvassa 8 on esitetty kuvan 7 mukaiseen evaporatiiviseen jäähdytykseen perustuvan ilmastoinnin prosessi.



Kuva 8. Evaporatiiviseen jäähdytykseen perustuvan ilmastoinnin prosessi (14, s. 216).

### 3.3.2 Eri jäähdytysmenetelmien soveltuminen museokohteeseen

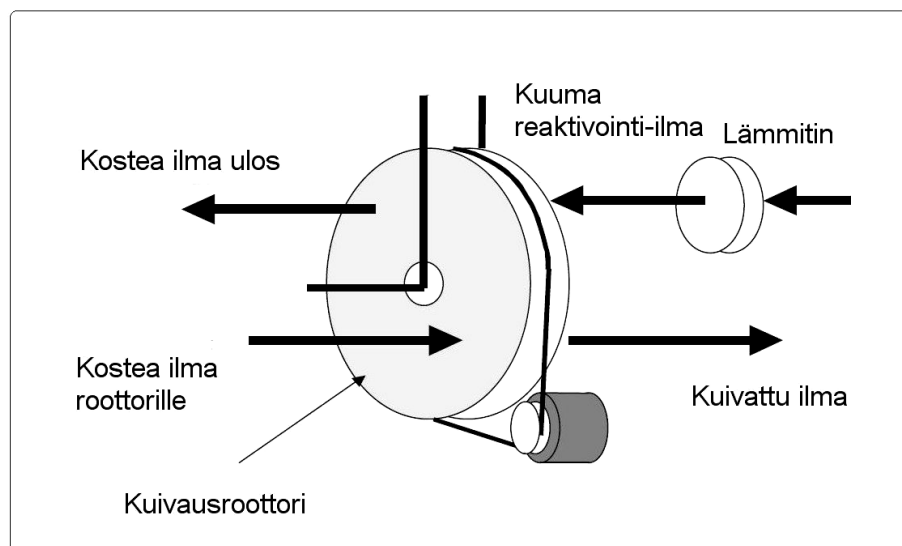
Perinteinen kylmäaineilla toteutettu jäähdytys on vahvoilla museoympäristössä, koska jäähdytyksellä voidaan myös kuivata tuloilmaa. Evaporatiivinen jäähdytys yksittäisenä prosessina ei sovellu museoympäristöön sen aiheuttaman suuren kosteuskuorman vuoksi. (15) Evaporatiivista jäähdytystä voidaan kuitenkin käyttää museoympäristössä, jos sen käyttöön yhdistetään muunlaisia kuivausmenetelmiä. Järjestelmät tulee kuitenkin tässä tapauksessa mitoittaa erityisellä tarkkuudella, jotta kosteus museotiloissa ei pääse nousemaan liian suureksi myöskään mahdollisten häiriötilanteiden aikana.

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmassa päädyimme perinteisten jäähdytys- ja kuivausmenetelmien käyttöön, koska muiden järjestelmien käytöstä museoympäristössä ei ole vielä ainakaan Suomen olosuhteissa tarpeeksi kokemuksia. Laitetoimittajalla ei olisi toimittaa evaporatiiviseen jäähdytykseen perustuvia ilmastointikoneita alle  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  koossa, mikä sulki kyseiset laitteet tässä suunnitteluvaiheessa pois. Mikäli kohde toteutuu, tulisi evaporatiivisen jäähdytysvaihdon käyttöä tarkastella jatkosuunnittelussa uudelleen energiataloudellisista syistä.

### 3.4 Sorptiokuivaus

Ilmankuivaajalla tapahtuvan kuivaamisen päämääränä on pienentää sisäilman vesisisältöä. Ilman kuivaaminen tapahtuu joko kosteutta tiivistämällä eli kondensoimalla (ks. luku 3.3) tai kosteutta kuiva-aineisiin sitomalla (sorptioimalla). (7, s. 19.) Molempiin kuivaustapoihin tarvitaan paljon energiaa ja siten kuivaus on yksi eniten energiaa kuluttavista ilmastointiprosesseista.

Sorptiota käytettäessä itse kuivaukseen ei tarvita energiaa, mutta kuiva-aineet eivät pysty sitomaan itseensä loputtomasti kosteutta. Kosteuden poistoon kuiva-aineista käytetään yleisimmin kuivausroottoria, jossa kostea ja mahdollisesti esijäähdytetty ilma tuodaan hitaasti pyörivälle roottorille. Roottorin kuiva-aine elvytetään lämmittämällä roottorille tuleva ilma ja puhaltamalla kostea kuuma ilma ulos. Prosessi lämmittää myös kuivattua tuloilmaa usealla kymmenellä asteella, joten ilmaa pitää vielä jäähdyttää ennen kuin se voidaan laskea huonetiloihin. (14, s. 214–215.)



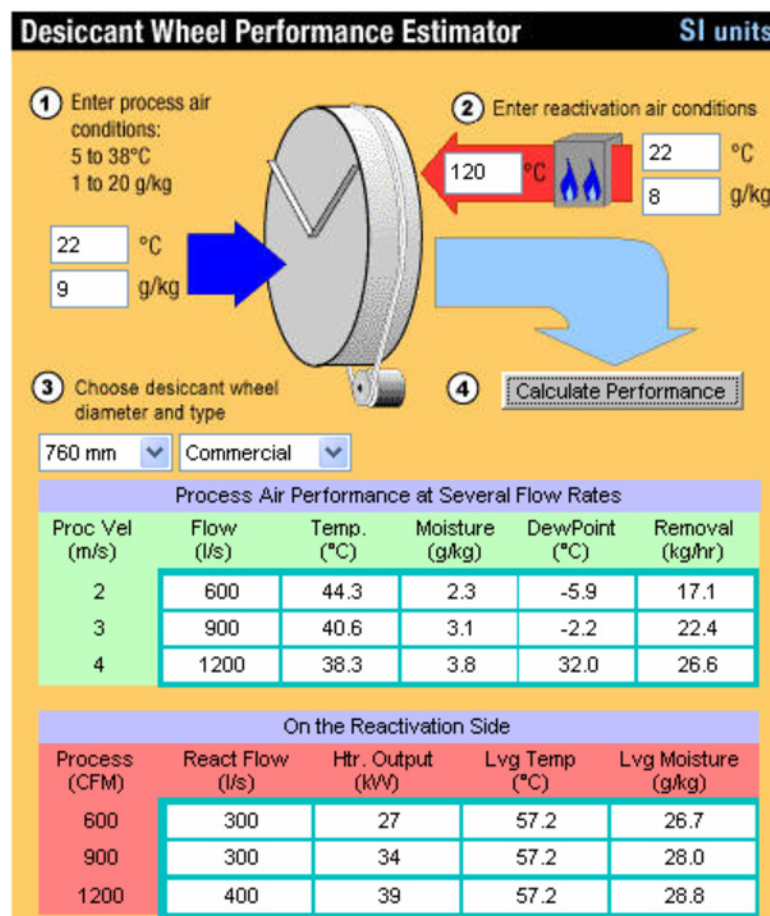
Kuva 9. Kuivausroottorin toimintaperiaate (16, s. 7).

Kuiva-aineilla voidaan kuivattaa ilmaa myös passiivisesti. Tällöin kuiva-aine tulee sijoittaa ilmatiiviiseen astiaan tai vitriiniin. Kuiva-aine sisällyttää itseensä kyseisessä lämpötilassa maksimimäärän kosteutta, ja olosuhteet kyseisessä suljetussa tilassa vakiintuvat ajan myötä, jos lämpötilaolosuhteet pysyvät

muuttumattomina. Koska tällaisella kuivausmenetelmällä vitriinin tai säilytysastian ilman kosteus laskee hyvin alhaiseksi eikä vakiintuneita olosuhteita pystytä riittävän tarkasti määrittämään etukäteen, soveltuu se esineille, jotka kestävät hyvin kuivuutta eivätkä vaadi tarkkaan määrättyjä kosteusolosuhteita. (17)

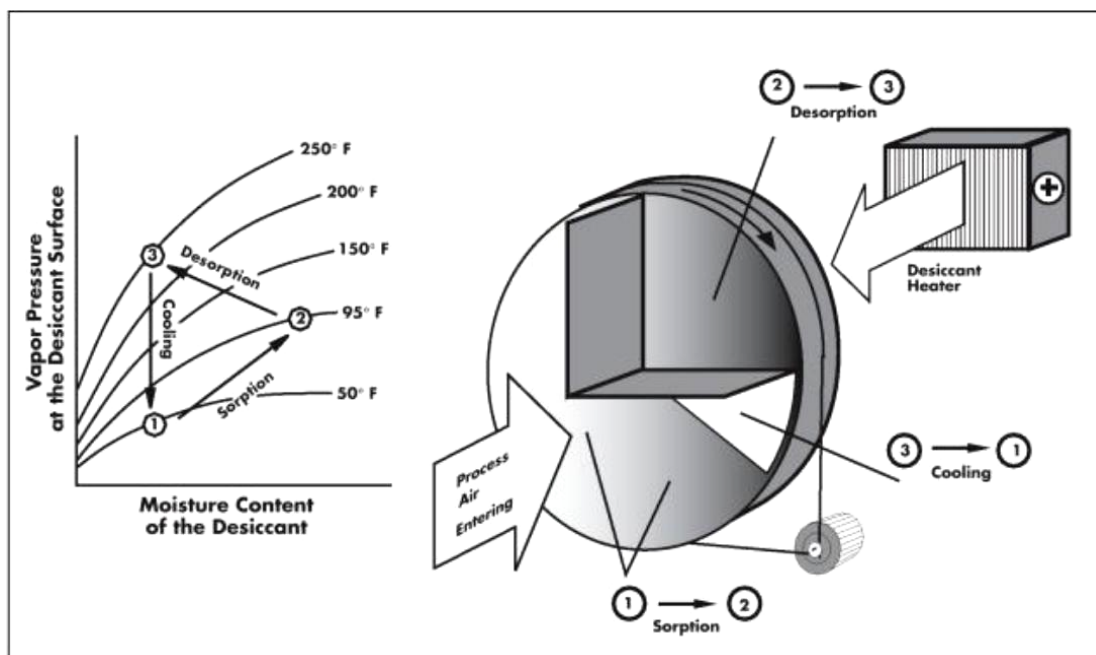
### 3.4.1 Prosessi

Kuvassa 10 on arvioitu kuivausroottorin tehoa tilanteessa, jossa kuivausroottorille tuleva ilma on 22 °C / 55 % (raitisilmakoneen ilman tila kesällä). Kuvassa 11 on esitetty yleisluontoisesti ko. tilanteen vaatima jälkijäähdytys sekä prosessi.



Kuva 10. Kuivausroottorin tehon arviointi tilanteessa, jossa prosessi-ilman tilana on 22 °C / 55 % (18).





Kuva 11. Kuivausroottorin prosessi yksinkertaistettuna (19, s. 746).

### 3.4.2 Eri kuivausmenetelmien soveltuminen museokohteeseen

Suomen olosuhteissa kondensoivan kuivauksen käyttö on suurimmassa osassa tapauksista vähemmän energiaa kuluttavaa kuin sorptiokuivaus. Kondensoivan kuivauksen käyttö on suositeltavaa haluttujen olosuhteiden ollessa suhteelliselta kosteudeltaan huonelämpötilassa yli 50 %. Tätä kuivempaa ilmaa haluttaessa on sorptiokuivauksen käyttö tehokkaampaa (20). Jos kondensoivalla kuivauksella halutaan kuivata ilmaa suhteelliselta kosteudeltaan alle 50 %:n (18–22 °C), on jäähdyttävään väliaineeseen lisättävä jäätymisenestoainetta. Prosessiveden alhainen lämpötila myös heikentää vedenjäähdyttimen hyötysuhdetta.

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmassa päädyttiin käyttämään raitisilmakoneen jälkeiseen kuivaukseen sorptiokuivausta tiloissa, joiden sisäilman olosuhdetila on O3 tai O5 (ks. taulukko 3 ja liite 2). Valintaan vaikutti myös se, että kyseiset sisäilmaolosuhteet kuuluvat pinta-alaltaan pieniin säilytystiloihin. Muissa tiloissa kuivaus on suunniteltu toteutettavaksi kokonaisuudessaan kondensoivalla kuivauksella.

### 3.5 Kostutus

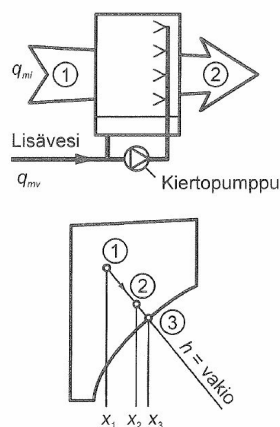
Kostutuksessa ilmaan lisätään vettä. Kostutusta tarvitaan Suomen oloissa talvisin, jolloin ilman absoluuttinen vesisisältö on erittäin alhainen.

Lämmitettäessä kylmää  $-26\text{ °C}$  / 100 %RH ilmaa lämpötilaan  $20\text{ °C}$  on tuloilman suhteellinen kosteus vain noin 5 % jos poistoilman kosteutta ei siirry lämmöntalteenottolaitteiston kautta tuloilmaan (liite 1). Orgaaniset materiaalit alkavat halkeilla ja kutistua suhteellisen kosteuden ollessa alhainen, ja tästä syystä tuloilmaa tulee kostuttaa.

Kenno- ja sumutuskostuttimien käyttöä vähennettiin legionellabakteerivaaran takia 1990-luvulla. Kennokostuttimien käyttö on yleistynyt viime vuosina tekniikan ja hygieenisyyden kehittymisen myötä. Nykyisin käytetään lähes ainoastaan kenno- ja höyrykostuttimia. (11, s. 95.)

#### 3.5.1 Prosessi

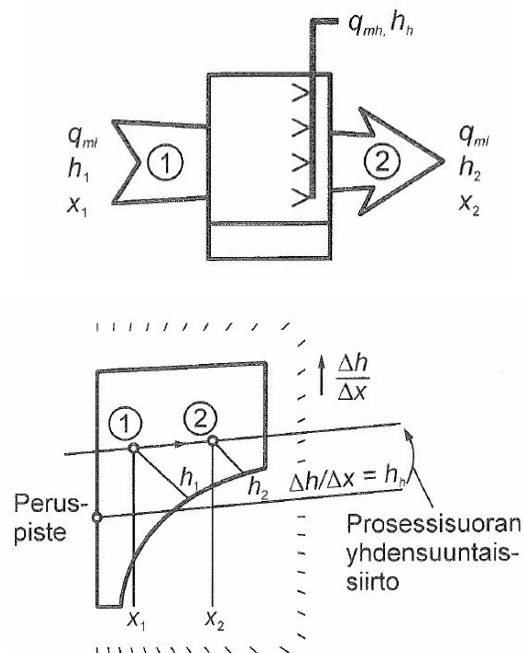
Kostutettaessa ilmaa vettä haihduttamalla ei ilman lämpösisältö muutu. Tällöin veden haihtumiseen tarvittava lämpö otetaan ilmasta ja ilman lämpötila laskee. Mollier-piirroksessa liikutaan vakioentalpiakäyrällä, eli ilman lämpösisältö pysyy muuttumattomana.



Kuva 11. Kennokostuttimen (ja sumutuskostuttimen) periaate ja prosessisuora Mollier-piirroksessa. (11, s. 93)

Käytettäessä höyrykostuttimia siirtyy ilmaan samalla lämpöä ja vettä.

Kostutuksessa käytetään matalapaineista höyryä, jolloin prosessisuora on joko vakiolämpötilainen tai lähellä sitä (ts. lämpötila pysyy lähes muuttumattomana, mutta lämpösisältö muuttuu). (11, s. 95)



Kuva 12. Höyrykostutuksen periaate ja prosessisuora Mollier-piirroksessa (11, s. 95).

### 3.5.2 Eri kostutusmenetelmien soveltuminen museokohteeseen

Museokohteessa kostuttimen käyttöä rajoittavat tekijät ovat aivan samoja kuin normaaleissa asuin- ja toimistokohteissa. Riski legionellabakteerin leviämiseen kasvaa kostuttimesta lähtevän pisarakoon (aerosoli) ylittäessä  $10\ \mu\text{m}$ . Tämä on raja pisarakoossa, joka pystyy ko. bakteeria kuljettamaan. Legionellabakteerille parhaat elinolosuhteet ovat seisovassa vedessä jonka lämpötila on  $20\text{--}45\ \text{°C}$ . Kyseisenlaiset olosuhteet voivat syntyä sumutus- ja kennokostuttimien kiertovesialtaassa. Kennokostuttimissa kostutus perustuu kuitenkin veden haihduttamiseen, jolloin pisarakoko on alle  $1\ \mu\text{m}$ . Sumutus- ja höyrykostuttimissa pisarakoko ylittää  $10\ \mu\text{m}$ , joten pisarakoon perusteella

näissä kostuttimissa piilee legionellabakteerin leviämisen vaara.

Höyrykostuttimissa kuitenkin veden lämpötila nousee paljon yli 45 °C:n, joten ne ovat turvallisia. Ultraäänikostuttimet, jotka kuuluvat sumutuskostuttimiin, saavat aikaan pienempiä pisaroita kuin perinteiset sumutuskostuttimet. Pisarakoko näissä on 1–5 µm, joten ne ovat perinteisiä sumutuskostuttimia turvallisempia.

Museokohteessa, jossa tulee huolehtia myös ilman puhtaudesta, ei sumutuskostuttimien käyttöä suositella. Sumutuskostuttimessa vesipisaroiden mukaan tulee kaikki vedessä olevat mineraalit, jotka voivat aiheuttaa kuivaessaan pölyongelmia. Näistä syistä museokohteissa suositellaan käytettäväksi höyry- ja haihdutuskostuttimia. Ultraäänikostuttimien käyttöä ei ole kielletty museoissa, mutta niiden mahdollisesti aiheuttamien pölyongelmien takia ei käyttöä suositella. Museokohteessa tulee välttää mikroympäristöjen syntymistä. Tästä syystä kostuttimien tulisi aina olla kanavaan asennettavia eikä siirrettäviä, jotta kosteus saadaan jakaantumaan tasaisesti koko halutulle alueelle. (21; 22; 23; 24; 25; 26; 27.)

### **3.6 Ilmavirtojen sekoittaminen**

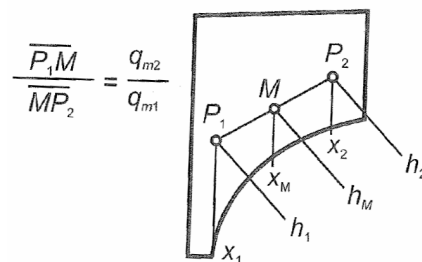
Ilmavirtojen sekoituksessa kahta eri tilassa olevaa ilmaa sekoitetaan keskenään. Sekoitus on olennainen osa museoilmastoinnin perusprosesseja. Sekoitusta käytetään mm. kiertoilman sekoituksessa sekä kuivauksen, kostutuksen ja lämmöntalteenoton sekoitussäädössä. (10, s. 191.)

Museo-olosuhteissa sekoituksen määrä pyritään optimoimaan. Tällä säästetään runsaasti energiaa ja prosessien hallinta on helpompaa.

### 3.6.1 Prosessi

Mollier-piirroksessa sekoitetun ilman tila on sekoitettavien ilmojen tilan yhdysjanalla. Sekoituspiste on yhdysjanalla sekoitettavien ilmojen massavirtojen suhteessa siten, että sekoituspiste on lähempänä suuremman massavirran pistettä.

Jos sekoituspiste joutuu piirroksessa kyllästymiskäyrän oikealle puolelle niin tapahtuu veden tiivistymistä. Tässä tapauksessa ilman todellinen tila on näennäisen sekoituspisteen ja kautta kulkevan vakioentalpiasuoran ja kyllästymiskäyrän leikkauspisteessä (kuva 13). (10, s. 192.)



Kuva 13. Ilman sekoituspiste Mollier-piirroksessa (11, s. 90).

### 3.7 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenotossa poistoilmavirta jäähtyy ja tuloilmavirta lämpenee lämmönsiirtimeen välityksellä. Tuloilma vastaanottaa lämpöä yhtä paljon kuin poistoilma luovuttaa. (11, s. 90.)

Eri lämmöntalteenottotavoissa on eroja sekä hyötysuhteessa että siinä, missä näitä menetelmiä voidaan käyttää. Yleisesti regeneratiivisia LTO-laitteita suositetaan hyvän hyötysuhteen takia tiloissa, joissa sallitaan pieni tulo- ja poistoilman sekoittuminen.

Alla on esitetty eri lämmöntalteenottovaihtoehtojen suuntaa antavat lämpötilahyötysuhteet (11, s. 96):

- Virtaavan väliaineen (esim. glykoli) välityksellä lämpöä siirtävät 40–60 %
- Ristivirtalevylämmönsiirtimet 50–70 %
- Vastavirtalevylämmönsiirtimet 60–80 %
- Regeneratiiviset lämmönsiirtimet 60–80 %
  - Kuivat (kosteutta siirtyy vähän tai ei ollenkaan)
  - Hygroσκοoppiset (kosteutta siirtävät).

Nykyään lämmöntalteenottolaitteina käytetään myös, joko yksistään tai edellisten lisänä, lämpöpumpputeknologiaa. Tällöin poistoilmasta irti saatava lämpö käytetään esim. käyttöveden lämmitykseen, lattialämmityspiiriin tai tuloilman lämmitykseen.

Museotiloissa (poislukien konservointi- ja verstatilat) käytetään pääasiallisesti regeneratiivisia lämmönsiirtimiä niiden hyvän hyötysuhteen vuoksi.

Hygroσκοoppiset lämmönsiirtimet myös siirtävät kosteutta poistoilmasta tuloilmaan, josta on hyötyä talvisin ulkoilman absoluuttisen kosteuden ollessa alhainen. Regeneratiiviselle LTO-roottorille suositellaan esilämmityspatteria huurtumisen estämiseksi. LTO-kennon huurtuessa lämmöntalteenoton hyötysuhde heikkenee.

## **4 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu museoympäristöön**

### **4.1 Yleistä**

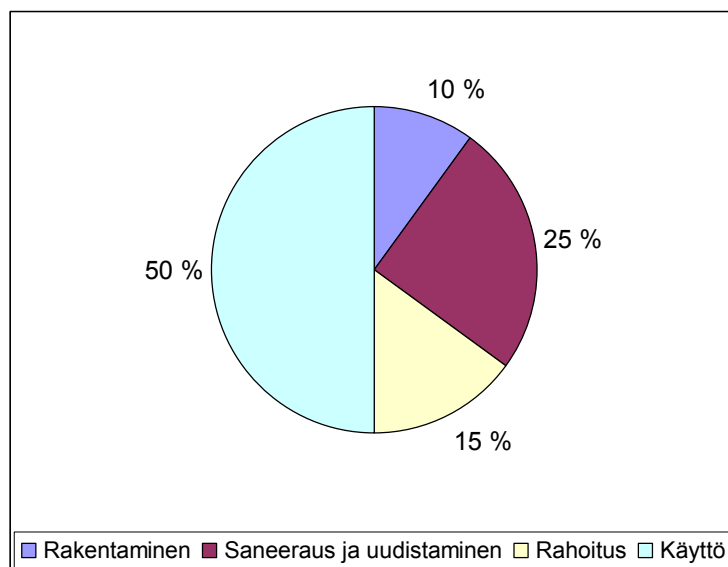
Talotekniikka on normaalissa rakentamisessakin yksi suurimmista kustannustekijöistä. Laitteet ovat kalliita, vaativat huoltoa ja oikeiden lämpötila- ja ilmasto-olosuhteiden ylläpito on kallista. Taloteknillisten järjestelmien, mukaanlukien sähkö ja automaatio, osuus normaalin asuinrakennuksen rakennuskustannuksista on keskimäärin 10–15 % ja julkisten ja toimistorakennusten kokonaisrakennuskustannuksista keskimäärin 25%. (28, s. 14–40; 29, s. B2.)

Museorakennuksissa talotekniikan merkitys korostuu, koska vaatimukset olosuhteille ovat normaalia toimistorakennusta huomattavasti tiukemmat. Museorakennuksessa taloteknillisten järjestelmien osuus rakennuskustannuksista voi olla jopa 1/3–1/2 kokonaisrakennuskustannuksista. Suomessa talotekniikan osuus museoiden kokonaisrakennuskustannuksista on n. 25–30 %, peruskorjaushankkeissa jopa 50 %. Olosuhteiden hallinta ja taloteknillisten järjestelmien käyttö- ja huolto ovat myös rakennuksen elinkaaren aikana suurimpia kustannustekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon jo aikaisessa vaiheessa suunnittelua. (2, s. 307–310.)

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksessa rakennusteknisten kustannusten osuus kokonaisrakennuskustannuksista on normaalia maanpäällistä museokohdetta huomattavasti suurempi johtuen louhintakustannuksista.

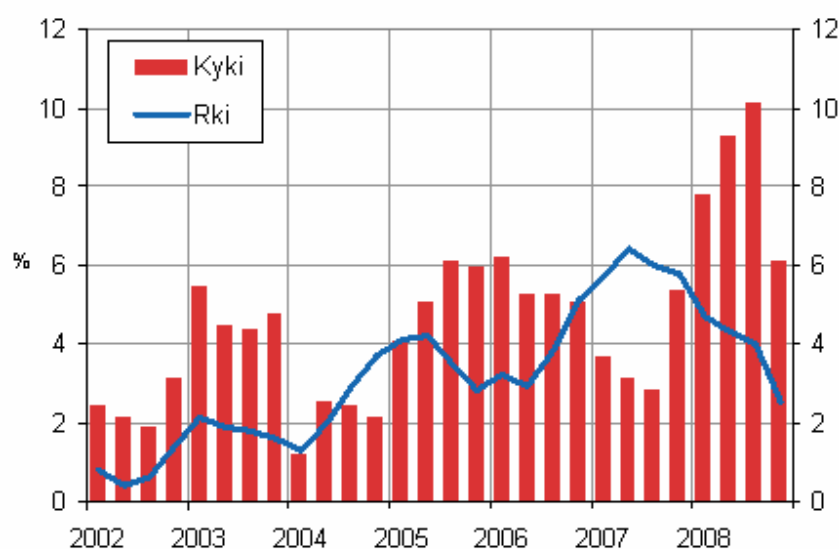
### **4.2 Energiataloudellisuus**

Rakennuskustannukset, vaikka ne ovat varsinkin museokohteessa erittäin suuret, muodostavat rakennuksen elinkaaren kustannuksista vain pienen osan (kuva 14).



Kuva 14. Keskimääräisen toimistokiinteistön 40 vuoden kustannusjakauma (30, s. 29).

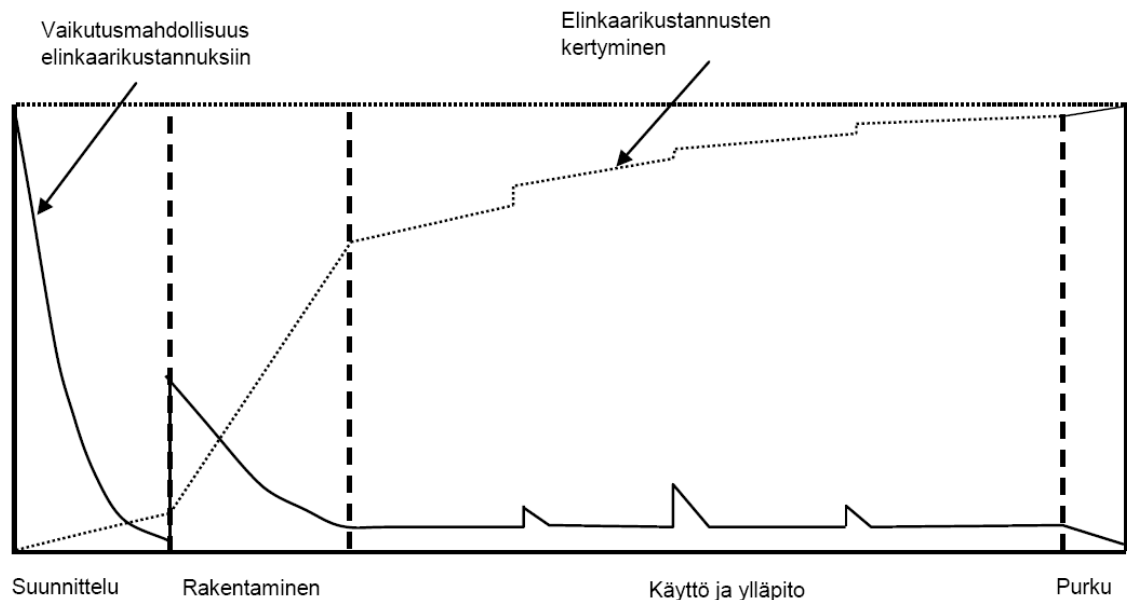
Rakennuskustannukset ja ylläpitokustannukset ovat pitkällä aikavälillä kasvaneet koko ajan. Kuvan 14 mukaiseen toimistokiinteistön (ja myös muiden rakennusten) kustannusjakaumaan, jossa rakennuskustannukset ovat vain pieni osa koko elinkaaren kustannuksista, vaikuttaa se, että kerran rakennetun rakennuksen rakennuskustannukset eivät voi enää rakentamisen jälkeen kasvaa. Kuvassa 15 on esitetty kiinteistön ylläpidon ja rakennuskustannusten vuotuiset prosentuaaliset muutokset.



Kuva 15. Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksin ja rakennuskustannusindeksin vuosimuutokset 2002–2008, % (31).



## Energiataloudelliset ratkaisut suunnitteluvaiheessa



*Kuva 16. Mahdollisuudet vaikuttaa elinkaarikustannuksiin rakennushankkeen eri vaiheissa. (32, s. 18)*

Suunnittelun osuus koko rakennuksen elinkaarikustannuksista on noin 0,5–1 % (Kuva 14; 34, s. 5). Kuitenkin kuvan 16 mukaisesti suunnitteluvaiheessa on parhaat mahdollisuudet vaikuttaa rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Rakennuksen elinkaaren aikana käytön aikaiset kustannukset, joista energiakustannukset suurimpana, muodostavat suurimman osan elinkaarikustannuksista.

Seuraavassa on listattu joitakin suunnitteluratkaisuja, joiden avulla museokohteen energiataloudellisuuteen pystytään vaikuttamaan:

- Raitisilmamäärät tarkoituksenmukaisiksi (soveltaen Suomen Rakentamismääräyskokoelman D2 minimi-ilmamääriä)
  - Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmassa D2:n arvot varastoille (35) olivat suunnittelun lähtökohtina. Suunnittelun myöhemmässä vaiheessa ilmamäärät tulee neuvotella viranomaisten kanssa mahdollisimman pieniksi.
- Ilmamäärien ohjaus tilanteen mukaan taajuusmuuttajakäyttöisillä puhaltimilla
- Puhallinkustannusten minimointi normaalia väljemmillä kanavilla
- Olosuhteiden liu'uttaminen kesä- ja talviolosuhteiden mukaan (kuitenkin sallituissa rajoissa)
- Uusiutuvien energianlähteiden käyttö (mm. aurinkoenergia, maa- ja ilmalämpöpumput)
- Oikea kuivaus- ja kostutusratkaisu
- Jäähdytyksen lauhdelämmön hyödyntäminen
- Evaporatiivinen jäähdytys
- Olosuhteiden hallinta ainoastaan kiertoilmakoneita käyttämällä, raitisilmaa syötetään prosessiin vain tarvittaessa
- Pitkäaikaissäilytystilojen rakentaminen maan alle
  - Luolasto säilytystilojen ympäristönä tarjoaa tasaisen, n. 8 °C:n ulkolämpötilan ympärivuotisesti. Tällä ratkaisulla on saavutettavissa huomattavat säästöt lämmitys- ja jäähdytyskustannuksissa.

Suunnitteluvaiheessa tehdyt hyvät tai huonot päätökset vaikuttavat koko rakennuksen elinkaareen.

### **4.3 Järjestelmien valinta ja mitoitus**

#### **4.3.1 Tilaajan asettamat vaatimukset**

Tilaaja tai tilaajan edustaja toimittaa yleensä suunnittelun alkuvaiheessa tilaohjelman, jossa on esitetty eri tiloissa vaadittavat olosuhteet ja niiden liikkumavarat. Tämän tilaohjelman, muiden tilaajan asettamien vaatimusten ja rakennuksen fyysisten mittojen perusteella tehdään laitteiden mitoitus ja valinta.

Kosteusolosuhteiden liikkumavaroja ei ole syytä asettaa liian pieniksi. Lämpötila pystytään tiloissa pitämään pienillä kustannuksilla hyvinkin stabiilina, mutta suhteellisen kosteuden pitäminen ympäri vuoden alle  $\pm 5\%$  marginaalissa on hyvin kallista. Pienet muutokset suhteellisessa kosteudessa eivät muuta orgaanisten materiaalien itseensä sitomaa vesimäärää merkittävästi (kts. Kuva 1), joten pienempään marginaaliin ei ole tarvetta. (2, s. 177.) Olosuhteiden hallitulla muuttamisella pystytään säästämään energiaa vaarantamatta kuitenkin kokoelmia. Kesällä suhteellisen kosteuden ja lämpötilan annetaan pysyä lähellä vaadittua ylärajaa ja talvella lämpötilan ja suhteellisen kosteuden taso vastaavasti pudotetaan hitaasti lähelle vaadittua alarajaa.

Liitteissä 2 ja 3 on Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen tilaohjelman pohjalta laadittu ilmavirtalaskelma.

#### **4.3.2 Säilytettävät esineet**

Jos suunniteltava kohde on näyttelytila, jossa säilytettäviä esineitä on harvakseltaan, on käyttökustannusten minimoimiseksi syytä asettaa ainakin herkimmin olosuhteiden muutoksiin reagoivat esineet vitriiniin. Vitriini suojelee näyttelyesineitä sekä vieraiden koskettelulta että ulkopuolisilta olosuhteilta. Kun kaikki olosuhdetiloja vaativat esineet on suljettu vitriiniin, pystytään ympäröivissä tiloissa ylläpitämään normaaleja yleisötilojen olosuhteita.

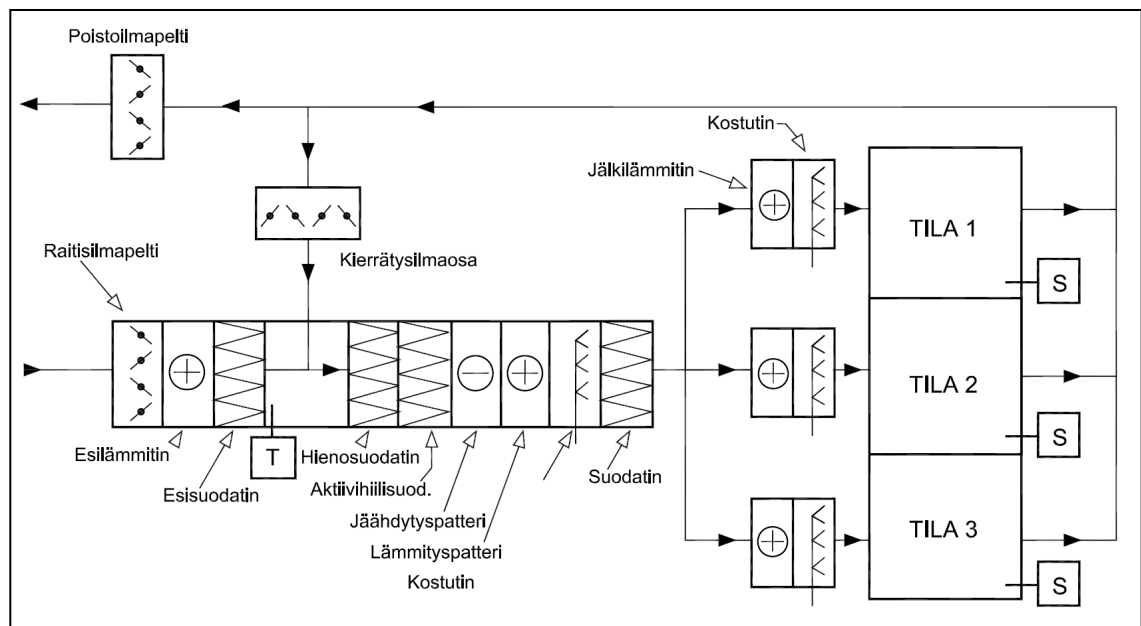
Vitriineihin luodaan oikeat olosuhteet joko varmistamalla näyttelyesineiden oikea kosteus ja sulkemalla vitriinit ilmatiiviisti tai tuomalla vitriineihin tulo-/kierrätysilmaa, joka täyttää olosuhdevaatimukset. Vitriineissä käytetään usein myös passiivista kuivausta kuiva-aineilla (ks. luku 3.4 Kuivaus). (2, s. 132, 415.)

### 4.3.3 Ilmanvaihtojärjestelmä

Johtuen siitä, että museotiloissa ylläpidettäviä olosuhteita on useita, ei yleensä ole kannattavaa pyrkiä keskuskojeella suoraan haluttuun sisäilmaolosuhteeseen elleivät hallittavat tilat sijaitse fyysisesti lähellä toisiaan ja/tai niiden koko ei ole erityisen suuri suhteessa muuhun rakennukseen.

Yleinen ratkaisu, johon Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnittelussa hallin säilytystilojen osalta päädyttiin (Ks. kuva 17, liite 4) on, että ilmastoinnin keskuskojeella hallitaan olosuhteet johonkin tiettyyn pisteeseen, josta ilman tilaa on myöhemmin helpompi jatkokäsitellä eri tiloille sopivaksi. Lopullinen olosuhdetilojen hallinta hoidetaan tilakohtaisilla tai muutaman saman olosuhteen tilan käsittävällä kiertoilmakoneella. Nämä koneet varustetaan tarpeen mukaan suodatuksella, lämmityksellä, jäähdytyksellä sekä tilakohtaisesti kostutuksella ja/tai sorptiokuivauksella.

Kuvassa 17 on esitetty museokohteiden olosuhteiden hallintaan yleisesti maailmalla käytetty ratkaisu, jota voidaan maakohtaisten erikoisolosuhteiden mukaan muuttaa (3, s. 220). Huomioitavaa kuvassa on, että kyseisenlaista prosessia ei ole tarkoituksenmukaista käyttää säilytystiloissa jatkuvasti vaan ulkoilmaa syötetään prosessiin vain tunkkaisuuden estämiseksi. Kuvasta puuttuvat myös mm. puhaltimet ja kanavat.



Kuva 17. Museokohteen yksinkertaistettu ilmastointiratkaisu, jossa käytössä raitisilmakone ja tilakohtaiset kierrätysilmakoneet. Kuvassa T = lämpötila-anturi, S = kosteus- ja lämpötila-anturi. (3, s. 220.)

Kuvan ratkaisu sopii tiloihin, joissa kierrätysilman käyttö on sallittua. Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen maanpäällisen rakennuksen tilat ovat suurelta osin konservointi- tai verstastiloja, joissa poistoilmassa mahdollisesti olevien kaasujen ja muiden epäpuhtauksien takia kiertoilman käyttö ei ole sallittua kuin tilanteissa, joissa ko. tilat eivät ole käytössä. Maanpäällisen rakennuksen konservointitilat ovat olosuhdetiloja, jotka soveltuvat jossain määrin myös tiettyjen museoesineiden säilytykseen.

Museorakennuksen painesuhteet tulee olla erilaiset normaaleihin toimisto- ja asuinrakennuksiin verrattuna. Jotta varmistetaan, että kaikki taloon tuleva ilma on suodatettua, on ilmanvaihtojärjestelmällä luotava rakennukseen ylipaine. (2, s. 181.) Suomen ilmastossa ei ylipaineen luominen rakennukseen sen aiheuttamien kosteusongelmien vuoksi ole kuitenkaan erityisen kannattavaa. Tästä syystä ilmanvaihtojärjestelmällä on syytä pyrkiä tasapainoon tuloilman ja poistoilman suhteen. Tasapainoa luotaessa on huomioitava myös mahdolliset kohdepoistot ja erillispoistot, jolloin poistoilman määrä on jätettävä pääkoneelta näiden poistojen ilmamäärää pienemmäksi.

#### 4.3.4 Suodatus

Museotilojen suodatuksen tasolle ei ole asetettu tarkkoja suomalaisia tai eurooppalaisia standardeja. The Manual of Museum Planning -kirjan mukaan museotilojen suodatuksen tulisi koostua ainakin seuraavanlaisista osista:

- Esisuodatin, jonka suodatusaste on 25–30 % (F4–F5)
- Karkea-/hienosuodatin, jonka suodatusaste on 40–85 % (F5–F7)
- Hienosuodatin, jonka suodatusaste on 90–95 % (F8–F9)

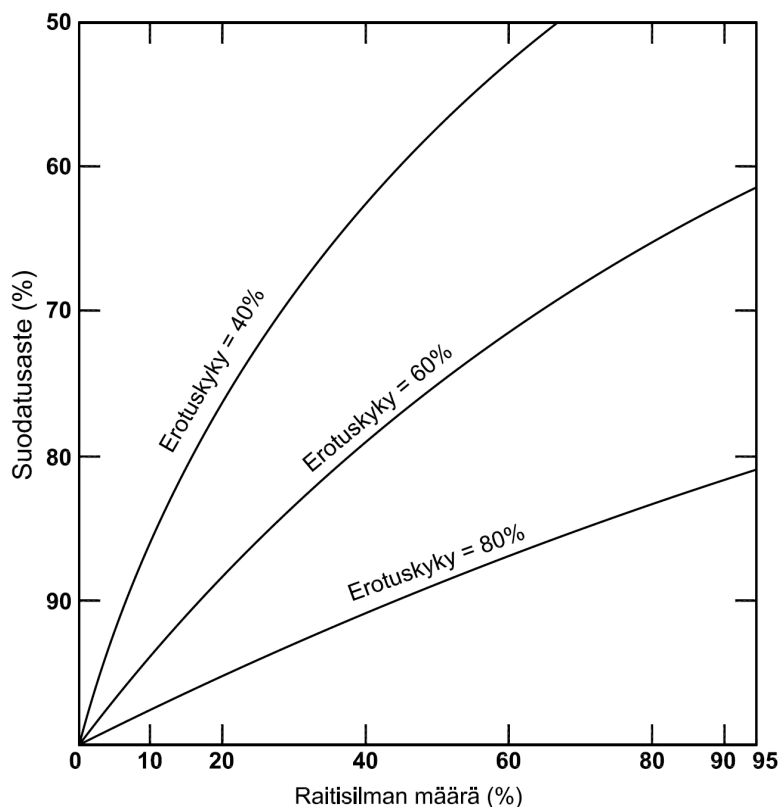
Suodattimien tulee olla järjestetty siten, että kaikki ulkoilma kulkee jokaisen suodattimen läpi ja kiertoilma ainakin viimeisen läpi. Jokainen suodatin tulee varustaa omalla hälytyksellä varustetulla paine-eromittarilla, jotta likaantuneet suodattimet pystytään vaihtamaan yksittäin. (2, s. 180–181.)

Suodattimet luokitellaan eri luokkiin niiden testattujen suodatusasteiden mukaan. Taulukossa 4 on esitetty tällä hetkellä käytössä olevat suodatusasteet. Taulukosta on jätetty mm. puhdastiloissa käytetyt HEPA- ja mikro-suodattimet pois. Nykyisin EU-alueella käytetään standardien EN779 ja EN1822 mukaisia nimiä suodatintyypeille.

*Taulukko 4. Ilmansuodattimien luokitus suodatusasteen mukaan. (34)*

	EN779	Erotuskyky %	Eurovent 4/5	Huom.
<b>Karkeasuodattimet</b>	G1	<65	EU1	Keskimääräinen arvo suurten partikkelien suodatuksesta
	G2	65<80	EU2	
	G3	80<90	EU3	
	G4	>90	EU4	
<b>Hienosuodattimet</b>	F5	40<60	EU5	Keskimääräinen arvo ulkoilman suodatuksesta. Partikkelit pölyä.
	F6	60<80	EU6	
	F7	80<90	EU7	
	F8	90<95	EU8	
	F9	>95	EU9	
	EN1822		Eurovent 4/4	Erotuskykyvaatimukset Eurovent 4/4 mukaisia. Partikkelit alle 0,3 µm
	H10	95<99,9	EU10	
	H11	99,9<99,97	EU11	
	H12	99,97<99,99	EU12	
	H13	99,99<99,999	EU13	
	H14	>99,999	EU14	

Kuva 18 kuvaa suodattimen suodatusastetta esim. kiertoilmakoneessa, jossa vain osa suodattimelle tulevasta ilmasta on raitisilmaa.



Kuva 18. Suodattimen teoreettinen suodatusaste yhdellä suodatuskerralla. Kuvan alin viiva (80 %) kuvaa suurin piirtein suodatinta F7. (3, s. 253.)

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnittelussa kiertoilmakoneille valitut suodattimet ovat tasoa F8–F9, joiden suodatusaste on 90–96 %.

Ennen lopullista suodattimien valintaa tulee Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen ympäristössä suorittaa ilmanlaatumittaukset. Suunniteltu sijainti lähellä vilkasliikenteistä Lahden moottoritietä saattaa edellyttää kemiallisten suodattimien käyttöä, jotta varmistetaan riittävän puhtaasta sisäilmasta.

### 4.3.5 Jäähdytysjärjestelmä

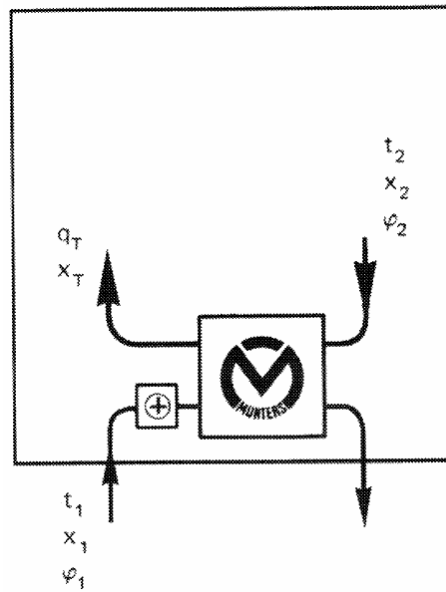
Normaalissa toimistokiinteistössä, jossa ilman suhteellisen kosteuden tasoon ei juurikaan tarvitse kiinnittää huomiota, mitoitetaan jäähdytysjärjestelmä kattamaan kesällä rakennukseen kohdistuvat sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat jäähdytystarvelaskelmien perusteella. Museokohteessa, jossa jäähdytyslaitteistoa käytetään myös kosteuden hallintaan, tulee laitteistot mitoittaa ja valita sen perusteella kuinka kylmäksi ilma tulee jäähdyttää kosteana kesäpäivänä jotta päästään haluttuun kosteustasoon. Tästä johtuen museokohteissa pitää tuloilmaa lämmittää myös kesäisin. Tämä jälkilämmitystarve on katettavissa osittain jäähdytyslaitteistojen lauhdelämmöllä.

### 4.3.6 Kuivaus

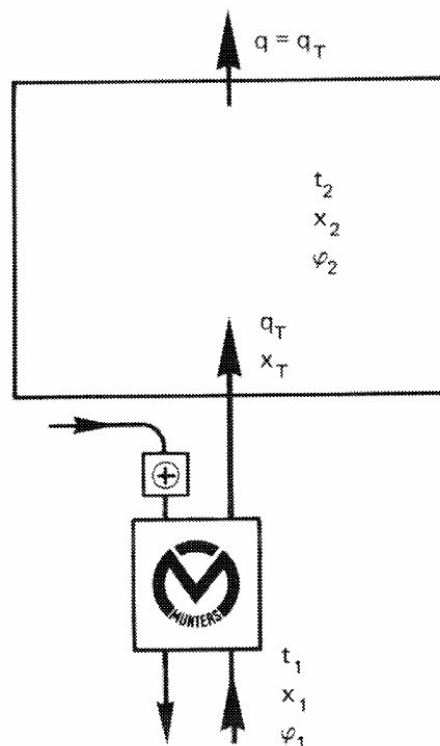
Kuivainta valittaessa valitaan, käytetäänkö suljettua järjestelmää, avointa järjestelmää vai näiden yhdistelmää. Suljetussa järjestelmässä (kuva 19) kuivattavaan tilaan ei tuoda ollenkaan ulkoilmaa, jolloin käyttökustannukset ja kuivaajakoko pysyvät pieninä.

Avointa järjestelmää (kuva 20) käytetään tiloissa, joissa on kuivaustarvetta, mutta tiloihin tarvitsee tuoda myös ulkoilmaa. Tällöin kuivaajan tulee pystyä kuivaamaan ulkoilma haluttuun sisäilman tilaan.





Kuva 19. Tilakuivausmenetelmä (suljettu järjestelmä). Järjestelmässä tilaan ei tuoda ollenkaan tuloilmaa, jolloin kosteuskuorma pysyy hyvin pienenä. (36, s. 2.)



Kuva 20. Kohdekuivausmenetelmä (avoin järjestelmä). Järjestelmässä kaikki tilaan tuleva ilma on ulkoilmaa, joka kuivataan kuivaimella haluttuun tilaan. (36, s. 3.)

Kuivailmavirran ja kuivatuskapasiteetin välinen yhteys saadaan allaolevasta yhtälöstä (36, s. 3).

$$M = q_T \times \sigma \times q_v \times (x_2 - x_T), \frac{g}{h} \quad [2]$$

Jossa

$M$  = Kuivausteho g/h (= kosteuskuorma kuivattavassa tilassa)

$q_T$  = Kuivailmavirta m<sup>3</sup>/h

$\sigma$  = Ilman tiheys kg/m<sup>3</sup> (=1,2 kg/m<sup>3</sup>, +20 °C lämpötilassa)

$x_2$  = Huoneilman vesisisältö

$x_T$  = Vesisisältö, kuivattu ilma g/kg

$x_1$  = Vesisisältö, kuivattava prosessi-ilma g/kg

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen luolan säilytystiloissa, joissa kesäisin vaadittu suhteellisen kosteuden taso on yli 45 % (Olosuhteet O2, O4, O6 ja O7. Ks. taulukko 3), suunniteltiin kuivaus järjestettäväksi kondensoivalla jäähdytyksellä. Samoin meneteltiin kaikissa konservointirakennuksen tiloissa, joissa vaaditaan olosuhteiden hallintaa. Luolan olosuhtetiloissa O3 ja O5 suunniteltiin tilojen kuivaus järjestettäväksi sorptiokuivauksella. Kuivaukseen tullaan ottamaan vain osa palautusilmasta ennen kiertoilmakonetta. Tämä ilmamäärä kuivataan ja kuuma/kuiva ilma sekoitetaan raitis- ja palautusilmaan ja johdetaan kiertoilmakoneelle, joka on varustettu jäähdytyksellä. Näin tiloissa saadaan pidettyä halutut olosuhteet, eikä ilmankuivaimia tarvitse mitoittaa niin suurelle ilmamäärälle.

Maanalaisissa säilytystiloissa (olosuhteet O3 ja O5) päädyimme käyttämään kuivausjärjestelmää, joka on yhdistelmä avoimesta ja suljetusta järjestelmästä. Tällöin kuivaaja on yhdistetty kiertoilmakoneeseen, joka kierrättää sisäilmaa. Kiertoilmakoneeseen on johdettu myös raitisilmakoneelta tuloilma, jota tulee vaaditun ilmanvaihtomäärän verran. (36, s. 2–4.)

Hankesuunnittelun alkuvaiheessa ajatuksena oli hoitaa ympäröivien luolatilojen ilmanvaihto samankaltaisilla koneilla kuin säilytystilojenkin ilmanvaihto. Tällöin ilmanvaihtokoneet olisi varustettu lämmöntalteenotolla, kuivauksella ja jäähdytyksellä. 11.11.2008 kuivaajatoimittajan edustajien kanssa Projectus Team Oy:llä käydyn palaverin perusteella päädyimme ratkaisuun, jossa ympäröivien luolatilojen ilmaa ei erikseen vaihdeta (suljettu järjestelmä, kuva 19), vaan ilmanvaihto hoituu säilytystilojen kautta tulevana vuotoilmanvaihtona. Kuivaimille tuotava regenerointi-ilma myös alipaineistaa luolatilat, joka varmistaa ilman oikeansuuntaisen liikkeen säilytystiloista luolaan.

Lämmityksenä/kuivauksena ympäröivissä luolatiloissa suunniteltiin käytettäväksi (3 kpl) kuivausrootoreilla varustettuja ilmankuivaimia, jotka pitävät luolatilojen lämpötilan riittävänä ja kosteusolosuhteet halutunlaisena (< 50 %RH). Kuivausrootoreiden reaktiivointi-ilman lämmittämiseen voidaan käyttää sähköä tai maakaasua.

#### **4.3.7 Kostutus**

Luvun 3.5.2 mukaisesti Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitelmassa valittiin kiertoilma- ja raitisilmakoneilla kanavaan asennettavat kennokostuttimet. Pienimmille kiertoilmakoneille valittiin kanavaan asennettavat höyrykostuttimet.

#### 4.4 Järjestelmien tilantarpeet

Museotiloissa, joissa LVI-järjestelmät poikkeavat tavanomaisista rakennuksista suurestikin tulee huomioida jo suunnittelun aikaisessa vaiheessa järjestelmien vaatima tilantarve. Tilanvarauksista kannattaa tehdä suunnittelun alkuvaiheessa hieman reilut, koska jo suunniteltujen kuilujen ja konehuoneiden kasvattaminen toteutussuunnitteluvaiheessa on vaikeampaa.

Järjestelmät, jotka vievät erityisen paljon tilaa:

- Ilmanvaihtokoneet ja kanavisto ml. eristyksen
- Savunpoistokanavat
- Lämmitys- ja jäähdytyslaitteet
  - Huomioitava mahdollisten kaukojäähdytyslaitteiden suurempi tilantarve kaukolämpölaitteisiin nähden (vrt. meno/paluulämpötilat 115–45 °C / 8–16 °C)
- Huoltotilat (esim. IV-koneisiin pystyttävä lisäämään/vaihtamaan osia jälkikäteen)
- Haalausreitit.

Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksen hankesuunnitteluvaiheessa tilantarpeiden määrittäminen aloitettiin laskemalla suuruusluokkaisesti tilojen ilmamäärät ja päättämällä, kuinka monta ilmanvaihtokonetta tarvitaan olosuhteiden hallintaan. Maanpäällisessä rakennuksessa ilmanvaihtokoneet määräytyivät suoraan tilojen olosuhteiden mukaan. Luolatiloissa määräävässä perusteena oli pitkät välimatkat. Tällöin raitisilmakoneilla luodaan edellytykset ilman jatkokäsittelylle. Lopullinen olosuhteiden muokkaus halutunlaiseksi toteutetaan tilakohtaisilla kiertoilmakoneilla.

Kun koneiden ilmamäärät olivat selvillä, tehtiin koneajot ilmanvaihtokoneen valmistajan mitoitusohjelmalla. Asettelemalla saadut koneet kohteen katolle huomioiden huollon ja muut konehuoneeseen tulevat laitteet saatiin pinta-ala, jonka tulisi riittää IV-konehuoneelle.

Kuilut kohteessa mitoitettiin ilman nopeudelle 2,5 m/s (normaali mitoituspäriste 5 m/s). Tällöin puhallinsähkön kulutus pysyy maltillisella tasolla ja ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku (Specific Fan Power) alhaisena (tavoite Viikin kokoelma- ja konservointikeskuksessa jokaisen ilmanvaihtokoneen SFP-luvulle oli alle 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) kun Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti vaatimus koneelliselle tulo- ja poistoilmajärjestelmälle on 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s)) (35). Kuilujen mitoituksessa tulee varata tilaa kanavien eristykselle, kannakoinnille ja harkinnan mukaan mahdollisille myöhemmin lisättäville järjestelmille.

#### **4.4.1 Tekniset tilat**

Teknisissä tiloissa eniten tilaa vaativat ilmanvaihtokoneet ja niiltä eri suuntiin lähtevät suuret kanavat. Koneiden vaatimaa tilaa määritettäessä tulee huomioida myös huollon vaatima tila: koneen huoltopuolella tulee olla n. 1,5 x koneen leveyden verran vapaata tilaa. Koneet kannattaa mitoittaa pareittain siten, että niiden huoltopuoleet tulee vastakkain ja väliin jää edellä mainittu huoltotila. Tällöin keskimmäiset koneet pystytään asettamaan konehuoneessa selkäpuoliltaan yhteen.

Teknisissä tiloissa tulee laitteille olla esteettömät haalausreitit sekä laitteiden rakennusaikaiseen sisääntuomiseen että mahdolliseen myöhempään vaihtoon. Koska konehuoneet useasti sijoitetaan rakennuksen katolle, ilmanvaihtokoneet ja muut laitteet voidaan mahdollisesti tuoda teknisiin tiloihin myös konehuoneen katon kautta.

## 5 Yhteenveto

Museoesineiden säilytykseen tarkoitettujen tilojen sisäilmastovaatimukset poikkeavat tavanomaisten rakennusten vaatimuksista. Tiloissa pyritään säilyttämään ainutlaatuista ja korvaamatonta historiallista esineistöä, jolle vääränlaiset olosuhteet voivat olla tuhoisia. Säilyäkseen museoesineet vaativat puhtaan ympäristön, jonka lämpötila- ja kosteusolosuhteet pysyvät oikeissa rajoissa. Nämä olosuhteet ovat saavutettavissa huolellisella suunnittelulla ja oikeilla järjestelmävalinnoilla.

Museoesineiden säilytystilat ovat usein hyvin suurikokoisia, niissä säilytetään monenlaista esineistöä ja erilaisia vaadittuja olosuhteita on useita. Olosuhteiden hallintaan tarvitaan sen vuoksi useita ilmanvaihtokoneita. Hyväksi koettu ratkaisu kokoelmatiloissa on tuottaa tuloilmakoneella tarvittava määrä ulkoilmaa, joka on suodatettu ja sen kosteutta ja lämpötilaa on muutettu jatkokäsittelylle sopivaksi. Tuloilmakoneelta ilma johdetaan eri olosuhdetiloja palveleville kiertoilmakoneille, jotka jatkokäsittelevät ilman olosuhteet kussakin tilassa vaadituiksi. Kiertoilmakoneilla saadaan aikaan kokoelmatiloihin pysyvät olosuhteet ja varmistetaan ilman kunnollinen suodatus saman ilman kiertäessä suodattimien läpi useita kertoja.

Museotilojen olosuhteiden hallinnasta syntyvistä kustannuksista ja museoiden pitkästä elinkaaresta johtuen käytöstä aiheutuvat kustannukset kattavat valtaosan rakennuksen elinkaarikustannuksista. Toimistorakennuksen 40 vuoden elinkaaren aikana käyttö, saneeraukset ja käyttötarkoituksen muutokset kattavat noin 75 % koko rakennuksen elinkaarikustannuksista. Museoiden suuremman energiankulutuksen ja pidemmän elinkaaren vuoksi nämä kustannukset tulevat kattamaan huomattavasti suuremman osan museorakennuksen elinkaarikustannuksista.

Elinkaarikustannuksiin pystytään vaikuttamaan parhaiten suunnitteluvaiheessa. Tästä syystä suunnittelussa tulee jo varhaisessa vaiheessa huomioida tehtävien ratkaisujen elinkaarialoudellisuus.

## Lähteet

- 1 Cassar, May. Environmental Management: Guidelines for museums and galleries. London: Routledge, 1994.
- 2 Lord, Gail & Lord, Barry. The Manual of Museum Planning: 2<sup>nd</sup> edition. London: The Stationery Office, 1999.
- 3 Thomson, Garry. The Museum Environment: Second Edition. London: Butterworth-Heinemann, 1986.
- 4 Equilibrium Moisture Content. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Equilibrium\\_moisture\\_content](http://en.wikipedia.org/wiki/Equilibrium_moisture_content)> . Luettu 23.10.2008.
- 5 Fahrenheit-asteikko. (WWW-dokumentti.) Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Fahrenheit-asteikko>>. Luettu 23.10.2008.
- 6 Wood Equilibrium Moisture Content Table And Calculator. (WWW-dokumentti.) <<http://www.csgnetwork.com/emctablecalc.html>>. Luettu 23.10.2008.
- 7 PYSYVÄISASIAKIRJA PAK YL 2:7 KUIVAILMATEKNIIKAN OHJE. Helsinki: Pääesikunnan materiaaliosasto, 1995.
- 8 Canadian Conservation Institute (CCI), CCI Newsletter No. 24: Setting standards for conservation: New temperature and relative humidity guidelines are now published. (WWW-dokumentti.) <[http://www.cci-icc.gc.ca/publications/newsletters/news24/temperature\\_e.aspx](http://www.cci-icc.gc.ca/publications/newsletters/news24/temperature_e.aspx)>. 11/1999. Luettu 20.10.2008.
- 9 Knight, Barry & Thickett, David. Determination of response rates of wooden objects to fluctuating relative humidity in historic properties. (WWW-dokumentti.) <<http://eprints.sparaochbevara.se/56/>>. 2007. Luettu 29.12.2008
- 10 Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 1. painos. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto SuLVI.
- 11 Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto SuLVI, 2004.

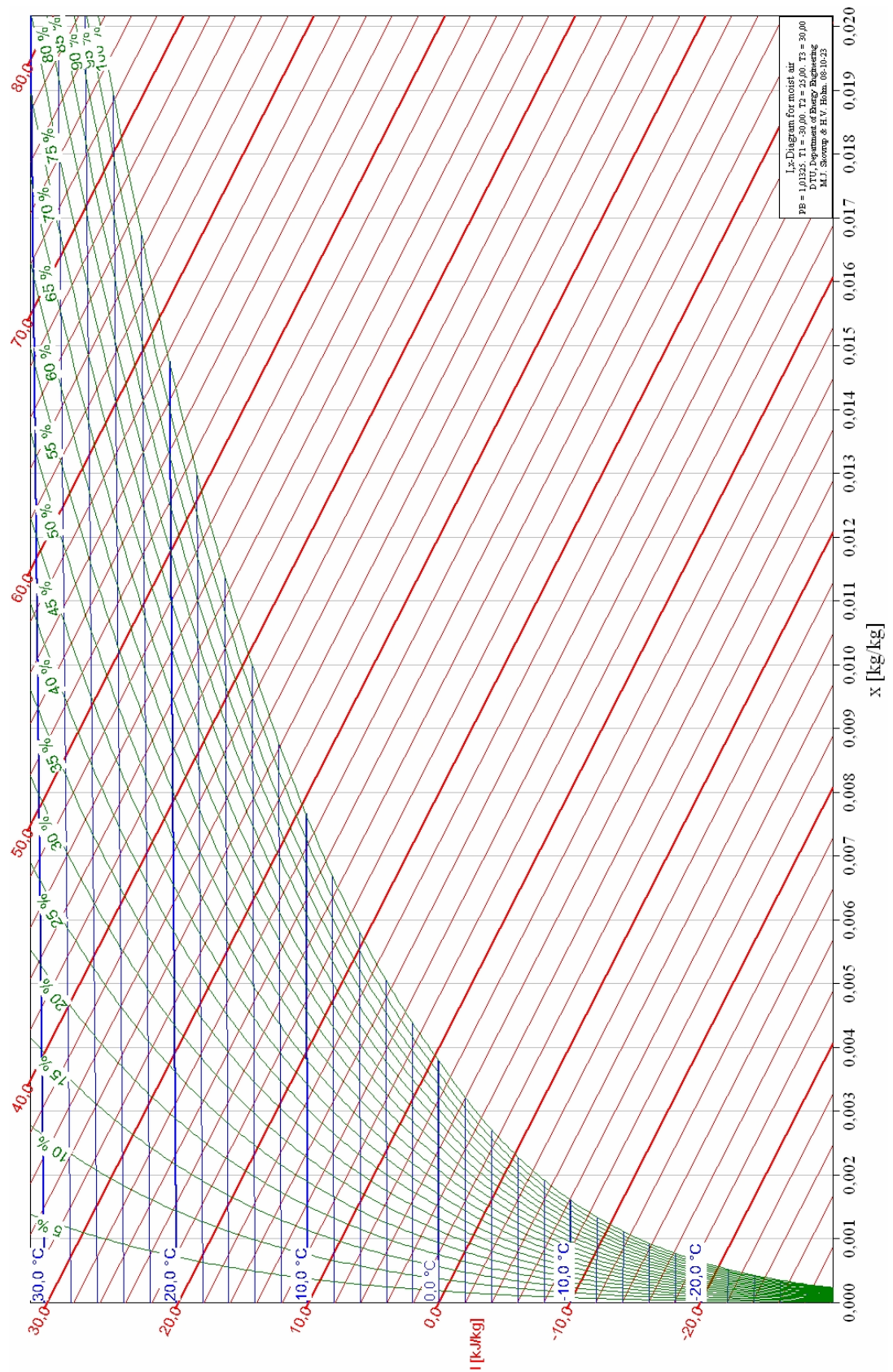
- 12 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus, 2005.
- 13 Evaporatiivinen jäähdytys. (WWW-dokumentti.) Munters Oy.  
<<http://www.munters.fi/fi/fi/Tuotteet-ja-palvelut/Kostutin-palvelvelut/HVAC-Heating-Ventilation-Air-ConditioningFi/Evaporatiivinen-jaahdytys/>>.  
Luettu 30.12.2008
- 14 Beggs, Clive. Energy: Management, Supply and Conservation. Butterworth-Heinemann, 2002
- 15 Bostwick, Charles. Daily News (Los Angeles, CA): Indian Museum to Stay Open on Weekends. (WWW-dokumentti.)  
<<http://www.thefreelibrary.com/INDIAN+MUSEUM+TO+STAY+OPEN+ON+WEEKENDS-a0142498550>>. 24.2.1996. Luettu 30.12.2008
- 16 Desiccant Dehumidification Rotor and cassette – Installation, Operation and maintenance Manual (WWW-dokumentti.) Rotor Source, Inc.  
<<http://www.rotorsource.com/ddtechmanual.pdf>>. 2006. Luettu 30.12.2008. Lataaminen saattaa vaatia rekisteröitymisen sivuille.
- 17 Desiccant. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Desiccant>>. Luettu 30.12.2008
- 18 Desiccant Equipment and Components – Desiccant Wheel Performance Estimator. (WWW-dokumentti.) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE).  
<<http://tc812.ashraetcs.org/html/wheelestimator.htm>>. Luettu 30.12.2008
- 19 Petchers, Neil. Combined Heating, Cooling & Power Handbook. Lilbum, GA: The Fairmont Press, 2003.
- 20 Dehumidifier. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier>>.  
Luettu 30.12.2008
- 21 Legionnaires' Disease & Humidifiers – What you Need To Know. (WWW-dokumentti.) JS Humidifiers.  
<[http://www.jshumidifiers.com/company/SEURLF/ASP/SFS/ARTICLEID.118/SFE/news\\_details.htm](http://www.jshumidifiers.com/company/SEURLF/ASP/SFS/ARTICLEID.118/SFE/news_details.htm)>. Luettu 31.12.2008



- 22 Humidifier. (WWW-dokumentti.) Wikipedia, the free encyclopedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Humidifier>>. Luettu 31.12.2008
- 23 Säteri, Jorma. Sisäilmayhdistys. Homevaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen. (WWW-dokumentti.) <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden\\_ekkaisy\\_ja\\_tunnistaminen/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden_ekkaisy_ja_tunnistaminen/)>. 27.10.1995. Luettu 31.12.2008
- 24 Devilbiss Ultraneb 3000, ultraäänikostutin. Fuchs Medical. (WWW-dokumentti.) [http://www.fuchsmedical.fi/tuote\\_tulosta.php?id=195](http://www.fuchsmedical.fi/tuote_tulosta.php?id=195). Luettu 31.12.2008
- 25 How Humidifiers Work. (WWW-dokumentti.) How Stuff Works. <<http://home.howstuffworks.com/humidifier4.htm>>. Luettu 31.12.2008
- 26 Humidifiers: Different Types and How They can Be a Health Hazard. (WWW-dokumentti.) Aerias Air Quality Sciences – IAQ Resource Center. <<http://www.aerias.org/DesktopModules/ArticleDetail.aspx?articleId=99>>. Luettu 31.12.2008
- 27 Haihdutuskostutin EUQA. (WWW-dokumentti.) Fläkt Woods Oy. <<http://www.flaktwoods.com/184/0/3/4915673b-a161-460b-9610-fa20441d5ac7>>. Luettu 31.12.2008
- 28 Peuhkurinen, Terho. Tampereen Teknillinen Yliopisto. LVI-Teknisten järjestelmien kustannukset. (WWW-dokumentti.) <[www.rta.tut.fi/rta\\_kurssit/57213/terho\\_hankkeen\\_talous.pdf](http://www.rta.tut.fi/rta_kurssit/57213/terho_hankkeen_talous.pdf)>. 11.2.2004. Luettu 10.1.2009
- 29 Paiho S., Ahlqvist T., Lehtinen E., Laarni J., Sipilä K., Ala-Siuru P. & Parkkila T. VTT. Talotekniikan kehityslinjat. (WWW-dokumentti.) <[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2379.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2379.pdf)>. Espoo 2007. Luettu 10.9.2009
- 30 Talotekniikan elinkaaritarkastelut – Talotekniikan käsikirja I. Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy. Forssa: Forssan kirjapaino Oy, 2001.

- 31 Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksin 2000=100 ja Rakennuskustannusindeksin 2000=100 vuosimuutokset, %. (WWW-dokumentti.) Tilastokeskus. <[http://www.stat.fi/til/kyki/2008/04/kyki\\_2008\\_04\\_2009-02-24\\_kuv\\_001.html](http://www.stat.fi/til/kyki/2008/04/kyki_2008_04_2009-02-24_kuv_001.html)>. 24.2.2009. Luettu 2.3.2009
- 32 Pulakka S., Heimonen I., Junnonen J-M. & Vuolle M. Talotekniikan elinkaarikustannukset. (WWW-dokumentti.) VTT. <[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf)>. Espoo 2007. Luettu 10.1.2009
- 33 Helsingin kaupunginhallitus. Esityslista 3.12.2007. Vasemmistoliiton valtuustoryhmän kaupunginhallitukselle osoitettu kirje rakennushankkeiden hinta-arvioista ja toteutuneista kustannuksista. (WWW-dokumentti.) <[http://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunginhallitus/Suomi/Esitys/2007/Halke\\_2007-12-03\\_Khs\\_43\\_EI/073330383/Vasemmis\\_toliiton\\_valtuustoryhman\\_kaupunginhallituk.pdf](http://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunginhallitus/Suomi/Esitys/2007/Halke_2007-12-03_Khs_43_EI/073330383/Vasemmis_toliiton_valtuustoryhman_kaupunginhallituk.pdf)>. Luettu 10.9.2009
- 34 Air Filter Test Reference Chart. (WWW-dokumentti.) Filtration Engineering Ltd FEL. <[http://www.filtration-engineering.co.uk/air\\_filter\\_testing.htm](http://www.filtration-engineering.co.uk/air_filter_testing.htm)>. Luettu 2.1.2009
- 35 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2003.
- 36 Hankkija Tekniikka Oy/Munters Oy. Ilmankuivaajat 8:1 – Suunnitteluohjeita SF81.1a/88.02. Kerava: Painojussit Oy, 1988.

# Liite 1: Kostean ilman h-x (Mollier) diagrammi, -30 °C...+30 °C



PROJECTUS TEAM		ILMAVIRTALASKELMA JA						HALLI													
Teppo Tulokas		SISÄILMAN TAVOITEARVOT						MAANALAINEN RAKENNUS													
VIIKIN KONSERVOINTIKESKUS		5.12.2008						Päivitetty													
HUONE	TILA	OLOSUHTEET	HENK. MÄÄRÄ	LÄMPÖTILA	SUHT KOSTEUS	KEMIAALLI-NEN	SUODATUS	KRS	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	TILA-VUUS	ÄÄNI-TASO	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ	ILMA-VIRTA	ILMA-VIRTA	ILMAN VAIHTU-VUUS	RI-KONE	KI-KONE
NRO	NIMIKE		(max)	°C	%	SUODATUS	ASTE		ALA	ALA	ALA	ALA		dB(A)	raitisilma	kiertoilma	raitis	yht	VUUS		
EPX	Erillispoiston tyyppi	O1...O6	KPL	min	max	min	max	EU	m2				m3		dm3/sm2	dm3/sm3	dm3/s	dm3/s	1/h		
	<b>ALAKERTA</b>																				
	<b>Kartuntatilat</b>																				
089A	Kartuntatila KM			18	22	35	55		431	431			2585,4		0,35	0,00	151	151	0,2	H302TK01	V
086B	Kartuntatila KM			18	22	35	55		1069	1069			6414,6		0,35	0,00	374	374	0,2	H302TK01	V
090A	Kartuntatila TM			18	22	35	55		1200	1200			7200		0,35	0,00	420	420	0,2	H302TK01	V
									<b>2700</b>												
	<b>Kaupunginmuseo</b>																				
002A	Esinekok 2	O 3		18	22	35	45		1463	1463			8778		0,35	1,20	512	1756	0,2	H302TK01	H326KK01
002B	Esinekok 2	O 3		18	22	35	45		179	179			1071		0,35	1,20	62	214	0,2	H303TK01	H329KK01
002C	Esinekok 2	O 3		18	22	35	45		788	788			4725		0,35	1,20	276	945	0,2	H303TK01	H328KK01
002D	Esinekok 2	O 3		18	22	35	45		571	571			3426		0,35	1,20	200	685	0,2	H303TK01	H328KK01
002E	Esinekok 3	O 5		18	22	30	40		500	500			3000		0,35	1,20	175	600	0,2	H301TK01	H322KK01
002F	Esinekok 3	O 3		18	22	35	45		392	392			2352		0,35	1,20	137	470	0,2	H302TK01	H323KK01
002G	Esinekok 3	O 3		18	22	35	45		285	285			1711,8		0,35	1,20	100	342	0,2	H301TK01	H321KK01
002H	Esinekok 3	O 3		18	22	35	45		788	788			4725		0,35	1,20	276	945	0,2	H301TK01	H330KK01
002I	Esinekok 3	O 3		18	22	35	45		261	261			1564,8		0,35	1,20	91	313	0,2	H301TK01	H330KK01
002J	Esinekok 3	O 3		18	22	35	45		774	774			4646,4		0,35	1,20	271	929	0,2	H303TK01	H329KK01
009	Ydinkoelma	O 4		18	22	45	55		150	150			900		0,35	1,20	53	180	0,2	H302TK01	H324KK01
034	Näyttelyrakennevarasto	O 1							150	150			900		0,35		53	53	0,2	H303TK01	
035	Laitevarasto	O 1							25	25			150		0,35		9	9	0,2	H303TK01	
036	Rekvisiittavarasto	O 1							150	150			900		0,35		53	53	0,2	H303TK01	
									<b>6475</b>												
	<b>Taidemuseo</b>																				
012	Kokoelmasäilitilat	O 3		18	22	35	45		400	400			2400		0,35	1,20	140	480	0,2	H302TK01	H325KK01
013	Kokoelmasäilitilat	O 3		18	22	35	45		175	175			1050		0,35	1,20	61	210	0,2	H302TK01	H325KK01
026	Näyttelyvarasto	O 4		18	22	45	55		250	250			1500		0,35	1,20	88	300	0,2	H302TK01	H327KK01
									<b>825</b>												
	<b>YLÄKERTA</b>																				
	<b>Kartuntatilat</b>																				
190	Kartuntatila TM			18	22	35	55		1228,5			1228,5	3685,5		0,20		246	246	0,2	H302TK01	V
189	Kartuntatila KM			18	22	35	55		768,5			768,5	2305,5		0,20		154	154	0,2	H301TK01	V
									<b>1997</b>												
	<b>Käsittelytilat</b>																				
125	jalustat	O 1							100			100	300		1,50	0,00	150	150	1,8	H302TK01	
124	kuljetuslaatikot	O 1							200			200	600		1,50	0,00	300	300	1,8	H302TK01	
127	pakkaus	O 4		18	22	45	55		450			450	1350		1,50	0,00	675	675	1,8	H302TK01	
120	esin. käsitt	O 2		18	22	35	55		200			200	600		1,50	0,00	300	300	1,8	H303TK01	
L-12	tav vast ott								100			100	300		1,50	0,00	150	150	1,8	H302TK01	



PROJECTUS TEAM		ILMAVIRTALASKELMA JA SISÄILMAN TAVOITEARVOT						HALLI MAANALAINEN RAKENNUS															
Teppo Tulokas		5.12.2008						Päivitetty															
HUONE NRO	TILA NIMIKE	OLOSUHTEET	HENK. MÄÄRÄ (max)	LÄMPÖTILA °C	SUHT KOSTEUS %		KEMIAALLINEN SUODATUS	SUODATUS ASTE	KRS	PINTA-ALA kok	PINTA-ALA H=6	PINTA-ALA H=4,5	PINTA-ALA H=3	TILA-VUUS	ÄÄNI-TASO	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ raitisilma	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ kiertoilma	ILMA-VIRTA raitis	ILMA-VIRTA yht	ILMAN VAIHTU-VUUS	RI-KONE	KI-KONE	
EPX	Erillispoiston tyyppi	O1...O6	KPL	min	max	min	max		EU		m2				m3	dB(A)	dm3/sm2	dm3/sm3	dm3/s	dm3/s	1/h		
	H301TK01			18	22	35	55											952				H301TK01	
	H302TK01			18	22	35	55											4727				H302TK01	
	H303TK01			18	22	35	55											1491				H303TK01	
	H304TK01	O 2		18	22	35	55											4500				H304TK01	
	H305TK01																	600				H305TK01	
	H306TK01																	900				H306TK01	
	H307TK01																	900				H307TK01	
	<b>ILMANKUIVAIMET</b>																						
	H308IK01																	0				H308IK01	
	H309IK01																	0				H309IK01	
	H310IK01																	0				H310IK01	
	<b>KIERTOILMAKONEET</b>																						
	H321KK01	O 3		18	22	35	45													342			H321KK01
	H322KK01	O 5		18	22	30	40													600			H322KK01
	H323KK01	O 3		18	22	35	45													470			H323KK01
	H324KK01	O 4		18	22	45	55													180			H324KK01
	H325KK01	O 3		18	22	35	45													690			H325KK01
	H326KK01	O 3		18	22	35	45													1756			H326KK01
	H327KK01	O 4		18	22	45	55													300			H327KK01
	H328KK01	O 3		18	22	35	45													1691			H328KK01
	H329KK01	O 3		18	22	35	45													1143			H329KK01
	H330KK01	O 3		18	22	35	45													1258			H330KK01
	H331KK01	O 4		18	22	45	55													277			H331KK01
	H332KK01	O 5		18	22	30	40													180			H332KK01
	H333KK01	O 4		18	22	45	55													1994			H333KK01
	H334KK01	O 5		18	22	30	40													613			H334KK01
	H335KK01	O 4		18	22	45	55													1140			H335KK01
	H336KK01	O 6		16	20	45	55													798			H336KK01
	H337KK01	O 4		18	22	45	55													824			H337KK01
	H338KK01	O 5		18	22	30	40													246			H338KK01
	H339KK01	O 4		18	22	45	55													1483			H339KK01
	H340KK01	O 4		18	22	45	55													1098			H340KK01

PROJECTUS TEAM		ILMAVIRTALASKELMA JA SISÄILMAN TAVOITEARVOT						KOKE MAANPÄÄLLINEN RAKENNUS															
Teppo Tulokas		5.12.2008						Päivitetty															
VIIKIN KONSERVOINTIKESKUS																							
HUONE	TILA	OLOSUHTEET	HENK. MÄÄRÄ (max)	LÄMPÖTILA °C	SUHT KOSTEUS %		KEMIAALLINEN SUODATUS	SUODATUS ASTE	KRS	PINTA-ALA kok	PINTA-ALA H=6	PINTA-ALA H=4,5	PINTA-ALA H=3	TILA-VUUS	ÄÄNITASO	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ	ILMAVIRTA norm	ILMAVIRTA max	ILMANVAIHTU-VUUS	KP/VK/LAK	TULOIMA-KONE		
EPX	Erillispoiston tyyppi	O1...O6	KPL	min	max	min	max		EU		m2			m3	dB(A)	dm3/sm2	dm3/s	dm3/s	1/h				
<b>KOKOELMASÄILTYSTILAT</b>																							
<b>Kok. säil / KM</b>																							
3	ajoneuvot	O 7		16	22	25	55			1	1213	1213		7276		0,35	424	424	0,2	0	0	0	K301TK01
4	raitiovaunut	O 7		16	22	25	55			1	2425	2425		14552		0,35	849	849	0,2	0	0	0	K301TK01
<b>3638</b>																							
<b>VERSTAAT JA VARASTOT</b>																							
<b>Verstaat, varastot / Yhteiset</b>																							
28	näyttelysuunnittelu	O 1								3	100		100	300		1,50	150	150	1,8	0	0	0	K303TK01
29	puutyöt	O 1								2	200		200	900		1,50	300	300	1,2	0	0	0	K303TK01
30	maalaukset	O 1								2	150		150	675		1,50	225	825	1,2	0	1	0	K303TK01
31	tulityöt	O 1								2	25		25	112,5		1,50	38	338	1,2	2	0	0	K303TK01
<b>475</b>																							
<b>Verstaat, varastot / KM</b>																							
			5																				
32	näyttelymuseomest. verst	O 1								2	300		300	1350		1,50	450	450	1,2	0	0	0	K303TK01
33	kokoelmamuseomest. ver	O 1								2	150		150	675		1,50	225	225	1,2	0	0	0	K303TK01
36	rekvisiittavarasto	O 1								2	150		150	450		0,35	53	53	0,4	0	0	0	K303TK01
<b>600</b>																							
<b>Verstaat, varastot / TM</b>																							
			4																				
37	näyttelyrakennearasto	O 1								2	100	100		600		0,35	35	35	0,2	0	0	0	K303TK01
38	verstas	O 1								2	200		200	900		1,50	300	300	1,2	0	0	0	K303TK01
<b>300</b>																							
<b>KONSERVOINTILAITOS</b>																							
<b>Konservointilaitos / Y</b>																							
39	kirjasto	O 1								3	75		75	225		2,00	150	150	2,4	0	0	0	K304TK01
40	kokoustila	O 1								3	50		50	150		4,00	200	200	4,8	0	0	0	K304TK01
41	määräaik.kons. toimisto	O 1								3	50		50	150		1,50	75	75	1,8	0	0	0	K304TK01
42	pesu- ja kuivaushuone	O 1								2	20		20	60		3,00	60	60	3,6	0	0	0	K304TK01
43	materiaalivarasto	O 1								2, 3	40		20	150		0,35	14	14	0,3	0	0	0	K304TK01
44	valokuvaus	O 1								3	20		20	60		1,50	30	30	1,8	0	0	0	K304TK01
45	kehystys	O 1	2							2	125		125	375		1,50	188	340	1,8	2	0	2	K303TK01
46	taide- ja veistoskonservoi	O 4		18	22	45	55			2	100		100	450		1,50	150	340	1,2	2	0	2	K302TK01
<b>10</b>																							
<b>Konservointilaitos / KM</b>																							
			10																				
47	huonekalut	O 4		18	22	45	55			2	125		125	562,5		1,50	188	340	1,2	1	1	1	K302TK01
48	paperi	O 4		18	22	45	55			3	150		150	450		1,50	225	340	1,8	1	1	1	K302TK01

PROJECTUS TEAM		ILMAVIRTALASKELMA JA SISÄILMAN TAVOITEARVOT						KOKE MAANPÄÄLLINEN RAKENNUS														
Teppo Tulokas		5.12.2008						Päivitetty														
VIIKIN KONSERVONTIKESKUS																						
HUONE	TILA	OLOSUHTEET	HENK. MÄÄRÄ	LÄMPÖTILA	SUHT KOSTEUS	KEMIAALLINEN	SUODATUS	KRS	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	TILA-VUUS	ÄÄNI-TASO	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ	ILMA-VIRTA	ILMA-VIRTA	ILMAN VAIHTU-VUUS	KP/VK/LAK	TULOIMA-KONE		
EPX	Erillispoiston tyyppi	O1...O6	KPL	min max	min max	SUODATUS	ASTE		m2	H=6	H=4,5	H=3	m3	dB(A)	dm3/sm2	dm3/s	dm3/s	1/h				
49	tekstiili	O 4		18 22	45 55		EU	3	175			175	525		1,50	263	340	1,8	1	1	1	K302TK01
50	rakennus	O 4		18 22	45 55				75		75		337,5		1,50	113	340	1,2	1	1	1	K302TK01
51	esine	O 4		18 22	45 55			2	150		150		675		1,50	225	340	1,2	1	1	1	K302TK01
	<b>Konservointilaitos / TM</b>		5																			
52	työtilat	O 4		18 22	45 55			4	300			300	900		1,50	450	1360	1,8	4	4	4	K302TK01
									<b>1075</b>													
	<b>TOIMISTOTILAT</b>																					
	<b>Toimistotilat / Y</b>																					
53	tarvikevarasto	O 1							10			10	30		0,50	5	5	0,6	0	0	0	K304TK01
54	käsikirjasto	O 1						4	25			25	75		2,00	50	50	2,4	0	0	0	K304TK01
55	julkaisuvarasto / KM	O 1						4	50			50	150		0,50	25	25	0,6	0	0	0	K304TK01
56	julkaisuvarasto / TM	O 1						4	15			15	45		0,50	8	8	0,6	0	0	0	K304TK01
57	kokoushuone	O 1						4	25			25	75		4,00	50	100	2,4	0	0	0	K305TK01
									<b>100</b>													
	<b>Toimistotilat / KM</b>		30																			
58	arkeologi	O 1							25			25	75		1,50	38	38	1,8	0	0	0	K304TK01
59	arkeologian työhuone	O 1							50			50	150		1,50	75	75	1,8	0	0	0	K304TK01
60	tutkijat	O 1						3	175			175	525		1,50	263	263	1,8	0	0	0	K304TK01
61	konservaaattorit	O 1						3	120			120	360		1,50	180	180	1,8	0	0	0	K304TK01
62	museomestarit	O 1						3	75			75	225		1,50	113	113	1,8	0	0	0	K304TK01
63	valokuvaaja	O 1							20			20	60		1,50	30	30	1,8	0	0	0	K304TK01
64	määräaik.henkilökunta	O 1							50			50	150		1,50	75	75	1,8	0	0	0	K304TK01
									<b>515</b>													
	<b>Toimistotilat / TM</b>																					
65	kons. ja museomest.	O 1	10						125			125	375		1,50	188	188	1,8	0	0	0	K304TK01
	<b>KUVALAITOS</b>																					
	<b>Kuvalaitos / Y</b>		2																			
66	studio 1	O 1						2	75	75			450		1,50	113	113	0,9	0	0	0	K304TK01
67	studio 2	O 1						2	175	175			1050		1,50	263	263	0,9	0	0	0	K304TK01
	<b>Kuvalaitos / KM</b>																					
68	saapuva aineisto	O 1						3	60	60			360		1,50	90	90	0,9	0	0	0	K304TK01
69	valokuvalaboratorio	O 1						3	30	30			180		1,50	45	45	0,9	0	0	0	K304TK01
70	kylmiö						Purafil	3	10	10			60		1,50	15	15	0,9	0	0	0	
71	olosuhteistamistila	säätöväli		16 22	25 55			3	10	10			60		1,50	15	15	0,9	0	0	0	



<b>PROJECTUS TEAM</b>		<b>ILMAVIRTALASKELMA JA SISÄILMAN TAVOITEARVOT</b>						<b>KOKE MAANPÄÄLLINEN RAKENNUS</b>														
<b>Teppo Tulokas</b>		5.12.2008						Päivitetty														
<b>VIIKIN KONSERVOINTIKESKUS</b>																						
HUONE	TILA	OLOSUHTEET	HENK. MÄÄRÄ	LÄMPÖ-TILA	SUHT KOSTEUS	KEMIAALI-NEN	SUODATUS	KRS	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	PINTA-ALA	TILA-VUUS	ÄÄNI-TASO	MITOITUS-ILMAMÄÄRÄ	ILMA-VIRTA	ILMA-VIRTA	ILMAN VAIHTU-VUUS	KP/VK/LAK	TULOIMA-KONE		
NRO	NIMIKE		(max)	°C	%	SUODATUS	ASTE		kok	H=6	H=4,5	H=3			dm3/sm2	norm	max	1/h				
EPX	Erillispoiston tyyppi	O1...O6	KPL	min	max	min	max		EU													
72	skannaamo	O 1							3	75	75			450	1,50	113	113	0,9	0	0	0	K304TK01
73	projektityötila	O 1							3	30	30			180	1,50	45	45	0,9	0	0	0	K304TK01
74	studiotyötila	O 1							3	15	15			90	1,50	23	23	0,9	0	0	0	K304TK01
<b>Kuvalaitos / TM</b>			1																			
75	arkisto+ lämmönsäätelykaappi								3	20	20			120	1,50	30	30	0,9	0	0	0	K304TK01
76	studiotyötila	O 1							3	15	15			90	1,50	23	23	0,9	0	0	0	K304TK01
										<b>640</b>												
<b>YLEISÖTILAT</b>																						
<b>Yleisötilat / Y</b>			30																			
77	aula	O 1								60			60	180	0,50	30	30	0,6	0	0	0	K305TK01
78	vahtimestari	O 1								15			15	45	1,50	23	23	1,8	0	0	0	K305TK01
79	vaatesäilytys	O 1							4	20			20	60	4,00	80	80	4,8	0	0	0	K305TK01
80	wc	O 1							1	5			5	15	6,00	30	30	7,2	0	0	0	K305TK01
81	auditorio	O 1							4	125			125	375	8,00	1000	1000	9,6	0	0	0	K305TK01
82	toimistotilat / ulkopuoliset	O 1								75			75	225	1,50	113	113	1,8	0	0	0	K305TK01
	käytävätilat 2-4. krs	O 1								<b>1260</b>			1260	3780	0,50	630	630	0,6	0	0	0	K304TK01
<b>Yleisötilat / TM</b>																						
83	talletustilat	O 1							4	250			250	750	4,00	1000	1000	4,8	0	0	0	K305TK01
<b>SOSIAALITILAT</b>																						
<b>Sosiaalitulat / Y tai tilojen yhteydessä</b>																						
84	säilytys / käsittelytil. yhtey	O 1								20			20	60	5,00	100	100	6,0	0	0	0	K304TK01
85	verstas / konservointitil. y	O 1								20			20	60	5,00	100	100	6,0	0	0	0	K304TK01
86	toimistotilojen yhteydessä	O 1								40			40	120	5,00	200	200	6,0	0	0	0	K304TK01
87	vaatehuolto	O 1							4	50			50	150	2,00	100	100	2,4	0	0	0	K304TK01
88	taukotilat	O 1								80			80	240	5,00	400	400	6,0	0	0	0	K304TK01
										<b>210</b>												
<b>IV-KONEET</b>								<b>PALVELUALUE</b>														
K301TK01		O 7		16	22	25	55			Ajoneuvohalli (olosuhdetila, ei kustutusta)				raitis/yht-->	1273	5457						K301TK01
K302TK01		O 4		18	22	45	55			Konservointitilat (olosuhdetila)				norm/max-->	1613	3400						K302TK01
K303TK01		O 1								Verstaat (norm. olosuhteet)				norm/max-->	1963	3015						K303TK01
K304TK01		O 1								Tsto/sosiaalitulat (norm. olosuhteet)						3849						K304TK01
K305TK01		O 1								Kokous, aud., yleisö (norm. olosuhteet)						2375						K305TK01

