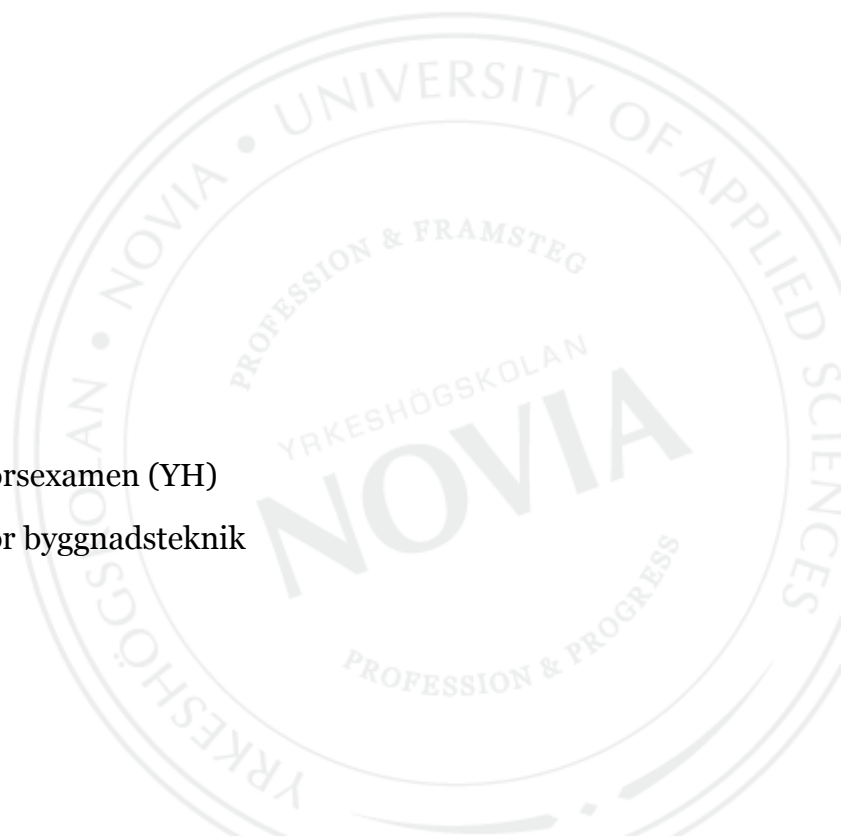


# Luftrörelser i konstruktioner

Jonas Ahtola

Björn Hötman

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)  
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik  
Vasa 2011



## EXAMENSARBETE

Författare: Jonas Ahtola, Björn Höstman  
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ/Fördjupning: Byggnadsproduktion  
Handledare: Kimmo Koivisto

Titel: *Luftrörelser i konstruktioner*

---

Datum 25.5.2011

Sidantal 35

Bilagor 8

---

### Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete är att försöka utveckla en ny metod för att mäta luftrörelser i konstruktioner. Arbetet har delats upp i två delar där det har gjorts både teoretisk forskning samt empirisk forskning kring luftrörelser i konstruktioner. Det har gjorts åtta mätningar på tre olika konstruktionstyper. Resultatet av denna avhandling visar att mätningmetoden är värd att satsa vidare på, dock med vissa modifikationer och förbättringar. Förslag ges också på vidareutveckling av mätningmetoden.

---

Språk: svenska    Nyckelord: luftrörelser, konvektion, spårgasmetod

---

Förvaras: Examensarbetet finns tillgängligt i webbbiblioteket Thesus.fi



## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:

Jonas Ahtola, Björn Höstman

Koulutusohjelma ja paikkakunta:

Rakennustekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto:

Rakennustuotanto

Ohjaaja:

Kimmo Koivisto

Nimike: *Ilmavirtaukset rakenteissa*

---

Päivämäärä 25.5.2011

Sivumäärä 35

Liitteet 8

---

### Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kehittää uusi menetelmä, millä voi mitata ilmavirtausta rakenteissa. Työ on jaettu kahteen osaan, jossa on tehty sekä teoreettinen tutkimus että kokeellinen tutkimus ilmavirtauksista rakenteissa. Kahdeksan mittausta on tehty kolmessa eri rakenteessa. Tämän opinnäytetyön tulos viittaa siihen, että tähän mittausmenetelmään kannattaa panostaa jatkossa, tosin tietyin muutoksin ja parannuksin. Ehdotuksia annetaan myös mittausmenetelmän kehitykseen jatkossa.

---

Kieli: ruotsi  
menetelmä

Avainsanat: ilmavirtaukset, konvektio, merkkikaasu-

---

Arkistoidaan: Thesus.fi





## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Jonas Ahtola, Björn Höstman  
Degree Programme: Building Engineering, Vaasa  
Specialization: Building production  
Supervisor: Kimmo Koivisto

Title: *Air movements in building structures*

---

Date 25.5.2011

Number of pages 35

Appendices 8

---

### **Summary**

The purpose of this Bachelor's thesis is to develop a new method for measuring air movements in building structures. This thesis has been divided into two parts. Research has been done both through theoretical studies and empirical studies. Eight measurements on three different types of construction structures have been performed. The results of this thesis show that this kind of measuring method has potential to become a feasible way of measuring air movements in building structures, but with some modifications and improvements. Suggestions on how to improve the measuring method are also presented.

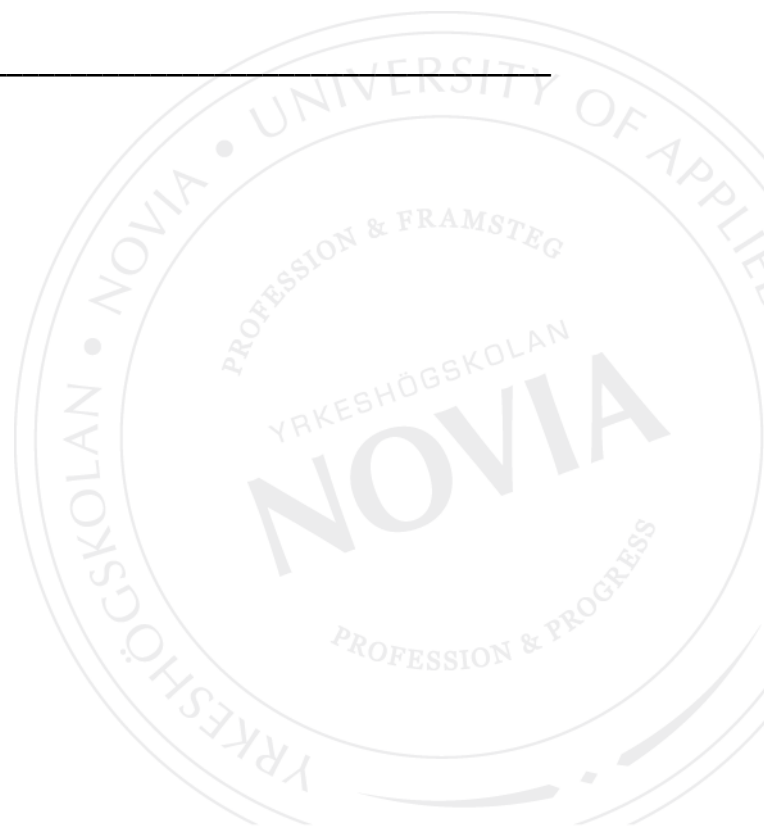
---

Language: Swedish  
method

Key words: air movements, convection, tracer-gas

---

Filed at: Thesus.fi



# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Uppdragsgivare.....	1
2	Syfte och målsättning.....	2
3	Teoretisk bakgrund.....	2
3.1	Byggnadsfysik.....	2
3.1.1	Värme.....	2
3.1.2	Fuktig luft.....	3
3.2	Fuktkonvektion i yttervägg.....	4
3.3	Luftrörelser i yttervägg.....	5
3.3.1	Lufttryck.....	6
3.3.2	Summan av dellufttrycken.....	9
3.4	Lufttäthet och dess betydelse.....	9
3.5	Ångspärr.....	9
3.6	Isolering.....	10
3.6.1	Allmänt.....	10
3.6.2	Egenskaper.....	11
4	Tidigare forskning.....	12
4.1	Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen.....	12
4.2	Utvärdering av numeriska antaganden för kombinerad värme-, luft- och fukttransport i byggnadsdelar.....	13
4.3	Fuktförhållanden och lufttäthet i konstruktioner med eller utan ångspärr ..	13
4.4	Luftläckagets påverkan på en dynamiskt isolerad vägg.....	14
4.5	Naturlig konvektion och dess påverkan på vågrätliggande isolering.....	15
4.6	Undersökning av byggnaders luftläckage.....	18
4.7	Mögelsporers rörelse genom byggnadskonstruktion.....	20
5	Metoder och tillvägagångssätt.....	21
5.1	Mätningar.....	21
5.1.1	Utrustning.....	21
5.1.2	Montering av mätutrustning.....	22
5.1.3	Gas.....	25
5.1.4	Mätningen.....	25
5.2	Väggtyper i denna undersökning.....	27
5.3	Rapporternas innehåll.....	30
6	Resultat och tolkning.....	32
6.1	Efficiency.....	32

6.2	Mätningresultat.....	32
6.3	Tolkning.....	33
7	Diskussion.....	34
8	Slutord.....	35
	Källförteckning.....	36

## 1 Inledning

Luftrörelser i konstruktioner inverkar både på fukttransporten och fuktbalansen i klimatskalet på en byggnad. Luftrörelserna påverkar också värmeförlusterna, dels direkt som en del av ventilationen och dels genom sin inverkan på funktionen hos isoleringsmaterial.

I Finlands Byggbestämmelsesamling C3 säger man följande: *”Såväl byggnadsmanteln som de rumsavskiljande konstruktionerna bör vara så lufttäta att luftströmningar genom läckorna inte orsakar avsevärda hinder för byggnadens användare eller för konstruktioner samt att byggnadens ventilationssystem kan fungera plan enligt.”*<sup>1</sup>

Genom att planera omsorgsfullt och skapa goda byggtekniska konstruktionslösningar kan man minimera uppkomsten av skadliga luftströmningar genom konstruktioner.

I denna undersökning har man gjort åtta mätningar på tre olika konstruktionstyper. Resultaten visar varierande resultat. Dock har man kunnat konstatera att mätningförfarandet är värt att utveckla och satsa vidare på.

### 1.1 Uppdragsgivare

Beställare och uppdragsgivare för detta examensarbete är ett kompetenscentrum för Byggnad – Luftkvalitet – Hälsa (KLUCK2). Projektet är EU-finansierat och är ett samarbetsprojekt mellan Vasa och Umeå.

Syftet med KLUCK är att det skall utgöra ett kompetenscentrum kring inomhusluft i Kvarkenregionen. Projektets mål är att bygga upp ett kompetenscentrum som ska sprida den information om hur man hanterar problem med inomhusluft idag. Behovet att få svar på inomhusluftsfrågor finns hos alla som påverkas av den, men speciellt för de som möter inomhusluftsproblem i sitt arbete. För att KLUCK 2 skall kunna informera andra så bör deras kompetens kontinuerligt öka. Genom projektet strävas det till att öka kunskapen om sambandet mellan byggnader, luft och hälsa.

---

<sup>1</sup> Finlands byggbestämmelsesamling C3 (2010), s.5

## 2 Syfte och målsättning

Syftet med detta examensarbete är att försöka utveckla en metod för att mäta luftrörelser i konstruktioner. Arbetet har delats upp i två delar där man har gjort både teoretisk forskning samt empirisk forskning kring luftrörelser. Målsättningen är att få läsaren att förstå vad luftrörelser är och vilka konsekvenser de kan ha på en byggnad.

## 3 Teoretisk bakgrund

### 3.1 Byggnadsfysik

De grundläggande komponenterna inom byggnadsfysik är värme, fukt och luftrörelser. Dessa fysikaliska begrepp ger grunden till att kunna förstå hur en byggnad påverkas av inomhus- och utomhusklimatet.<sup>2</sup>

#### 3.1.1 Värme

I material och i konstruktioner sker värmetransport från delar med högre temperatur till delar med lägre temperatur. Värmetransport genom byggnadsskalet kan ske på följande tre sätt:

- Ledning
- Strålning
- Konvektion

**Ledning** innebär överföring av energi från en molekyl till en annan närliggande molekyl i materialet.<sup>3</sup>

**Strålning** innebär att värme överförs från varmare ytor till kallare ytor.<sup>4</sup>

**Konvektion** innebär att värmen från ett material överförs med luftens eller vattnets flöde till ett annat material. Konvektion kan vara naturlig eller tvingad.<sup>5</sup>

Naturlig konvektion beror på densitetsskillnader som är en följd av temperaturdifferenser. Tvingad konvektion orsakas av fläktar eller vindtryck.<sup>6</sup>

---

<sup>2</sup> Hagentoft (2001), Introduction to building physics, s. 1

<sup>3</sup> Björkholtz (1997), Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka, s. 12

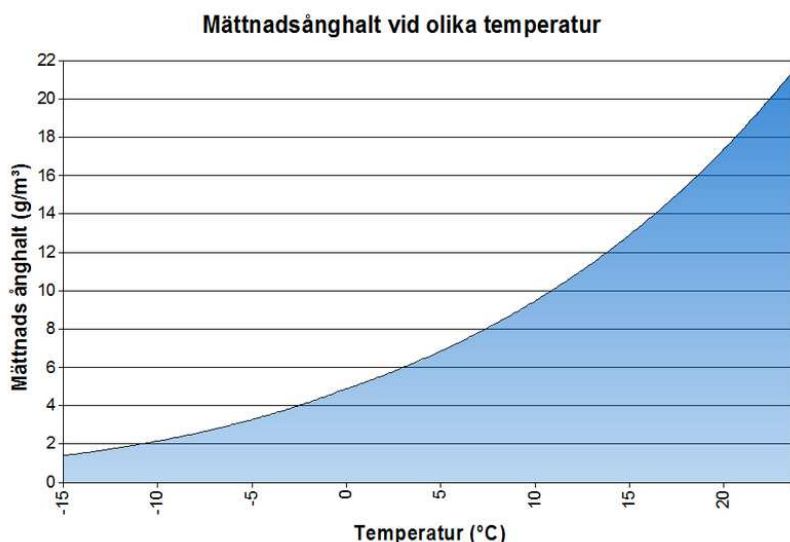
<sup>4</sup> Petersson (2009), Tillämpad byggnadsfysik, s.242

<sup>5</sup> Björkholtz (1997), s.13



### 3.1.2 Fuktig luft

Luft innehåller alltid en viss mängd vattenånga. Mängden vattenånga som luften kan innehålla bestäms av temperaturen. Ju varmare luften är desto mera vattenånga kan den innehålla. Den maximala mängden vattenånga luften kan innehålla vid en given temperatur kallas mättnadsånghalt, betecknas  $v_s$ , och anges i  $\text{kg}/\text{m}^3$  eller  $\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>7</sup>



Figur 1. Sambandet mellan mättnadsånghalt och temperatur.<sup>8</sup>

Luftfukt anges oftast som absolut fuktighet eller relativ fuktighet där:

**Absolut fuktighet** uttrycker luftens verkliga mängd vattenånga per måttenhet och anges i  $\text{kg}/\text{m}^3$  eller  $\text{g}/\text{m}^3$ . Vintertid är den absoluta fuktigheten väldigt låg, i medeltal 2–3  $\text{g}/\text{m}^3$  och på sommaren kring 10  $\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>9</sup>

**Relativ fuktighet (RH eller RF)** är kvoten mellan luftens aktuella ånghalt och mättnadsånghalt vid en viss temperatur. Formeln för att räkna ut relativ fuktighet är följande:

$$\varphi = \frac{v}{v_s(T)} \quad 10$$

<sup>6</sup> Petersson (2009), s.256

<sup>7</sup> Petersson (2009), s.304

<sup>8</sup> Nevander & Elmarsson (2006), Fukthandbok, s.239

<sup>9</sup> RT 05-10410, 1989, s. 2

<sup>10</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s.239

Om den aktuella ånghalten är lägre än mättnadsånghalten kan temperaturen sänkas till den så kallade daggpunkten  $T_{sat}$ , vilket medför att den aktuella ånghalten blir den samma som mättnadsånghalten. Om temperaturen sänks ytterligare kommer vattenånga att kondensera till vatten.<sup>11</sup>

### 3.2 Fuktkonvektion i yttervägg

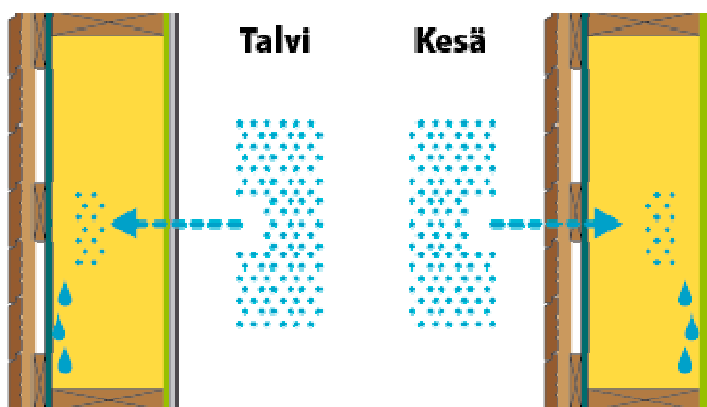
Fuktkonvektion innebär att vattenångan i luften förs med när luften tar sig genom klimatskalet på en byggnad. Luftflöde uppstår till en följd av lufttrycks- och temperaturdiffrenser. Fuktkonvektion kan dessutom delas in i två undergrupper.<sup>12</sup>

- Yttre konvektion
- Inre konvektion

**Yttre konvektion** innebär att byggnadens klimatskal läcker. Problem uppstår då varm luft rör sig in i isoleringen och möter en kall yta.

På vintern kyls isoleringen ner och luften som finns inne i isoleringen klarar inte av binda lika mycket fukt som den varma inneluften. Om lufttrycket är högre inomhus än i konstruktionen kommer detta leda till tryckutjämning genom otätheter i ångspärren och därmed fås fukt in i konstruktionen. Denna fuktbildning kan övergå från ångfas till vätskeform och således ge upphov till fuktskador.

På sommaren värms isoleringen upp och den varma luften i isoleringen kan innehålla mera fukt än den svala inomhusluften. Ett ökat vindtryck kan medföra mera fukt in i konstruktionen eftersom lufttrycket ökar och detta kan bidra till högre fukthalt.



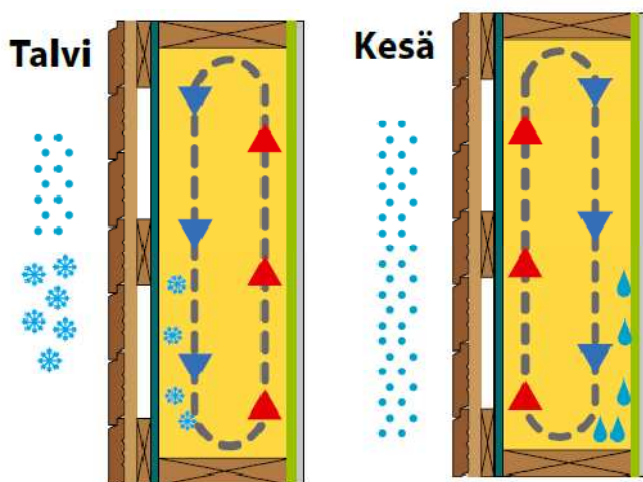
Figur 2. Yttre konvektion vinter- respektive sommartid i yttervägg.<sup>13</sup>

<sup>11</sup> Petersson (2009), s.304

<sup>12</sup> Tiivistalo (2010)

**Inre konvektion** innebär att det sker luftrörelser inne i en konstruktion. Detta beror på temperaturskillnader mellan konstruktionens yttre sida och inre sida och att fukt har kommit in i konstruktionen på grund av otätheter.

På sommaren då temperaturen ute oftast är högre än inomhus så blir isoleringen på väggens yttre sida varmare. Luften stiger då uppåt och svänger neråt då den möter den kalla luften på väggens inre sida. Då den kalla luften har sjunkit ner kan den nå daggpunkten och således ge upphov till fukt. På vintern sker luftrörelsen i motsatt riktning men problemet är fortsättningsvis det samma.<sup>14</sup>



Figur 3. Inre konvektion vinter- respektive sommartid i yttervägg.<sup>15</sup>

### 3.3 Luftrörelser i yttervägg

Luftrörelser och luftflöden i en väggkonstruktion uppkommer till en följd av lufttrycksskillnad mellan inomhusluften och utomhusluften samt otätheter i konstruktionen.

Dessa luftrörelser har stor inverkan på både värmebalansen samt fuktbalansen. Detta beror på att luften för med sig både sitt värmeinnehåll och sitt fuktinnehåll.

Normalt sett vill man inte ha luftströmning genom en konstruktion, eftersom luften för med sig fukt och kan således ge upphov till fuktskador i konstruktionen.<sup>16</sup>

Luftrörelser som sker i samband med konvektiv värmetransport kan delas in i två grupper:

<sup>13</sup> Tiivistalo (2010)

<sup>14</sup> ibid

<sup>15</sup> ibid

<sup>16</sup> Petersson (2009), s. 232-239

- Naturlig konvektion
- Påtvingad konvektion

Om luftrörelser uppstår till följd av temperatur- och densitetsskillnader kallas detta ***naturlig konvektion***.<sup>17</sup>

Ett exempel på detta är då det finns otätheter i en vägg som leder till att den varma inneluften kan röra sig mot den kallare luften inne i väggkonstruktionen.<sup>18</sup>

***Påtvingad konvektion*** orsakas av vindtryck, termisk drivkraft och ventilationsmaskiner.<sup>19</sup>

Dessa tre drivkrafter förklaras närmare i nästa kapitel.

### 3.3.1 Lufttryck

Luftrörelser in i och igenom en väggkonstruktion orsakade av lufttrycksskillnader kan delas in i tre underkategorier:

- Vindtryck som drivkraft
- Termisk drivkraft
- Mekanisk drivkraft

***Termisk drivkraft*** (också känd som skorstenseffekt) är en drivkraft som sätter luften i rörelse på grund av temperaturskillnader mellan inomhusluften och utomhusluften.<sup>20</sup>

Varm luft vill stiga uppåt eftersom den utvidgas och får därmed lägre densitet än omgivningens. Lufttrycket ändras därför från en nivå till en annan beroende på luftens temperatur.<sup>21</sup>

Detta fenomen fungerar även i omvänd ordning, det vill säga när luften kyls ner blir densiteten högre och luften sjunker neråt och tränger undan den varmare luften.<sup>22</sup>

Lufttrycket är vid en viss höjd neutralt, det vill säga lufttrycket är det samma på insidan som det är på utsidan, vilket illustreras i figur 4. Ur samma figur framkommer även att

---

<sup>17</sup> Beall (1998), Thermal and moisture protection manual, s. 60

<sup>18</sup> Petersson (2009), s. 257

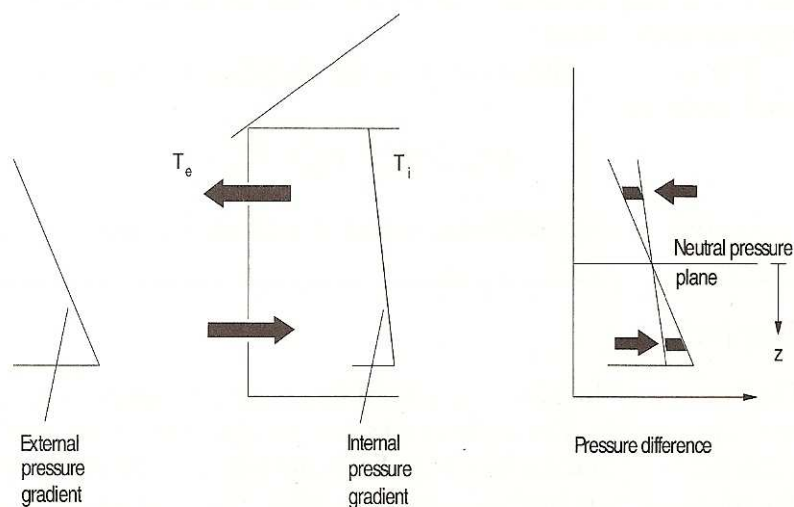
<sup>19</sup> Hagentoft (2001), s. 71

<sup>20</sup> Hagentoft (2001), s.75

<sup>21</sup> Petersson (2009), s. 232-233

<sup>22</sup> Beall (1998), s. 60

luftrycket är positivt i nedre delen på byggnaden, luft pressas in och på byggnadens övre del är luftrycket negativt, vilket betyder att luften sugts ut.<sup>23</sup>



Figur 4. Luftrycksdifferens till följd av termisk drivkraft.<sup>24</sup>

Skillnaderna i luftryck  $\Delta p$  (Pa) utifrån temperaturskillnader fås ur följande formel:

$$\Delta p = \rho_0 \cdot g_0 \cdot T_0 \cdot \left( \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \cdot z$$

$\rho_0$  = luftens densitet vid 0° C (1,293 kg/m<sup>3</sup>)

$g_0$  = tyngdacceleration (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$T_0$  = absoluttemperatur K vid 0° C (d.v.s. 273 K)

$T_e, T_i$  = absoluttemperatur ute respektive inne uttryckt i Kelvin (K)

Även om lufttätheterna i en yttervägg är små kan de snabbt leda till okontrollerade mängder luftströmning genom konstruktionen, vilket i sin tur kan leda till fuktskador.<sup>25</sup>

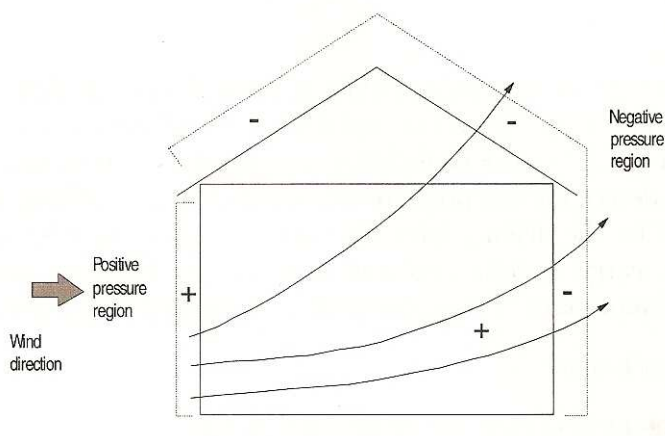
**Vindtryck som drivkraft** innebär att när det blåser på och runt en byggnad skapas det luftryck vid byggnadens ytor. Detta tryck påverkar även inneluften. Det bildas ett övertryck mot den sidan som vinden blåser mot, lovertssidan. Uteluften vill tränga in i

<sup>23</sup> Hagentoft (2001), s. 75-76

<sup>24</sup> Hagentoft (2001), s. 76

<sup>25</sup> Petersson (2009), s. 233-234

byggnaden och genom väggarna. På byggnadens sidor och läsida bildas det däremot ett undertryck som strävar efter att suga ut inneluften.<sup>26</sup>



Figur 5. Vindtryckets påverkan på en byggnad, luftflöden illustreras med pilar.<sup>27</sup>

Skillnaderna i lufttryck  $\Delta p$  (Pa) som följd av vindens påverkan fås ur följande formel:

$$\Delta p = (C_{ytte} - C_{inre}) \cdot \frac{\rho \cdot v_{vind}^2}{2}$$

C = formfaktor

$v_{vind}$  = vindhastigheten (m/s)

Vindtrycket påverkar en byggnads energibalans samt värmefunktion eftersom skillnaderna i lufttrycket varierar längs med klimatskärmen.<sup>28</sup>

**Mekanisk drivkraft** syftar på fläktar i ventilationssystem som antingen skapar över- eller undertryck. Ur byggnadsfysikalisk synpunkt vill man helst ha undertryck inne i byggnaden. Detta för att minimera risken för skadlig fuktransport med läckageluft genom byggnadsmanteln.<sup>29</sup>

Det finns ett antal av varianter för mekaniska ventilationssystem, såsom tilluftsventilation, frånluftsventilation och balanserad ventilation.<sup>30</sup>

Tilluftsventilation blåser in utomhusluft som sedan blandas med den befintliga inomhusluften. Tilluftsventilation skapar ett övertryck inne i byggnaden.

<sup>26</sup> Hagentoft (2002), Vandrande fukt strålade värme, s. 63

<sup>27</sup> Hagentoft (2001), s. 72

<sup>28</sup> Petersson (2009), s. 236

<sup>29</sup> Petersson (2009), s. 238-239

<sup>30</sup> Hagentoft (2001), s. 77

Frånluftsventilation suger ut luft ur byggnaden och skapar därmed ett undertryck.

Balanserad ventilation kombinerar tillufts- och frånluftsventilation. Syftet är att skapa ett neutralt lufttryck i byggnaden. I praktiken är dock detta svåruppnått och lufttrycket är antingen aningen över- eller undertryck.<sup>31</sup>

### 3.3.2 Summan av dellufttrycken

Det totala lufttrycket som påverkar en byggnad och dess klimatskärm är summan av de tre deltrycken. Det totala lufttrycket fås ur följande formel:

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{vind}} + \Delta p_{\text{term}} + \Delta p_{\text{vent}}$$

Som framgår av formeln så spelar många faktorer in på det totala lufttrycket och därmed på luftrörelserna i och igenom en byggnadsdel. Detta gäller att ta i beaktande då man analyserar hur värmen och fukten påverkar klimatskärmen.<sup>32</sup>

## 3.4 Lufttäthet och dess betydelse

Luftrörelser och fuktvandring genom en yttervägg som uppstår till följd av otäta konstruktionslösningar kan ge upphov till en rad olika problem. Man kan få problem med kondensbildning om varm luft smiter ut från den varma sidan till den kalla sidan. Komfortproblem och försämrad energieffektivitet är två andra problem som icke är önskvärda med tanke på en byggnads prestanda. Därför använder man en ångspärr på väggens varma sida som ska se till att man uppnår tillräcklig lufttäthet och därmed förhindra de ovannämnda problemen.<sup>33</sup>

## 3.5 Ångspärr

Ångspärren har två funktioner. Den skall förhindra luftläckage från den varma sidan till den kalla. Om varm och fuktig luft läcker utåt i en väggkonstruktion så kyls den ner och kondensation av vattenånga sker. Konvektion av denna typ kan leda till svåra fuktskador.

Ångspärrens andra funktion är att förhindra uppkomsten av fuktdiffusion genom en vägg. Detta uppnås genom att ångspärren har stort ånggenomgångsmotstånd.

Ånggenomgångsmotstånd betecknas ofta med  $Z$  (s/m).

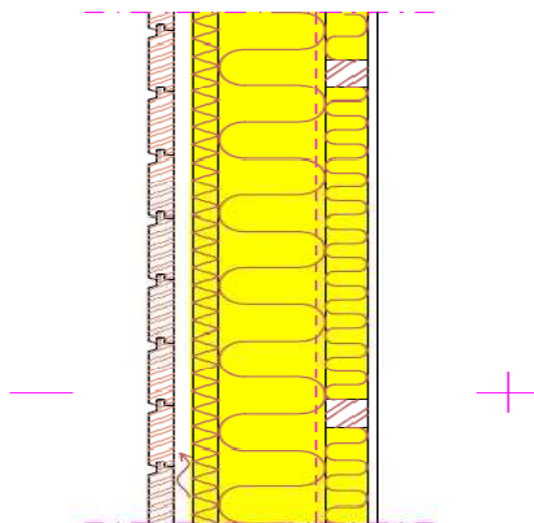
---

<sup>31</sup> Petersson (2009), s. 237

<sup>32</sup> Hagentoft (2001), s.77

<sup>33</sup> Hagentoft (2002), s. 173-174

Ångspärren placeras på den varma sidan om värmeisoleringen. En ångtätare insida än utsida säkerställer att vattenånga kan vandra utåt i konstruktionen och på så vis kan fukten torka ut.<sup>34</sup>



Figur 6. En vanligt förekommande konstruktionstyp. Den streckade linjen visar ångspärren.<sup>35</sup>

## 3.6 Isolering

### 3.6.1 Allmänt

Mineralull är en gemensam beteckning för både glasull och stenull. Glasullen och stenullen har lite olika egenskaper. Glasullen har låg vikt och har en god hållfasthet och är spänstig. Den passar utmärkt mellan stål- och träreglar på grund av att den är så mjuk. Den goda uppbyggnaden av glasullen gör att den klarar av de höga kraven på belastningen. Glasull används också i rörskålar och till teknisk isolering.

Där det ställs stora krav på brandmotstånd och där temperaturen är mycket hög så används det stenull som är mera brandtåligt. Dessutom om det finns krav på hög tryckhållfasthet så vill man använda stenull.

Mineralull tillverkas av återvinningsglas och stenråvaror som smälts och spinns till tunna trådar. Efter att man har spunnit råvarorna så sprutas ett bindemedel på tråden och

<sup>34</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s.43

<sup>35</sup> Rakennekirjasto, isover.fi, 28.4.2011



materialet åker genom en ugn så att allt stelnar samman. Efter att materialet härdat så kapas materialet till önskade mått.<sup>36</sup>

### 3.6.2 Egenskaper

Lambdavärdet är isoleringens främsta egenskap och beskriver förmågan att leda värme i isoleringen. Ju lägre lambdavärdet desto bättre är isoleringen. Lambdavärdet är i stort sett lika som för cellplaster, glasull och stenull.

Glasull och stenull har låga lambdavärden och det leder till att det blir en väldigt låg luftströmning i isoleringen och att det resulterar i att värmestrålningen minskar. Man mäter lambdavärdet i  $W/m \cdot C$ , för glasull och stenull varierar detta mellan 0,030-0,045 och ju lägre desto bättre.

De flesta glasulls och stenullsprodukter klassificeras som obrännbara, men trots detta förekommer en rekommendation på högst 200 °C där materialet skall användas.

Mineralullsprodukterna är diffusionsöppna, vilket betyder att vattenånga vandrar genom isoleringen, men isoleringen tar inte upp fukt från luft och suger inte vatten kapillärt.<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> isover.se, 15.4.2011

<sup>37</sup> isover.se, 15.4.2011

## 4 Tidigare forskning

I Sverige har ett antal studier gjorts som berör luftrörelser i konstruktioner, antingen direkt eller indirekt. I Finland har det gjorts undersökningar beträffande lufttäthet och spridning av mögelsporer i konstruktioner som indirekt berör vårt arbete. Dessa rapporter, avhandlingar och undersökningar presenteras i kapitlen 4.1 till 4.7.

### 4.1 Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen

I undersökningen *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behova av tekniska lösningar och utbildning* gjord av SP Sveriges Provnings- och Tekniska Forskningsinstitut<sup>38</sup>, har syftet med projektet varit att kartlägga vilka konstruktioner och arbetsmoment som är kritiska och vilka kunskaper och tekniska lösningar som behöver utvecklas för att uppnå bättre lufttäthet. I rapporten har man sammanställt konsekvenser till följd av bristande lufttäthet, se figur 7.

Skada/olägenhet	Byggnadsdel
Ökade värmeförluster, genomblåsning	Hela byggnadsskalet, inkl genomföringar
Ökade värmeförluster, anblåsning	Väggar och vindsbjälklag
Försämrad komfort, golvdrag, kalla golv	Anslutning bjälklag – golv; mellanbjälklag
Försämrad komfort, lufthastighet, drag	Väggar, fönster/dörrar
Frysrisk	Byggnadsskalet vid invändigt undertryck
Fuktkonvektion	Byggnadsskalet vid invändigt övertryck
Funktion hos ventilationssystem, friskluftsmängder och ventilationseffektivitet	Hela byggnadsskalet
Mot- och medflödeskonstruktioner	Konstruktioner med dynamisk isolering
Gas-, lukt- och partikelspridning, försämrad luftkvalitet, ökat städbehov	Byggnadsskalet vid invändigt undertryck, mellan lägenheter/trapphus
Renrumsteknik	Speciella konstruktioner
Ljudisolering	Mellan bostad och ute eller trapphus/grannar
Radon spridning	Från mark och grund

Figur 7. Konsekvenserna av otillräcklig lufttäthet.<sup>39</sup>

Det som kom fram i denna rapport är att det finns stora brister i kunskap om lufttäthet och luftrörelser ute på de svenska byggarbetsplatserna. Slutsatserna som dragits är att

<sup>38</sup> sp.se, 4.5.2011

<sup>39</sup> Sandberg & Sikander (2004), Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga av tekniska lösningar och utbildning.

kunskapen bör i första hand öka ute på byggarbetsplatserna och därefter kommer utveckling av konstruktionslösningar, förbättrade material samt kontrollmetoder.<sup>40</sup>

## 4.2 Utvärdering av numeriska antaganden för kombinerad värme-, luft- och fukttransport i byggnadsdelar

Rapporten *Assessment method of numerical prediction models for combined heat, air and moisture transfer in building components: benchmarks for one-dimensional cases* bygger på undersökningen HAMSTAD project som påbörjades i slutet av år 2000. Syftet med undersökningen har varit att skapa en ny plattform för undersökning av en dimensionella värme-, luft- och fukttransport. Man anser att den så kallade Glaser-metoden som har använts för utvärdering och beräkning av fuktbelastningar har alltför stora svagheter. Glaser-metoden har ett flertal begränsningar, den kan inte hantera värme och fukt kapacitet, ej heller kan den hantera luftrörelser genom konstruktioner eller kapillärt vätskeflöde. Detta betyder att konstruktioner som enligt Glaser-metoden är fuktsäkra, i själva verket inte alls är detta eftersom faktorer som nederbörd, inbyggd fukt och luftrörelser inte tas i beaktande.

I undersökningen har man tagit fram fem olika resultat av uppskattade utföranden/prestationer för denna HAM-metod (Heat, Air, Moisture). Dessa fem resultat bygger på matematiska antaganden, formler från fysiken samt numeriska lösningar såsom finita differensmetoden (FDM), finita volymmetoden (FVM) och finita elementmetoden (FEM).

Man har kommit fram till att dessa fem antaganden som gjorts ger rimliga lösningar på basis av resultaten man har fått. Man har härmed fått en grund plattform som går att bygga vidare på i avsikt att få en noggrann analys av värme-, luft- och fuktrörelser.<sup>41</sup>

## 4.3 Fuktförhållanden och lufttäthet i konstruktioner med eller utan ångspärr

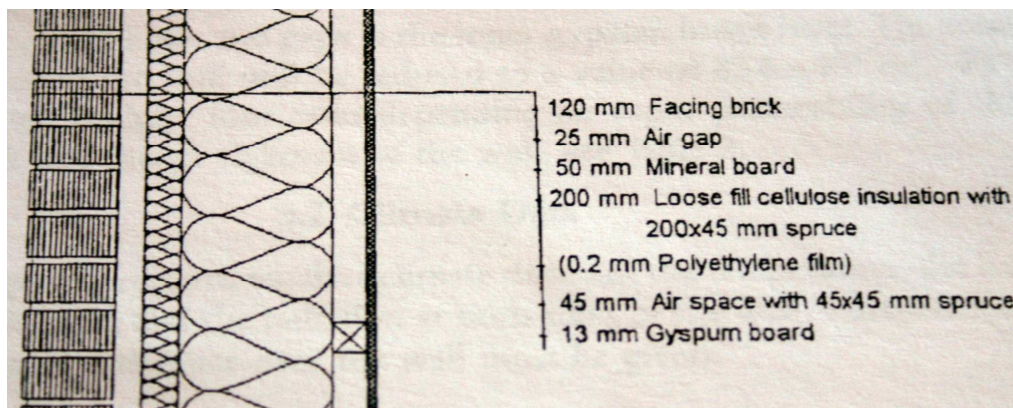
Syftet med undersökningen *Moisture conditions in a north facing wall with cellulose fill insulation: constructions with and without vapor retarder and air leakage* har varit att

---

<sup>40</sup>Sandberg & Sikander (2004), Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga av tekniska lösningar och utbildning.

<sup>41</sup>Hagentoft m.fl., *Assessment method of numerical prediction models for combined heat, air and moisture transfer in building components*, 2004.

undersöka betydelsen av att ha ångspärr i väggar samt betydelsen av lufttätthet. Man har undersökt en vägg som har tegelfasad och träfiberisolering. Väggen vetter mot norr.



Figur 8. Skärning av den undersökta väggen.<sup>42</sup>

Resultaten av undersökningarna visar att fuktbelastningen på en vägg är starkt beroende av materialval, om ångspärr används eller ej, luftläckage och tillförsel av fukt till inomhusklimatet. Enligt undersökningen stiger fukthalten i väggen avsevärt om ångspärr saknas. Den relativa fukthalten i mineralskivan är över 90 % året om ifall ångspärr saknas. Detta leder med stor sannolikhet till problem med mögel. Undersökningen visar också att betydelsen av lufttätthet är stor ifall lufttrycket inomhus är positivt, det vill säga det råder ett övertryck. Ett exempel i undersökningen visar att ett litet hål som är av storleken 0,01m x 0,01m fördelat på en yta av storleken 1 m<sup>2</sup> kan ge upphov till luftläckage som är 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h vintertid. Detta är tillräckligt för att ge för hög fukthalt i väggen. Därmed skall betydelsen av lufttätthet understrykas.<sup>43</sup>

#### 4.4 Luftläckagets påverkan på en dynamiskt isolerad vägg

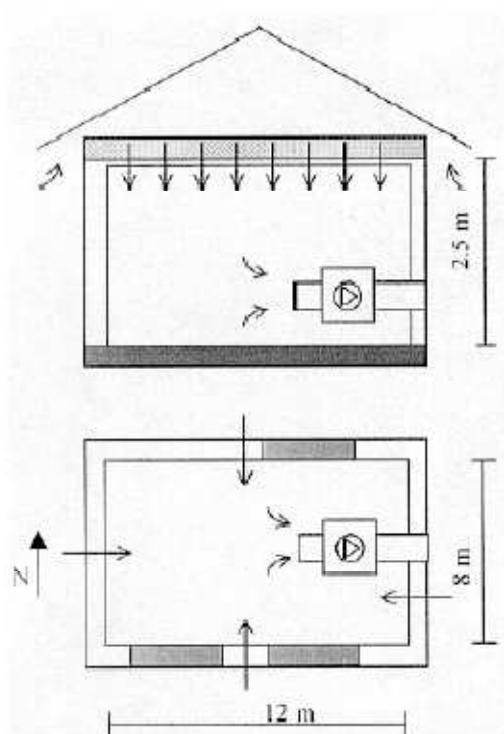
Rapporten *The efficiency of a dynamically insulated wall in the presence of air leakage* handlar om hur luftläckage påverkar en dynamiskt isolerad vägg.

Dynamiskt isolerade väggar är i likhet med motflödestak en konstruktionstyp där man inte har en ångspärr varken på isoleringens varma sida eller kalla sida. Väggen är öppen för luftflöden och tillåter därmed tilluft antingen till en viss del eller helt och hållet genom isoleringen. Syftet med denna metod är att värma upp och filtrera tilluften. En korrekt dimensionerad dynamiskt isolerad vägg kan enligt författaren bidra upp till 30 %

<sup>42</sup> Hagentoft & Harderup (1996), Moisture conditions in a north facing wall with cellulose loose fill insulation: Constructions with and without vapor retarder and air leakage.

<sup>43</sup> ibid

energibesparingar. Dock kan okontrollerade luftrörelser i klimatskalet bidra till att det verkliga luftflödet skiljer sig avsevärt från det teoretiska värdet.



Figur 9. Sektion och plan av det undersökta huset. Luftflödesvägarna illustreras med pilar.<sup>44</sup>

Sammanfattningsvis kan man dra den slutsatsen som nämndes i inledningen. Okontrollerat luftläckage ger upphov till ett annat luftflöde genom väggen än önskat. Därför är man tvungen att ta i beaktande alla planerade och icke-planerade öppningar i huset för att kunna göra en så noggrann analys som möjligt.<sup>45</sup>

#### 4.5 Naturlig konvektion och dess påverkan på vågrätliggande isolering

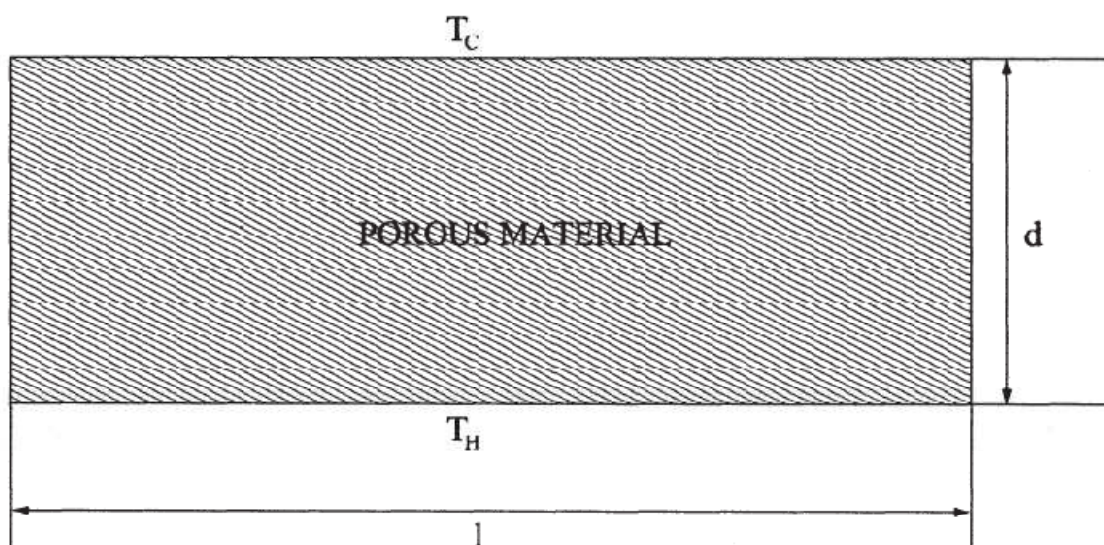
Undersökningen *A numerical study of effect of natural convection on thermal properties of horizontal oriented insulation* har gjorts för att ta reda på hur naturlig konvektion i de vanligaste typerna av värmeisolering i tak påverkar en byggnads energikonsumtion. För att kunna uppnå detta mål är man tvungen att noggrant uppskatta hur värmetransportprocesserna, det vill säga strålning, ledning och konvektion, påverkar byggnadens insida och utsida. Värmeisoleringen är till sin natur porös och kan därmed innehålla en viss mängd luft. Fastän en konstruktion är helt vindtät så kan ändå naturlig

<sup>44</sup> Sasic Kalagasidis (2004), The efficiency of a dynamically insulated wall in the presence of air leakage.

<sup>45</sup> ibid

konvektion uppstå eftersom temperaturen varierar längs med konstruktionen. Varm luft har lägre densitet än kall luft och därmed kan luften från isoleringen varma sida röra sig mot isoleringens kalla sida. Detta fenomen medför troligen ökad värmekonduktivitet i materialet, vilket betyder sämre U-värde.

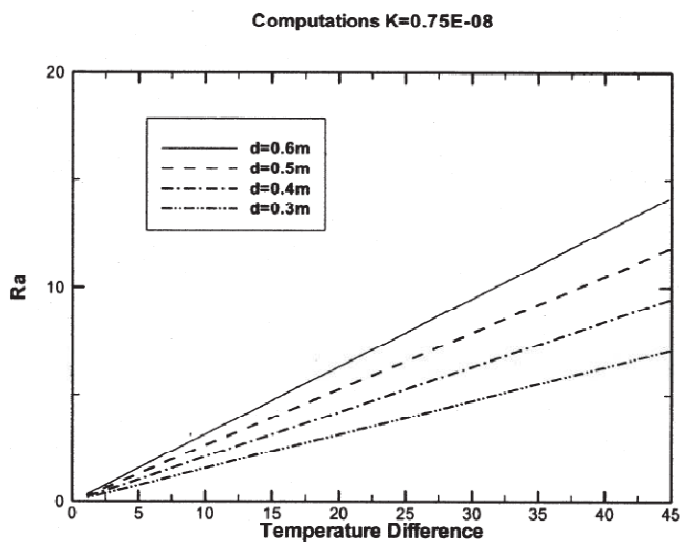
Med beräkningsprogrammet CALC-BFC som är uppbyggt på avancerade matematiska beräkningsmodeller har man kommit fram till sina resultat.



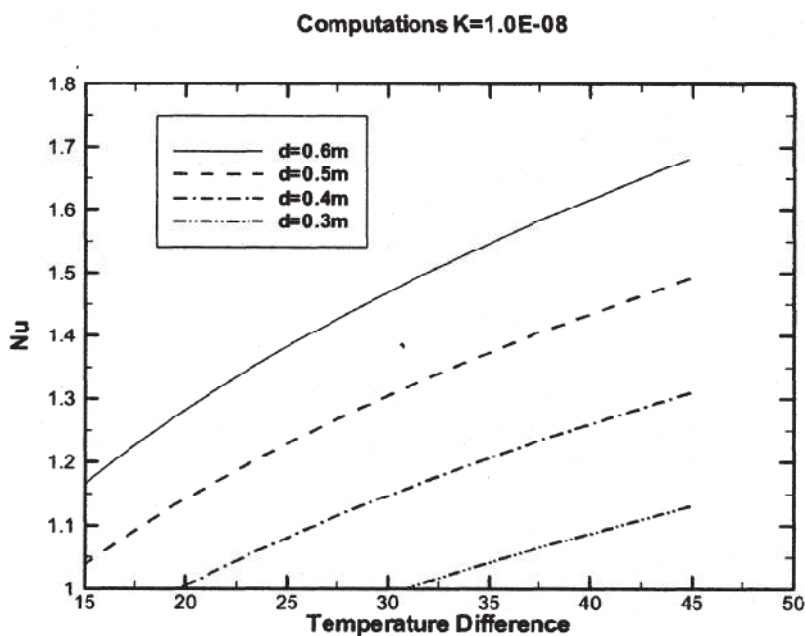
Figur 10. Enkel skärning på den undersökta konstruktionen.<sup>46</sup>

Figur 10 visar en principiell bild av den konstruktionstyp som har undersökts. I sina simulationer har man använt permeabilitetsvärden för de vanligaste isoleringsmaterial som används i tak såsom mineralull, träfiberisolering samt isolering gjord av polystyrenekulor.

<sup>46</sup> Shankar & Hagentoft (2000), A numerical study of effect to natural convection on thermal properties of horizontal oriented porous insulation.



Figur 11. Temperaturdifferensens inverkan på det modifierad Raleyigh talet i vågrätliggande isolering.<sup>47</sup>



Figur 12. Temperaturdifferensens inverkan på det modifierade Nussels talet i vågrätliggande isolering.<sup>48</sup>

Resultaten visar att ökad temperaturdifferens och ökad tjocklek av isolering leder till ökad naturlig konvektion som i sin tur ökar mängden värmetransport. Luftrörelser ökar i isoleringen om permeabiliteten för isoleringen blir högre. Sammanfattningsvis kan man

<sup>47</sup> Shankar & Hagentoft (2000)

<sup>48</sup> ibid

säga att isoleringens tjocklek, permeabilitet och temperaturdifferens är de faktorer som påverkar mest på naturlig konvektion och därmed påverkas hela värmetransporten.<sup>49</sup>

#### 4.6 Undersökning av byggnaders luftläckage

Syftet med Björn Mattssons doktorsavhandling *Studies on building air leakage – a transient pressurisation method, measurements and modelling* har varit att undersöka och utvärdera fyra olika saker som berör luftläckage.

Den första har varit att undersöka den transienta metoden för luftläckage mätningar på en byggnads klimatskal. I den transienta metoden sätts ett rum i ett övertryck. När man har nått önskat övertryck i rummet avslutas tillförseln av luftflöde. Trycket i rummet börjar därefter sjunka på grund av luftläckage i väggarna, det vill säga luften rör sig genom väggarna. Denna tryckminskning mäts. Fördelen med den transienta metoden i jämförelse med den statiska metoden är att den eliminerar behovet av luftflödes mätare. Den transienta metoden ger också ett kontinuerligt förhållande mellan trycket och läckluftstalet.

Den andra målsättningen har varit att undersöka lufttätheten i klimatskalet med hjälp av den transienta metoden.

Man har gjort en utredning kring luftläckage simulationer med hjälp av CFD-verktyget (Computational Fluid Methods) och detta har varit avhandlingens tredje huvudrubrik.

Den fjärde och sista målsättningen har varit att göra en modellering av luftbyte och luftrörelser genom klimatskalet i ett egnahemshus.

I denna avhandling har man tillämpat den transienta metoden på vägg på med trästomme, övre bjälklag och en knä-vägg konstruktion. Dessa mätningar har utförts i laboratorieomgivning.

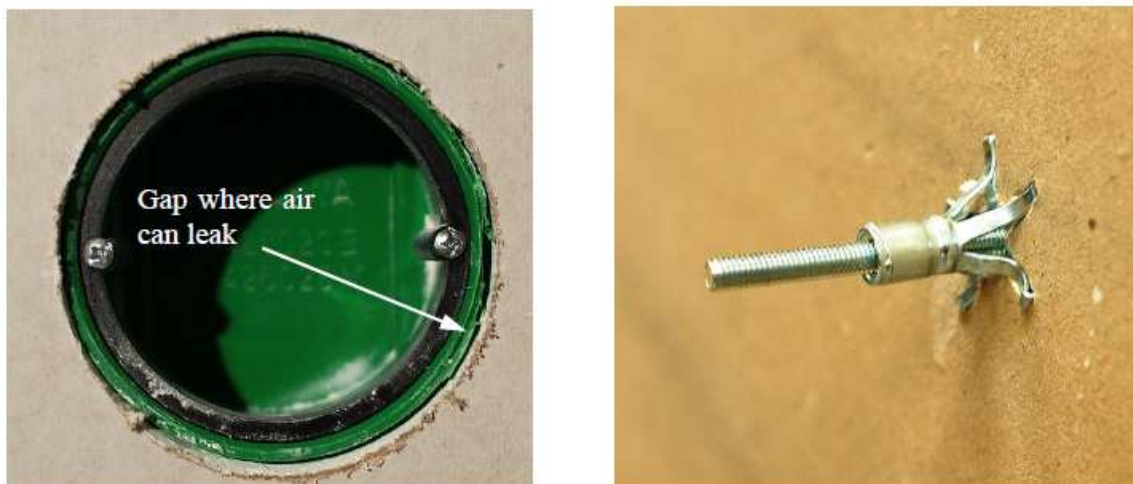
Resultaten för avhandlingens första huvudrubrik visar diverse saker. Man har jämfört den transienta tryckmetoden med den statiska metoden samt med empiriska formler för luftläckage genom håligheter. Resultaten överensstämmer med de uppskattningar som har gjorts. Författaren understryker följande saker beträffande den transienta tryckmetoden: volymförändringen i utrymmet som trycksätts skall tas i beaktande, luftens temperatur stiger till följd av ökat tryck, samt att det sker ett värmefflöde mellan luften och de fasta materialen i utrymmet till följd av trycksättning.

---

<sup>49</sup> Shankar & Hagentoft (2000)

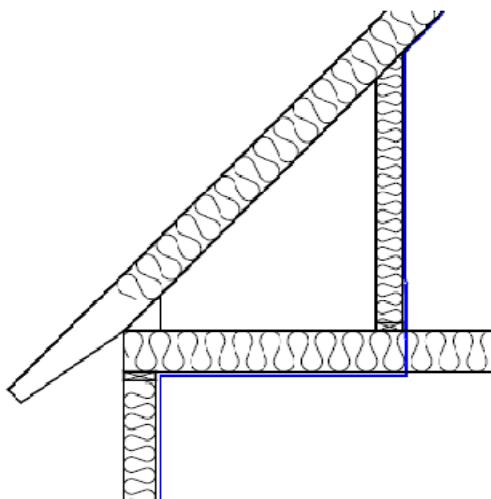


Resultaten för avhandlingens andra huvudrubrik, det vill säga lufttätet i byggnadskomponenter, visar att luftläckagen via eldosor och upphängningskrokar (för exempelvis tavlor) i en gipsskiva på en yttervägg är försumbara. Endast tomma eluttag har en märkbar inverkan på det totala luftläckaget.



Figur 13. Eluttag och upphängningskrok monterad.<sup>50</sup>

Då det gäller knä-vägg konstruktionen har resultaten visat att det går relativt enkelt att göra den konstruktionstypen lufttät exempelvis genom att ha en fortlöpande ångspärr från undre våningen till övre våningen, se figur 14.



Figur 14. Knä-vägg konstruktion med fortlöpande ångspärr, markerat med blått streck.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Mattson (2007), Studies on building air leakage – a transient pressurization method, measurement and modeling.

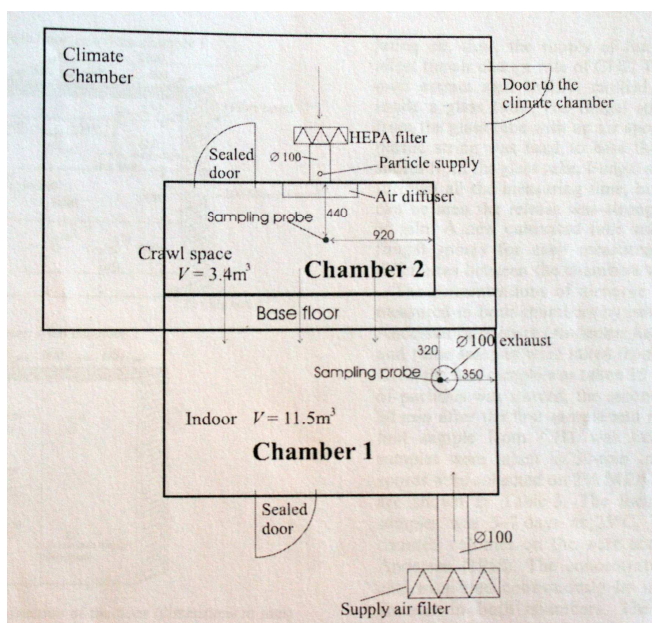
Resultaten för avhandlingens tredje huvudrubrik, CFD - simulationer, har visat att även små tomrum i isoleringen intill installationer (eldosor och dylikt) kan ha stor inverkan på luftflödet.

Resultaten för avhandlingens sista huvudrubrik visar att ventilationssystemet inverkan på luftläckaget i ett envånings egnahemshus är stort. Ett frånluftssystem kan i jämförelse med ett tillufts- och frånluftssystem bättre bibehålla det önskvärda ventilationstalet då hög vindhastighet råder. Men sedan då frånluftssystemet inte längre förmår att upprätthålla undertryck inomhus, kommer friskluftsventilerna att fungera som luftläckagevägar om de inte hålls stängda.<sup>52</sup>

#### 4.7 Mögelsporers rörelse genom byggnadskonstruktion

Undersökning *Fungal spore transport through a building structure* har gjorts för att undersöka hur mögelsporer rör sig genom ett träbjälklag och vilka faktorer som påverkar detta.

Undersökningar har utförts i laboratorieomgivning där man har byggt upp två olika rum som skall simulera en kryppgrund, träbjälklag (golv) och därefter inneklimatet.



Figur 15. Planritning av de undersökta rummen.<sup>53</sup>

<sup>51</sup> Mattson (2007), Studies on building air leakage – a transient pressurization method, measurement and modeling.

<sup>52</sup> ibid

<sup>53</sup> Airaksinen m.fl., Fungal spore transport through a building structure.

Av praktiska skäl har man svängt på konstruktionen 90°. Författarna menar att gravitationskraftens inverkan på småpartiklar är så små att de kan försummas, därav detta arrangemang.

Mätningarna visade att partiklarnas rörelse var starkt beroende av lufttrycksdifferansen och inte alls i lika stor utsträckning av hålen i ytskivorna som man kanske skulle kunna förvänta sig. Författarna menar också att mineralullens kontakt med konstruktionens övriga material kan ha en bidragande påverkan till partiklarnas rörelse genom en konstruktion. Man påpekar att enda sättet att undvika genomträngning av partiklar i en konstruktion är att balansera en byggnads ventilation eller att sätta byggnaden i över- eller undertryck. Dock skall man ta i beaktande risken för kondensation i kalla klimat.<sup>54</sup>

## 5 Metoder och tillvägagångssätt

### 5.1 Mätningar

Mätningarna har utförts i Vasa stads gamla centrallaboratorium och i Replot lågstadieskola.

#### 5.1.1 Utrustning

Utrustning som använts för analysering av spårgas är Bruel & Kjaer Multi-gas Monitor Type 1302 kalibrerad 29.9.2010 och Bruel & Kjaer Multipoint Sampler and Doser Type 1303 kalibrerad 29.9.2010.

Mjukvara som använts vid mätningarna är Application Software type 7620 for control of Tracer-gas Monitoring Systems.

Bärbar dator av märket Dell.

Till mätningarna har använts AGA gasflaska innehållande svavelhexafluorid (SF<sub>6</sub>).

Gasflödesmätare som har använts är DryCal DC-lite<sup>55</sup> modell Dcl-H rev 1.08.

Vanligen används ovannämnda utrustning i syfte att utföra luftbytesanalyser med hjälp av spårgasmetod. Denna metod är användbar då man vill ha reda på ventilationens effektivitet, det vill säga hur väl luften byts i ett utrymme.<sup>56</sup>

---

<sup>54</sup>Airaksinen m.fl., Fungal spore transport through a building structure.

<sup>55</sup>ierents.com, 15.5.2011

### 5.1.2 Montering av mätutrustning

Innan man börjar själva mätningen skall apparaterna kopplas samman. Man börjar med att koppla ihop Bruel & Kjaer Multi-gas Monitor Type 1302 med Bruel & Kjaer Multipoint Sampler and Doser Type 1303. Därefter kopplas Bruel & Kjaer Multi-gas Monitor Type 1302 samman med bärbara datorn Dell.



Figur 16. Enheterna ihopkopplade sett bakifrån.

Sedan kopplas en slang fast i Waste Air Outlet på Bruel & Kjaer Multipoint Sampler and Doser Type 1303, se figur 16. Detta görs för att leda bort förorenad luft från utrymmet. Därefter kopplas en slang som går från Outlet To Analyzer på Bruel & Kjaer Multipoint Sampler and Doser Type 1303 till Inlet Air Filter Bruel & Kjaer Multi-gas Monitor Type 1302, se figur 16. Följande steg är att koppla fast slangar på apparaternas fram sida, se figur 17. Dessa slangar registrerar koncentrationmängden som sedan avläses med hjälp av mjukvaran. Efter att alla slangar sammankopplats med mätenheterna så skall de sättas in i konstruktionen som skall undersökas. Detta betyder i praktiken att man borrar små hål dit man sedan för in slangarna. Häftmassa appliceras vid slangarna och runt hålet för att minska gasläckage, se figur 18.

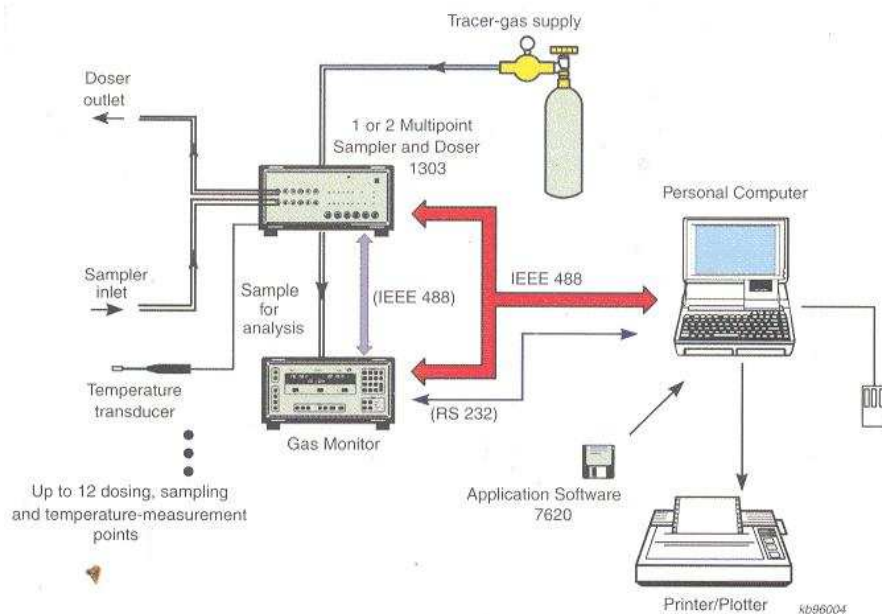
<sup>56</sup> lumasenseinc.com, 13.5.2011



*Figur 17. Enheterna sett framifrån.*



*Figur 18. Mätutrustningen installerad och klar för användning.*



Figur 19. Illustration av hur enheterna är sammanlänkade.

Sista steget innan man startar mätningen är att ställa in gasmängden som skall släppas ut från gasflaskan. Med gasflödesmätaren DryCal DC-lite modell Dcl-H rev 1.08 kan man ställa in önskvärd gasmängd som skall släppas ut. Den kopplas till gasflaskan och med hjälp av en regulator som sitter på gasflaskan kan man finjustera mängden gas. I denna undersökning har man konsekvent använt mängden gasutsläpp i början på en mätning ca. 5 l/min.

Kalibreringen av gasflödesmätaren DryCal DC-lite modell Dcl-H rev 1.08 skall helst göras i ett annat utrymme än där själva mätningen utförs. Detta för att undvika onödiga gasutsläpp som kan störa mätningen.

### 5.1.3 Gas

En lämplig spårgas skall vara en gas som har en densitet som ungefär är den samma som luftens. Gasen bör normalt inte finnas i varken inomhusluften eller utomhusluften. En god spårgas bör av säkerhetsskäl inte vara lätt antändningsbar, ej heller explosiv. Gasen skall vara luktfri och den skall inte påverka hälsan då mätningar utförs. Det är viktigt att spårgasen inte reagerar med luften eller med byggnadsmaterial, ej heller får den absorberas av väggar eller möbler eftersom detta kan påverka mätningens resultat. Exempel på goda spårgaser är salpeteroxid ( $N_2O$ ), koldioxid ( $CO_2$ ) och svavelhexafluorid ( $SF_6$ ). Gemensamt för dessa gaser är bland annat att de har densiteten lägre än  $6,2 \text{ kg/m}^3$ .<sup>57</sup>

I mätningarna har gasen svavelhexafluorid ( $SF_6$ ) använts. Svavelhexafluorid ( $SF_6$ ) är en tyngre gas jämfört med luft. Densiteten på  $SF_6$  ligger på  $6,16 \text{ kg/m}^3$  medan luften ligger på  $1,20 \text{ kg/m}^3$ . Detta betyder att svavelhexafluoriden inte stiger lika snabbt som luft.

Svavelhexafluorid klassificeras som en farlig gas. Vid inandning av för höga halter kan kvävning uppkomma, dessutom kan det även omfatta medvetlöshet och förlamning. Kvävningen kan inträffa utan förvarning. För att undvika detta skall det vara god ventilation på platsen där den används.<sup>58</sup>

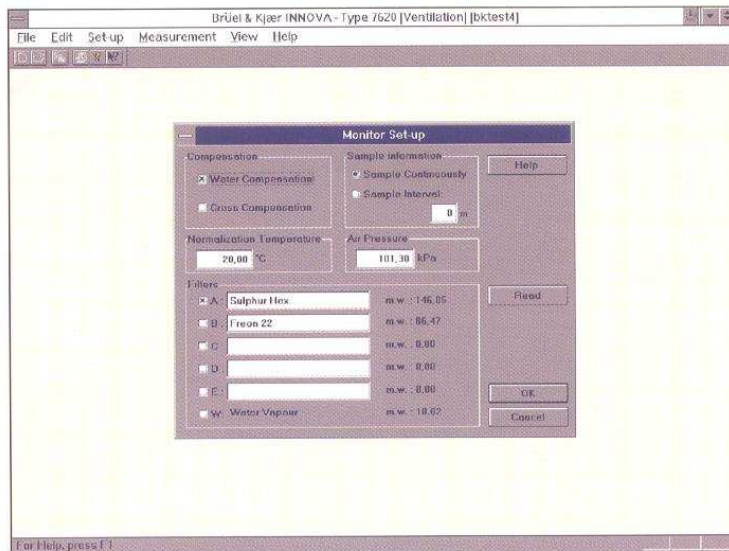
### 5.1.4 Mätningen

Mätningen körs med programmet Application Software type 7620 for control of Tracer-gas Monitoring Systems. Innan mätningen startar väljs vilken gas man använder samt hur många kanaler som skall tas i bruk, se figur 20. Det är möjligt att använda upp till sex kanaler. Ju fler kanaler man använder desto mera information får man. Dock blir mätningssområdet större, vilket inte alltid är ändamålsenligt. Gasflaskan var inställd så att den skall släppa ut cirka 5 l/minut.

---

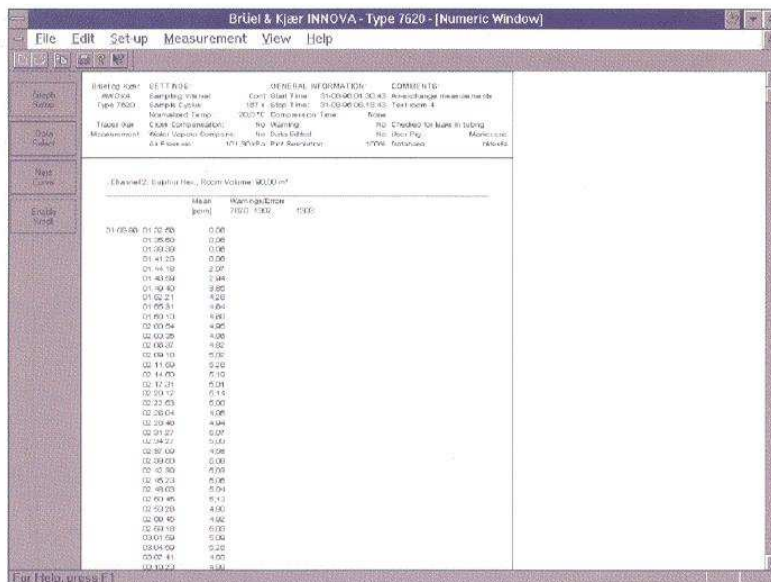
<sup>57</sup> Grieve (1991), Measuring ventilation using tracer-gases, s. 26.

<sup>58</sup> aga.se, 15.5.2011



Figur 20. Val av gas i Application Software type 7620 for control of Tracer-gas Monitoring Systems.

Efter att man har valt vilken gas som används samt hur många kanaler som skall användas är det dags för att starta mätningen. Samtidigt som mätningen körs igång släpps gas in från gasflaskan. Därefter kontrollerar man att programmet registrerar gaskoncentrationen vid de olika mätpunkterna (kanalerna). Detta görs genom att öppna det numeriska fönstret i Application Software type 7620 for control of Tracer-gas Monitoring Systems, se figur 21.



Figur 21. Mjukvaran registrerar gaskoncentrationen.

Efter att man har fått ett maxvärde vill man ha tio efterföljande värden, d.v.s. koncentrationen har nått sin topp och börjar därefter sjunka. Detta för att få en klar och tydlig utveckling av gasmängden. Då man fått maxvärdet och de tio efterföljande värdena



avslutas mätningen. Resultaten sparas i en Microsoft Access-fil som sedan importeras till Microsoft Excel där mätningsvärdena behandlas och analyseras.

## 5.2 Väggtyper i denna undersökning

I denna undersökning har tre olika väggtyper undersökts. Väggtypernas uppbyggnad kommer att åskådliggöras längre ner på sidan. Vägghonstruktionernas funktionsprincip förklaras också.

### Yttervägg 1

Träregelväggar är oftast uppbyggda med stående träreglar med mellanliggande isolering. På stommens insida sätts ångspärr och därefter invändig beklädnad. På stommens utsida kommer vindskyddsskiva efterföljt av luftspalt samt fasadbeklädnad.

Den mellanliggande isoleringens uppgift är naturligtvis att ge avsedd värmeisolering. Vindskyddsskivan samt ångspärrs primära uppgift är att förhindra genomblåsning och på så vis uppnå en god fuktteknisk lösning. I detta fall har plastfolie använts som ångspärr, vilket är bra med tanke på förhindrande av både diffusion och konvektion inifrån. Luftspalten har som uppgift att avleda fukt genom fuktkonvektion. Detta lyckas genom att temperaturen i luftspalten är högre än den inströmmande luftens temperatur. Fasadsiktet skall stoppa slagregn från att tränga in i konstruktionen.<sup>59</sup>



Figur 22. Skärning av yttervägg 1.

<sup>59</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s. 438

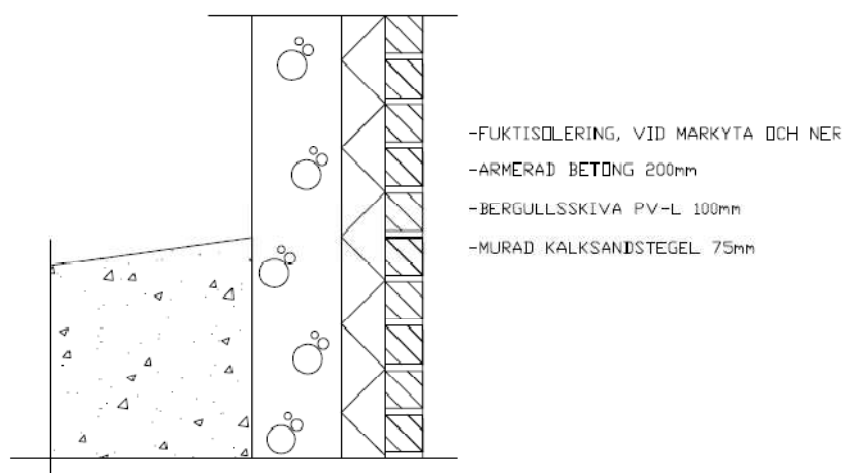
## Källaryttervägg 1

Källarytterväggar är fukttekniskt väldigt komplicerade. Förhållandena över och under markytan skiljer sig avsevärt. Detta eftersom källarväggen under markytan utsätts för vattenånga i jord och inomhus, fritt vatten, kapillärt bundet vatten samt byggfukt.

En källaryttervägg skall konstrueras så att fritt vatten inte kan tränga in. Varken fritt vatten eller vatten bundet i jorden skall kunna sugas in kapillärt i väggen. Byggfukt skall kunna torka ut samt fuktdiffusion från jorden får inte medföra alltför höga fukttillstånd i väggen. Det samma gäller för inneluften som vandrar utåt i konstruktionen.<sup>60</sup>

I den undersökta väggtypen har man använt armerad betong som bärande och på betongens yttre sida har man lagt en fuktspärr från markytan och neråt. Betongens uppgift ur fuktteknisk synpunkt är att förhindra fukt och luft att tränga igenom konstruktionen. Detta uppnås genom tillräckligt god kvalitet på betongen samt att sprickor och håligheter förhindras.<sup>61</sup>

På betongens insida har man lagt isolering efterföljt av kalksandstegel. Med hänvisning till litteraturen så är invändigt isolerad källaryttervägg ingen god idé. Orsaken är att betongväggen blir kall. Ju tjockare isolering desto kallare blir betongväggen, speciellt ovanför markytan samt närmast markytan. Detta bidrar i sin tur till kondens genom diffusion.<sup>62</sup>



Figur 23. Skärning av källaryttervägg 1.

<sup>60</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s. 209-211

<sup>61</sup> Petersson (2009) s. 220

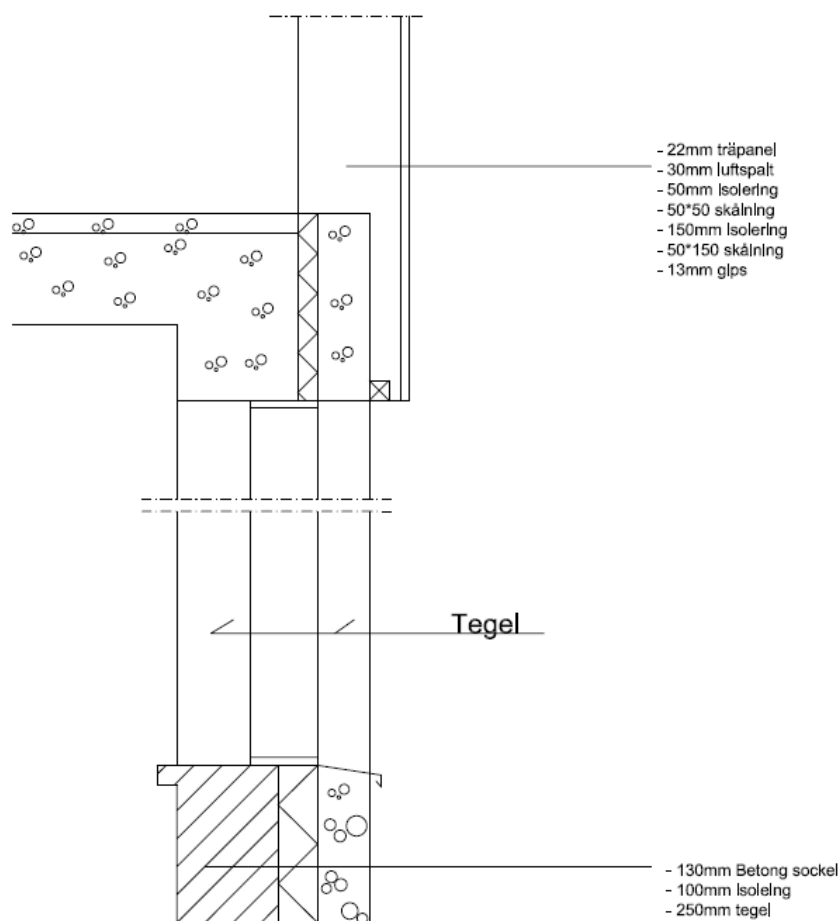
<sup>62</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s. 217-218

## Yttervägg 2

Den övre ytterväggskonstruktionen är identisk med yttervägg 1 och fungerar på samma sätt.

Ytterväggskonstruktionens nedre del består av tegel efterföljt av isolering och ytterst kommer betong. En yttervägg av denna typ utförs vanligtvis utan ångspärr. Risk för kondens kan förekomma mot skalmurens insida, dock är mängderna oftast så små att de kan försummas. Slagregnets påverkan är betydligt större än kondensen i detta fall.

För att hindra fuktkonvektion skall skalmuren slammas.<sup>63</sup>



Figur 24. Skärning av yttervägg 2.

<sup>63</sup> Nevander & Elmarsson (2006), s. 152-153

### 5.3 Rapporternas innehåll

Den information som fås ur Microsoft Excel är följande:

- a) Mätningens varaktighet och koncentrationshalt (från Microsoft Access).
- b) Diagram 1, koncentrationen som funktion av tiden.

Testdata:

- a.  $C =$  spårgaskoncentration,  $\text{mg}/\text{m}^3$
- b.  $\Delta t =$  förändring i tid, s
- c. Mätningstid i sekunder
- d.  $t_{\text{average}} =$  medeltalet av  $\Delta t$  och mätningstiden
- e.  $C_{\text{average}} =$  medeltalet av koncentrationen
- f.  $\Delta A =$  produkten av  $\Delta t * C_{\text{aver}}$  och anger arean
- g. Statiska momentet =  $\Delta A * \Delta t$
- h.  $\text{Area} = \sum \Delta A$
- i.  $\text{Area}_{\text{ex}} = C_{\text{min}} * \Delta \ln C * A$
- j.  $\text{Local age-of-air}_{\text{ex}} = \text{Area}_{\text{ex}} / C_{\text{max}}$
- k.  $\text{Local age-of-air} = \text{Area} / C_{\text{max}}$
- l.  $\text{Weighted area} = \sum$  statiska momentet
- m.  $\text{Weighted area}_{\text{ex}} = \Delta \ln C * C_{\text{min}} * (\text{mätn.tid}_{\text{sista}} + \Delta \ln C) + \text{weighted area}$
- n.  $\text{Room-average age-of-air} = \text{weighted area} / \text{area}$
- o.  $\text{Room-average age-of-air}_{\text{ex}} = \text{weighted area}_{\text{ex}} / \text{area}_{\text{ex}}$
- p.  $\text{Efficiency} = (\text{local age-of-air} / (2 * \text{room-average-age-of-air})) * 100$

q. Efficiency<sub>ex</sub> = (local age-of-air<sub>ex</sub> / (2 \* room-average-age-of-air<sub>ex</sub>)) \* 100

r. Slope  $\alpha = \Delta \ln C / \text{totala tiden}$

## 6 Resultat och tolkning

### 6.1 Efficiency

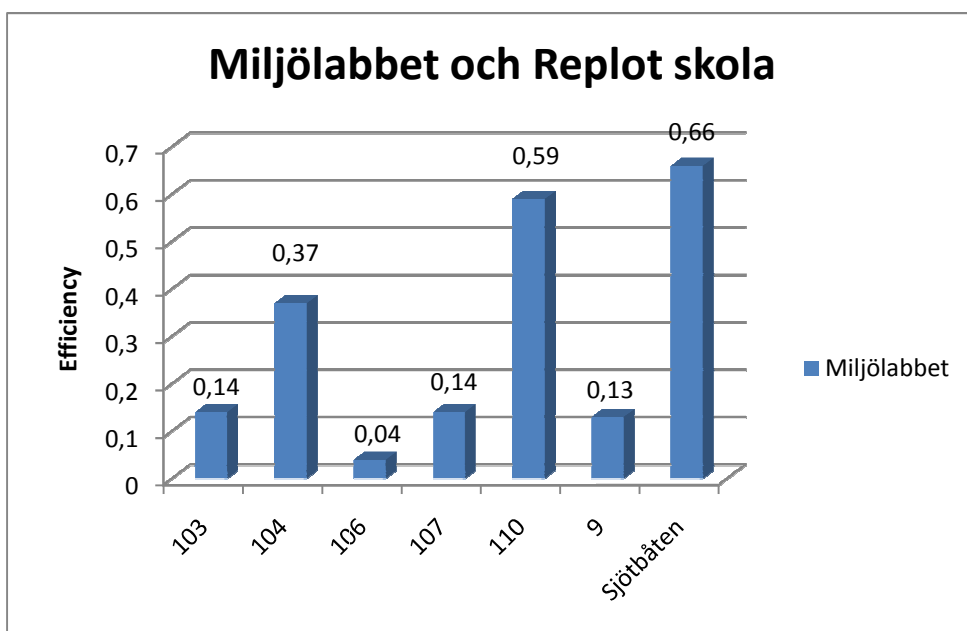
Ur testdata fås efficiency, som bygger på formeln:

$$\text{Efficiency} = (\text{local age-of-air} / (2 * \text{room-average-age-of-air})) * 100$$

Efficiency säger hur väl gasen i mätningen passerar byggnadens konstruktion uttryckt i procent. Ju högre efficiencyvärdet är desto fortare sker det luftombyte i konstruktionen.<sup>64</sup>

### 6.2 Mättningsresultat

I denna undersökning har åtta mätningar gjorts. Sex mätningar gjordes i Vasa stads gamla centrallaboratorium och två mätningar gjordes i Replot lågstadieskola. Yttervägg 1 och källaryttervägg 1 är konstruktioner som finns i Vasa stads gamla centrallaboratorium och yttervägg 2 finns i Replot skola. Mätningen som gjordes mellan våning 1 och våning 2 i Replot skola har uteslutits på grund av mättningsfel. Detta förklaras närmare under rubriken Tolkning.

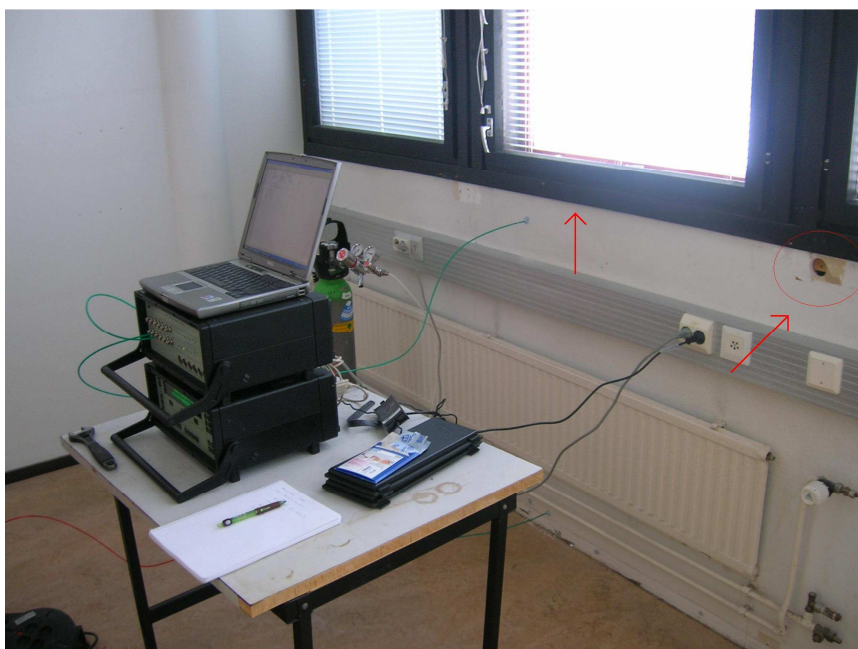


Figur 25. Fördelning av efficiency i mätningarna.

<sup>64</sup>Grieve (1991), s.15

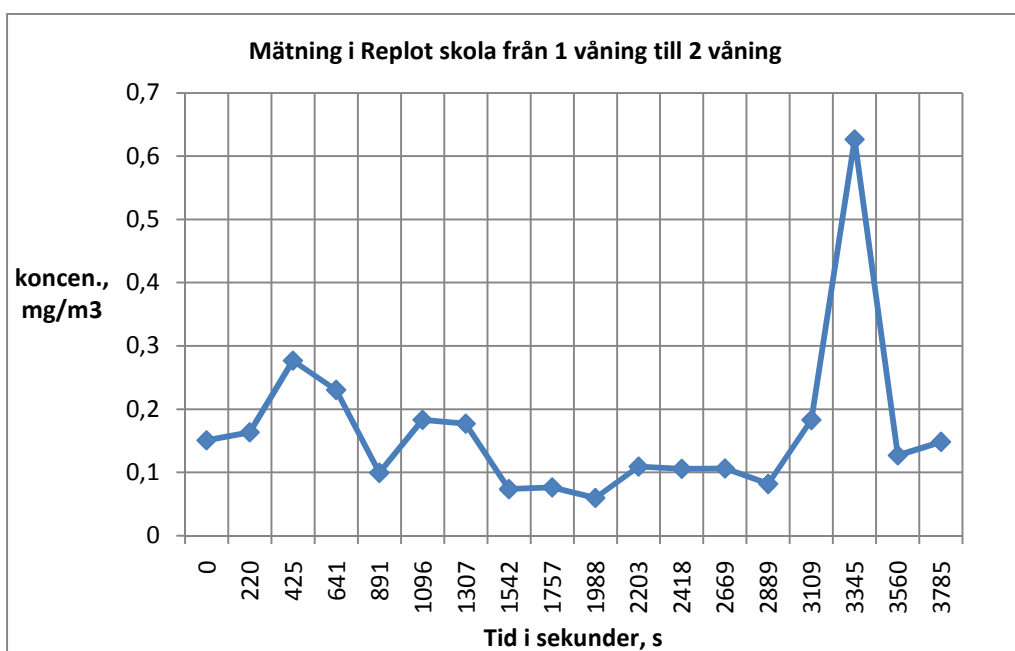
### 6.3 Tolkning

Mätningarna gjorda i Vasa stads centrallaboratorium överensstämmer relativt bra med varandra. Man har fått fyra resultat som har efficiency lägre än 0,15 %, vilket betyder att luftbytet i konstruktionen har skett långsamt. Detta kan tolkas som att konstruktionen är relativt tät, vilket ger upphov till låga värden för luft rörelser. I rum 104 och 110 i Vasa stads centrallaboratorium och rum Sjötbåten i Replot skola har man fått högre efficiencyvärde. Orsaker till detta kan bero på ett flertal faktorer såsom icke - önskvärda håligheter i konstruktionen, slarv i mätningförfarandet eller öppningarnas (fönster, dörrar och dylikt) inverkan på luftläckaget.



Figur 26. Faktorer som kan påverka mätningresultatet.

Mätningen som gjordes mellan våning 1 och våning 2 i Replot har uteslutits från resultatvisningen eftersom den innehöll mätningfel. Vid jämförelse mellan koncentrationen som funktion av tiden och efficiencyvärdet (som är 104 % för ovannämnda mätning) kan man konstatera att gaskoncentration är alltför liten för att ge ett tillförlitligt resultat. Dessutom kan man inte se en klar och tydlig utveckling av gaskoncentrationen utan den stiger och sjunker ett flertal gånger, vilket inte är önskvärt.



Figur 27. Gaskoncentrationen är för liten samt varierar för mycket.

## 7 Diskussion

Förbättringar kan alltid göras vid forskning och mätningar för att förbättra resultaten.

Genom att studera konstruktionsritningar och på förhand samla in så mycket information som möjligt om mättningsobjektet lägger man en god grund för pålitliga mättningsresultat.

Man bör undvika att undersöka i konstruktioner med öppna lösningar, exempelvis vid fönster, dörrar eller andra öppningar, eftersom dessa kan orsaka mycket läckage och ge ett missvisande resultat.

För att få ett mera tillförlitligt resultat så borde man också ta i beaktande temperaturen ute och inne, samt den relativa fuktigheten. Tryckskillnader mellan inomhus- och utomhusklimatet är faktorer som bevisligen inverkar på luftrörelser och därmed borde dessa faktorer inkluderas i mätningen.

Det skall hållas i åtanke att detta är ett pilotprojekt för enheten Forskning och utveckling vid Yrkeshögskolan Novia där man har velat utarbeta en ny metod för att mäta luftrörelser i konstruktioner. Resultaten och tolkningen av dessa har visat sig vara svåra att hitta jämförelser med i litteraturen, eftersom det är frågan om en speciell metod som inte använts i detta syfte.



Det positiva med mättningsresultaten är att man kan se att de överensstämmer med varandra till en viss grad. Detta indikerar på att mättningsmetoden är värd att satsa vidare på men vissa saker bör eventuellt modifieras och läggas till.

## **8 Slutord**

Då vi började med projektet anade vi nog inte omfattningen med undersökningen. Det är inte bara mätningarna i sig som har tagit tid, utan också litteraturstudierna samt tolkning och sammanställning av resultat har varit tidskrävande.

Under arbetets gång har vissa hinder uppstått. Redan i ett tidigt skede stötte vi på problem då mättningsapparaturen gick sönder. Tyvärr bidrog detta till att mätningarna flyttades fram ett halvt år. Betydelsen av bra dokumentation skall inte underskattas. Vi har lärt oss att det lönar sig att skriva ner, ta bilder och dokumentera det mesta då man håller på med mätningar av denna typ, för det händer lätt att man senare glömmer vad man gjorde eller hur det såg ut vid ett visst tillfälle.

Vi har även insett att det finns otroligt mycket att lära sig om fukt, luft och dess påverkan på en byggnad. Det är i princip en hel vetenskap som man säkerligen aldrig helt kommer att bemästra.

Slutligen vill vi passa på att tacka vår handledare Kimmo Koivisto, Annika Glader på enheten Forskning och utveckling och Mika Korpi på Vasa yrkeshögskola för deras stöd och handledning.

## Källförteckning

- Airaksinen, M., Kurnitski, J., Pasanen, P. & Seppänen, O. (2004). *Fungal spore transport through a building structure*. Indoor Air 2004; 14; 92-104.
- Application Software for Tracer-gas Monitoring. (u.å).  
<http://www.lumasenseinc.com/EN/products/ventilation-measurement/innova-7620/>  
(hämtat: 13.5.2011)
- Beall, Christine. (1998). *Thermal and moisture protection manual*. New York: McGraw-Hill.
- Björkholtz, Dick. (1997). *Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka*. Helsingfors: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Finlands byggbestämmelse C3. (2010). *Byggnadens värmeisolering, föreskrifter*.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3\\_2010\\_svenska\\_221208.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3_2010_svenska_221208.pdf)  
(hämtat 13.5.2011).
- Grieve, P-W. (1991). *Measuring ventilation using tracer-gases*. Naerum: Environmental group, Bruel & Kjaer.
- Hagentoft, C-E. (2001). *Introduction to building physics*. Lund: Studentlitteratur.
- Hagentoft, C-E. (2002). *Vandrande fukt strålande värme*. Lund: Studentlitteratur.
- Hagentoft, C-E. & Harderup, E. (1996). *Moisture conditions in a north facing wall with cellulose loose fill insulation: Constructions with and without vapor retarder and air leakage*. Journal of Thermal Insulation and Building Envelope, Vol. 19.
- Hagentoft, C-E., Sasic Kalagasidis, A., Adl-Zarrabi, B., Roesl, S., Carmeliet, J., Hens, H., Grunewald, J., Funk, M., Becker, R., Shamir, D., Adan, O., Brocken, H., Kumaran, K. & Djebbar, R. (2004). *Assessment method of numerical prediction models for combined heat, air and moisture transfer in building components. Benchmarks for one-dimensional cases*. Journal of Thermal Envelope and Building Science, Vol. 27, No. 4.
- Mattsson, B. (2007). *Studies on building air leakage - a transient pressurisation method, measurements and modeling*. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Mattson, B. & Claesson, J. (2007). *A Transient Pressurisation for measurements of airtightness*. Journal of Building Physics 31:35.

Nevander, L-E. & Elmarsson, B. (2006). *Fukthandbok. Praktik och teori*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Operating instructions. (2000).

<http://www.ierents.com/Manuals/Bios%20DC-Lite%20Manual.pdf>

(hämtat 15.5.2011)

Petersson, B-Å. (2009). *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur.

Rakennekirjasto. (u.å). *US 1002*.

<http://www.isover.fi/suunnittelu/rakennekirjasto/3530/us-1002>

(hämtat: 28.4.2011)

RT 05-10410-kort (1989). *Ilma, kosteus, sade ja lumi*. Rakennustieto.

Sandberg, P-I., Sikander, E. (2004). *Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning*. SP rapport 2004:22.

Sasic Kalagasidis, A. (2004). *The efficiency of a dynamically insulated wall in the presence of air leakage*. Journal of Thermal Science, Vol.1, 2004, VINCA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade.

Shankar, V., Hagentoft C.E. (2000). *A Numerical Study of Effect of Natural Convection on Thermal Properties of Horizontal Oriented Porous Insulation*. Journal of Building Physics, Vol. 24, No. 2/ October 2000.

Sveriges Provnings- och Tekniska Forskningsinstitut

[www.sp.se](http://www.sp.se)

(hämtat: 4.5.2011)

Säkerhetsblad. (2009).

[http://www.aga.se/International/Web/LG/SE/SESpGSafeDatasheet.nsf/832e18812a26ed5dc12570040048254e/f148d1b57d2546d7c125707000351778/\\$FILE/Svavelhexafluorid.pdf](http://www.aga.se/International/Web/LG/SE/SESpGSafeDatasheet.nsf/832e18812a26ed5dc12570040048254e/f148d1b57d2546d7c125707000351778/$FILE/Svavelhexafluorid.pdf)

(hämtat 15.5.2011)

Tiivistalo. (2010). *Kosteusvauriot ja niiden torjuminen*.

[http://www.tiivistalo.fi/docs/kosteusvauriot\\_net/kosteusvauriot\\_net.pdf](http://www.tiivistalo.fi/docs/kosteusvauriot_net/kosteusvauriot_net.pdf)

(hämtat: 7.2.2011)

Vad är mineralull?. (u.å).

<http://www.isover.se/produkter/vad+%c3%a4r+mineralull-c7->

(hämtat: 15.4.2011)

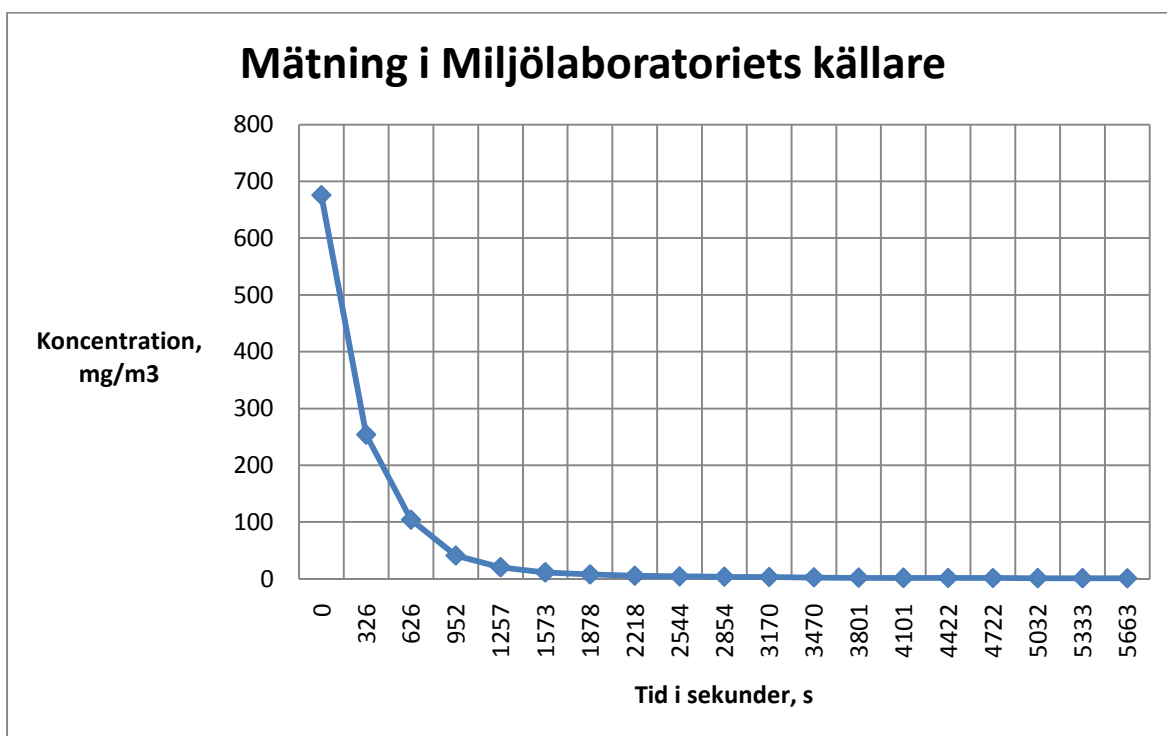
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
107721,38	108505,21	160,65	159,49	70743817,57

Weighted area	Room average air <sub>ex</sub>	Room average air
65632946,73	651,99	609,28

Efficiency	Area
12,32	107721
13,09	

Weighted area	Local age of air	Room average age of air
65632947	159	609

Efficiency
0,13



Mätningstid	Ln(c)
0	6,515349514
326	5,536428362
626	4,644775449
952	3,708951673
1257	3,008105437
1573	2,420012536
1878	2,023585237
2218	1,68218635
2544	1,425515038
2003	1,258688269
3170	1,111462701
3470	0,878671961
3801	0,602565796
4101	0,462790189
4422	0,376104919
4722	0,277707453
5032	0,094491657
5333	-0,038823968
5663	-0,089684063

$\Delta t =$	5663
$\Delta \ln C =$	7
$\text{slope } \alpha =$	0,001166349
	857,3764136

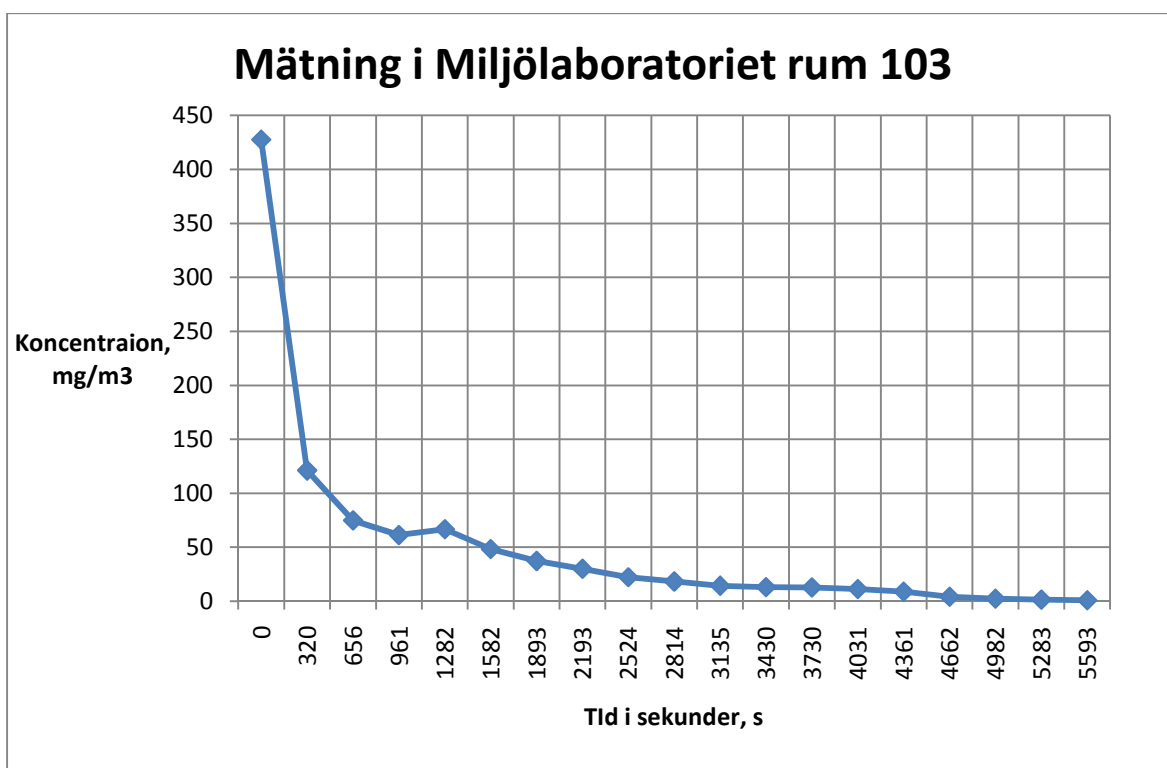
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
153855,89	155636,08	364,14	359,97	216335892,69

Weighted area	Room average air <sub>ex</sub>	Room average air
203011417,81	1390,01	1319,49

Efficiency	Area
13,10	153856
13,64	
	% , extrapolated
	% , without extrapolation

Weighted area	Local age of air	Room average age of air
203011418	360	1319

Efficiency
0,14



Mätningstid	In C
0	6,057743748
320	4,79702946
656	4,315446032
961	4,115437196
1282	4,199274993
1582	3,878280054
1893	3,618644707
2193	3,401297385
2524	3,101352784
2814	2,90372666
3135	2,662843601
3430	2,566409833
3730	2,543254149
4031	2,418855857
4361	2,190524448
4662	1,417235702
4982	0,873925913
5283	0,429051405
5593	-0,060822797

$\Delta t =$	5593
$\Delta \ln C =$	3
$\text{slope } \alpha =$	0,000528588
	1891,833681



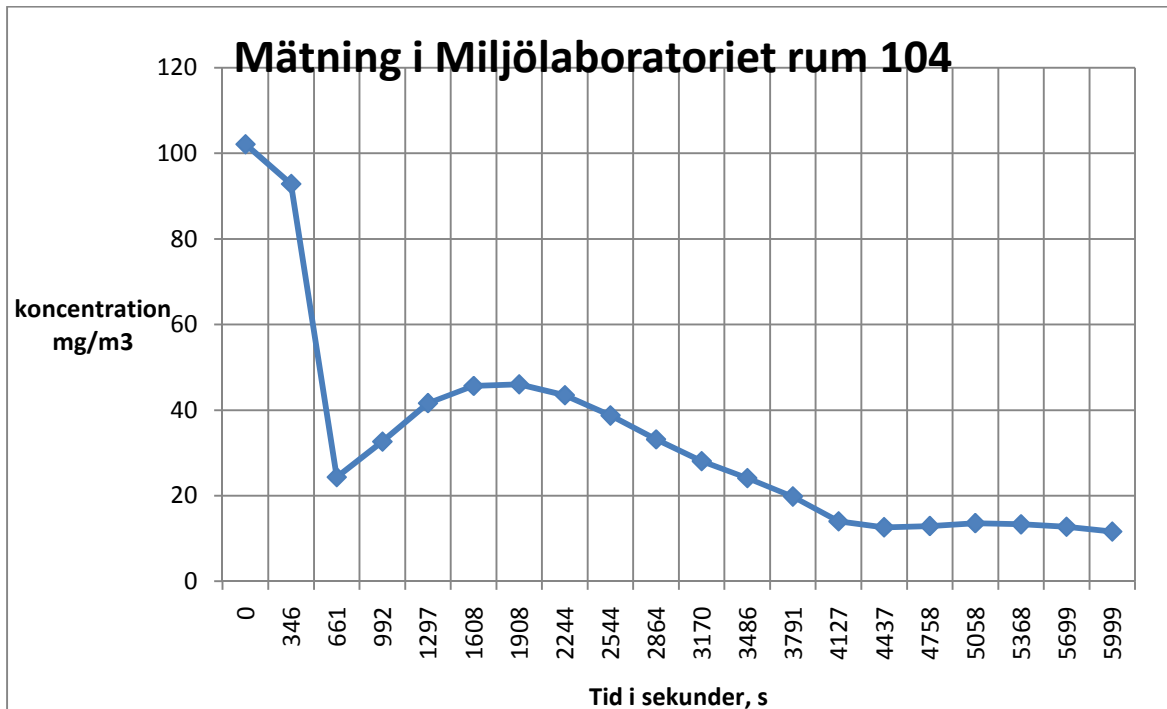
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
163514,61	174259,27	1706,75	1601,51	426537142,70

Weighted area	Room average air <sub>ex</sub>	Room average air
352149822,51	2447,72	2153,63

Efficiency	Area
34,86	163515
37,18	

Weighted area	Local age of air	Room average age of air
352149823	1602	2154

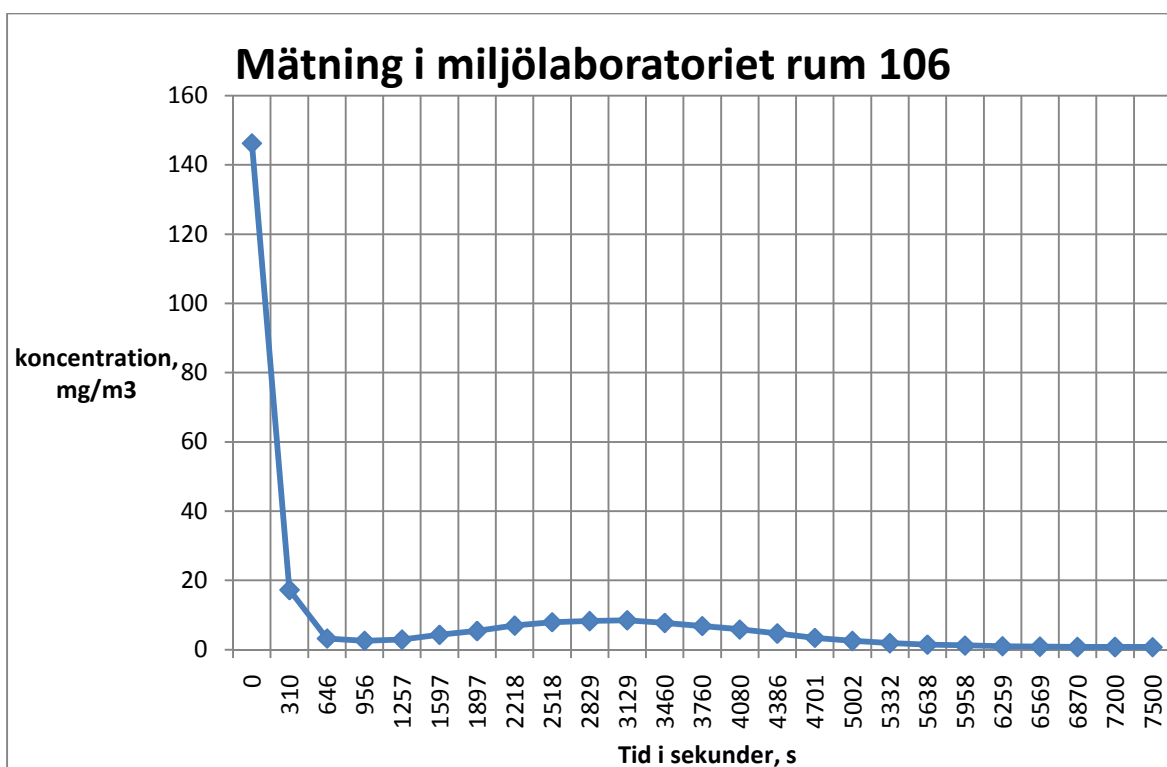
Efficiency
0,37



Mätningstid	ln C
0	4,62595271
346	4,531006799
661	3,192203215
992	3,485661102
1297	3,728676937
1608	3,820828308
1908	3,828837005
2244	3,772324038
2544	3,656872701
2003	3,501163353
3170	3,334273816
2004	3,182585184
3791	2,986338274
2005	2,63898587
4437	2,534886564
2006	2,557459833
5058	2,60837716
2007	2,589041444
5699	2,543647132
2008	2,453244004

$\Delta t =$	2008
$\Delta \ln C =$	2
slope $\alpha =$	0,001082026
	924,1919979

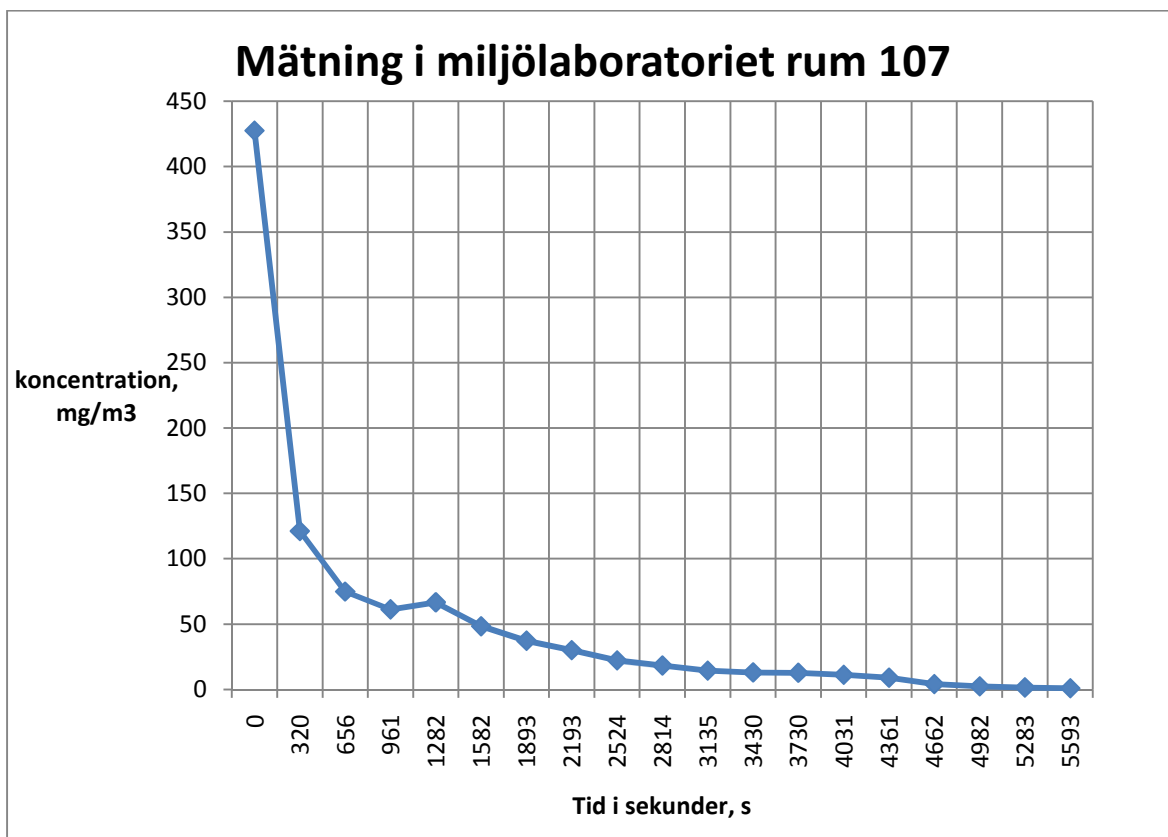
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
30768,86	31843,30	217,84	210,49	91912458,97
<b>Weighted area</b>	<b>Room average air<sub>ex</sub></b>	<b>Room average air</b>		
82324086,54	2886,40	2675,57		
<b>Efficiency</b>	<b>Area</b>			
3,77	% , extrapolated			
3,93	% , without extrapolation			
<b>Weighted area</b>	<b>Local age of air</b>	<b>Room average age of air</b>		
82324087	210	2676		
<b>Efficiency</b>	0,04			



Mätningstid	ln C
0	4,984838689
310	2,848333792
646	1,17745426
956	0,943711316
1257	1,065710231
1597	1,462769215
1897	1,68337585
2218	1,938568995
2518	2,072303624
2829	2,110528268
3129	2,139171666
3460	2,04644047
3760	1,922056476
4080	1,764182718
4386	1,545731056
4701	1,228236055
5002	0,928693472
5332	0,641643353
5638	0,387165362
5958	0,194826419
6259	0,027323244
6569	-0,12590344
6870	-0,234128662
7200	-0,232575385
7500	-0,281726503

$\Delta t =$	7500
$\Delta \ln C =$	5
slope $\alpha =$	0,000702209
	1424,078071

Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
153855,89	154716,05	361,99	359,97	208608578,91
<b>Weighted area</b>	<b>Room average air<sub>ex</sub></b>	<b>Room average air</b>		
203011417,81	1348,33	1319,49		
<b>Efficiency</b>	<b>Area</b>			
13,42	153856			
	% , extrapolated			
13,64	% , without extrapolation			
<b>Weighted area</b>	<b>Local age of air</b>	<b>Room average age of air</b>		
203011418	360	1319		
<b>Efficiency</b>				
0,14				



Mätningstid	ln C
0	6,057743748
320	4,79702946
656	4,315446032
961	4,115437196
1282	4,199274993
1582	3,878280054
1893	3,618644707
2193	3,401297385
2524	3,101352784
2814	2,90372666
3135	2,662843601
3430	2,566409833
3730	2,543254149
4031	2,418855857
4361	2,190524448
4662	1,417235702
4982	0,873925913
5283	0,429051405
5593	-0,060822797

$\Delta t =$	5593
$\Delta \ln C =$	6
slope $\alpha =$	0,001093969
	914,1029943

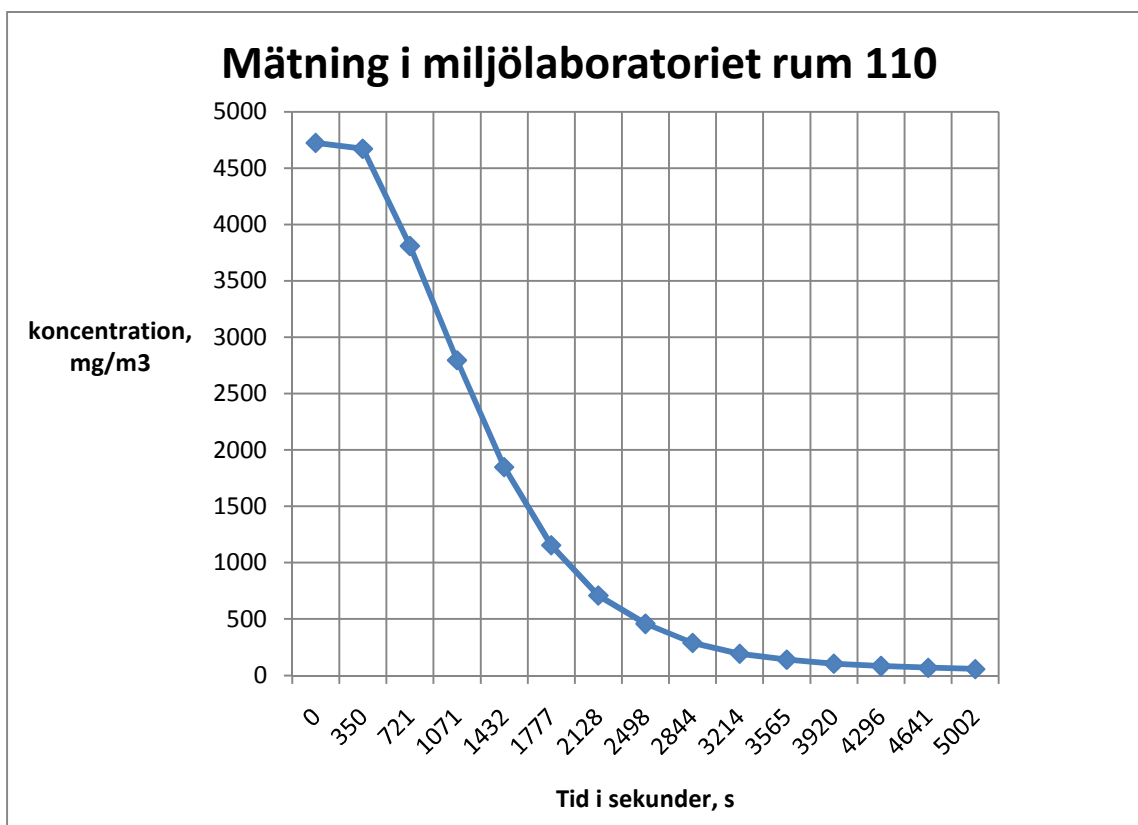
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
5011943,63	5076870,54	1074,86	1061,11	4902982179,72

Weighted area	Room average air <sub>ex</sub>	Room average air
4504615395,01	965,75	898,78

Efficiency		Area
55,65	%, extrapolated	5011944
59,03	%, without extrapolation	

Weighted area	Local age of air	Room average age of air
4504615395	1061	899

Efficiency
0,59



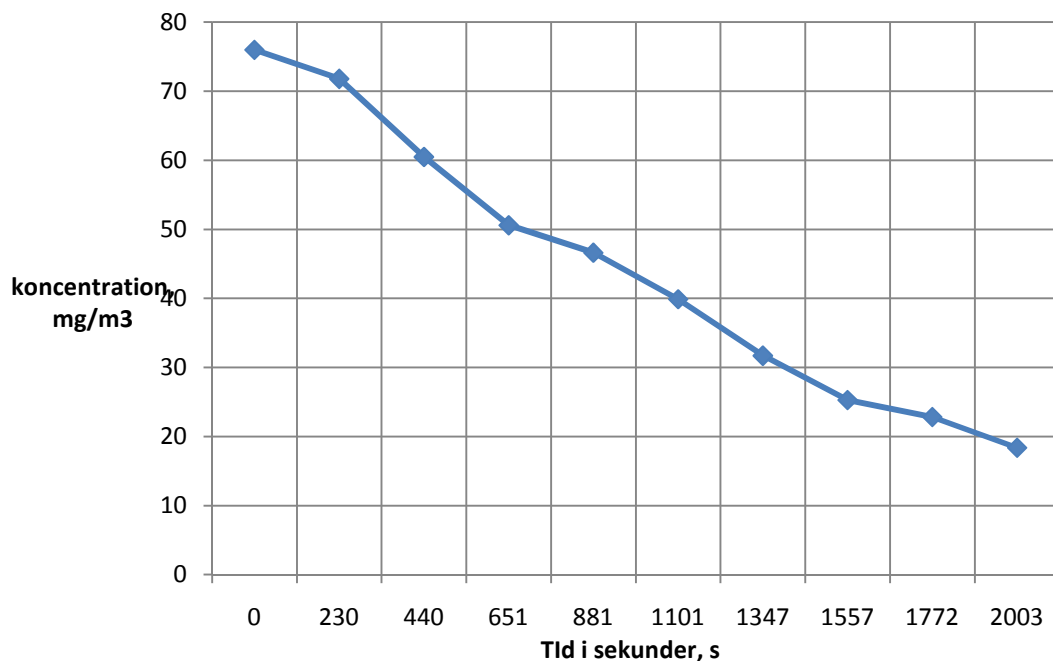
Mätningstid	In C
0	8,460262945
350	8,449171319
721	8,245331986
1071	7,936016614
1432	7,522183862
1777	7,052028726
2128	6,564222187
2498	6,128941298
2844	5,667395073
3214	5,260667422
3565	4,944922799
3920	4,649952346
4296	4,434286959
4641	4,226585564
5002	4,047846738

$\Delta t =$	5002
$\Delta \ln C =$	4
$\text{slope } \alpha =$	0,00088213
	1133,619261



Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
73580,92	73580,92	968,28	968,28	53981211,98
<b>Weighted area</b>	<b>Room average air<sub>ex</sub></b>	<b>Room average air</b>		
53981211,98	733,63	733,63		
<b>Efficiency</b>		<b>Area</b>		
65,99	%, extrapolated	73581		
65,99	%, without extrapolation			
<b>Weighted area</b>	<b>Local age of air</b>	<b>Room average age of air</b>		
53981212	968	734		
<b>Efficiency</b>				
0,66				

### Mätning i Replot skolan klassrum sjötbåten



Mätningstid	In C
0	4,330614877
230	4,273981953
440	4,102560699
651	3,924030626
881	3,842072568
1101	3,686150705
1347	3,456726671
1557	3,230132271
1772	3,128075457
2003	2,911915798

$\Delta t =$	2003
$\Delta \ln C =$	1
$\text{slope } \alpha =$	0,000708287
	1411,856841

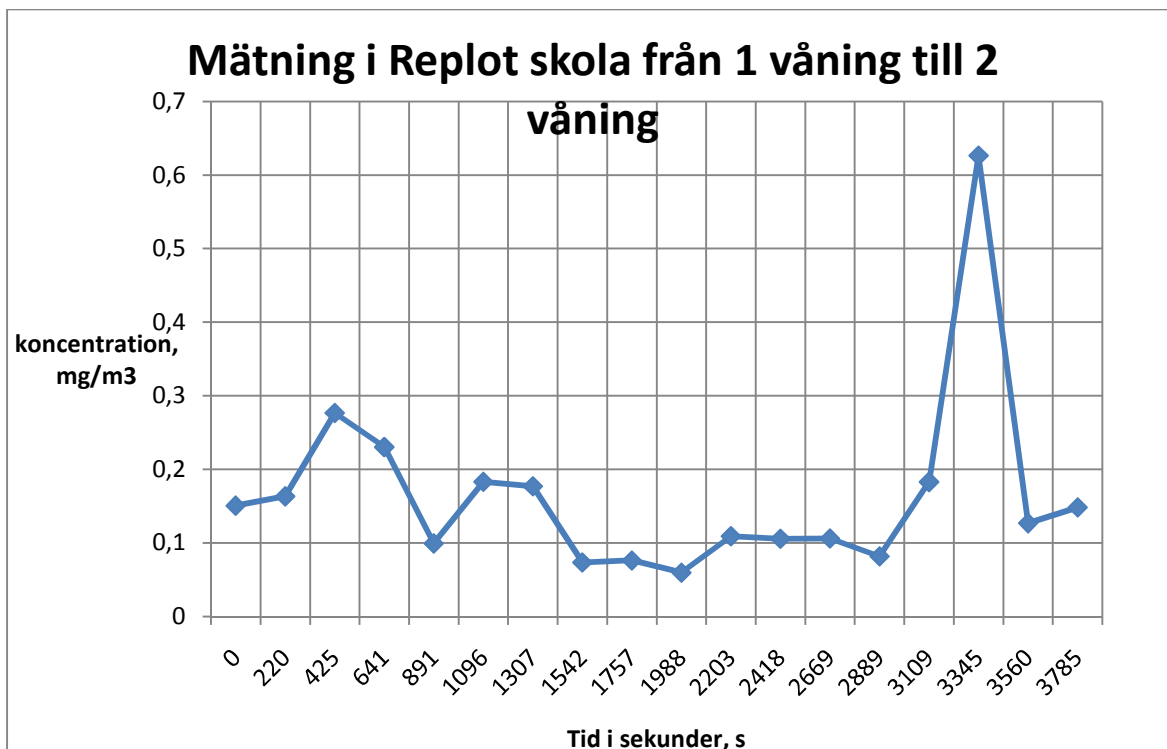
Area	Area <sub>ex</sub>	Local age of air <sub>extrap</sub>	Local age of air	Weighted area <sub>ex</sub>
593,18	593,18	3936,71	3936,71	1126381,11

Weighted area	Room average air <sub>ex</sub>	Room average air
1126381,11	1898,87	1898,87

Efficiency	Area
103,66	593
103,66	

Weighted area	Local age of air	Room average age of air
1126381	3937	1899

Efficiency
1,04



**Mätningstid**

0
220
425
641
891
1096
1307
1542
1757
1988
2203
2418
2669
2889
3109
3345
3560
3785

**In C**

-1,892596859
-1,811982563
-1,285038264
-1,468068567
-2,309086158
-1,697176817
-1,731097178
-2,609898623
-2,574196999
-2,818842097
-2,214940596
-2,246677442
-2,243278995
-2,504162863
-1,698706413
-0,467702298
-2,064513482
-1,908383148

$\Delta t =$	3785
$\Delta \ln C =$	0
<b>slope <math>\alpha =</math></b>	4,17075E-06
	239765,0332