

# **Simulering av självdragsventilation i små fastigheter**

Björn Winberg

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	15309
Författare:	Björn Winberg
Arbetets namn:	Simulering av självdragsventilation i små fastigheter
Handledare (Arcada):	Kim Skön
Uppdragsgivare:	Oy PQR Consult AB
<p><b>Sammandrag:</b></p> <p>Slutarbetet behandlar dagens byggbestämmelser som påverkar vårt inomhusklimat, och vad man behöver beakta vid renovering av äldre fastigheter. Mekanisk ventilation är det mest använda ventilationssystemet i tätorter men ute på glesbygden finns det många fastigheter, villor och mindre stugor som fortfarande använder naturlig ventilation. Meningen med slutarbetet var att vid renovering av ett timmerhus, kunna bevisa att det fortfarande fungerar att använda naturlig ventilation och ändå uppfylla kraven för ett bra inomhusklimat. Syftet var att ta reda på de faktorer som gör att vårt inomhusklimat är trivsamt och hälsosamt för de som vistas i utrymmen. De faktorer som undersöktes i detta examensarbete var inomhustemperaturen i byggnaden, inomhusluftens ålder, CO2 halten i luften och den relativa fuktigheten i inomhusluften. Eftersom det är svårt att uppskatta funktionen av självdragsventilationen och få noggranna mätvärden kom idén om att göra en simulering av byggnaden på ett simuleringsprogram som heter IDA ICE. Simuleringsprogrammet IDA ICE simulerar vädrets påverkan på fastigheten året om. Data som samlats från en simulering har jämförts med byggbestämmelsekraven som man sätter för ett trivsamt inomhusklimat. Överblicken över all data från simuleringarna och från själva planeringskedet av hela byggnaden har härlett oss till att få någon form av resultat och bevis för att kunna göra en redogörelse för kunden att vi kan godkänna dessa planeringar och ventilationens funktion. Värden från de enskilda utrymmen som är presenterade i examensarbetet visar att vi hålls delvis inom byggbestämmelsekraven. Resultaten visar att problemet blir inomhusluftens höga temperatur under sommartid och den torra luften som förekommer under vintermånaderna. Slutarbetet är indelat i tre delar där första delen består av teori och formler angående självdragsventilation, samt grundprincipen och historia. Andra delen behandlar projektets uppbyggnad och bas, samt varför renoveringen uppfylldes. Tredje delen av arbetet behandlar simuleringsprocessen av timmerhuset och analyser av data och resultat.</p>	
Nyckelord:	Ventilation, Självdragsventilation, Timmerhus, Simulering av byggnader, Luftomväxling, Renovering
Sidantal:	38+13
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	18.12.2017

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	15309
Author:	Björn Winberg
Title:	Simulering av självdragsventilation i små fastigheter
Supervisor (Arcada):	Kim Skön
Commissioned by:	Oy PQR Consult AB
<p><b>Abstract:</b></p> <p>The final work deals with today's building regulations that affect our indoor climate, and what needs to be considered when renovating older properties. Mechanical ventilation is the most used ventilation system in urban areas, but in the rural area there are many properties, villas and smaller cottages that still use natural ventilation. The idea of the final work was that when renovating a log house, it could prove that it still works to use natural ventilation and still meet the requirements for a good indoor climate. The purpose was to find out the factors that make our indoor climate pleasant and healthy for those staying in the building. The factors investigated in this degree project were indoor temperature in the building, indoor air age, the CO<sub>2</sub> level in the air and the relative humidity in the indoor air. Since it is difficult to estimate the function of self-venting and obtain accurate measurements, the idea of making a simulation of the building was made on a simulation program called IDA ICE. The simulation program IDA ICE simulates the weather's impact on the property around a whole year. Data collected from a simulation has been compared with the building regulations the requirements set for a pleasant indoor climate. The overview of all data from the simulations and from the actual planning phase of the entire building has led us to get some kind of results and evidence to be able to report to the customer that we can approve these plans and the operation of the ventilation. The values from the individual spaces presented in the thesis show that we are partly in line with the building requirements requirement. The results show that the problem is the indoor air's high temperature at summer time and the dry air that occurs during the winter months. The final work is divided into three parts, where the first part consists of theory and formulas regarding self-venting, as well as the basic principle and history. The second part deals with the project's structure and base, and why the renovation was met. The third part of the work deals with the simulation process of the log house and analyzes of data and results.</p>	
Keywords:	Natural ventilation, Ventilation, Simulation, Log house, Renovation
Number of pages:	38+13
Language:	Swedish
Date of acceptance:	18.12.2017

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Distribuerade energisystem
Tunnistenumero:	15309
Tekijä:	Björn Winberg
Työn nimi:	Simulering av självdragsventilation i små fastigheter
Työn ohjaaja (Arcada):	Kim Skön
Toimeksiantaja:	Oy PQR Consult AB
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Lopputyössä käsitellään nykyisiä rakennussääntöjä, jotka vaikuttavat sisäilmaan ja mitä on otettava huomioon vanhempien kohteiden kunnostamisessa. Mekaaninen ilmanvaihto on kaupunkialueilla eniten käytetty ilmanvaihtojärjestelmä, mutta maaseudulla on monia kiinteistöjä, huviloita ja pienempiä mökkejä, jotka yhä käyttävät luonnollista ilmanvaihtoa. Lopputyön ajatuksena oli, että hirsitalon kunnostamisessa voisi osoittaa, että se toimii edelleen luonnollisen ilmanvaihdon avulla ja täyttää hyvän sisäilmaston vaatimukset. Tarkoituksena oli selvittää ne tekijät, jotka tekevät sisäilmastamme miellyttävän ja terveellisen huonetiloissa oleskeleville. Tässä tutkintohankkeessa tutkittuja tekijöitä olivat sisäilman lämpötila rakennuksessa, sisäilma ikä, ilman CO2-taso ja sisäilman suhteellinen kosteus. Koska painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa on vaikea arvioida ja saada tarkkoja mittauksia, ajatus oli tehdä rakennuksesta simulointi simulaatio-ohjelmalla, jota kutsutaan IDA ICE: ksi. Simulaatio-ohjelma IDA ICE simuloi sää vaikutuksia kiinteistöihin ympäri vuoden. Simuloinnista kerätyt tiedot ovat verrattu rakennusmääräyksiin miellyttävän sisäilmaston vaatimusten mukaisesti. Yleiskatsaus kaikista simulaatioista ja koko rakennuksen varsinaisesta suunnitteluvaiheesta on johtanut siihen, että saamme jonkinlaisia tuloksia ja todisteita, jotta voimme ilmoittaa asiakkaalle, että voimme hyväksyä nämä ilmanvaihtosuunnitelmat. Opinnäytetyössä esitetyistä yksittäisistä tiloista saadut arvot osoittavat, että olemme osittain rakennusvaatimusten mukaisia. Tulokset osoittavat, että ongelma on kesäilman sisäilman korkea lämpötila ja talvikuukausina esiintyvä kuiva ilma. Lopputyö on jaettu kolmeen osaan, joissa ensimmäinen osa koostuu painovoimaista ilmanvaihtoa koskevista teorioista ja kaavoista sekä peruseriaatteesta ja historiasta. Toisessa osassa käsitellään hankkeen rakennetta ja perustaa ja sitä miksi korjaus tehtiin. Työn kolmas osa käsittelee hirsitalon simulointiprosessia ja analysoi tietoja ja tuloksia.</p>	
Avainsanat:	Painovoimainen ilmanvaihto, Ilmanvaihto, Simulointi, Saneeraus, Hirsitalo
Sivumäärä:	38+13
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	18.12.2017

# INNEHÅLL

## Förord

## Förkortningar

<b>1</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Självdraagsventilation</b> .....	<b>11</b>
2.1	Vindkraft och distribution.....	12
2.2	Flödesteknik .....	14
2.3	Skorstenseffekt.....	19
2.4	Årstidernas påverkan .....	21
2.5	Fukten i luften.....	22
<b>3</b>	<b>Projektbeskrivning</b> .....	<b>24</b>
3.1	Timmerhusets nya system .....	26
<b>4</b>	<b>Ventilationskrav i Finland</b> .....	<b>30</b>
4.1	Temperaturförhållanden enligt bestämmelserna .....	31
4.2	Luftkvalitet enligt bestämmelserna .....	31
<b>5</b>	<b>Simuleringsprocessen</b> .....	<b>32</b>
5.1	Simuleringsresultat .....	33
<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>36</b>
	<b>Källor</b> .....	<b>39</b>
	<b>Bilagor</b> .....	<b>42</b>

## Figurförteckning

Figur 1. Vindtryckskoefficient fördelning på: (a) flat takkonstruktion och (b) vinklad takkonstruktion. (5, s. 309) .....	14
Figur 2. Flödestyper: 1. Laminärt flöde 2. Turbulent flöde. (15, s. 95) .....	18
Figur 3. Multiplikationskoefficienter för olika kanalsektioner.(15, s. 100) .....	19
Figur 4. HX diagram för beräkning av energi och fukthalten i inomhusluften....	23
Figur 5. Timmerhusets värmeförlustsberäkning, 1 vån (ovan) och 2 vån (under) .....	25
Figur 6. Projektets situationsplan vid planeringskedet. Huset längst ner är det projekterade timmerhuset.....	26
Figur 7. Ventilationsplan för timmerhusets första våning. Velco VLR-100 nya tilluftsventiler.....	28
Figur 8. Furanflex funktionsprincip i kakelugnarna. ....	30

## Tabellförteckning

Tabell 1. Effekt av temperatur på egenskaper i luften .....	22
Tabell 2. Lokalspecifika temperaturriktvärden under uppvärmningsperioden för utrymmen vars projekteringsvärde för rumstemperatur inte är 21 °C.(2, s. 6) ..	31
Tabell 3. Värderna för föroreningshalter i inneluft för projektering och realisering av inomhusklimat i byggnad.) (2, s. 7) .....	32

## Bilagaförteckning

Bilaga 1. Skorstenskartlägningsrapport del 1/2 .....	42
Bilaga 2. Skorstenskartlägningsrapport del 2/2 .....	43
Bilaga 3. Bild på timmerhuset som skall renoveras.....	44
Bilaga 4. Byggnadens börvärden del 1/2.....	44
Bilaga 5. Byggnadens börvärden del 2/2.....	45
Bilaga 6. Timmerhusets 3D modell med simuleringsprogrammet IDA ICE.....	45
Bilaga 7. Timmerhusets simuleringszoner.....	46
Bilaga 8. Luftströmmar innanför byggnadens olika utrymmen. ....	46

Bilaga 9. Butikens inomhusluftsvärden del 1/3. ....	47
Bilaga 10. Butikens inomhusluftsvärden del 2/3. ....	47
Bilaga 11. Butikens inomhusluftsvärden del 3/3. ....	48
Bilaga 12. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 1/3.....	48
Bilaga 13. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 2/3.....	49
Bilaga 14. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 3/3.....	49
Bilaga 15. Medelvärdena för Cp för en kvadrat.....	50
Bilaga 16. Medelvärdena för Cp för ett rektangulärt plan.....	51

## FÖRORD

Detta examensarbete har gjorts hos Oy PQR Consult AB, ett företag som specialiserat sig på VVS- och elplanering, samt konsultering vid olika byggnadsprojekt. Examensarbetet var avsett att fungera som ett hjälpverktyg för att kunna kontrollera det planerade arbetets funktion som var avsedd att göras på ett timmerhus i Helsingfors.

Jag vill rikta ett stort tack till företaget Oy PQR Consult AB för förtroendet att få vara med om detta projekt och för att ha assisterat mig och hjälpt mig med information angående planering och simulering. Jag vill särskilt tacka Eetu Laaksonen för handledning av arbetet och för att han har gett mig behövlig information och tillgång till böcker och skrifter inom ventilationsplanering. Jag vill också tacka min handledare Kim Skön och Yrkeshögskolan Arcada för given kunskap inom simuleringsprogrammet IDA ICE.

Jag vill också tacka min familj, flickvän och närstående vänner som har stött mig under arbetets gång och hjälpt mig med goda råd och gett mig motivation för att kunna slutföra arbetet i god takt.

## FÖRKORTNINGAR

VVS	Värme, Ventilation och Sanitet
D2	Finlands byggbestämmelsesamling för byggnaders inomhusklimat och ventilation. Föreskrifter och anvisningar 2012
IDA ICE	(IDA Indoor Climate and Energy) Simulerings program som används vid planering
°C	Grader Celsius
ppm	Andelar per miljon (Parts per million)
CO <sub>2</sub>	Koldioxid som är en gas och är färglös i normala temperaturer

# 1 INTRODUKTION

På grund av att man i dagens läge använder mestadels maskinell ventilation är den naturliga ventilationen eller självdragsventilationssystemet mer sällsynt än någonsin. Dock är designen av självdragsventilationssystemet efterfrågad särskilt för renoveringar där gammal självdragsventilation vill upprätthållas. Självdragsventilation kan planeras antingen genom beräkningar eller datorsimuleringar. Särskilt i större fastigheter är simuleringen ett mera precist alternativ och ger en exakt uppskattning av ventilationens funktioner. I detta arbete har naturlig ventilation datorsimulerats för att kunna få en uppfattning om hur klimatet kommer att bete sig efter en renovering som skall genomföras.

Syftet med arbetet var att ta reda på de faktorer som gör att vårt inomhusklimat är trivsamt och hälsosamt för de som vistas i utrymmen. Faktorer som undersöktes och jämfördes enligt byggbestämmelserna var:

- Inomhustemperaturen i byggnaden.
- Inomhusluftens ålder.
- CO<sub>2</sub> halten i luften.
- Den relativa fuktigheten i inomhusluften.

Detta examensarbete har gjorts hos Oy PQR Consult AB, ett företag som specialiserat sig på VVS- och elplanering, samt konsultering vid olika byggnadsprojekt. Examensarbetet var avsett att fungera som ett hjälpverktyg för att kunna kontrollera det planerade arbetets funktion som gjordes på begär av beställaren. Examensarbetet presenterar en översikt över formler för att beräkningsmässigt undersöka självdragsventilationen samt de specifika funktionerna i design, både för renovering och nya projekt. Dessutom introducerar arbetet de metoder för självdragsventilation som används i olika perioder och gällande bestämmelser. (3)

## 2 SJÄLVDRAGSVENTILATION

Självdraagsventilationen är en kontrollerad ventilationsmetod. Förr i tiden hade byggnaderna faktiskt ingen ventilation, men luften värmdes upp inomhus och friskluft kom in genom glesa byggnadsöppningar. På 1800-talet började man ägna mer uppmärksamhet åt luftkvaliteten i bostadshus och andra fastigheter. Till bostadshus byggdes ugnar, som kunde också användas för frånluftsventilation. Dessutom började man montera avluftskanaler i byggnader. Ersättningsluft kom genom fönster- och dörrspringor. Snart upptäcktes det att det är bra att också bygga egna kanaler för uteluften. Uteluftskanalerna bestod bara av öppningar i ytterväggen. Det konstaterades också vara klokt att bygga kanaler på ett sådant sätt att snö och vatten inte direkt kommer in. I öppningar av ersättningsluft placerades galler och nät för att hindra skräp och djur för att komma in. På innersidan lade man luckor, vilka fungerade som flödesregleringsventil för utomhusluften. På 1900-talet började man bygga rumspecifika frånluftskanaler. Sedan slutet av 1940-talet, byggdes frånluftskanalerna främst i köket, badrummet och toaletten. Anledningen var att man skulle spara utrymme. Den friska uteluften som kom från andra rum t.ex. kök och sovrum, tog med drag med sig föroreningar. I samband med naturlig ventilation på 40- och 50-talet användes spiskåpor i köken. Spiskåpan hade sitt eget system, och på toppen av spiskåpan en huva, där luften leddes till en egen avluftskanal. Oftast hade man hjälp av en fläkt för luftöverföring till spiskåpan. Badrum med duschutrymmen var också en del av de första rum som var dragna med ventilation. Öppnande av fönster för att förbättra ventilationen var en metod som användes under sommarmånaderna, och om vindförhållandena var dåliga. Än kan det vara det enda sättet att förbättra inomhusklimatet i dagens byggnader med självdraagsventilation. (9, s. 8-11)

Självdraagsventilationen är baserad på några grundläggande saker för att ventilationen skall ha möjlighet att fungera.

- Ventilation ska vara drivande.

- Avluftkanalen skall vara tillräcklig lång och bred och skorstenen ska vara så rak som möjligt för att minska på tryckförlusterna.
- Tillförsel av ersättningsluften måste garanteras och säkerställas, och att kanalen är så rak som möjligt.
- Skorstenens höjd och den möjliga sidoförskjutningen påverkar luftens strömning i kanalen.

Om dessa punkter inte uppfylls kommer självdragsventilationen att vara i obalans och fungera smidigt vid årets olika årstider där luftens densitet ändras och vindstyrkorna som påverkar luftens drivkraft växlar.(1, s. 7-10)

## 2.1 Vindkraft och distribution

Tryckskillnaden över en öppning eller ventilationsspjäll är drivkraften för självdragsventilation. Detta framkallas av vind- och temperaturskillnad (stapeltryck) och genom driften av alla mekaniska ventilationssystem som är närvarande. Med hänvisning till det statiska trycket av vindens uppström vid en öppning, fås det tidsmässiga trycket på grund av vindflödet ( $p_w$ ) på eller bort från en yta, som ges av formeln:

$$p_w = 0,5 C_p \rho_0 v^2 \text{ [Pa]}$$

där:

$C_p$  = statisk tryckkoefficient

$v$  = vindhastighet vid referensnivå ( $\text{ms}^{-1}$ ).

$\rho_0$  = densiteten för den fria strömningen ( $\text{kg/m}^{-3}$ );

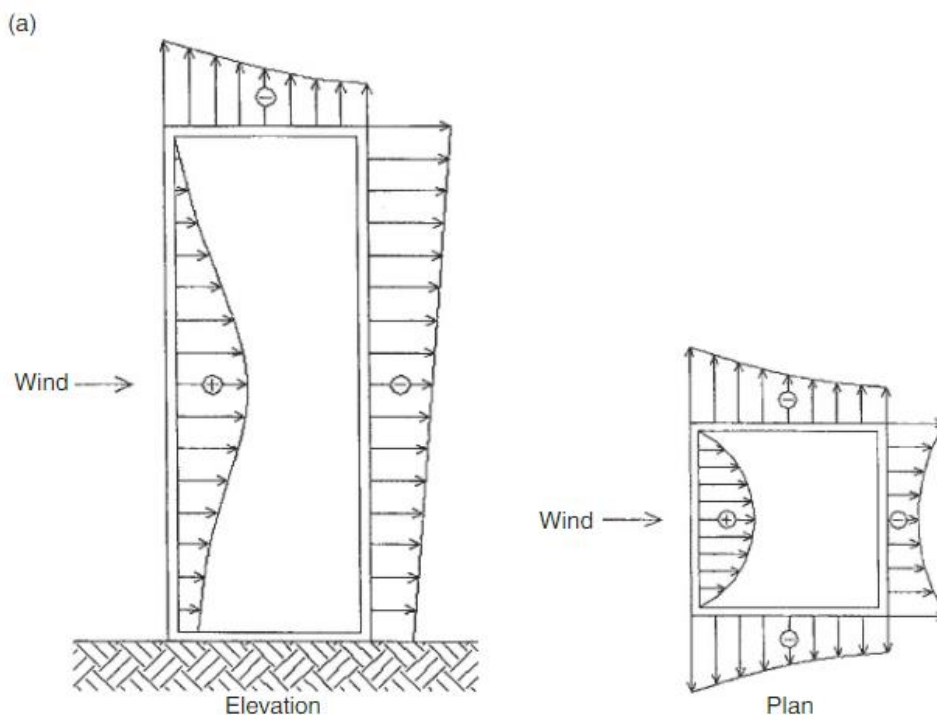
Vindtryckskoefficienten är normalt härledd från tryckmätningar i vindtunnlar med hjälp av reducerade modeller av byggnadsdelar eller tryckmätningar i de faktiska byggnaderna. Värdet av  $C_p$  vid en punkt på byggytan bestäms av:

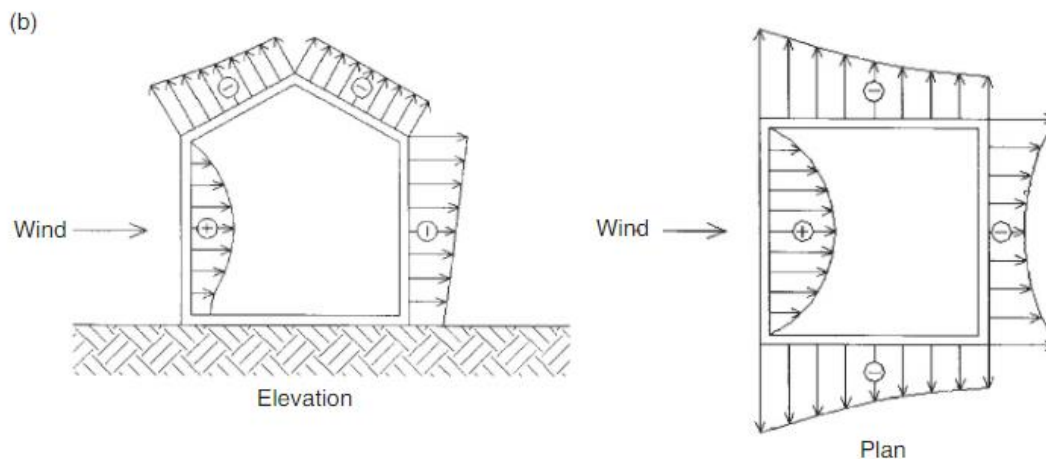
- byggnadens geometri;
- vindhastigheten, dvs. hastighet och riktning i förhållande till byggnaden;

- byggnadens exponering, dvs. dess placering i förhållande till andra byggnader och grovhet i terrängen runt om kring i vindriktningen.

För en byggnad med skarpa hörn är statiska tryckets koefficient nästan oberoende av vindhastigheten eftersom flödes separationspunkter normalt uppträder vid vassa kanter. Detta kan inte vara fallet för runda byggnader där positionen för separationspunkten kan påverkas av vindhastigheten. Bland annat påverkas byggnaden av vindinducerad luft som bildas av tryckfördelningen kring byggnaden och mer specifikt vid öppningarna i byggnadsstrukturen (både yttre och inre).

Tryckfördelningen på en byggnad bestäms av byggnadens orientering mot den rådande vinden samt byggnadens geometri. Fasaden som vinden är riktad mot (vänd mot vinden) utsätts för positiva vindtryckskoefficienter (högre tryck än vindens statiska tryck) som en följd av vindens dynamiska tryck och dess avvikelser på ytan, där som taket och lä-sidan utsätts för negativa tryckkoefficienter (lägre tryck än vindens statiska tryck) på grund av att gränsskiktet separeras från ytorna vid skarpa kanter som går i taket och i vindmuren. (5, s. 308)





Figur 1. Vindtryckskoefficient fördelning på: (a) flat takkonstruktion och (b) vinklad takkonstruktion. (5, s. 309)

Tryckkoefficienten på en byggnads sidoytor kan antingen vara positiva eller negativa beroende på deras lutning i förhållande till den rådande vinden. Figur 1 (a och b) visar en typisk tryckskoefficient fördelning på ett flatt tak och ett vinklat tak. Värderna av  $C_p$  för olika byggnadsformer och aspekter (höjd/bredd eller längd/bredd) uttryckt som ett enskilt värde för varje sida av byggnaden. Tabellerna i bilaga 15 och 16 ger medelvärdena för  $C_p$  för en kvadrat och ett rektangulärt plan som bygger upp till tre våningars höjd. (5, s. 310)

## 2.2 Flödesteknik

Ofta antar man att i luftkonditioneringens applikationer är luftflödes hastigheten och lufttätheten likformig över hela flödeskanalens tvärsnitt. Vid den situationen kan man använda sig av Bernoulli ekvationen, där i ett friktionsfritt system förblir summan av trycket, position och hastighetsenergin konstant vid olika punkter i flödet.

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstant}$$

där:

$p$  = tryck

$\rho$  = densitet

$g$  = acceleration (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = höjd

$v$  = genomsnittlig flödes hastighet

I Bernoulliekvationen beskriver den första termen det statiska trycket i flödet. Den andra termen motsvarar den potentiella energin hos höjden i tyngdfältet. Den är generellt liten i gasflöden jämfört med vätskor. Den tredje termen är det dynamiska trycket i flödet. I luftens kanalflöde är det därför möjligt att ange formeln som:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \textit{konstant}$$

Termer av formeln är allmänt märkta enligt följande:

$$p_{sa} + p_d = p_{ta}$$

där:

$p_{sa}$  = flödets absoluta statiska tryck

$p_d$  = flödets dynamiska tryck

$p_{ta}$  = flödets absoluta helhetstryck

Normalt används istället för absoluta tryck endast statiskt och totalt tryck:

$$p_s = p_{sa} - p_a$$

$$p_t = p_{ta} - p_a$$

där  $p_a$  är atmosfärs tryck.

Bernoulliekvation får nu sin form:

$$p_s + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_t$$

Det statiska trycket  $p_s$  i flödet kan mätas från ett hål i kanalsidan, och det totala trycket  $p_t$  av det öppna röret vinkelrätt mot flödet.

Den andra ekvationen i beräkning av flödet i kanal är kontinuitets ekvation. Enligt den måste massflödet vara konstant, oavsett kanalens tvärsnitt.

$$q_m = \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

där:

$q_m$  = massflöde

$A_1$  och  $A_2$  = tvärsnittsarea

$v_1$  och  $v_2$  = motsvarande medelhastighet

$\rho_1$  och  $\rho_2$  = motsvarande densitet

I ett verkligt kanalsystem alstras friktionen mellan kanalväggen och den strömmande luften, liksom förluster i kanaldelar som orsakar turbulens i luften. I friktionsflödesberäkningen kommer Bernoullis ekvation att tillsättas med den konstanta tryckändringen  $\Delta p$ , tryckförluster, motsvarande term. Motsvarande mängd energi blir till värme. Bernoullis ekvation blir och ser ut som följande:

$$p_{s1} + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = p_{s2} + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2 + \Delta p$$

där  $\Delta p$  är tryckförlusten mellan punkterna 1 respektive 2.

I raka kanaler och rör uttrycks tryckfall enligt följande ekvation:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

där:

$\lambda$  = friktionskoefficient

$d$  = kanalens diameter

$l$  = kanalens längd

$\rho$  = luftens densitet

$v$  = luftens hastighet

Friktionskoefficienten beror bland annat på Reynoldstalet:

$$Re = \frac{dv}{\nu}$$

där:

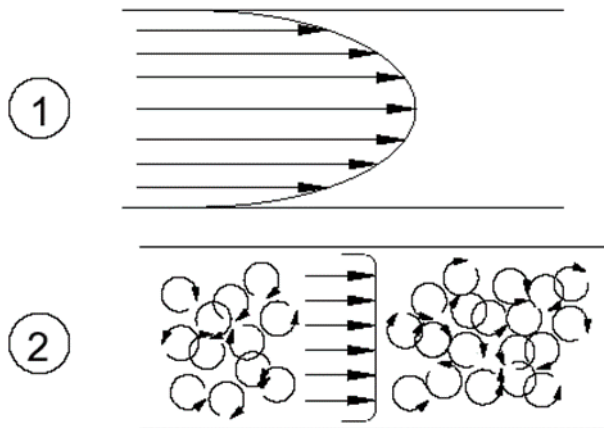
$Re$  = Reynolds tal

$d$  = kanalens diameter

$\nu$  = luftens kinematiska viskositet

$v$  = flödes hastighet

Flödet är laminärt, om  $Re < 2320$ , och turbulent om  $Re > 3000$ . Mellanliggande zonen är då flödet övergår från laminär till turbulent (Se figur 2). Vanligtvis är kanalflödet turbulent, men vid låga hastigheter i små kanaler är det möjligt att det är laminärt. Särskilt i vissa delar av ventilationsanläggningar med en låg strömningsbana är flödet laminärt. (15, s. 95-96)



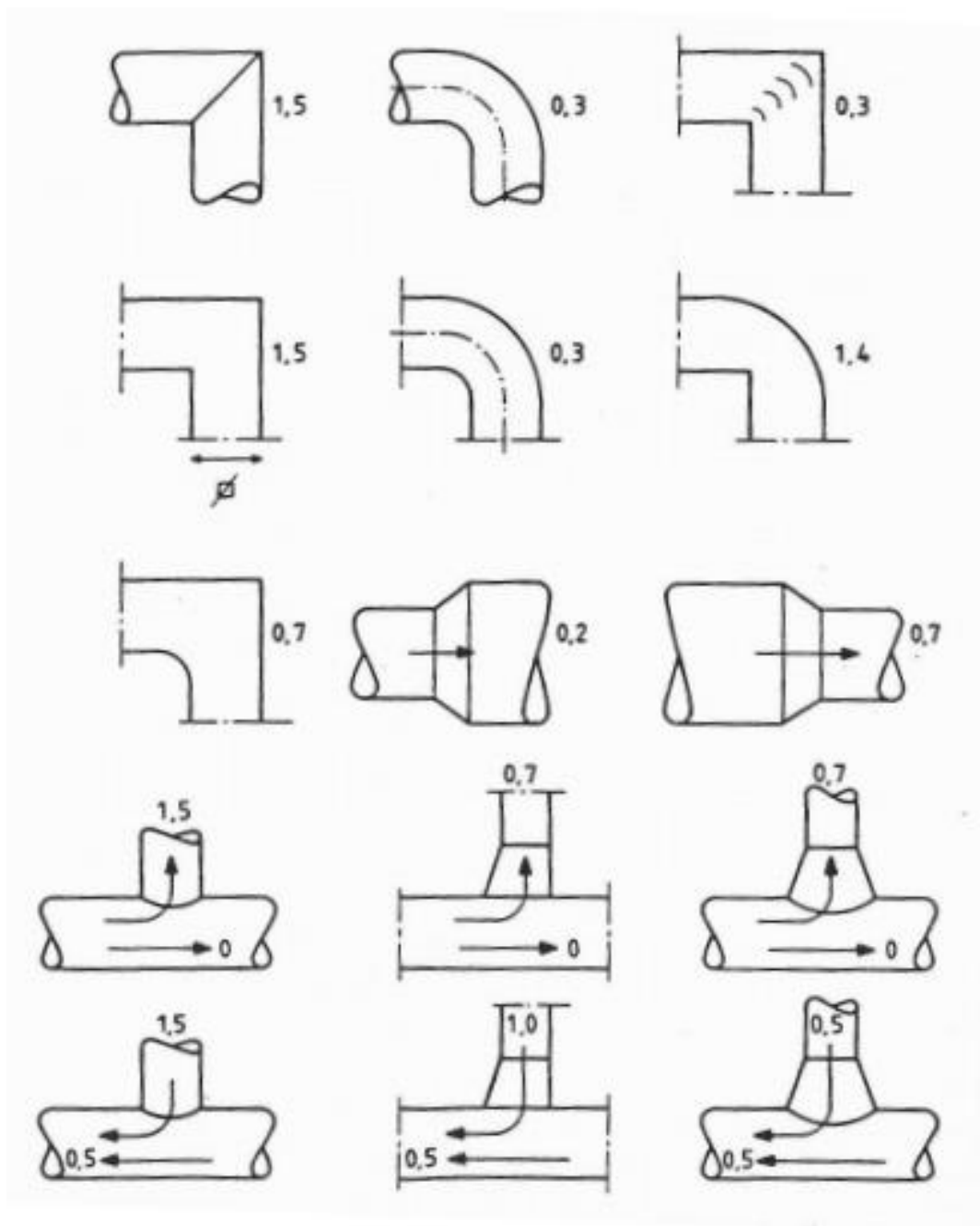
Figur 2. Flödestyper: 1. Laminärt flöde 2. Turbulent flöde. (15, s. 95)

Tryckfallet i kanaldelar som även kallas engångsförluster är proportionellt mot det dynamiska trycket i flödet i turbulent flöde.

$$\Delta p = \zeta P_d = \zeta \frac{1}{2} \rho v^2$$

där  $\zeta$  är kanaldelens tryckförlustkoefficient.

Kanaldelar orsakar virvlar i luftströmmen och samtidigt energiförluster. Detta kallas lokal resistans, eller formmotstånd. Tryckförlusten som orsakas av kanaldelar är vanligtvis större, ju mera virvel som bildas i delarna. I turbulent flöde påverkas tryckförlusten nästan endast av kanaldelens geometri (Se figur 3). Vid användning av multiplikationskoefficienter måste särskild uppmärksamhet ägnas åt förhållandet mellan koefficienten beräknad för tvärsnittsarean. Konverteringskoefficienterna (variabel tvärsnittsarea) bestäms vanligtvis vid högsta hastigheten. (15, s. 93-113)



Figur 3. Multiplikationskoefficienter för olika kanalsektioner. (15, s. 100)

## 2.3 Skorstenseffekt

Kraftpotentialen består av en temperaturskillnad mellan inomhus- och utomhusluft; ju högre temperaturskillnad, desto bättre fungerar ventilationen. Detta kallas skorstenseffekt. Luftens densitet är olika vid olika temperaturer, och tenderar den att stiga vid upphettning. Vinden bidrar till att ge en tryckskillnad som gör att luften börjar röra sig i skorstenen. Effekten av vinden kan orsaka luftens

rörelse också genom byggnadskonstruktioner eller längs olika väggar och öppningar.

Luftens konvektionsströmmar genererar den så kallade skorstenseffekten. I konvektionsströmmar stiger den mindre täta vätskan över det täta ämnet. När man talar om självdragsventilation är den stigande vätskan inomhusluften. Den största, men inte den enda, faktorn som påverkar luftens densitet är temperaturen. Skorstenseffekten som förekommer av tryckskillnaden beräknas enligt en formel med användning av endast inre och yttre temperaturdifferensen. Detta är möjligt eftersom densiteten i luften i enlighet med den ideala gasens tillståndsekvation är omvänt proportionell mot dess temperatur. Resultatet av temperaturskillnaden är tillräckligt noggrant för praktisk planering. Formeln som man använder i praktiken är följande:

$$\Delta p_h = \rho_u \cdot g \cdot h \cdot \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right)$$

där:

$\Delta p_h$  = Den drivande tryckskillnaden i skorstenen [Pa]

$\rho_u$  = utomhusluftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = accelerationen av jordens gravitation [9,81 m/s<sup>2</sup>]

$h$  = höjdskillnaden mellan skorstenens övre och nedre del [m]

$T_u$  = utomhustemperatur [K]

$T_i$  = inomhusluftstemperatur [K]

Eftersom skorstenseffektens drivkraft är en form av lyftkraft, är det exakta värdet av den driveffekt beräknad från inom- och utomhusluftens densitet skillnad:

$$\Delta p_h = g \cdot h \cdot (\rho_u - \rho_i)$$

där:

$\Delta p_h$  = luftens framdrivs kraft i skorstenen [Pa]

$g$  = accelerationen av jordens gravitation [9,81 m/s<sup>2</sup>]

$h$  = höjdskillnaden mellan skorstenens övre och nedre del [m]

$\rho_u$  = utomhusluftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_i$  = inomhusluftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

Efter temperaturen är den näst mest inverkan i luften den absoluta fuktighet som påverkar luftens densitet. Densiteten för fuktig luft är lägre än den för torr luft, har ökningen av luftfuktigheten inomhus en liten inverkan på ventilationen i självdragssystemet. Höjdskillnaden av avluftskanalen bidrar också till att bilda självdragsventilationens befordrade tryckskillnad. I gamla rekommendationer presenteras det att frånluftskanalens öppning och höjdskillnaden mellan utomhusluftintaget bör vara minst 4,5 m. Självdragsventilationskanaler bör vara så raka som möjligt. Om kanalen är sned, med en 1 m förskjutning, behövs 10 m kanal uppåt för att kompensera för den. De gamla rekommendationerna rekommenderar att en 25 % utvidgning av kanalstorleken är befordrad ifall en sidoförskjutning är nödvändig att göra. Dessutom rekommenderas att den horisontella förskjutningen bör vara mindre än 10 % av höjden av kanalen.( 6, s. 2-4)

## 2.4 Årstidernas påverkan

De olika årstiderna har en stor betydelse på ventilationen i våra fastigheter eftersom uteklimatet ändras drastiskt och man måste anpassa ventilationen för de extrema förhållanden, åtminstone här i Finland. För självdragsventilationen är det luftens densitets förändring som gör det svårt att uppnå den drivande kraften i naturlig ventilation. I tabellen 1 ser man de olika värden för luft i olika temperaturförhållanden. Eftersom vårt inomhusklimat är mellan 18-24 °C blir vår densitetsskillnad mycket liten under sommarmånaderna, som det visades i stycke 2.3 med formeln för skorstenseffektens drivkraft.

Tabell 1. Effekt av temperatur på egenskaper i luften

Effect of temperature on properties of air			
Temperature $T$ (°C)	Speed of sound $c$ (m/s)	Density of air $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Characteristic specific acoustic impedance $z_0$ (Pa·s/m)
35	351.88	1.1455	403.2
30	349.02	1.1644	406.5
25	346.13	1.1839	409.4
20	343.21	1.2041	413.3
15	340.27	1.2250	416.9
10	337.31	1.2466	420.5
5	334.32	1.2690	424.3
0	331.30	1.2922	428.0
-5	328.25	1.3163	432.1
-10	325.18	1.3413	436.1
-15	322.07	1.3673	440.3
-20	318.94	1.3943	444.6
-25	315.77	1.4224	449.1

På vintertid när uteluftstemperaturen är låg blir vår temperaturskillnad mycket högre och det ökar på drivkraften i ventilationen. Dock är det problematiskt, eftersom det kommer mycket kall luft in och orsakar drag, som inte är önskat i vistelsezoner.(3)

## 2.5 Fukten i luften

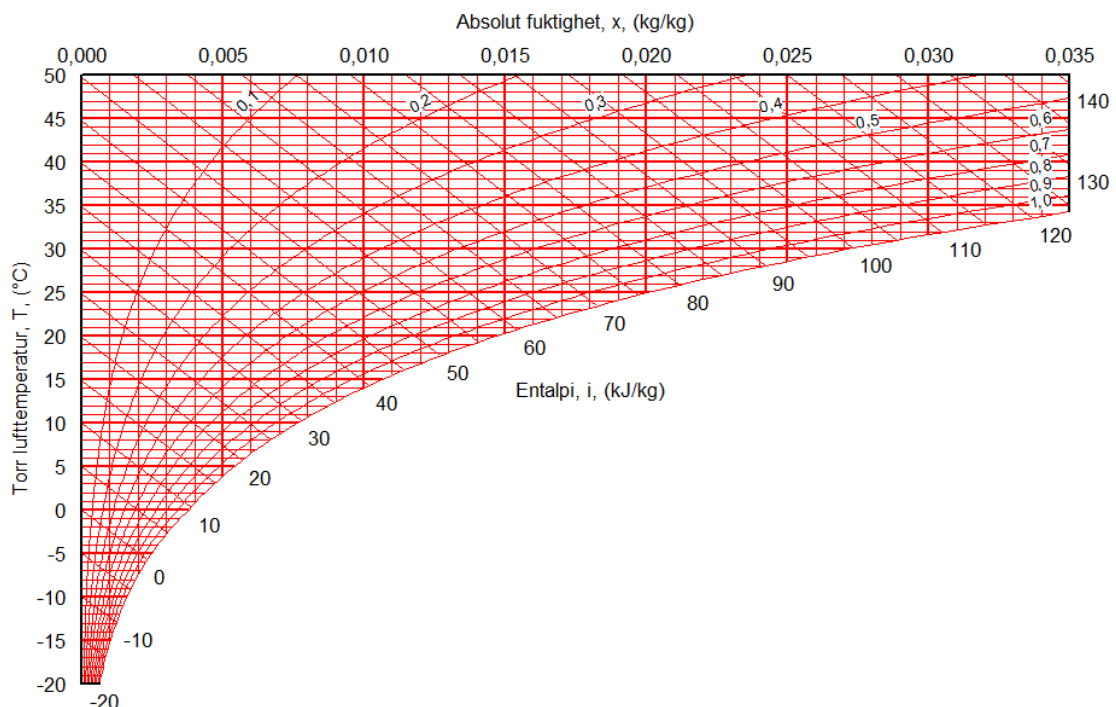
Torr luft är en blandning av gaser, kväve, syre, argon och koldioxid. I luften finns dock alltid vattenångor och därför kallar man det till fuktig luft ifall vattenhalten är hög. Vattenången har en stor betydelse i luften eftersom den innehåller en stor mängd energi. Energin i luften kallas för fastbunden energi dvs. latent värme. Luftens fria värme dvs. den torra luften är den som krävs för temperaturförändringen som inte lämnar vattenånga i luften eller släpper mera in. När det finns dimma i luften är det små vattendroppar som inte längre är i ångform utan i vätskeform. Det betyder att när t.ex. utetemperaturen sjunker under kvällstid så är luften redan mättad med vattenånga så mycket att resten av vattenången blir vattendroppar. (14, s. 81-85)

Man brukar använda sig av två sätt för att definiera mängden fukt i luften.

1. Relativ luftfuktighet [% RH] (Relative humidity), som indikerar mängden vattenånga i luften i förhållandet till hur mycket vatten luften kan innehålla vid en viss temperatur.
2. Absolut fuktighet [g/kg eller kg/kg] (Absolute humidity), vilket indikerar mängden vattenånga per kg luft.

Dessutom mängden av vattenånga beskriver partialtrycket [Pa, mbar] i luften. Under normala inomhus- och utomhustemperaturer är den absoluta fuktigheten och vattenångas partialtryck i praktiken direkt proportionella mot varandra.

För att kunna beräkna luftens fuktighet och energiinnehåll använder man sig av absolut fuktighet och inte relativ fuktighet eftersom det är enklare att förstå när luften blir mättad och börjar kondensera, så att man vet när det finns ett behov för uppvärmning och torkning av luften. För att följa upp luftens beteende använder man sig av HX-diagram eller med andra ord Mollier-diagram. (14, s. 84)



Figur 4. HX diagram för beräkning av energi och fukthalten i inomhusluften.

Fukten påverkar inomhusklimatet på många sätt. För torr luft i bostäder kan orsaka torkning av invånarnas hud och slemhinnor samt den torra luften höjer också på materials statiska elektricitet och dammsläpp. Alltför fuktig luft är skadlig för att den ökar dammkvalster och svampars förökning och materialens emission. (14, s. 81-85)

### **3 PROJEKTBESKRIVNING**

Det här examensarbetet utfördes på ett timmerhus som ligger i Fölisö vid södra delen av Helsingfors. Timmerhuset har fungerat som ett friluftsmuseum på ön och har hållits öppet under sommaren (Se bilaga 3). Prästgården i byn byggdes 1797-98 av Simon Silvén som var känd kyrkobyggare. Ursprungligen bestod byggnaden av sex rum, ett kök och en tambur. På 1800-talet fortsatte man att bygga lägre yttre vingar i båda ändorna av huset. Endast mansardtakstolar från 1700-talet har importerats till Fölisö när den räddades från rivning på 1960-talet.(8)

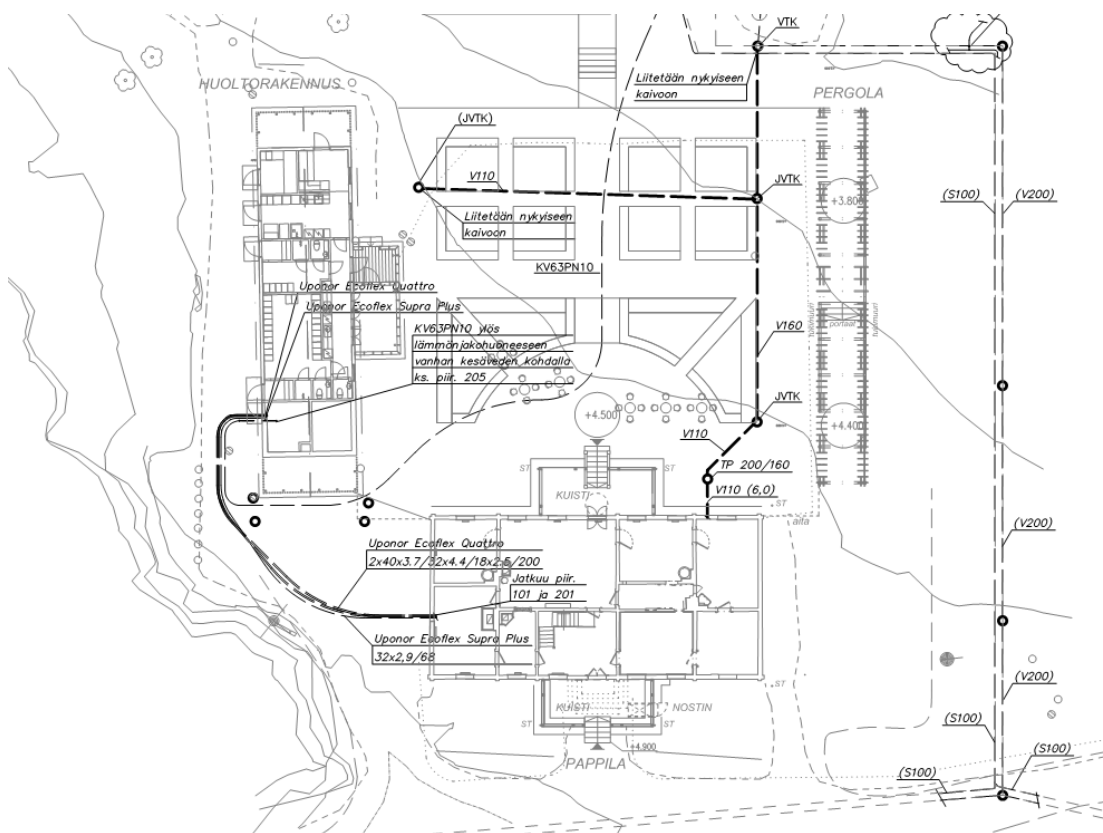
Timmerhuset var inte lämpligt för året om vistelse så behovet för ett nytt VVS-system var stort. Den gamla byggnaden var uppvärmd med enstaka radiatorer och med ett cirkulationsluftsaggregat. Tilluft fördes via golven till fönsterna för att skapa en värmeridå framför fönstret för att hålla det kalla draget borta. Timmerhusets frånluft har förts ut genom de många kakelugnarna som finns i byggnaden samt returnerat till cirkulationsaggregatet för återuppvärmning.

En enkel beräkning av värmeförlust med ritprogrammet CADS gjordes av timmerhuset för att kunna planera det nya värmebehovet till fastigheten (Se figur 5). De gamla ventilationskanalerna som gick i golvet till alla fönster revs och ersattes med radiatorer.(3)



### 3.1 Timmerhusets nya system

Hela VVS-systemet i timmerhuset byttes ut och planerades på nytt enligt arkitektens ändringar och för att kunna uppfylla kraven i byggbestämmelserna. Husets värme och varmvatten producerades med en gammal oljepanna som finns i en annan byggnad (se figur 6). Eftersom det gamla systemet revs och ett större och effektivare system skulle ersätta det gamla behövde man dra nya vatten- och värmerör från sidobyggnadens värmefördelningsrum till timmerhusets tekniska utrymme.(3)



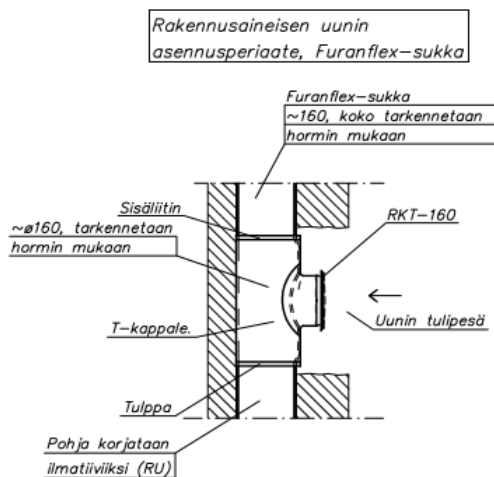
Figur 6. Projektets situationsplan vid planeringsskedet. Huset längst ner är det projekterade timmerhuset.

Kallt och varmt bruksvatten monterades med plastslangar i skyddsror som installerades i golvkonstruktionen och fördes till alla vattenpunkter. Radiatorerna samt invalidtoalettens golvvärme kopplades med samma metod för att undvika synliga rör.

Ventilationen av timmerhuset blev ett tufft problem att lösa. Enligt planen tänkte man utföra ventilationen med ett litet ventilationsaggregat som skulle innehålla värmeåtervinning. Men eftersom huset var skyddad fastighet och det var opraktiskt att dra ventilationskanaler genom huset beslöts det att man skulle kunna ventilera byggnaden med självdrag så som man hade gjort förut. Eftersom byggnaden inte var gjord för året om vistelse så måste man täta till väggar och byta ut gamla fönster till mera effektiva och mindre läckande. För att självdragsventilationen skulle fungera planerades nya tilluftsventiler i ytterväggarna så att den friska luften skulle komma kontrollerat in.(3)



Frånluften planerades att drivas igenom alla de gamla kaminerna som fanns i byggnaden. Eftersom byggnaden var gammal och kaminerna inte hade använts på flera år måste vi ta reda på deras kondition och vart kanalerna leder i byggnaden. En skorstenskartläggning gjordes av företaget "Tuloilma.com Helsinki Oy". De filmade kanalerna och gjorde röktest för att sedan kunna göra en rapport åt oss om konditionen på dem (Se bilaga 1 och 2). Kartläggningsentreprenören föreslog att man kunde använda sig av Furanflex-strumpinfodring. Furanflex-strumpinfodring är en ny metod för renovering av ventilationskanaler och fettrökanaler. Den har som fördel att den är lätt att montera på svåra objekt och ger en tät, sömlös röckanal. Furanflex anpassar sig till formen av skorstenen så att saknade tegelstenar eller förflyttningar inte stör dess installation. Furanflex kan monteras utan öppning av skorstenen och metoden har inga längdbegränsningar vid installation. Eftersom Furanflex-röret är en socka undviker man kopplingsdelar och sockan ger ett jämnt innerrör. Furanflex-röret består av tre olika lager av material. Yttersta skiktet är av nylonväv och det inre skiktet består av skumplast. Det mellersta skiktet består av Icopreg-K-plaststrumpa som skyddar under installationen. Furanflex-strumpan dras in i luftkanalen. Den expanderas till formen av kanalen genom atmosfärstryck och härdas till sin slutliga styrka genom ånga.(4)



Figur 8. Furanflex funktionsprincip i kakelugnarna.

Figuren ovan visar monteringsprincipen av Furanflex innanför en kakelugn. Eftersom kakelugnen inte är mera i bruk och det inte går att elda i den har man satt in en frånluftsväntil i eldstaden för att kunna använda ugnen som en frånluftskanal.(3)

#### 4 VENTILATIONSKRAV I FINLAND

Ventilationskraven i Finland kommer från Miljöministeriet. Ministeriet har skapat en byggbestämmelsesamling för inomhusklimat och ventilation som går vid namnet D2. I D2 förekommer anvisningar och rekommendationer som man skall tillämpa vid planering av ett hållbart inomhusklimat som uppfyller standarder och krav som sätts på nutidens fastigheter.

*”Byggnader ska generellt planeras och byggas så att det går att uppnå ett hälsosamt, tryggt och trivsamt inomhusklimat inom vistelsezonen under alla vanliga väderleks- och driftsförhållanden.”*

För att uppnå ett hälsosamt, tryggt och trivsamt inomhusklimat ska man ta i beaktande element som inverkar på inomhusklimatets kvalitet. Till första delen hör fastighetens inre belastningar som är värme- och fuktbelastning, emissioner från byggmaterial och inredning, personbelastning och mängden aktivitet i ut-

rymmet. Till den andra delen hör fastighetens yttre belastningar som väder- och ljudförhållanden, miljöfaktorer och den geometriska platsen som fastigheten befinner sig på. (2, s. 5)

#### 4.1 Temperaturförhållanden enligt bestämmelserna

Vid planering av fastigheter är temperaturen i vistelsezonen viktig för att åstadkomma en trivsam inomhusmiljö. Enligt byggbestämmelsesamlingen projekteras inomhustemperaturen med 21°C och vid sommarmånader 23°C. Temperaturen i vistelsezonen får inte i allmänhet överskrida 25°C förutom på sommaren då den får vara högst 150h/a över 25°C. En del utrymmen dimensioneras med ett eget värde för rumstemperatur för att uppfylla det rumsspecifika behovet som t.ex. badrum har ett högre värde för att kunna torka bort fukt som bildas efter dusch och tvättande.(2, s. 6)

Tabell 2. Lokalspecifika temperaturriktvärden under uppvärmningsperioden för utrymmen vars projekteringsvärde för rumstemperatur inte är 21 °C.(2, s. 6)

Utrymme	Rumstemperatur °C
Trapphus	17
Badrum, tvättrum	22
Torkrum	24
Butik	18
– fast arbetsplats i butik	21
Motionshall	18
Kyrksal	18
Fabrikshall, medeltungt arbete	17
Bilverkstad, besiktningsutrymme	17
Hisschakt	17

#### 4.2 Luftkvalitet enligt bestämmelserna

Enligt byggbestämmelserna skall inte inomhusluften få innehålla för höga mängder av gaser, partiklar och mikrober som kan vara skadliga för invånarens hälsa, ej heller får det uppstå illa lukter. Under vanliga väderleksförhållanden får koldioxidhalten uppnå högst 2160 mg/m<sup>3</sup> eller 1200 ppm. Vid planering av luftkvaliteten används värden från tabell 2 för att uppnå ett gott inomhusklimat i vistelsezonen. För inneluftens vatteninnehåll används 7 g H<sub>2</sub>O/kg torr luft. Det

motsvarar rumsluftens tillstånd där den relativa luftfuktigheten är 45 % då rumstemperaturen är 21 °C och lufttrycket är 101,3 kPa.(2, s. 7)

Tabell 3. Tabell 2. Värden för föroreningshalter i innetluft för projektering och realisering av inomhusklimat i byggnad.) (2, s. 7)

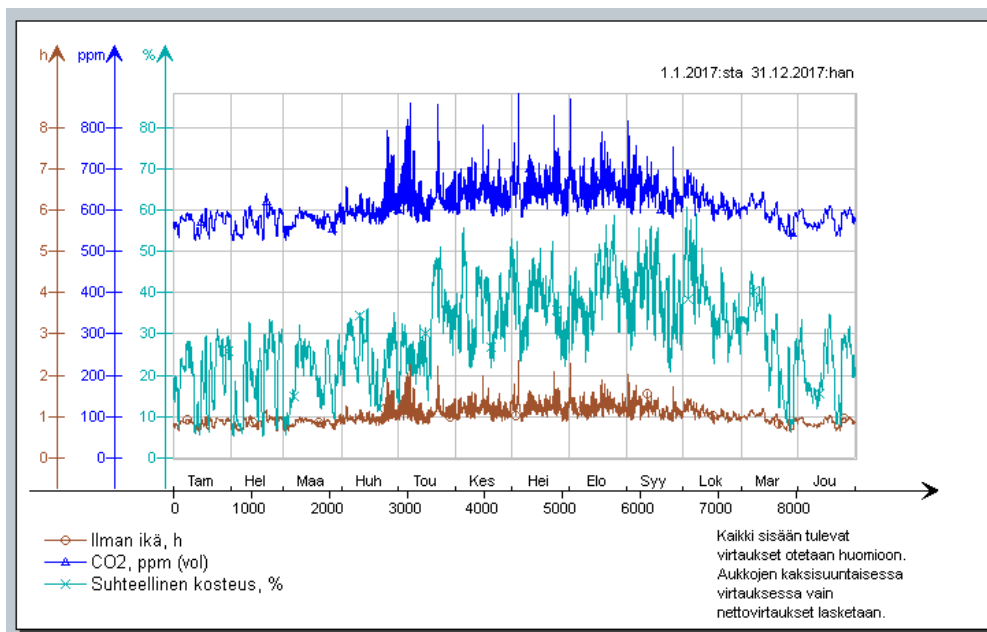
Förorening	Enhet	Riktvärde för projektering Högsta halt
Ammoniak och aminer	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbest	fibrer/ $\text{cm}^3$	0
Formaldehyd	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Kolmonoxid	$\text{mg}/\text{m}^3$	8
Partiklar $\text{PM}_{10}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	$\text{Bq}/\text{m}^3$	200 (årsmedelvärde)
Styren	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

## 5 SIMULERINGSPROSSEN

Eftersom självdragsventilationen påverkas mycket av utomhusklimatet har man gjort en simulering som uppskattar hela årets klimat och dess inverkan på fastigheten. Simuleringen för projektet gjordes med ett 3D-simuleringsprogram som heter IDA ICE. Konstruktionsdata för väggar, yttertak och husets grund var givna av entreprenören, samt arkitekturritningar för det nya utseendet av timmerhuset. Simuleringsprocessen påbörjades med att man byggde upp timmerhuset i 3D modell för att kunna göra en noggrann simulering av fastigheten. Konstruktionsdata fylldes in i programmet för att uppfylla en matematisk beräkning av byggnaden (Se bilaga 4). I bilaga 3 ser vi bild på huset som skall byggas upp i 3D och simuleras. I bilaga 6 kan vi se den 3D modell som gjordes för att kunna uppnå en så realistisk och noggrann men ändå matematiskt praktisk modell av huset. När 3D modellen byggs upp ritar man zoner för de olika utrymmen och man namnger dem enligt behov. De olika zonerna har olika börvärden men tillsammans bygger de upp hela husets totala värde. I de olika zonerna tillämpar man D2 kraven beroende på hurudant utrymme det är frågan om. Zonerna i det här projektet var namngivna och simulerade enligt rumstyper som arkitekten hade bestämt att skulle finnas i fastigheten.(3)

## 5.1 Simuleringsresultat

För att kunna analysera våra planeringar och simuleringar måste vi följa Finlands byggbestämmelser och vi måste veta vad det är som vi vill uppnå. För att vi skall kunna bestämma att husets ventilation är tillräcklig vill vi ha data från olika delar av huset. De data som jag har fokuserat mig på är fyra faktorer som gör att inomhusklimatet är tillräckligt bra. Dessa faktorer nämndes i kapitel 1 med de olika syften på arbetet och de är inomhustemperaturen i alla vistelsezoner, luftomväxling per timme i varje rum, CO<sub>2</sub> halten i inomhusluften och relativ fuktighet i utrymmena. När de ovannämnda värden är i balans och innanför byggbestämmelsernas kriterier kan vi påstå att vi har uppfyllt ett bra inomhusklimat och ett fungerande självdragsventilationssystem. Till exempel om man tittar på figur 10, figur 11 och figur 12 som är simulerade värden för mötesrummet och det största rummet i bostaden, kan vi se de fyra faktorerna nämnda i tabellerna och i grafen.



Figur 10. Mötesrum/arbetsrum inomhusluftsvärden.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]  
 Tallennettu: 17.2.2017 15:47:02

	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO <sub>2</sub> , ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	0.8396	571.9	19.83
Helmikuu	0.8411	572.3	18.78
Maaliskuu	0.8511	574.3	19.72
Huhtikuu	1.007	606.4	24.29
Toukokuu	1.164	638.3	29.68
Kesäkuu	1.196	645.0	36.0
Heinäkuu	1.262	658.5	36.72
Elokuu	1.25	656.0	40.59
Syyskuu	1.188	643.5	39.23
Lokakuu	1.074	620.2	38.14
Marraskuu	0.9374	592.0	27.62
Joulukuu	0.866	577.4	21.42
keskiarvo	1.041	613.2	29.4
keskiarvo*8760.0 h	9118.2	5371812.9	257502.7
min	0.8396	571.9	18.78
maks	1.262	658.5	40.59

Figur 11. Mötesrum/arbetsrum inomhusluftsvärden.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]  
 Tallennettu: 24.10.2017 17:13:34

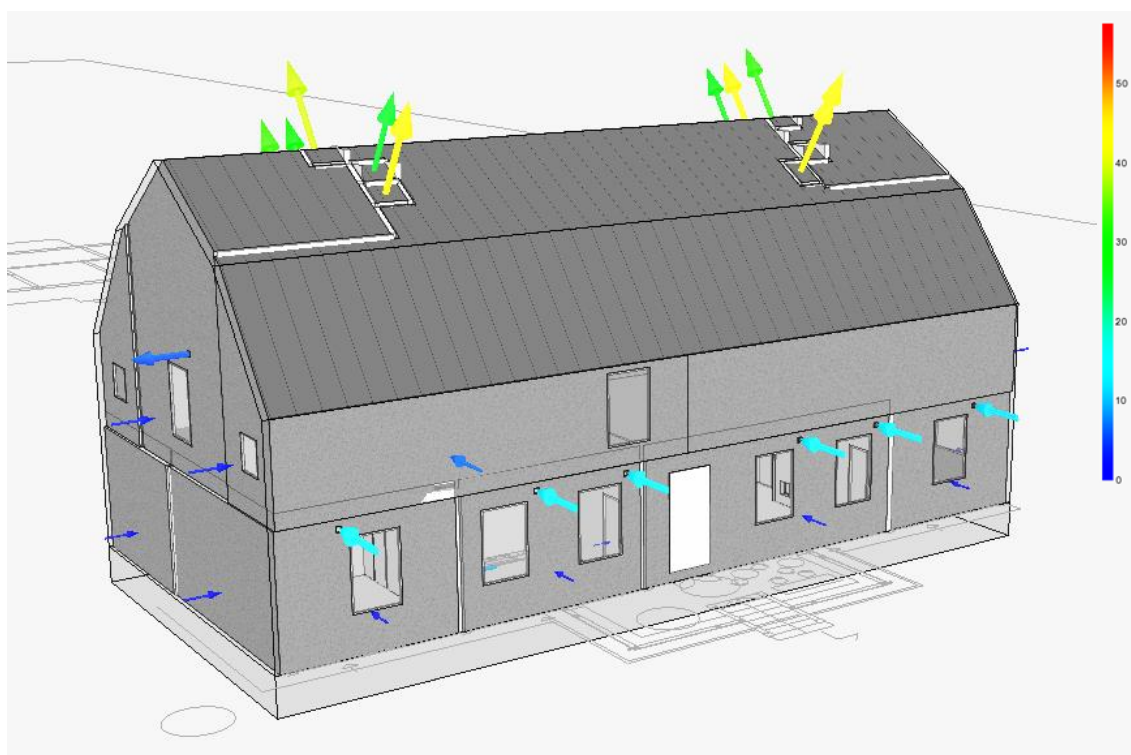
	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.0	21.67
Helmikuu	21.0	21.7
Maaliskuu	21.01	21.68
Huhtikuu	21.94	22.44
Toukokuu	24.57	24.98
Kesäkuu	27.18	27.56
Heinäkuu	29.91	30.26
Elokuu	28.13	28.47
Syyskuu	22.9	23.22
Lokakuu	21.16	21.5
Marraskuu	21.0	21.51
Joulukuu	21.0	21.6
keskiarvo	23.42	23.9
keskiarvo*8760.0 h	205163.3	209398.3
min	21.0	21.5
maks	29.91	30.26

Figur 12. Mötesrum/arbetsrum inomhusluftsvärden.

Första vertikala axeln i figur 10 och 11 visar luftväxlingskoefficienten som betyder hur mycket luft byts ut till ny friskluft per timme. Den andra stapeln ger oss ett ppm värde på CO<sub>2</sub> halten som beskriver partikelmängden i luften. I den

trede stapeln ser vi ett procentantal av den relativa fuktigheten i luften. Längst nere i figur 11 ser vi fyra rader där årets medeltal av de olika värden benämns och det maximala och minimala värdet. I figur 12 ser vi temperaturvärden för luften vid de olika årstiderna. Nedanför månaderna finns temperaturens medelvärde samt det maximala och minimala värdet för temperaturen under årets lopp.

Liknande simuleringsresultat hittas i bilagorna 9, 10, 11, 12, 13 och 14 där samma faktorer är representerade för butiksutrymme och toalett.



Figur 13. Självdragsventilationens luftströmmar in och ut ur fastigheten.

Självdragsventilationens funktion kan vi se i figur 13 där vi kan se luftströmmarna av självdragsventilation för byggnadens till- och frånluft. De olika färgerna på pilarna som är riktade in och ut från huset beskriver luftströmmens mängd. Från den blåa färgen mot den röda färgen är luftflödet mellan 0-50 l/s. Pilarna på taket som är riktade uppåt är den frånluft/avluff som leds via kaminerna och längs skorstenskanalerna ut genom taket. De turkosa pilarna ovanför fönstren är luftströmmen vid ventilationens tilluftsdon. De minsta pilarna i figur 13 visar luftläckage i ytterväggar och fönsterspringor. I bilaga 8 ser vi de luftströmmar som

rör sig innanför byggnaden. Där förflyttar sig luften mellan dörrspringor och mellanväggar.(3)

## 6 DISKUSSION

Överblicken över all data från simuleringarna och från själva planeringsskedet av hela byggnaden har härlett oss till att få någon form av resultat och bevis för att kunna göra en redogörelse för kunden att vi kan godkänna dessa planeringar och ventilationens funktion. Värden från de enskilda utrymmen som är presenterade i bilagorna visar att vi hålls delvis inom byggbestämmelsekraven. Om vi tittar tillbaka på figur 10 och 11 ser vi att luftväxlingskoefficienten i medeltal balanserar sig kring 1,0 1/h i mötesrummet. Det minsta värdet enligt D2 bestämmelser på punkt [3.2.2.1] betyder att det byts ut 0,5 1/h per rum, för att uppnå ett behagligt inomhusklimat.

I den andra stapeln får vi ett medeltal på ett ppm värde på CO<sub>2</sub> halten som enligt bestämmelserna i kapitel 4.2 inte får överskrida 1200 ppm. I vår simulering hålls värdet under 1200 ppm på alla årstider vilket betyder att luftkvaliteten är bra och att det inte uppstår hälsorisk för personer som vistas i byggnaden.

I den tredje stapeln ser vi ett procentantal av den relativa fuktigheten i luften och som i kapitel 4.2 nämns att den normala luftfuktigheten i 21 °C är kring 45 %. Kollar vi på tredje stapeln kan vi se att luften är ganska torr i medeltal året om. Med IDA ICE simuleringen har vi beräknat med en 40 % belastning från människor men det är svårt att uppskatta allt som kommer att utföras i utrymmet och mängden människor i medeltal som kommer att vistas där året om. Den låga nivån på luftfuktigheten är ändå ett mer positivt värde än att ha för fuktig luft inne. För fuktig luft som nämns i kapitel 2.5 är en större risk för hälsa och byggnadskonstruktioner. Eftersom för torr luft inte är trivsamt att vistas i kunde det vara bra att ha någon form av luftfuktare i rummen för att uppnå en mer passlig fukthalt.

Temperaturen som representeras i figur 12 är ett av de största problemen med självdragsventilation. Det vanliga inomhusklimatet varierar mellan 21-

24 °C i vanliga förhållanden som nämndes i kapitel 4.1 och får på sommaren stiga över 25 °C ett antal timmar. Som vi ser i figuren hålls värdet innanför rammarna mestadels av året men inte under sommarmånaderna när utetemperaturen stiger. Eftersom rummet representerat i figur 12 är på den södra sidan av byggnaden där solen skiner och värme tränger sig in genom fönster och konstruktion, har värdet i simuleringen stigit över 25 °C. Här uppstår det problemet som man alltid har kämpat med inom självdragsventilationen och som nämns i kapitel 2.4 där skillnaden i temperatur/densitet blir för liten och drivkraften av skorstenshöjden inte enbart räcker till för att transportera bort luften som befinner sig i utrymmet. I bilaga 11 och 14 ser vi liknande problem med temperaturen.

När man överväger resultaten av simuleringsprocessen skulle det kanske vara bra att med tanke på temperaturens höga värde under sommarmånaderna ha någon form av kylning i de utrymmen som man mest vistas i för att kunna uppnå ett trevligare inomhusklimat för långvarig vistelse. Med den torra luften under vintermånaderna skulle fuktning av inneluft vara en bra lösning för att kunna balansera relativa luftfuktigheten året om. Eftersom timmerhuset inte är avsett för boende utan för utställnings- och butiksverksamhet kommer belastningen av de fyra faktorerna att konstant ändra beroende på hur mycket människor som kommer och går ut och in. Mängden människor påverkar hur mycket dörrar och fönster är öppna och påverkar således fukt och CO<sub>2</sub> halten i fastigheten.(3)

Syftet med examensarbetet var att med hjälp av ett simuleringsprogram ta reda på om inomhusluftkraven i byggbestämmelserna kan uppfyllas med självdrag. Eftersom den här typen av svenskspråkiga rapporter av simuleringsmodeller inte gjorts så många i Finland tidigare var målet att föra samman den mest omfattande information om naturlig ventilation genom att hålla en planerares perspektiv och en praktisk och relevant synvinkel på examensarbetet.

Ventilation med självdrag är en mycket enkel metod och går att tillämpa på många ställen. Ändå är den mycket beroende på väderleksförhållanden på den ort där fastigheten befinner sig. Ifall man inte lyckas få ett bra inomhusklimat är

det mycket svårt att reglera och försöka förbättra det. Med maskinell ventilation har man alla möjligheter att värma, kyla, fukta eller torka inomhusluften. Man kan också återvinna mängder av energi som befinner sig i luften. Självdragsventilationens enda fördel är att den inte har någon driftkostnad och att den saknar rörliga delar som behöver service.

Det är uppenbart att den naturliga ventilationens guldålder har gått för årtionden. Nuförtiden används den inte längre då man bygger i stor skala. Emellertid har användningen av självdragsventilation ändå sin egen plats i renovering och i nybyggandet. Kraven på de nuvarande byggreglerna i nybyggnader begränsar främst självdragsventilation i småhus. I framtiden kan dock antalet småhus med självdragsventilation öka eftersom nollenergihus blir allt vanligare. (3)

## KÄLLOR

1. Boverket, byggnadsavdelning. 1995. Självdragsventilation handbok. <http://boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/1995/sjalvdragsventilation-handbok.pdf> Hämtad: 21.3.2017
2. D2 Finlands byggbestämmelsesamling Miljöministeriet, Avdelningen för den byggda miljön. Byggnaders inomhusklimat och ventilation, föreskrifter och anvisningar 2012. [http://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012\\_Svenska.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187/D2-2012_Svenska.pdf) Hämtad: 21.3.2017
3. Projekt ledarens Eetu Laaksonens kunskap av planeringen och utförandet av projektet.
4. Eskon Oy. Horminkorjausyritys. <http://eskon.fi/palvelut/hormienkunnostus/furanflex-sukitus/> Hämtad: 29.10.2017
5. Hazim, B. Awbi. 2003. Ventilation of Buildings, Second edition. Spon press London and New York. <https://www.scribd.com/doc/177280242/Ventilation-of-Buildings-Hazim-B-Awbi> Hämtad: 02.11.2017
6. Heinonen, Mikael. 2016. Painoviomaisen ilmanvaihdon suunnittelun perusteet. <https://www.theseus.fi/handle/10024/106825> Hämtad: 20.3.2017
7. Järvinen, Matti. 2012. Kerrostalon painovoimaisen poistoilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42516/Kerrosta.pdf;jsessionid=04696F2BB2E9ED64561791328A0928BA?sequence=1> Hämtad: 22.07.2017

8. Kansallismuseo <http://www.kansallismuseo.fi/fi/seurasaari/tietoa-museosta/iisalmen-pappila> Hämtad 30.11.2017
9. Ketola, Jari. 2014. Painovoimaisen ilmanvaihdon käyttö ja huolto. [http://www.neuvoo.fi/wordpress/wp-content/uploads/2014/03/Painovoimaisen ilmanvaihdon kaytto ja huolto Vanhana rakennuksen kunnostusopas Nro2 Ketola www.pdf](http://www.neuvoo.fi/wordpress/wp-content/uploads/2014/03/Painovoimaisen_ilmanvaihdon_kaytto_ja_huolto_Vanhana_rakennuksen_kunnostusopas_Nro2_Ketola_www.pdf) Hämtad: 01.06.2017
10. Laminärt och turbulent flöde (<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>) Hämtad: 12.11.2017
11. Möte. 19.12.2016. Fölisö, med Oy PQR Consult Ab projektledare Eetu Laaksonen och Heikki Pekkonen och det andra som deltog på mötet.
12. Rajapuro, Mathias. 2015. Korkean asuinkerrostalon LVI-suunnittelu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101499/Rajapuro Matias.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101499/Rajapuro_Matias.pdf?sequence=1) Hämtad: 15.10.2017
13. Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-julkaisut Oy
14. Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-julkaisut Oy
15. Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: SOLVER palvelut Oy
16. Tuloilma.com Helsinki Oy. Furanflex-sukitusmenetelmä. <http://www.tuloilma.com/sukitus/>

Hämtad: 29.10.2017

17. Työterveyslaitos. Tavoitetasoperustelumuistio Lämpöolot.

<https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/lampoolot-tavoitetasot.pdf>

Hämtad: 13.04.2017

# BILAGOR



Tuloilma.com  
Säynäskuja 4  
00560 Helsinki  
www.tuloilma.com

## HORMIKARTOITUSRAPORTTI



KOHDE: Iisalmen pappila, Seurasaari  
TILAAJA: Oy PQR Consult AB / Eetu Laaksonen  
URAKOITSIJA: Tuloilma.com Helsinki Oy

### ILMANVAIHTOKANAVIEN KARTOITUSTYÖ IISALMEN PAPPILAAN SEURASAAREEN

Iisalmen pappilan olemassa olevien hormien kartoitus savukokein sekä niiden videokuvaukset.

Kohteessa on katolla kaksi piippua, joissa molemmissa on kaksi hormia, savutettavia kohteita olivat kuusi tulisijaa sekä wc. Kohteessa on koneellinen kiertoilmajärjestelmä, johon alakerran tulisijat on lattian kautta liitetty ja niiden lisäksi huoneessa 103 on järjestelmään liitetty lv-160 venttiili seinässä. Savukokeiden ajaksi kiertoilmakone kytkettiin pois päältä.

Savutetuista kohteista kolmesta tulisijasta ei saatu savuja katolle. Yläkerran tulisijoja ei ollut liitetty hormiin ja ainakin toisen tulisijan tulipesän yläosa oli tiilillä muurattu umpeen (toista ei tarkistettu, koska edessä oli paljon tavaraa), joten niitä ei savutettu.

Videokuvauksissa havaittiin, että yksi hormi jakaantuu kahteen osaan ja kahta hormia ei pystytty kameralla kuvaamaan pohjaan saakka, koska hormit kapenevat niin paljon.

Pohjakuviin on merkitty piiput ja hormit sekä niiden palvelemat kohteet.

**Savutetut tilat ja niiden piiput ja hormit:**

TILA	P_H_	HORMI KOOT
huone 110, tuleva wc	P1H1	18cm x 16cm
huone 102, tulisija	P1H2	22cm x 17cm
huone 151, nykyinen wc	P2H1	18cm x 16cm
huone 103, tulisija	P2H2	17cm x 16cm

**Tulisijat, joista ei saatu savuja katolle:**

- huone 101
- huone 109
- huone 104

Kuvatuissa hormoneissa on paljon siirtymää ja hormien seinämissä on todella paljon laastipurseita ja halkeamia, ilmavaihtokäyttöä varten hormit olisi hyvä sukittaa (esim. Furanflex menetelmällä), jotta niistä saataisiin tiiviit ja sileä seinämäiset. Piippujen päälle kannattaa asentaa sadehatut

**Kuvausmuistiot hormikuvauksista:**

**P1**

H1

5m siirtymä ja isoja laastipurseita

9m hylly

10,5m tulipesä

11m pohja

H2

5m siirtymä

7m siirtymä, ei pääse kameralla eteenpäin

**P2**

H1

4,5m hormi jakaantuu kahtia

1. haara

7,5m haitariputki vaaka

10m pohja

2. haara

hormi liian kapea, ei pääse kameralla kuvaamaan

H2

4,5m siirtymä ja isoja laastipurseita









5m hormi kapenee, ei pääse kameralla eteenpäin



Bilaga 3. Bild på timmerhuset som skall renoveras.

**Rakennuksen oletusarvot**

**Rakenteet**

 <a href="#">Ulkoseinät</a>	Isalmen_Ulkoseinä	▼	▶
 <a href="#">Sisäseinät</a>	Isalmen_Väliseinä	▼	▶
 <a href="#">Välipohjat</a>	Isalmen_Välipohja	▼	▶
 <a href="#">Ulkokatto</a>	Isalmen_yläpohja	▼	▶
 <a href="#">Alapohja</a>	Isalmen_Alapohja	▼	▶
 <a href="#">Lasitus</a>	© Pilkington Optifloat Clear (4-15-4)	▼	▶
 <a href="#">Ovien rakenne</a>	[käytä seinärakennetta]	▼	▶
 <a href="#">Lasitukseen integroitu suojaus</a>	© Ei integroitua suojausta	▼	▶

Bilaga 4. Byggnadens börvärden del 1/2.

Isälmen\_pappila\_IV\_simulointi: T:\Uppdrag\Museokeskus\_Seurasaari\215017\_01\_Isälmen\_pappila\Kiinteistö\Mittotus\Ilmanvaihto\Simulointi\IDA\Isälmen\_pappila\_IV\_simulointi.idm

Yhteenveto | Yhteenveto | Yhteenveto | Yhteenveto | Yhteenveto

Projektin tiedot

Rakennuskohteeseen tiedot

Paikinta: Helsinki (Ref 2012)

Sää: HIG-Vantaa\_Ref\_2012

Taluprofiili: (Normaali kaupunkiympäristö)

Vapausajat: (kausia ei ole asetettu)

LVJ-järjestelmät

Primärijärjestelmä

Energiamäärät

Valaistus, kiinteistö

Valaistus, asukas

Laite, kiinteistö

Laite, asukas

Sähkö, jäähyötys

Polttoaine, jäähyötys

Kaivosläihdytys

LVJ-sähkö

Sähkölämmitys

Polttoaine lämmitys

Kaivoslämmitys

Lämmön käyttövesi

Yhteenveto

Nimi	Ryhmä	Lattiasu- tus, m	Huoneko- keus, m	Latti-ala, m <sup>2</sup>	Lämmitys- säht,	Jäähdytys- säht,	Vikone	Järjestelmä	Tuloilma, L/s(vpp)	Poistoilma, L/s(vpp)	Ilm. ilmamäärä, m <sup>3</sup> /s	Valaistus, W/m <sup>2</sup>	Valaistus, W/m <sup>2</sup>	Laiteet, W/m <sup>2</sup>	Laiteet, W/m <sup>2</sup>	Lisäenergia- olien säh, m <sup>2</sup>	Lisäenergia- sähkälä,	Valaistus sähkälä,	Laiteiden käyttövesi sähkälä
101 Työtila	0.0	3.3	19.73	21	25	El ilma	-	0.1015	10.15	88.93	7.814	86.7	4.6642	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
109 Työtila	0.0	3.3	26.77	21	25	El ilma	-	0.09802	9.802	86.58	7.306	84.78	4.6642	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
102 Työtilakok.	0.0	3.3	49.14	21	25	El ilma	-	0.101	10.1	88.51	7.578	86.38	4.6642	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110 VVC	0.0	3.3	5.863	21	25	El ilma	-	0.09079	9.079	79.53	6.809	59.65	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
108 Käytävä	0.0	3.3	5.323	21	25	El ilma	-	0.09549	9.549	83.65	7.182	82.74	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
107 ET	0.0	3.3	24.28	21	25	El ilma	-	0.09666	9.666	84.68	7.25	83.51	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
103 Työtila	0.0	3.3	21.51	21	25	El ilma	-	0.1022	10.22	89.51	7.864	87.14	4.6642	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
111 Tekn	0.0	3.3	6.808	21	25	El ilma	-	0.09868	9.868	86.44	7.401	84.83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
106 Myymälä	0.0	3.3	22.36	21	25	El ilma	-	0.1017	10.17	89.09	7.627	86.82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
105 Myymälä	0.0	3.3	19.73	21	25	El ilma	-	0.09888	9.888	86.45	7.401	84.83	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
104 Työtilak.	0.0	3.3	27.07	21	25	El ilma	-	0.1024	10.24	89.74	7.883	87.3	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
201 Varasto	3.3	3.4	21.41	18	25	El ilma	-	0.109	10.9	95.46	8.173	71.59	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
202 Varasto	3.3	3.4	22.67	18	25	El ilma	-	0.1059	10.59	92.78	7.843	69.58	2.3321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
203 UlakkoVar.	3.3	3.4	187.9	-20	25	El ilma	-	0.09868	9.868	87.32	7.476	85.49	7.865	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_21	3.3	5	0.624	18	25	El ilma	-	0.1	10.0	87.6	7.5	85.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_18	0.0	0	0.6997	21	25	El ilma	-	0.07927	7.927	88.56	5.97	51.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_15	0.0	0	0.8878	21	25	El ilma	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_13	0.0	0	0.3615	21	25	El ilma	-	0.05483	5.483	48.03	4.112	36.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_12	0.0	0	0.4658	21	25	El ilma	-	0.06181	6.181	53.97	4.621	40.48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_11	0.0	0	0.5191	21	25	El ilma	-	0.04254	4.254	37.26	3.19	27.95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huoni_14	0.0	0	0.7568	21	25	El ilma	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tav_poisto	0.0	0	0.5383	21	25	El ilma	-	0.05829	5.829	49.31	4.222	36.98	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mhv_poisto	0.0	0	0.319	21	25	El ilma	-	0.08818	8.818	59.73	5.114	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

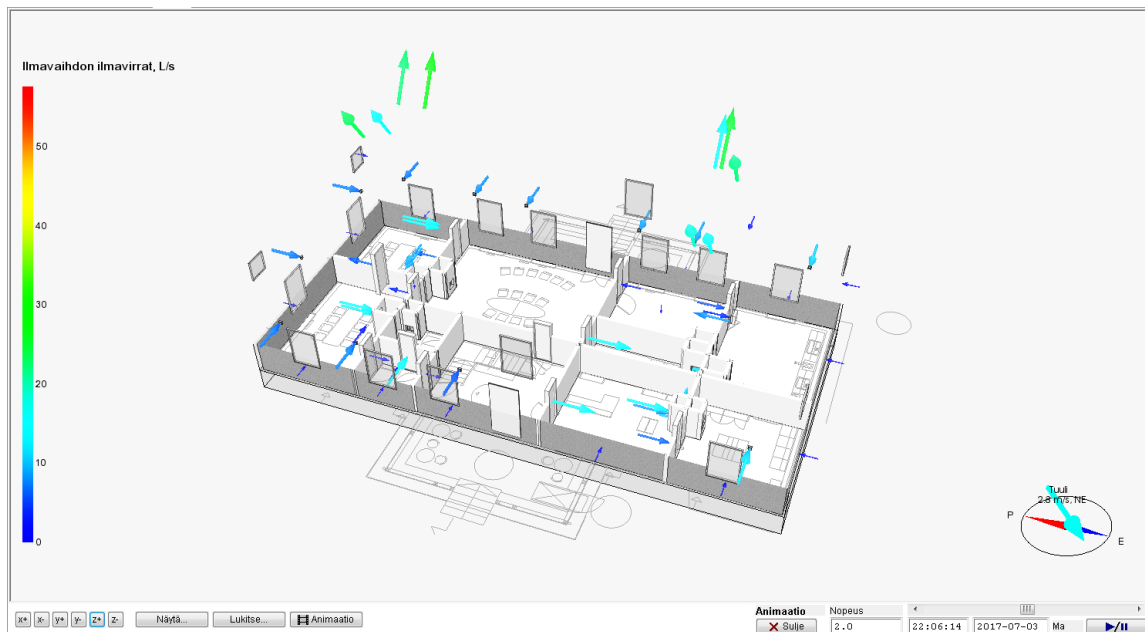
Bilaga 5. Byggnadens börvärden del 2/2.



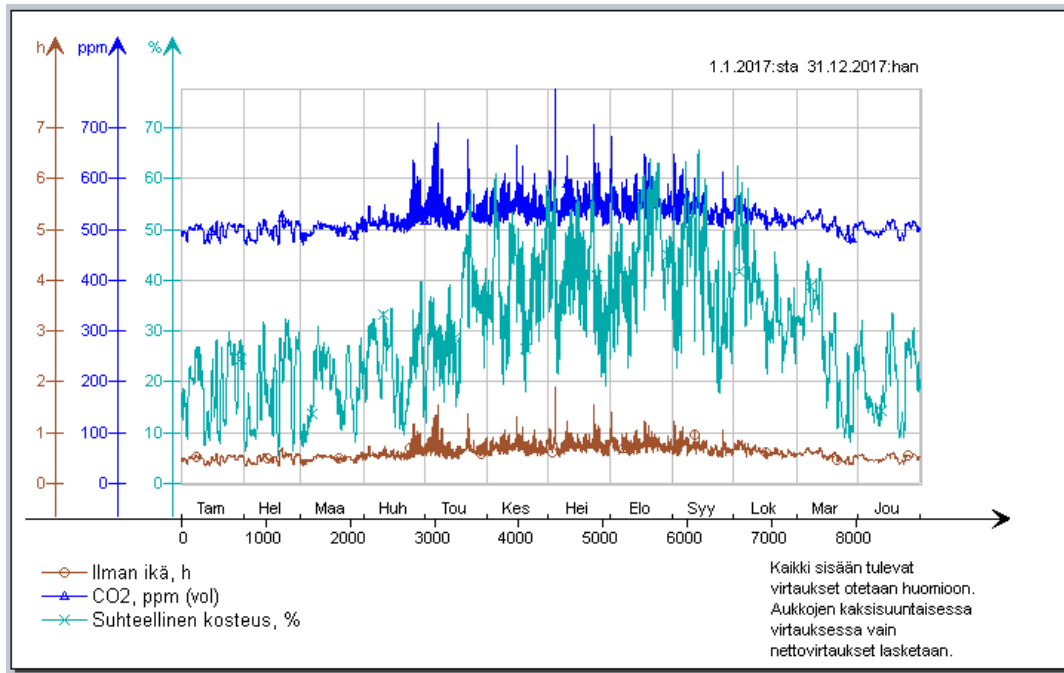
Bilaga 6. Timmerhusets 3D modell med simuleringsprogrammet IDA ICE.



Bilaga 7. Timmerhusets simuleringszoner.



Bilaga 8. Luftströmmar innanför byggnadens olika utrymmen.



Bilaga 9. Butikens inomhusluftsvärden del 1/3.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]

Tallennettu: 17.2.2017 15:47:02

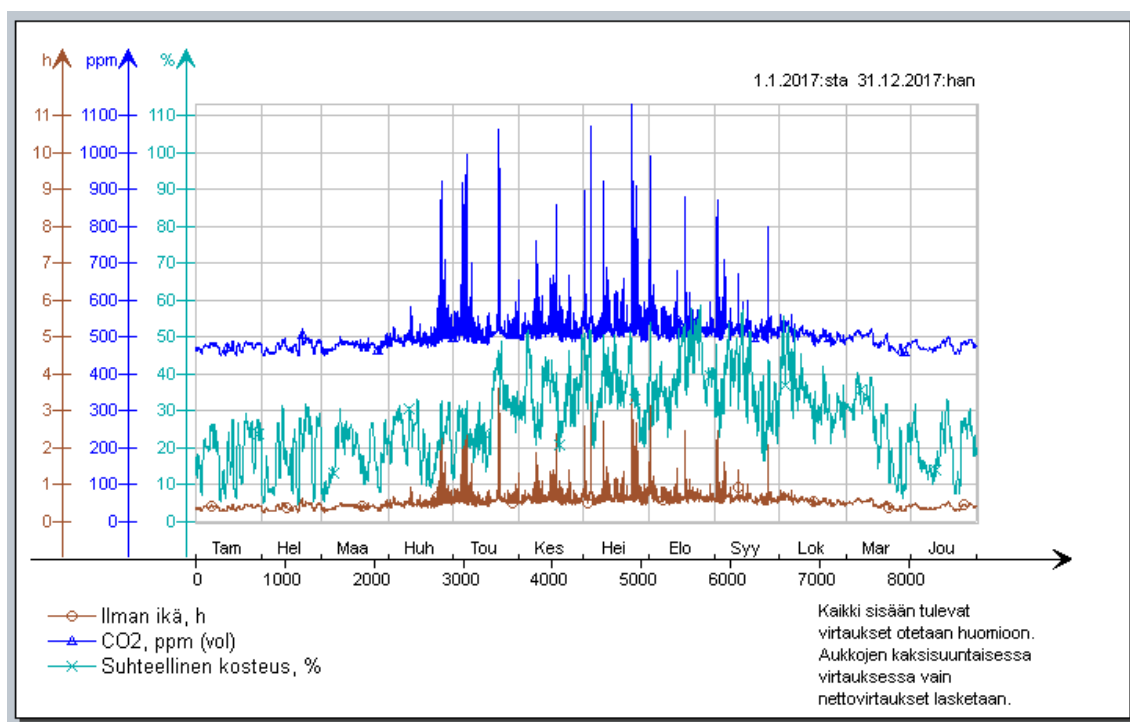
	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO2, ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	0.4879	498.0	19.11
Helmikuu	0.4888	498.1	18.28
Maaliskuu	0.4962	499.6	18.62
Huhtikuu	0.5966	519.8	23.77
Toukokuu	0.7027	541.0	31.43
Kesäkuu	0.7309	546.7	39.71
Heinäkuu	0.782	556.9	40.52
Elokuu	0.7611	552.8	45.3
Syyskuu	0.7072	542.0	41.11
Lokakuu	0.6331	527.1	37.17
Marraskuu	0.5481	510.0	26.57
Joulukuu	0.5041	501.2	20.3
keskiarvo	0.6207	524.6	30.23
keskiarvo*8760.0 h	5437.3	4595445.5	264797.7
min	0.4879	498.0	18.28
maks	0.782	556.9	45.3

Bilaga 10. Butikens inomhusluftsvärden del 2/3.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]  
Tallennettu: 24.10.2017 17:13:34

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	20.02	20.84
Helmikuu	19.5	20.37
Maaliskuu	20.72	21.56
Huhtikuu	21.37	21.97
Toukokuu	22.5	22.97
Kesäkuu	24.51	24.94
Heinäkuu	27.02	27.43
Elokuu	25.29	25.66
Syyskuu	21.63	22.02
Lokakuu	21.02	21.42
Marraskuu	20.53	21.14
Joulukuu	20.74	21.48
keskiarvo	22.09	22.67
keskiarvo*8760.0 h	193531.8	198600.7
min	19.5	20.37
maks	27.02	27.43

Bilaga 11. Butikens inomhusluftsvärden del 3/3.



Bilaga 12. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 1/3.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]  
Tallennettu: 17.2.2017 15:47:02

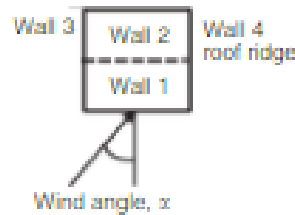
	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO2, ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	0.3888	473.5	18.5
Helmikuu	0.3971	475.1	17.62
Maaliskuu	0.4044	476.5	18.12
Huhtikuu	0.5516	504.9	22.1
Toukokuu	0.6856	530.6	27.52
Kesäkuu	0.6826	530.2	34.24
Heinäkuu	0.7889	550.4	35.88
Elokuu	0.7018	533.7	40.05
Syyskuu	0.66	525.8	36.27
Lokakuu	0.5659	507.5	34.49
Marraskuu	0.468	488.7	25.21
Joulukuu	0.4073	477.0	19.81
keskiarvo	0.5595	506.3	27.55
keskiarvo*8760.0 h	4901.1	4435586.1	241301.2
min	0.3888	473.5	17.62
maks	0.7889	550.4	40.05

Bilaga 13. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 2/3.

Simuloitu: 24.10.2017 14:38:37 [350]  
Tallennettu: 17.2.2017 15:47:02

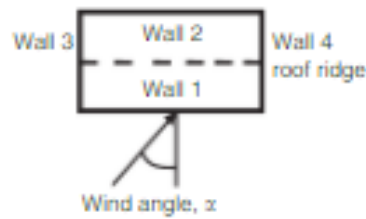
	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	20.35	20.86
Helmikuu	19.96	20.47
Maaliskuu	20.89	21.27
Huhtikuu	22.39	22.48
Toukokuu	24.72	24.8
Kesäkuu	27.01	27.1
Heinäkuu	29.23	29.31
Elokuu	27.36	27.48
Syyskuu	23.56	23.64
Lokakuu	22.01	22.09
Marraskuu	21.11	21.41
Joulukuu	20.86	21.28
keskiarvo	23.31	23.54
keskiarvo*8760.0 h	204209.8	206216.7
min	19.96	20.47
maks	29.23	29.31

Bilaga 14. WC utrymmets inomhusluftsvärde del 3/3.



Surface	Wind pressure coefficient, $C_p$ , for wind angle, $\alpha^\circ$							
	0	45	90	135	180	225	270	315
<i>(a) Building exposed (open flat country)</i>								
Wall 1	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	-0.35
Wall 2	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	0.7	0.35	-0.5	-0.4
Wall 3	-0.5	0.35	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4
Wall 4	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	0.7	0.35
Roof pitch $<10^\circ$ :								
Front	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
Rear	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
Rear	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5
Roof pitch $>30^\circ$ :								
Front	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4
Rear	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.6	-0.4
<i>(b) Building semi-sheltered (open country with scattered wind breaks lower than height of building)</i>								
Wall 1	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	-0.1
Wall 2	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	0.4	0.1	-0.3	-0.35
Wall 3	-0.3	0.1	0.4	0.1	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35
Wall 4	-0.3	-0.35	-0.2	-0.35	-0.3	0.1	0.4	0.1
Roof pitch $<10^\circ$ :								
Front	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5
Rear	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45
Rear	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45	-0.35	-0.45	-0.55	-0.45
Roof pitch $>30^\circ$ :								
Front	0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5
Rear	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5
<i>(c) Building in urban location (surrounded by buildings of equal heights)</i>								
Wall 1	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	-0.05
Wall 2	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	0.2	0.05	-0.25	-0.3
Wall 3	-0.25	0.05	0.2	0.05	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3
Wall 4	-0.25	-0.3	-0.25	-0.3	-0.25	0.05	0.2	0.05
Roof pitch $<10^\circ$ :								
Front	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5
Rear	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4
Rear	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4
Roof pitch $>30^\circ$ :								
Front	0.25	-0.3	-0.5	-0.3	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3
Rear	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3	0.25	-0.3	-0.5	-0.3

Bilaga 15. Medelvärdena för  $C_p$  för en kvadrat.



Surface	Wind pressure coefficient, $C_p$ , for wind angle, $\alpha^\circ$							
	0	45	90	135	180	225	270	315
<i>(a) Building exposed (open flat country)</i>								
Wall 1	0.5	0.25	-0.5	-0.8	-0.7	-0.8	-0.5	-0.25
Wall 2	-0.7	-0.8	-0.5	0.25	0.5	0.25	-0.5	-0.8
Wall 3	-0.9	0.2	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6
Wall 4	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	0.6	0.2
Roof pitch $< 10^\circ$ :								
Front	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
Rear	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
Rear	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
Roof pitch $> 30^\circ$ :								
Front	0.25	0	-0.6	-0.9	-0.8	-0.9	-0.6	0
Rear	-0.8	-0.9	-0.6	0	0.25	0	-0.6	-0.9
<i>(b) Building semi-sheltered (open country with scattered wind breaks lower than height of building)</i>								
Wall 1	0.25	0.06	-0.35	-0.6	-0.5	-0.6	-0.35	0.06
Wall 2	-0.5	-0.6	-0.35	0.06	0.25	0.06	-0.35	-0.6
Wall 3	-0.6	0.2	0.4	0.2	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5
Wall 4	-0.6	-0.5	-0.3	-0.5	-0.6	0.2	0.4	0.2
Roof pitch $< 10^\circ$ :								
Front	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Rear	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.6	-0.6	-0.55	-0.55	-0.45	-0.55	-0.55	-0.6
Rear	-0.45	-0.55	-0.55	-0.6	-0.6	-0.6	-0.55	-0.55
Roof pitch $> 30^\circ$ :								
Front	0.15	-0.08	-0.4	-0.75	-0.6	-0.75	-0.4	-0.08
Rear	-0.6	-0.75	-0.4	-0.08	-0.15	-0.08	-0.4	-0.75
<i>(c) Building in urban location (surrounded by buildings of equal heights)</i>								
Wall 1	0.06	0.12	-0.2	-0.38	-0.3	-0.38	-0.2	-0.12
Wall 2	-0.3	-0.38	-0.2	0.12	0.06	0.12	-0.2	-0.38
Wall 3	-0.3	0.15	0.18	0.15	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32
Wall 4	-0.3	-0.32	-0.2	-0.32	-0.3	0.15	0.18	0.15
Roof pitch $< 10^\circ$ :								
Front	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Rear	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Roof pitch $11 \sim 30^\circ$ :								
Front	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46	-0.4	-0.46	-0.41	-0.46
Rear	-0.4	-0.46	-0.41	-0.46	-0.49	-0.46	-0.41	-0.46
Roof pitch $> 30^\circ$ :								
Front	0.06	-0.15	-0.23	-0.6	-0.42	-0.6	-0.23	-0.15
Rear	-0.42	-0.6	-0.23	-0.15	0.06	-0.15	-0.23	-0.6

Bilaga 16. Medelvärdena för  $C_p$  för ett rektangulärt plan.