



Behovsstyrd ventilation och värmeåtervinning i bostadshus



Behovstyrd ventilation och värmeåtervinning i bostadshus

Caroline Markusson, RISE

Huijuan Chen, RISE

Svein Ruud, RISE

Olof Larsson, RISE



Energimyndighetens projektnummer: 38861–1

E2B2



Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknikkonsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Behovsstyrd ventilation i bostäder är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av RISE och har genomförts i samverkan med Systemair AB, Svensk ventilation AB, NCC Construction Sverige AB, Derome AB, Eksta Bostad AB, Senseair AB och Mistral Energi AB.

Det är inte klart hur luftkvalitet ska mätas i bostäder så att ventilationen regleras mot det verkliga behovet utan att inomhusmiljön riskerar att försämrats. Det här projektet har tagit fram en effektiv metod att styra ventilation i bostäder efter behovet så att energianvändningen minskar utan att inomhusmiljön försämrats och de boendes hälsa eller komfort äventyras. Projektet har identifierat regler tekniska parametrar och funktioner som säkerställer ett sunt inomhusklimat och samtidigt sänker ventilationsbehovet, vilket sänker byggnadens uppvärmningsbehov.

Stockholm, 8 februari 2018

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitetet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Det finns en energibesparingspotential i att använda behovsstyrd ventilation i bostäder. Den totala värmeförlusten i ett hus beror till stor del på ventilationen. Med behovsstyrning kan värmebehovet reduceras med 15–25 % beroende på systemets komplexitet. Behovsstyrning av ventilation betyder att man reglerar ventilationsflödet efter behovet. I en bostad kan olika aktiviteter pågå, t.ex. matlagning, tvätt, städning, dusch, tv-tittande, sömn, lek, m.m. Ibland är ingen hemma och ibland är många hemma. Behovet av ventilation påverkas av hur många som är hemma och vilka aktiviteter som pågår. Behovsstyrd ventilation betyder att man på något sätt mäter, i realtid, detta behov och anpassar ventilationsflödet efter det uppmätta behovet. På detta sätt kan energi sparas, både värmeenergi och elenergi till fläktar.

I projektet har det undersökts hur ventilationen i bostäder bör styras för att få en bra inomhusmiljö men också för att undvika skador på själva byggnaden p.g.a. fukt. Ett behovsstyrt ventilationssystem kan byggas upp på olika sätt med olika komplexitetsgrad. Beroende på val av denna uppbyggnad fås en större eller mindre energibesparing. Uppbygganden påverkar också risken för skador, komplexiteten/behovet av drift och underhåll, investeringens storlek och robusthet.

Eco-designförordningen för ventilationsenheter och energimärkning av bostadsventilationsenheter som trädde i kraft 2016 premierar tydligt ventilationsenheter som kan behovsstyras. I Sverige tillämpas dock nästan uteslutande konstanta flöden för ventilation i bostäder. Det saknas alltså kunskap och erfarenheter kring behovsstyrning av ventilation i bostäder.

I projektet har behovsstydda ventilationssystem installerats i två demonstrationer, en med ett komplext system och en med ett enklare system. Modellering och beräkningar har utförts och en metodik har utvecklats för att använda SEC-värden (säsong-energi-användning) från ekodesignförordningen till LCC-beräkningar. Demonstrationerna har visat att förutom att det är möjligt att spara energi så finns det praktiska problem och svårigheter som måste beaktas.

För att uppnå en tillräckligt god inomhusmiljö måste rätt styrparametrar väljas. Det räcker inte enbart med att välja CO₂ (koldioxid), temperatur eller fukt, utan en kombination av alla tre är att föredra. Vid ett scenario där systemet körs som ett CAV-system (konstant flödes system) under sommarhalvåret och CO₂ och fukt används som reglerparametrar vinterhalvåret kan också fungera. Detta p.g.a. att övertemperaturer under sommaren kommer göra att ventilation går på max-flöde största delen av tiden ändå. Detta beror dock till en del på i vilket klimat bostaden ligger.

Rent tekniskt måste behovsstyrda ventilationssystem för bostäder utvecklas så att de kan möjliggöra mätning och styrning av luftflödet över ett större flödesområde, med bättre mätosäkerhet och utan att skapa stora tryckfall eller störande ljud. En ytterligare utmaning är att samtidigt göra dem tillräckligt kostnadseffektiva, robusta och långlivade.

Nyckelord: behovsstyrd ventilation, värmeåtervinning, bostäder, inomhusmiljö, energi, ecodesignförordningen, LCC



Summary

There is an energy saving potential in using demand control ventilation (DCV) in residential buildings. The total heat loss in a building depends to a great extent on heat losses due to ventilation. The energy saving potential in using demand control ventilation is 15-25 % of the space heating depending on complexity of the DCV-system.

Using demand control ventilation means the need/demand of ventilation is measured, in real time, and the ventilation rate is adjusted to meet the measured demand. In a residential building many activities goes on e.g. cooking, laundry, cleaning, showering, resting or playing etc. and the presence of people varies over time. The need for ventilation depends on the number of people present as well as the activities that are ongoing.

In this project, DCV-system design and control strategies for residential buildings, to achieve good indoor environment and to avoid damages due to moisture load on the building itself are investigated. A demand controlled ventilation system can be designed with different complexity and the choice of system design and control strategy will affect the size of the energy saving. The more complex system the bigger the saving. However a more complex design and strategy also increases the risk for damages, complexity and demand of operation and maintenance as well as the size of the investment and the system robustness.

The Ecodesign regulation for ventilation units and energy labeling of residential ventilation units rewards ventilation units that have the possibility of using demand control. In Sweden, however, almost exclusively constant air volume (CAV) systems are used for ventilation in residential buildings. Therefore, there is a lack of knowledge and experience about demand control ventilation in residential buildings.

In the project two DCV-systems has been installed in two residential buildings, one with a more complex system and one with a simpler system. Modelling has been performed and a method for using SEC-value (seasonal energy consumption-value from Ecodesign regulation for ventilation units) in LCC-calculations has been developed. Except energy savings, the installations have shown practical problems and difficulties that need to be considered when using demand control ventilation.

To achieve a good indoor environment the correct control parameters have to be chosen. It is not enough to use Carbondioxide (CO_2), temperature *or* relative humidity (RH)/moisture difference indoor-outdoor (Δx), a combination of all three is preferred. A scenario when the ventilation system is operated as a CAV-system during the summer months and CO_2 and RH/ Δx are used as control parameters for DCV-operation during the winter months can also work. This since during the summer months, over temperatures in the building will be experienced main part of the time, which will force the ventilation to operate on maximum flow rate anyway.

One challenge for the technical development of DCV-systems intended for residential buildings is how to measure and control the system over larger ventilation flow rate ranges, without causing large pressure drops or noise and with better measurement uncertainties. Another challenge is to make DCV-systems cost effective, robust and with long life time.



Key words: demand control ventilation, DCV, residential buildings, indoor environment, energy saving, Ecodesign regulation for ventilation units, LCC



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	9
2	GENOMFÖRANDE	11
2.1	LITTERATURSTUDIE, KUNSKAPSSAMMANSTÄLLNING	11
2.2	LASTPROFILER OCH FÄLTMÄTNINGAR	11
2.3	MODELLERING	11
2.3.1	STYRSTRATEGIER, SYSTEMUPPBYGGNAD OCH SENSORPLACERING	12
2.4	DEMONSTRATIONER	13
2.4.1	RADHUSET	13
2.4.2	FORSKNINGSVILLAN	14
2.5	BERÄKNING AV LCC	14
2.5.1	LCC FÖR FTX JÄMFÖRT MED FRÅNLUFTSVENTILATION	14
2.5.2	BERÄKNING AV LCC VID BEHOVSTYRNING	14
3	RESULTAT	16
3.1	LITTERATURSTUDIE OCH KUNSKAPSSAMMANSTÄLLNING	16
3.2	LASTPROFILER OCH FÄLTMÄTNINGAR	16
3.3	MODELLERING	16
3.3.1	ENERGIBESPARING	16
3.3.2	STYRPARAMETRAR	18
3.4	DEMONSTRATIONER	18
3.4.1	RADHUSET	18
3.4.2	FORSKNINGSVILLAN	18
3.5	BERÄKNING AV LCC	23
3.5.1	LCC FÖR FTX JÄMFÖRT MED FRÅNLUFTSVENTILATION	23
3.5.2	BERÄKNING AV LCC VID BEHOVSTYRNING	23
4	DISKUSSION	24
5	PUBLIKATIONSLISTA	26
6	REFERENSER	27
	BILAGOR	28



GENERAL DESCRIPTION OF LIFE CYCLE COST CALCULATIONS	28
UTILIZING THE SEC-VALUE CALCULATIONS AS AN INPUT FOR LCC CALCULATIONS	29



1 Inledning och bakgrund

Det finns en energibesparingspotential i att använda behovsstyrd ventilation i bostäder då den totala värmeförlusten i ett hus beror till stor andel på ventilationen. Behovsstyrd ventilation betyder att man på något sätt mäter, i realtid, behovet av ventilation och anpassar ventilationsflödet efter det uppmätta behovet. På detta sätt kan energi sparas. Ytterligare en fördel med behovsstyrd ventilation är möjligheten att öka ventilationsflödet över det dimensionerande flödet vid behov vilket leder till en förbättrad inomhusmiljö. Behovet av ventilation påverkas av hur många som är hemma och vilka aktiviteter som pågår i hemmet.

Eco-designförordningen för ventilationsenheter och energimärkning av bostadsventilationsenheter som trädde i kraft 2016 premierar tydligt ventilationsenheter som kan behovsstyras. I Sverige tillämpas dock nästan uteslutande konstanta flöden för ventilation i bostäder. Det saknas därför kunskap och erfarenheter kring behovsstyrning av ventilation i bostäder. Boverkets byggregler (BBR) anger att ventilationen ska vara 0,35 l/s/m² i en bostad när någon är närvarande. I BBR begränsar man alltså möjligheten att använda behovsstyrd ventilation fullt ut, då flödet måste vara minimum 0,35 l/s/m² i hela bostaden oavsett hur många som är hemma eller hur stor bostaden är. Då ingen är hemma kan flödet dras ner till 0,10 l/s/m² i bostaden.

I projektet har man undersökt hur ventilationen i bostäder bör styras för att få en bra inomhusmiljö men också för att undvika skador på själva byggnaden pga. fukt. Dessutom beroende på val av systemuppbyggnad och hur systemet styrs påverkas energibesparingen och inomhusmiljön, men också andra frågor som komplexiteten och behovet av drift och underhåll, investeringens storlek och robusthet.

Syftet med projektet har varit att visa vilka parametrar som är viktiga att ta hänsyn till vid behovsstyrning av ventilationen i bostadshus, samt visa på energibesparingspotentialen i behovsstyrningen. Ytterligare ett mål för projektet har varit att ta fram en metod för att med utgångspunkt i det årsviktade värdet för den specifika energianvändningen (SEC) beräkna av livscykelkostnaden (LCC) för ett ventilationsaggregat.

Behovet av ventilation kan mätas på olika sätt med olika sensorer. Vanligt är att använda koldioxid-sensorer (CO₂-sensorer). CO₂-sensorer korresponderar bra till hur stort lasten/behovet är beroende av mänsklig närvaro. Den typen av sensor är användbar i t.ex. klassrum, föreläsningssalar, konferensrum och kontor. Belastningen i en bostad är dock mer komplex beroende på de många olika aktiviteter som pågår i en bostad. T.ex. vid dusch, tvätt och matlagning genereras fukt och fuktbelastningen kommer att vara den som styr ventilationsbehovet. Under sommarhalvåret är inomhustemperaturen ofta hög och vid sådana tillfällen är det istället temperaturen som bestämmer behovet av ventilation.

Deltagande företag i projektet har varit Systemair AB, Svensk ventilation AB, NCC Construction Sverige AB, Derome AB, Eksta Bostad AB, Senseair AB och Mistral Energi AB. Systemair AB är tillverkare av luftbehandlingsaggregat och har varit leverantör av de system som installerats i de två demonstrationerna. Svensk ventilation AB är en intresseorganisation och har varit en kanal att sprida information om projektet. Derome AB är en småhustillverkare, en av demonstrationerna har skett i ett



hus tillverkat av Derome. Senseair AB tillverkar CO₂-givare och har tillhandahållit CO₂-givare som använts vid mätning i projektet. Eksta Bostad AB är ett kommunalt bostadsbolag i Kungsbäcka. Mätningar av lastprofiler har skett i tre bostäder som förvaltas av Eksta och i ytterligare en bostad har ett behovsstyrt ventilationssystem installerats.



2 Genomförande

Projektet består av flera delar som beskrivs nedan. Samma disposition går att återfinna i avsnittet 3 Resultat.

2.1 Litteraturstudie, kunskapssammanställning

I början av projektet utfördes en litteraturstudie och kunskapssammanställning för att undersöka vad som gjorts gällande behovsstyrd ventilation i bostäder, sensortyper och vilka parametrar som kan tänkas vara viktiga att beakta för att uppnå en bra inomhusmiljö i bostäder.

2.2 Lastprofiler och fältmätningar

Ett delmoment i projektet har varit att modellera behovsstyrda ventilationssystem (avsnitt 2.3). Som input till modelleringen behövs lastprofiler för intern värmegenerering, CO₂ och fuktillskott.

För lastprofilerna för intern värme- och CO₂-generering har främst information från litteratur används. Intern värmegenerering ges av användning av hushåll och värmealstring från de boende. CO₂-generering från de boende beror på antal närvarande och vilken aktivitet som pågår. Fuktillskottet är mer komplext och tas fram genom att använda information från fältmätningar och litteratur.

Fältmätningar har utförts i fyra bostäder, tre av bostäderna är lägenheter och tvåpersonershushåll och en av bostäderna är en enfamiljsvilla som bebos av en familj på fyra. Fältmättningsresultat från enfamiljsvillan är av särskilt intresse då den liknar en av demonstrationerna (avsnitt 2.4.2) i projektet. I bostäderna har CO₂, temperaturer, RH (relativ fuktighet) och VOC (volatile organic compounds) mätts i ventilationsaggregaten.

Genom att använda uppmätt RH och temperatur kan det absoluta fukttillståndet beräknas. Fukttillståndet i till- och frånluft jämförs och tillsammans med ventilationsflödena kan då fuktillskottet till bostäderna beräknas. Det beräknade fuktillskottet har jämförts med litteraturen.

I projektet har även VOC-givare installerats i bostäderna. Idag finns billiga VOC-givare att köpa. Tillverkarna själva anger att VOC-givarna är stabila över tid då de har en självkalibreringsfunktion. Syftet med att installera VOC-givare har varit att undersöka om mätning av VOC tillför något som de andra styrparametrarna (CO₂, temperatur, RH/ Δx) missar, eller om VOC-givare kan vara ett substitut.

2.3 Modellering

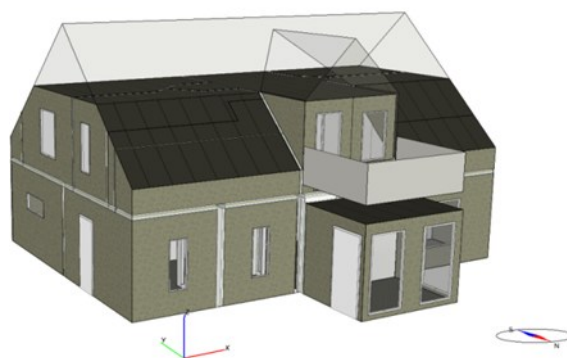
På RISE-området i Borås ligger en lågenergivilla, Figur 1 (vänster). Forskningsvillan som den kallas, är ett typhus som används till olika forskningsprojekt på RISE. Den genomsnittliga värmeöverföringskoefficienten är $U_m=0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ och huset, som har två våningar, har en golvyta som uppgår till 155 m². En modell av Forskningsvillan, figur 1 (höger), har skapats i IDA Indoor Climate and Energy (ICE). Resultat från modellen har jämförts med mätningar (Ylmen and Persson, 2017) från Forskningsvillan för att kontrollera modellen. Modellen användes till att testa och utvärdera olika styrstrategier för behovsstyrd ventilation. Lastprofiler som tagits fram (avsnitt 2.2) användes som indata i



modelleringen. Förutom att utvärdera olika styrstrategier modifierades simuleringsmodellen för att utvärdera behovsstyrd ventilation i:

- ett kallt klimat, detta genom att flytta modellen till Kiruna.
- en villa med ett för Sverige "typiskt" klimatskal (genomsnittlig värmeöverföringskoefficient på $0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) och balanserad ventilation med värmeåtervinning. Detta genom att ändra isolering och köldbryggor.
- en villa med ett för Sverige "typiskt" klimatskal (genomsnittlig värmeöverföringskoefficient på $0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) och frånluftsventilation utan värmeåtervinning. Detta genom att ändra isolering och köldbryggor samt ventilationsaggregat.

Denna del av projektet redovisas mer utförligt i en artikel som presenteras på konferensen Cold Climate HVAC 2018 i Kiruna (Chen and Markusson, 2018)



Figur 1. Forskningsvillan (vänster) och IDA-modell av Forskningsvillan (höger)

2.3.1 Styrstrategier, systemuppbyggnad och sensorplacering

Fyra olika styrstrategier har utvärderats, se tabell 1. Fyra parametrar används som styrparametrar:

- Koldioxid, CO_2
- Relativ fuktighet, RH
- T
- Skillnad mellan absolut fukttinnehåll inne och ute, Δx

De olika strategierna jämförs med ett referensfall. Referensfallet är det befintliga systemet i Forskningsvillan. Det befintliga ventilationssystemet är ett konstantflödessystem (CAV-system) med tilluftsflöde 60 l/s och frånluftsflöde 66 l/s . I fallet med behovsstyrning har flödena begränsats till att vara som högst de befintliga flödena, d.v.s. 60 l/s och 66 l/s för till- och frånluft. Minsta ventilationsflöde motsvarar det i BBR minsta tillåtna flöde på $0,10 \text{ l/s/m}^2$. Maximal tillåtna gräns för CO_2 sätts till 1000 ppm och gällande luftens absoluta fukttinnehåll sätts en max gräns på skillnaden för inne och ute till 2.5 g/kg (Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation).



Tabell 1. Beskrivning av styrstrategier, sensorplacering och systemuppbyggnad

Strategi	Sensorplacering	Nivåer för styrparametrar	Beskrivning
Multi-zonkontroll	Vardagsrum, kök, sovrum, tvätttrum och badrum	CO ₂ : 700-1000 ppm RH: 20-75% T: 25 °C Δx: 2.0-2.5 g/kg	Varje rum är en egen zon. Ventilationsflödet varierar i varje rum efter behovet i just det rummet.
Två-zonkontroll	Samma som ovan	Samma som ovan	Varje våning är en egen zon. Ventilationsflödet för hela våningsplanet varierar efter det högst uppmätta behovet på våningsplanet. Behovet mäts i alla rum.
En-zonkontroll	Samma som ovan	Samma som ovan	Byggnaden är en zon. Ventilationsflödet för hela byggnaden varierar efter det högst uppmätta behovet i byggnaden. Behovet mäts i alla rum.
Frånlufts-kanal-kontroll	Frånluftskanalen	CO ₂ : 400-600 ppm RH: 20-75% T: 25 °C Δx: 2.0-2.5 g/kg	Byggnaden är en zon. Behovet mäts i frånluftskanalen.

Observera att i tabell 1 är nivåerna för styrparametrarna olika för frånluftskanalskontrollen. Detta beror på att i detta fall mäts behovet i frånluften och utspädningseffekten påverkar nivåerna.

2.4 Demonstrationer

I projektet har behovsstyrda ventilationssystem av olika komplexitet installerats i två hus. Det "enkla" systemet installerades i ett hyresradhus och det mer komplexa systemet har installerats i Forskningsvillan som finns på RISE i Borås, figur 1 (vänster). Forskningsvillan, är ett typhus som används till olika forskningsprojekt på RISE.

2.4.1 Radhuset

Under hösten 2017 har ett FTX-system (från-tilluft med roterande värmeåtervinning) med behovsstyrning utvärderats i ett enplans hyresradhus i Halland. Lägenheten omfattar 3 rum och kök. I radhuset har ett "enkla" system installerats där hela husets ventilationsflöde ändras efter ett uppmätt behov. Behovet uppmäts med hjälp av CO₂-givare utplacerade i varje rum samt fuktgivare i badrum och hela flödet regleras på den signal som anger högst behov. Systemet motsvarar strategin "en-zonkontroll" i tabell 1. Från oktober till och med december 2017, då behovsstyrning tillämpats, har medelflödet varit i snitt 25 l/s. I CAV-systemet som fanns innan installationen av det behovsstyrda ventilationssystemet var flödet 30 l/s. Värmeförlust i frånluft kan beräknas med hjälp av uppmätta temperaturer till:

$$P_{\text{frånluft}} = (T_{\text{från}} - T_{\text{ute}}) \cdot c_p \cdot \dot{m} \quad (1)$$



Där, $T_{från}$ från är frånluftstemperaturen, T_{ute} är uteluftstemperaturen, c_p är specifik värme (J/kg/K) och \dot{m} är massflöde i frånluft (kg/s).

På samma sätt har värmeförlusten i tilluften beräknats. Skillnaden mellan de två ger en nettovärmeförlust i ventilationen.

2.4.2 Forskningsvillan

I Forskningsvillan har ett mer komplext system installerats. Varje rums flöde kan regleras individuellt beroende på behovet i just det rummet. Behovet mäts med CO₂-givare i varje rum samt RH- och CO₂-givare i badrummen. Systemet motsvarar "multi-zonkontroll" i tabell 1. Huset används främst som konferensrum och kontor. För att simulera att en verklig familj bor i huset har vattenkranar utrustats med magnetventiler som öppnas och stängs enligt ett programmerat schema och "lådor" med elektriska motstånd som avger värme ett programmerat schema. Detta för att få relevant fuktillskott och interna värmelaster. Dimensionerande flöde för Forskningsvillan är 60/66 l/s för till-/frånluftsflödet. I fallet med behovsstyrd ventilation sätts ett maximalt flöde på 80 l/s för att kunna utnyttja den fördel som behovsstyrd ventilation erbjuder där en förbättrad inomhusmiljö kan uppnås. Som minimiflöde sätts 43 l/s, det motsvarar 0,27 l/s/m². Minsta tillåtna flöde enligt BBR är 0,10 l/s/m². Av praktiska skäl kan inte ett sådant lågt flöde hanteras i detta system.

2.5 Beräkning av LCC

2.5.1 LCC för FTX jämfört med frånluftsventilation

Life cycle cost (LCC)-beräkningar är ett vedertaget sätt att beräkna total kostnad för en produkt under produktens livscykel. För produkter som ventilationsaggregat beräknas LCC vanligtvis även för en referensprodukt. Sedan jämförs LCC för den aktuella produkten med referensprodukten. Om beräknad LCC är lägre för den aktuella produkten betyder det att den är ett bättre val än referensprodukten ur ett LCC-perspektiv. Skillnaden kan också beskrivas med ett nuvärde (net present value, NPV). RISE har tagit fram Excel-mallar "RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v1.xlsx" och "RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v2.xlsx", se bilaga 1, figur 1.1, som kan användas vid beräkning av LCC för luftbehandlingsaggregat som kan behovsstyras. Excel-mallarna finns att tillgå från RISE.

2.5.2 Beräkning av LCC vid behovsstyrning

I Ecodesignförordningen (1253/2014) finns krav på ett värde som kallas "Seasonal energy consumption (SEC)", se figur 2. Enkelt förklarar detta värde av två delar, en del som relaterar till värmeenergi och en del som relaterar till elenergi. Vid beräkning av detta värde värderas/premieras aggregatet olika beroende på vilken styrning aggregatet har möjlighet för. Värmeåtervinning kan också ge bonus vid beräkning/mätning av SEC-värdet.



$$SEC = t_a \cdot p_{ef} \cdot q_{net} \cdot MISC \cdot CTRL^x \cdot SPI - t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h^{-1} \cdot c_{air} \cdot (q_{ref} - q_{net} \cdot CTRL \cdot MISC \cdot (1 - \eta_t)) + Q_{defr}$$

<i>ventilation control</i>	CTRL
Manual control (no DCV)	1
Clock control (no DCV)	0,95
Central demand control	0,85
Local demand control	0,65
<i>motor & drive</i>	x-value
on/off & single speed	1
2-speed	1,2
multi-speed	1,5
variable speed	2

Figur 2. Ekvation för att beräkna SEC-värdet och värdering av styrmöjligheter.

I beräkningen av SEC-värdet används "naturlig ventilation" som ett referensfall (q_{ref} i figur 2). I Sverige är dock ett fall med mekanisk frånluftsventilation en mer relevant jämförelse. För att kunna använda SEC-värdet för att beräkna LCC för Svenska förhållanden har det i projektet tagits fram en Excel-mall där SEC-värdet även beräknas för ett fall med frånluftsventilation. Ytterligare en Excel-mall har tagits fram för att specifikt jämföra två olika FTX-system, detta för att bedöma inverkan av och lönsamheten för olika typer av behovsstyrning. För att kunna använda SEC-beräkningen i en LCC har i båda mallarna primärenergitalet bytts ut mot elpriset. Vidare finns möjlighet att i LCC-kalkylen räkna med tre olika typer av värmesystem (direktel, fjärrvärme och värmepump) och deras tillhörande rörliga energikostnad. I bilaga 1 figur 1.2 visas vilken input som krävs för att beräkna SEC och vilken output som fås genom att använda mallarna "RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v1.xlsx" och "RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v2.xlsx". Excel-mallarna finns att tillgå från RISE.



3 Resultat

Nedan ges resultaten uppdelade i samma underrubriker som i kapitel 2 Genomförande.

3.1 Litteraturstudie och kunskapssammanställning

I början av projektet utfördes en litteraturstudie och kunskapssammanställning för att undersöka vad som gjorts gällande behovsstyrd ventilation i bostäder, sensortyper och vilka parametrar som anses viktiga att beakta för att uppnå en bra inomhusmiljö i bostäder. Litteraturstudien gjordes 2014. Litteraturstudien som helhet finns hos RISE.

3.2 Lastprofiler och fältmätningar

Som indata till modelleringen ges den interna värmelasten enligt ett bestämt schema som distribueras ojämnt över året, där mer hushållsel används under vinterhalvåret. Som intern värmegenerering används 30 kWh/m² (SVEBY, 2009).

CO₂- och fuktgenerering från människor beror på metabolismen och varierar beroende på vilken aktivitet som utförs. Genereringen kan antas variera linjärt med metabolismen. Enligt EN 15251 (CEN, 2005) är genereringen 11,875 l/h/met för CO₂ och 34,375 g/h/met för fukt för en vuxen. I denna studie antas 0,8 met för sömn, 1,0 met för vila och 1,5 met för matlagning.

Som input till modelleringen används ett dagligt fuktillskott från hushållsaktiviteter på 4 kg/dag för veckodagar och 5 kg/dag för helger. Detta baseras på en kombination av olika referenser kring fuktbelastning som hittas i litteraturen och resultat från fältmätningarna.

Även om samma fuktgenererande aktiviteter pågår i en byggnad kan fuktillskottet variera från hus till hus beroende på typ av ventilationssystem, utomhusklimat, byggnadens klimatskal m.m. Både fuktillskott i g/kg torr luft och i massflöde kg/s bestämmer fuktillskottet (kg) per dag. Fler mätresultat och analys finns i bilaga 2.

Uppmätta CO₂-nivåer och VOC-nivåer jämfördes med varandra (figur 2.3, bilaga 2). I vissa fall följer VOC och CO₂ givarna varandra någorlunda, dock indikerar VOC-givaren ett betydligt lägre behov av ventilation jämfört med CO₂-givaren. I andra fall är korrelation vag. Fler resultat visas i bilaga 2.

3.3 Modellering

3.3.1 Energibesparing

I tabell 2 finns resultat från modelleringen. Resultaten visas för ett referensfall (Forskningsvillan med CAV-system och 60/66 l/s i till/frånluftsflöden) och för de olika styrstrategierna förklarade i tabell 1.

**Tabell 2.** Simuleringsresultat (klimatdata för Göteborg-Landvetter)

Strategi	Medeltilluftsflöde för ett år (l/s)	Reduktion av ventilationsflöde (%)	Värmebehov (kWh/m ² och år)	Reduktion i värmebehov (kWh/m ² och år)	Reduktion i värmebehov (%)
Referensfallet	60	/	16	/	/
Multi-zonkontroll	26	57	12	4	25
Två-zonkontroll	29	52	12	4	23
En-zonkontroll	38	37	13	3	17
Frånlufts-kanalkontroll	41	32	13	3	14

I Tabell 3 presenteras resultatet från:

- ett kallt klimat, enom att "flytta" modellen till Kiruna.
- en villa med ett för Sverige "typiskt" klimatskal (genomsnittlig värmeöverföringskoefficient på 0,28 W/m²·K) och balanserad ventilation med värmeåtervinning. Detta genom att ändra isolering och köldbryggor.
- en villa med ett för Sverige "typiskt" klimatskal (genomsnittlig värmeöverföringskoefficient på 0,28 W/m²·K) och frånluftsventilation utan värmeåtervinning. Detta genom att ändra isolering och köldbryggor samt ventilationsaggregat.

Tabell 2. Simuleringsresultat (kWh/m² och år)

Strategi	Lågenergihus med balanserad ventilation och värmeåtervinning (Kiruna)		Hus med "typiskt" klimatskal i Sverige med balanserad ventilation och värmeåtervinning (Gothenburg-Landvetter)		Hus med "typiskt" klimatskal i Sverige med frånluftsventilation (Gothenburg-Landvetter)	
	Värme behov	Absolut minskning av värmebehov	Värme behov	Absolut minskning av värme behov	Värme behov	Absolut minskning av värme behov
Referensfallet (CAV-system)	43	/	30	/	68	/
Multi-zonkontroll	36	7	26	4	42	26
En-zonkontroll	39	4	28	2	51	17



3.3.2 Styrparametrar

Resultat från simuleringen visar att under vintermånaderna är CO₂ och RH/ Δx de viktigaste styrparametrarna. Vid användandet av endast CO₂ kommer Δx överstiga maxgränsen vid t.ex. matlagning. Resultaten visar att användning av RH istället för Δx i badrum fungerar bra, dock måste gränsen för RH beaktas då den typiska gränsen på 75 % inte alltid är tillräcklig. På sommaren är temperaturen den enda viktiga styrparametern och ventilationen kommer att vara på maximalt flöde hela tiden pga. av övertemperaturer inomhus. Simulering med strategierna multi-, två- och enzonkontroll indikerar att Δx kan räcka som enda styrparameter under vintermånaderna. Dock påverkas Δx kraftigt av modellens indata och det finns därför en osäkerhet kring den slutsatsen. Tabell 4 sammanfattar vilka styrparametrar som krävs under sommar- respektive vintermånaderna.

Tabell 3. Sammanställning över styrparametrar på sommar och vinter

Styrsignal	Vardagsrum, kök, sovrum		Badrum	
	Sommar	Vinter	Sommar	Vinter
CO ₂		X		X
T	X		X	
Δx eller RH		X	X*	X

*pga. av övertemperaturer inomhus under sommarmånaderna kommer styrsignal från Δx , RH att överlappas av styrsignal från temp.

3.4 Demonstrationer

3.4.1 Radhuset

Medeleffektförlusten som beror på ventilationen mättes för tremånadersperioden okt-dec 2017 (behovsstyrd ventilation var i drift) till 190 W. Vid ett antagande att förlusten är proportionell mot flödet fås för ett CAV-system med flödet 30 l/s förlusten till 230 W, vilket medför en medelbesparing på 40 W. Uppvärmningssäsongen antas vara perioden från hösten då dygnsmedeltemperaturen understiger 12 °C till våren då den överstiger 10 °C, ungefär oktober till och med april. Om i medeltal 40 W sparas på behovsstyrning av ventilationen ger detta en årlig besparing av ventilationsvärmeförluster på (8765*7/12*40) 200 kWh. Bostaden är 80 m², vilket ger en årlig besparing på ca 2,5 kWh/m². Systemet motsvarar en-zonkontroll i tabell 1. Resultaten från modelleringen, tabell 2, gav 3 kWh/m², vilket kan anses vara någorlunda jämförbart med detta uppmätta resultat.

3.4.2 Forskningsvillan

Det behovsstyrda ventilationssystemet i Forskningsvillan är av typ "multi-zonkontroll", tabell 1. D.v.s. att ventilationsflödet varierar i varje rum/zon efter ett uppmätt behov i just den zonen. Det görs genom att varje zon har ett motordrivet don som öppnar eller stänger ett spjäll beroende av ventilationsbehovet. I sovrummen och vardagsrum och kök används CO₂ som styrparameter och i badrummen RH och CO₂. För att få detta att fungera i praktiken måste flera saker ske.

Då systemet som installerats i villan är ett behovsstyrt ventilationssystem tänkt för kontor implementerades vissa modifieringar för att få det att fungera i en bostad. I fallet kontor är det enbart



tilluftsflödena som varierar vilket innebär ett betydligt enklare system jämfört med ett bostadssystem där även behovet av frånluft varierar.

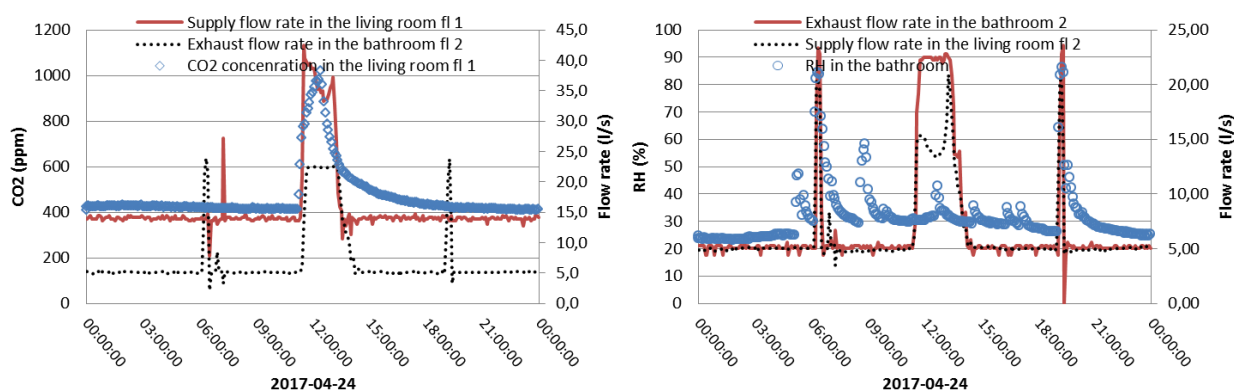
Om exempelvis CO₂-halten, t.ex. i ett sovrum, ökar (pga. att någon kommer in i rummet) sker följande:

- CO₂-givaren mäter förhöjd CO₂-nivå vilket
- ger en styrsignal till det motordrivna donet som då öppnar
- det i sin tur ger en signal till tilluftsfläkten att den måste leverera mer flöde (alltså ökar fläktens varvtal)
- men det räcker inte enbart med att öka tilluftsflödet, utan frånluftsflödet måste även öka för att balansera systemet, alltså får frånluftsfläkten i sin tur en signal att öka varvtalet
- Då behöver ett eller flera frånluftsspjäll öppna för att tillåta att frånluften ökar. Alltså måste även en signal skickas till ett eller flera frånluftsspjäll

Och omvänt måste ske om behovet av frånluft ökar (t.ex. pga. att någon duschar):

- RH-givaren mäter förhöjd RH-nivå vilket
- ger en styrsignal till det motordrivna donet i badrummet som då öppnar
- det i sin tur ger en signal till frånluftsfläkten att den måste öka frånluftsflödet (alltså öka fläktens varvtal).
- Då måste även tilluftsflödet öka för att balansera systemet genom att öka tilluftsfläktens varvtal och
- ett eller flera tilluftsspjäll behöver öppna för att tillåta att tilluften ökar

Figur 3 visar uppmätt CO₂-nivå i vardagsrum (höger) och RH i badrum (vänster) samt tilluftsflödet i vardagsrummet och frånluftsflödet i ett av badrummen. Observera att flödena endast är delflöden av det totala flödet och därför är de olika stora. I den vänstra figuren visas hur CO₂-halten ökar vilket leder till att tilluften i vardagsrummet ökar och efter en liten stund följer frånluften i badrummet. I den högra figuren ökar RH-nivån i badrummet vilket leder till att frånluftsflödet ökar i badrummet och tilluften i vardagsrummet följer.

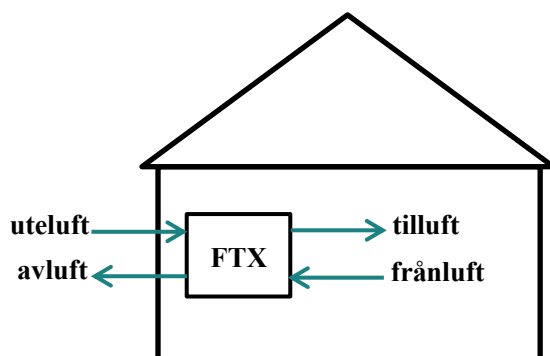


Figur 3. Uppmätt CO₂-nivå i vardagsrum (vänster) och RH i badrum (höger) samt tilluftsflöde i vardagsrummet och frånluftsflöde i ett av badrummen.

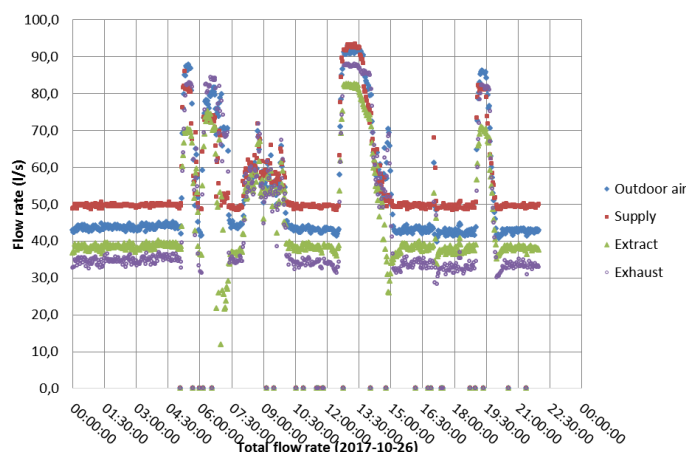


Trycket i systemet påverkas/varieras när de olika spjällen öppnas och stänger och fläktarna varvar upp och ner, och det är lätt att få fel tryckbalans i systemet. I det installerade systemet i Forskningsvillan justeras/balanseras systemet med hjälp av intern flödesmätning i de motordrivna donen, dock är det svårt att mäta små luftflöden.

Figur 4 visar en skiss över ett hus med till- och frånluft samt värmeåtervinning, så kallad FTX-system med till-, från-, ute- och avluft inritat. Vid korrekt drift av ett FTX-aggregat med roterande värmeåtervinning ska en liten del av uteluftsflödet smita över till avluften för att säkerställa att ingen luft återförs (alltså att luft smiter över från frånluften till tilluften). Figur 5 visar mätresultat av till-, ute, från- och avluftsflöden som funktion av tiden för ett dygn.



Figur 4. Skiss över FTX (från-tilluft-värmeåtervinning)



Figur 5. Ute (outdoor)-, till (supply)-, från (extract)- och avluftsflöden (exhaust) (l/s) uppmätt under ett dygn

Tabell 5 visar olika driftfall där ibland rätt tryckbalans och ibland fel tryckbalans erhållits i aggregatet.

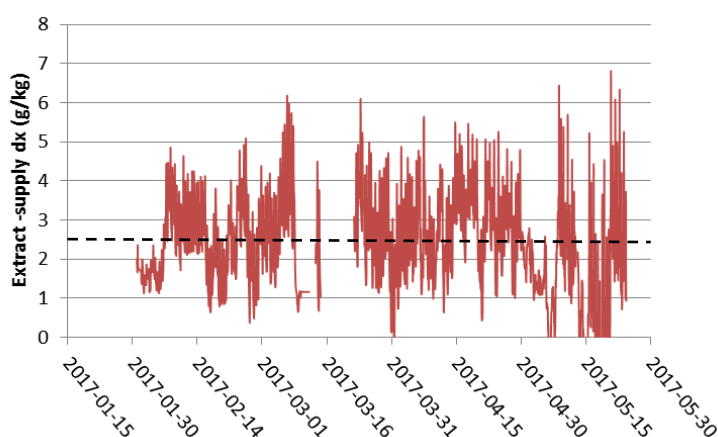


I Tabell 5 kan man se att vid låga flöden är tilluftsflödet större än utluftsflödet och frånluften är större än avluften. Det beror på fel balans i aggregatet och en del av frånluften återförs in i huset igen. För höga flöden och mellanflöden erhålls inte samma problem med tryckbalansen och då återförs ingen luft. Under hösten 2017 har inställningar av det behovsstyrda ventilationssystemet ändrats för att undvika återföring av luft. Dock är det en lärdom att det är viktigt att upprätthålla rätt tryckbalans i FTX-aggregat för att hindra att luft återförs. Det gäller i så väl CAV-system som i system med behovsstyrd ventilation.

Tabell 5. Ute-, till-, från- och avluftsflöden (l/s) vid olika driftpunkter (lågt-, högt- och mellanflöde)

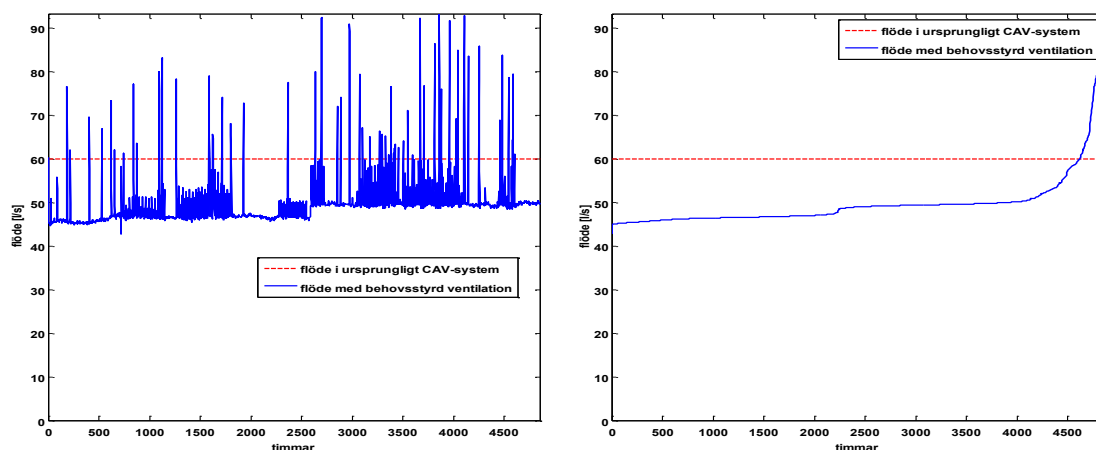
	Lågt flöde (2017-11-06)	Högt flöde (2017-02-06)	Mellanflöde (2017-10-26)
Uteluft	42	91	58
Tilluft	49	88	54
Frånluft	38	77	51
Avluft	33	82	52

Förutom att vara ohygieniskt orsakar återluft i bostäder en förhöjd risk av fuktskador. Luften som man vill ventilerar ut från bostaden är ofta betydligt mer fuktig än utluften och därmed återförs även fukt och ökar fuktbelastningen betydligt. Figur 6 visar fuktillskottet, skillnaden mellan uppmätt fukt i tilluft och frånluft i Forskningsvillan. I figuren kan ses att vid flera tillfällen är skillnaden större än de 2,5 g/kg som rekommenderas av Folkhälsomyndigheten (FoHMFS, 2014), vilket ökar risken för fuktskador.



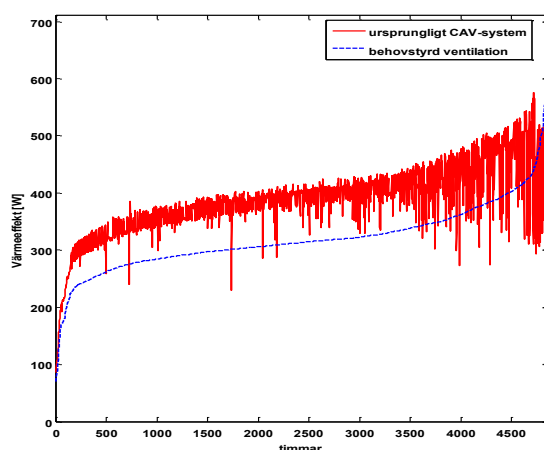
Figur 6. Uppmätt fuktillskott januari till maj i Forskningsvillan.

Figur 7 visar uppmätt flöde som funktion av tiden (vänster) och varaktighetsdiagrammet för uppmätt flöde (höger) för månaderna februari-maj och oktober-december 2017. Inritat i figuren är även det dimensionerade flödet för det ursprungliga CAV-systemet. På grund av tekniska begränsningar är det minsta flödet 47 l/s i det behovsstyrda systemet.



Figur 7. Uppmätt flöde som funktion av tid (vänster) och varaktighetsdiagram för uppmätt flöde (höger) för februari-maj och oktober-december 2017. Även det dimensionerade CAV-flödet är inritat.

Figur 8 visar varaktighetsdiagrammet för den behovsstyrda ventilationens värmebehov. I figuren visas även det beräknade värmebehovet för CAV-systemet. Beräkningen är gjord med antagandet att verkningsgraden för värmeåtervinningen är samma för CAV-systemet som för det behovsstyrda ventilationssystemet. Detta är dock en förenkling då verkningsgraden för värmeåtervinning är beroende av flödet.



Figur 8. Varaktighetsdiagram över värmeeffekt p.g.a. av ventilationsförluster. Även den beräknade värmeförlusten för CAV-systemet är inritad.



I stora delar av Europa finns redan nationell lagstiftning på att använda behovsstyrd ventilation. I Sverige anger dock BBR att minsta ventilationsflöde i hela bostaden ska vara 0,35 l/s/m² oavsett belastning eller bostadens storlek. Det saknas tillräcklig kunskap för att förespråka en lagändring och mer forskning kring hur inomhusmiljö och ventilation samverkar behövs, gärna med perspektivet att jämföra inomhus med utomhus. I ett internationellt perspektiv (och svenskt stadsperspektiv) är det inte nödvändigtvis sant att utomhus luften alltid är bättre än inomhus. När behovsstyrd ventilation används rätt kan inomhusmiljön förbättras och energi sparas. Att tillåta högre flöden än dimensionerande i behovsstyrda ventilationssystem skapar, förutom en potentiellt bättre inomhusmiljö, flexibilitet vilket kan utnyttjas när den tänkta belastningen förändras, t.ex. trångboddhet, överfulla klassrum etc. Skärpta myndighetskrav avseende luftkvalitet bedöms vara den största potentiella drivkraft för införande behovsstyrning i framtidens bostäder.

Rent tekniskt måste behovsstyrda ventilationssystem för bostäder utvecklas så att de möjliggör mätning och styrning av luftflödet över ett större flödesområde, med bättre mätosäker och utan att skapa stora tryckfall eller störande ljud. En ytterligare utmaning är att samtidigt göra dem tillräckligt kostnadseffektiva, robusta och långlivade.



5 Publikationslista

Presentationer:

Larsson, O.: "Presentation på Svensk Ventilations scen" Nordbygg, Stockholm, 2016

Markusson, C.: "Presentation på AIVC Workshop -Is ventilation the answer to indoor air quality control in buildings? Do we need performance-based approaches?" Bryssel, 2017

Markusson, C. & Ruud, S.: "Svensk ventilations leverantörsträff", Borås, 2017

Artiklar om projektet:

Kanalen nr 8: "Ventilation efter behov, hur då?", 2016

Hållbart byggande: "Energieffektivisering ventilation", 2017

Energi och miljö nr 10: "Behovsstyrd ventilation i bostäder", 2017

Vetenskaplig artikel:

Chen, HJ. & Markusson, C.: "Demand controlled ventilation in residential buildings" Inskickat konferensbidrag till Cold Climate HVAC, Kiruna, 2018



6 Referenser

Boverket: "Så mår våra hus – redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m m", Karlskrona, 2008

CEN: "Criteria for the indoor environment, including thermal, indoor air quality, light and noise. Brussels", 2005

Chen, HJ. & Markusson, C.: "Demand controlled ventilation in residential buildings" submitted to the 9th International Cold Climate Conference Sustainable new and renovated buildings in cold climates, Kirunna, Sweden, 2018

FoHMFS: "Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation", 2014:18

Johansson, P., Simon P. & Mohammad S.: "Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings" IEA Annex 55 RAP-RETRO, 2010

Kalamees, T., Kurnitski, J., & Vinha, J.: "Indoor humidity loads in Finnish detached houses" In Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, pp. 13-15, Iceland, 2005

Jensen, L.: "Fukttillskott i frånluft." Lunds tekniska högskola TVIT, 2010

Mattson, B.: "Extract of raw data from the measurements in BETSI-study" Boverket, Karlskrona, 2010

Nielsen, T. R., & Drivsholm, C.: "Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses" Energy and buildings, 42(11), 1995-1998, 2010

Sveby: "Brukarindata för energiberäkningar i bostäder, projekt rapport", 2009

Ylmén, P. & Persson, J.: "Monitoring of Pilot Sites". Grant agreement: ENER/FP7/285173/NEED4B, 2017



Bilagor

Bilaga 1. Life Cycle Cost calculations

General description of life cycle cost calculations

Life cycle cost (LCC) calculations is an established way of taking into account the total costs of a product throughout its life cycle, including investment, operating and maintenance costs. For a product like an air handling unit you normally also need to calculate the LCC of an alternative reference case. The LCC of the studied case can then be compared with the LCC of the reference case. If the LCC of the studied case is lower than the LCC of the reference case, then the studied case is a better choice than the reference case from an LCC perspective. The difference can also be presented as a net present value (NPV) that has a positive value if the studied case has a lower LCC than the reference case. For this kind of LCC calculations the Excel file “RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v1.xlsx” may be used (see figure 1.1).

Life Cycle Cost (LCC) and Net Present Value (NPV) for a studied case compared to a reference case				Result of the LCC-analysis						
Discount rate (excl inflation):	4	%		LCC (SEK)	NPV (SEK)					
Energy price increase, electricity	3	% per year *		Studied case: Supply and exhaust ventilation with heat recovery	-272	2471	Profitable!			
Energy price increase, district heating	2	% per year *		Reference case: Exhaust air ventilation with no heat recovery	2199					
Calculation period (20-30 yr):	30	year								
Electricity price	1,35	SEK per kWh **								
District heating price	0,85	SEK per kWh **								
NOTE 1: Only orange cells can be changed.										
NOTE 2: Investments and costs that are the same for both alternatives need not be included.										
Estimated energy costs studied case:				Investments:						
Supply and exhaust ventilation with heat recovery	Energy costs year 1 (SEK)	Sum of present value costs (SEK)	Energy use (kWh/year)	Supply and exhaust air -air handling unit	Purchasing costs (SEK)	Installation costs (SEK)	Total costs today (SEK)	Estimated lifetime (year)	Sum of present value costs (SEK)	Present residual values (SEK)
Variable cost of electricity	1086	28153	805	Supply and exhaust air -duct system	25000	10000	35000	15	54434	0
Variable cost of district heating	-5780	-130151	-6800				30000	30	30000	0
Total energy costs	-4694	-101998							0	0
Operating and maintenance costs	1000	-17292							0	0
Total costs	-3694	-84706					65000		84434	0
Estimated energy costs reference case: ***				Investments: Reference case						
Exhaust air ventilation with no heat recovery	Costs year 1 (SEK)	Sum of present value costs (SEK)	Energy use (kWh/year)	Exhaust air fan	Purchasing costs (SEK)	Installation costs (SEK)	Total costs today (SEK)	Estimated lifetime (year)	Sum of present value costs (SEK)	Present residual values (SEK)
Variable cost of electricity	448	11624	332	Exhaust air duct system	10000	5000	15000	15	23329	0
Variable cost of district heating	-2274	-51212	-2676				15000	30	15000	0
Total energy costs	-1826	-39588							0	0
Operating and maintenance costs	200	3458							0	0
Total costs	-1626	-36130					30000		38329	0
*) Energy price increases beyond general inflation / cost increase.										
**) Including taxes and eventually grid costs.										
***) To assess whether an investment is profitable or not you have to have an option in the form of a reference to compare the estimated costs with.										

Figure 1.1. Spreadsheet for LCC calculations of two alternative investments.

This Spreadsheet uses the “present value” LCC method¹, i.e. all future revenues, expenses and residual values are transformed to a present value and added to the total initial investment costs. It can handle the calculation of combined product consisting of several parts with different investment costs and different life expectancy. For combined products, one usually chooses a calculation period that

¹ There are also other LCC methods; the “internal rate” method and the “annuity” method. However all three methods are based on the same mathematical algorithms and principles. It is only way that the result is presented that differs. Note: the “pay-back” method is not a real LCC method and should be used with caution as it may not lead to the best decision from a LCC point of view.



corresponds to that of the product with the longest life expectancy. However, for building services systems one normally does not choose a longer calculation period than 30 years. Reinvestment of products with a shorter life expectancy than the calculation period is automatically taken into account in the calculation, as well as eventual residual values at the end of the calculation period.

In an LCC calculation, there are several inputs that are subject to different degrees of uncertainty. The initial investment costs and the initial energy prices are normally rather well known. The reinvestment costs have a higher uncertainty, but they normally occur many years after the initial investment and are hence devaluated by the discount rate (see below). A good approximation is normally that the reinvestment cost is the same as the initial investment cost. The development of energy prices compared with the general price level (inflation ignored) has a very high degree of uncertainty. Historical development of energy prices may be used as guidance, but history also shows that energy price development is very difficult to predict. However it is normally assumed that energy prices over a longer period of time will increase compared to the general price level. The life expectancy of different products is also subject to a certain degree of uncertainty. Input values used are normally based on experience from the same or similar products that has been used for many years. Products with newly developed technologies may therefore be subject to a higher degree of uncertainty regarding their life expectancy. Further guidance can be found in the standard EN 15459-1:2017 Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings – Part 1: Calculation procedures, Module M1-14.

The discount rate is a very important input to the LCC calculation. However, it does not have any actual "uncertainty" but is instead based on a valuation of future revenues and expenses. Normally, one devaluates future revenues and expenses by 3-6% annually (inflation ignored).

Utilizing the SEC-value calculations as an input for LCC calculations

In the European ecodesign regulation (1253/2014) the reference case is natural ventilation. However for Swedish conditions constant exhaust air ventilation is a more appropriate reference case. To utilize SEC-value calculations for an LCC-calculation adopted for Swedish conditions the SEC-value need to be calculated also for the reference case. Figure 1.2 shows the inputs and the resulting outputs from an SEC calculation using the "RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v1.xlsx". Inputs that can be changed in accordance with the eco-design regulation are marked in **bold red**. The reason that the space heating energy is negative also for the reference case is due to the fact that also the exhaust air ventilation system is assumed to have a lower airflow rate than a natural ventilation system.



	Reference case	Studied case	
	Exhaust air vent.	Supply and exhaust air ventilation with heat recovery	
Climate	Average	Average	
Ducted	Yes	Yes	
Control	Manual	Central	
Motor	variable-speed	variable-speed	
Exchanger	none	recuperative	
SPI	0,00017	0,00055	kWh/(m ³ /h)
η_t	0	0,800	-
Q_{defr}	0,0	0,45	kWh/(m ² a)
Q_{heat}	-17,2	-43,6	kWh/(m ² a)
Q_{fan}	5,3	12,4	kWh/(m ² a)
SEC	-11,8	-30,7	kWh/(m ² a)

Figure 1.2. Example of inputs and outputs from an SEC calculation.

In the ecodesign regulation electricity for fan operation and defrosting is multiplied with the primary energy factor (*pef*) 2.5. But when calculating the LLC, electricity for fan operation shall instead be multiplied by the electricity price and the defrosting energy (when applicable) shall instead be multiplied with the energy price for the energy source used, i.e. direct electricity, heat pump, district heating, etc. The latter also applies to space heating demand caused by ventilation losses. This means that the calculated SEC-values cannot be used directly as they are. Instead the three different parts in the formula for calculating the SEC-value (fan electricity, space heating, defrosting) shall be modified and adapted to reflect the interaction with the other building services systems in the house. The input to the LCC calculation from the SEC-calculations shall then be the calculated bought energy supply from different energy sources. In the case of direct electric heating and district heating the bought energy supply is the same as the heating demand in the LCC calculations. But if the heating demand, or the defrosting, is accomplished by heat from a heat pump, then the seasonal coefficient of performance (SCOP) of the heat pump need to be considered when calculating the bought energy demand. Figure 1.3 shows schematically how the values from an SEC calculation can be transformed into an input to the LCC calculation.

	SEC =	fan operation +	space heating +	defrosting
District heating		-	x 1	/2,5
Fan electricity		/2,5	-	-
Direct electric heating		-	x 1	/2,5
Heat pump electricity		-	/SCOP	/(SCOP x 2,5)

Figure 1.3. Transformation of the SEC calculation into an LCC calculation input.

An example of such a transformation is shown in Figure 1.4 using the template “RISE-template_SEC-LCC_2018-01-25_v1.xlsx”. In this part of the template three different types of energy supply can be chosen; Direct electricity, District heating and Heat pump. For the heat pump one also has to choose a “seasonal coefficient of performance” (SCOP). To calculate the estimated bought energy supply to a specific house one finally also has to give the heated floor area as an input. Inputs that can be changed are marked in **bold red**. The values given in the **yellow cells** are linked as an input to the LCC calculation part of the template (see Figure 1.1).



	Reference case	Studied case	
	Exhaust air vent.	Supply and exhaust air ventilation with heat recovery	
LCC input calculations:	Q_{defr}	Direct electricity	
	Q_{heat}	District heating	
	Q_{fan}	Electricity	
	SCOP heat pump =		3,5
	Heated floor area =		156 m ²
	Q_{defr}	0,0	0,18 kWh/(m ² a)
	Q_{heat}	-17,2	-43,6 kWh/(m ² a)
	Q_{fan}	2,1	5,0 kWh/(m ² a)
	Specific bought electricity:	2,1	5,2 kWh/(m ² a)
	Specific bought district heating:	-17,2	-43,6 kWh/(m ² a)
	Specific bought electricity:	332	805 kWh/(m ² a)
	Specific bought district heating:	-2676	-6800 kWh/(m ² a)

Figur 1.4. Example of transformation into inputs for an LCC calculation.

If one zoom into the LCC calculation of the spreadsheet shown earlier there are three different input parts as shown in Figures 1.5a, 1.5b and 1.5c and a summary of the calculations as shown in Figure 1.6.

Discount rate (excl inflation):	4	%
Energy price increase, electricity	3	% per year *
Energy price increase, district heating	2	% per year *
Calculation period (20-30 yr):	30	year
Electricity price	1,35	SEK per kWh **
District heating price	0,85	SEK per kWh **
*) Energy price increases beyond general inflation / cost increase.		
**) Including taxes and eventually grid costs.		

Figur 1.5a. Example of general inputs to the LCC calculation.

Estimated energy costs studied case:	Energy costs year 1 (SEK)	Sum of present value costs (SEK)	Energy use (kWh/year)
Supply and exhaust ventilation with heat recovery			
Variable cost of electricity	1086	28153	805
Variable cost of district heating	-5780	-130151	-6800
Total energy costs	-4694	-101998	
Operating and maintenance costs	1000	17292	
Total costs	-3694	-84706	
Estimated energy costs reference case: ***			
Exhaust air ventilation with no heat recovery	Costs year 1 (SEK)	Sum of present value costs (SEK)	Energy use (kWh/year)
Variable cost of electricity	448	11624	332
Variable cost of district heating	-2274	-51212	-2676
Total energy costs	-1826	-39588	
Operating and maintenance costs	200	3458	
Total costs	-1626	-36130	
***) To assess whether an investment is profitable or not you have to have an option in the form of a reference to compare the estimated costs with.			

Figur 1.5b. Example of energy and maintenance cost inputs and calculations



Investments: (during the calculation period)	Purchasing costs (SEK)	Installation costs (SEK)	Total costs today (SEK)	Estimated lifetime (year)	Sum of present value costs (SEK)	Present residual values (SEK)
Supply and exhaust air -air handling unit	25000	10000	35000	15	54434	0
Supply and exhaust air -duct system	20000	10000	30000	30	30000	0
					0	0
					0	0
			65000		84434	0

Investments: Reference case (during the calculation period)	Purchasing costs (SEK)	Installation costs (SEK)	Total costs today (SEK)	Estimated lifetime (year)	Sum of present value costs (SEK)	Present residual values (SEK)
Exhaust air fan	10000	5000	15000	15	23329	0
Exhaust air duct system	10000	5000	15000	30	15000	0
					0	0
					0	0
			30000		38329	0

Figur 1.5c. Example of investment cost and residual value inputs and calculations.

Result of the LCC-analysis		LCC (SEK)	NPV (SEK)	
Studied case:	Supply and exhaust ventilation with heat recovery	-272	2471	Profitable!
Reference case:	Exhaust air ventilation with no heat recovery	2199		

Figur 1.6. Example of a summary of an LCC and NPV calculation.

With the inputs given in this example the additional investment costs for a supply and exhaust air ventilation system with heat recovery are profitable, compared to the investment in a simple exhaust air ventilation system with no heat recovery. However one could in this case say that it is only slightly profitable, considering that the net present value (NPV) is very low compared to the additional initial investment costs. This means that the present value of all future net savings is only about 7 % higher than the additional initial investment costs. This also means that the profitability is very sensitive to the uncertainties of several of the input values.

If for instance the space heating energy is supplied through a heat pump with an SCOP of 3,5 then the additional investment costs are not profitable (NPV -24 462 SEK). But if instead the space heating energy is supplied through direct electricity, then the additional investment costs are very profitable (NPV +67 837 SEK). Also if the house is still heated by district heating but moved to a Cold climate, then the additional investment costs are also very profitable (+65 198 SEK). If the house is both heated with direct electricity and moved to a Cold climate the additional investment costs are extremely profitable (NPV +192 160 SEK).

By comparing the net present value (NPV) for different air handling units one can by using the developed template "RISE-template_SEC-LCC_v1_2018-01-25.xlsx" see which unit that has the lowest NPV for the same or different general input values. However, when comparing two different solutions, both with supply and exhaust air ventilation with heat recovery, but with different performance regarding fan efficiency, heat recovery, control possibilities, etc., then the template "RISE-template_SEC-LCC_v2_2018-01-31.xlsx" is more appropriate to use. If one for instance change from central to local demand controlled ventilation in the example above, then the SEC-value decreases from 30,7 to 37,1 kWh/m² a. But if considering the SEC-calculations to give a fairly good estimate of the energy use one can in the LCC calculation show that the additional costs for going from central to local demand control may not exceed 8500 SEK.



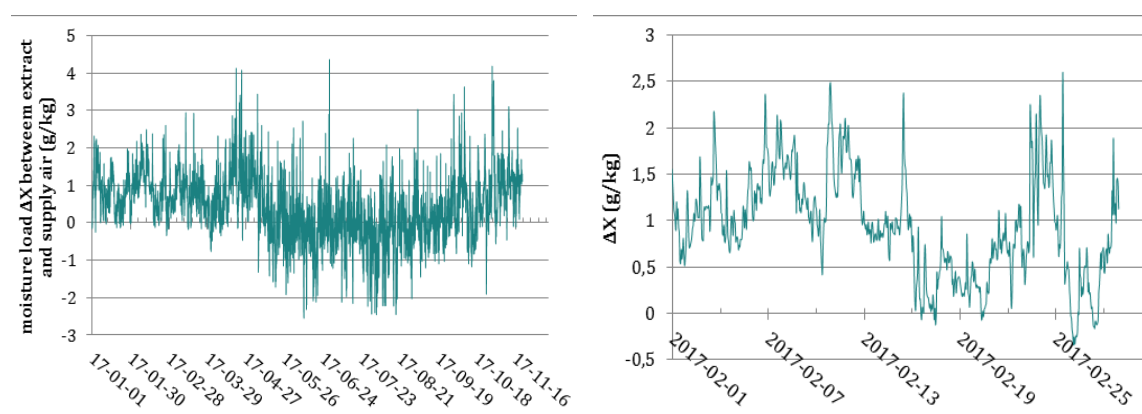
Comment: The templates "RISE-template_SEC-LCC_v1_2018-01-25.xlsx" and "RISE-template_SEC-LCC_v2_2018-01-31.xlsx" cannot be used to make any comparison with an exhaust air heat pump. The reason is that an exhaust air heat pump also includes space heating and hot tap water production. In a comparison with an with exhaust air heat pump the AHU need to be combined with a system for space heating and hot tap water production, and with the additional costs of that system also taken into account in the LCC calculation. This would require the template to be adapted to such a case.

Bilaga 2. Lastprofiler och fältmätning

I BETSI-undersökningen (Mattson, 2010), rapporteras medelfukttillskottet för ett enfamiljshus vara 1.5 g/kg. I en finsk studie (Kalamees et al., 2005) anges att under vintern är medelfukttillskottet och standardavvikelsen för ett hus med balanserad ventilation 1.7 g/kg respektive 0.7 g/kg, medan för hus med frånluftsventilation är medelfukttillskottet och standardavvikelsen 2.0 g/kg respektive 1.2 g/kg. En svensk studie (Jensen, 2010), uppger att medelfukttillskottet och standardavvikelsen för 18 hushåll är 1.7 g/kg respektive 0.6 g/kg.

I detta projekt fokuseras på fuktbelastningen under vintern. Det är svårt att uppskatta fuktbelastningen när det blir varmt ute då vädring är vanligt och det därför är svårt att veta hur stor andel av ventilationen som går genom ventilationsaggregatet. I projektet har fukttillskottet i en enfamiljsvilla i Halland mätts, och medelfukttillskottet för januari och februari 2017 uppgick till 1g/kg. Detta värde är lägre än vad man generellt hittar i litteraturen. Det kan t.ex. bero på att enfamiljsvillan är relativt ny och har snålspolande armaturer, eller så vädrar familjen som bor där ovanligt mycket. Figur 2.1 visar uppmätt fukt för enfamiljsvillan för februari 2017.

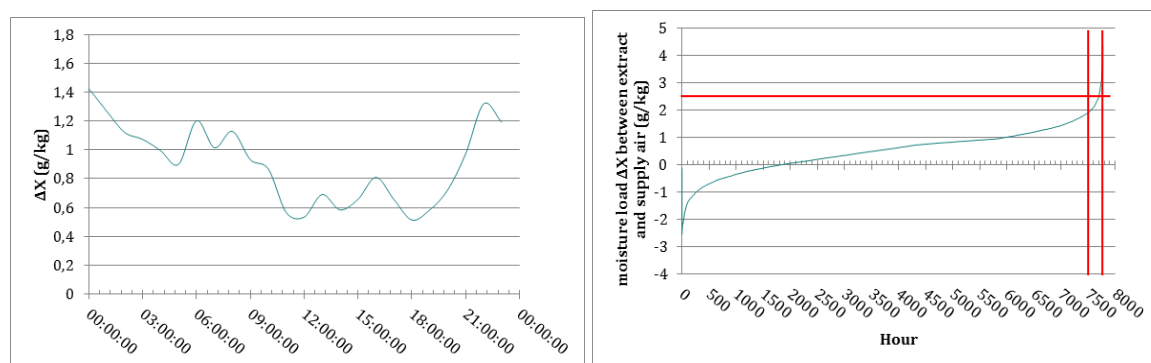
I en studie av Nielsen and Drivsholm (2010) visas att fukttillskottet för en enfamiljsvilla varierade från 2.0 g/kg till 4.7 g/kg under en vecka i februari. I Figur 2.1 varierar fukttillskotten mellan 0.5 och 2.5g/kg, vilket är aningens lägre.



Figur 2.1. Fuktbelastning i enfamiljsvillan för 2017(vänster) och för februari 2017 (höger).

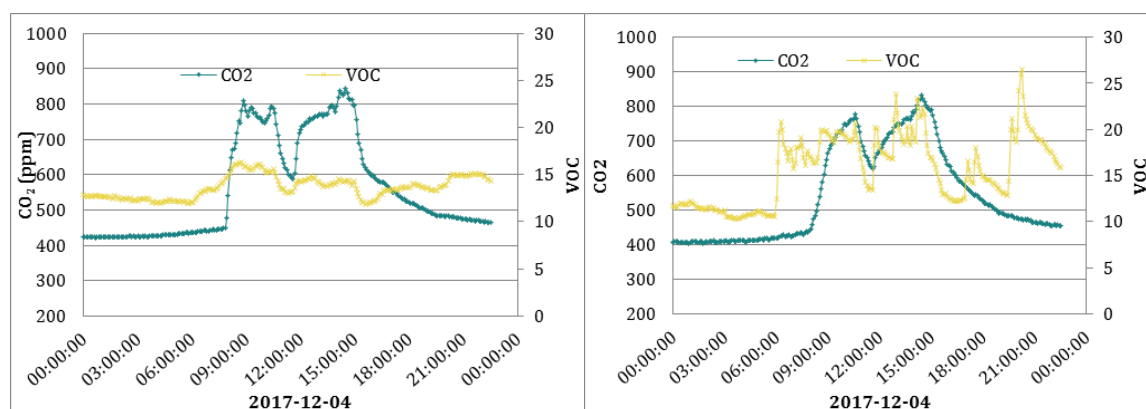


För att ta fram profiler för att kunna utvärdera behovsstyrd ventilation, styrstrategier etc. är det mer intressant att analysera hur ett dygn eller vecka ser ut. Figur 2.2. visar fukttillskottet för enfamiljsvillan för 1 februari 2017, där kan man se att fukttillskottet är högre under morgnarna och kvällarna jämför med mitt på dagen, detta p.g.a hushållsaktiviteter som matlagning, tvätt och dusch. Det interna fukttillskottet för 1 februari blir 5,7 kg/dag (medelfukttillskott på 0.9 g/kg och ett ventilationsflöde på 60 l/s), vilket är nära studien (Nielsen and Drivsholm, 2010) som uppmätte ett medelfukttillskott på 5,9 kg/dag. I IDA-simuleringen används ett något lägre fukttillskott på 4kg/dag för veckodagar och 5 kg/dag på helger.



Figur 2.2. Uppmätt fukttillskott i enfamiljsvillan för 1 februari 2017 (vänster) och varaktighetsdiagrammet för fukttillskottet för januari-november 2017 (höger)

Figur 2.3 visar jämförelse mellan uppmätt CO₂ and VOC i vardagsrummet i Forskningsvillan och i frånluftskanalen. Den uppmätta VOC-nivån i Figur 2.3 är under 25, för det mesta vilket betyder, enligt VOC-sensors datablad att luftkvaliteten är bra (enligt databladet anses en nivå under 40 vara ok). Nivån för CO₂ överstiger 800 ppm ett flertal gånger. I detta fall indikerar CO₂-mätningen och VOC-mätningen olika behov av ventilation.



Figur 2.3. CO₂ och VOC för en dag i Forskningsvillan uppmätt i vardagsrummet (vänster) och i frånluften (höger)



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

