



Behovsstyrd ventilation i småhus

Planering och energibesparingspotential

Atle Aldén

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och Miljöteknik
Identifikationsnummer:	7039
Författare:	Atle Aldén
Arbetets namn:	Behovsstyrd ventilation i småhus
Handledare (Arcada):	Kaj Karumaa
Uppdragsgivare:	Arcada, Avdelningen för Energi- och materialteknik
<p>Sammandrag:</p> <p>Behovsstyrd ventilation (eller "VAV-system") är ett ventilationssystem, vars luftmängder justeras enligt person- eller värmebelastningen, för att spara på fläkt- och värmeenergi. Motsatsen till ett sådant system är ett CAV-system, som har en konstant luftström dygnet runt, oberoende av belastningen.</p> <p>Slutarbetets syfte var att utreda energibesparingspotentialen för behovsstyrd ventilation i småhus. Simuleringsprogrammet IDA ICE användes för undersökningen av energiförbrukningen. Som simuleringsobjekt valdes två småhus ur Kastellis huskatalog; ett på 118 kvadratmeter och ett på 173 kvadratmeter. Ventilationen till båda husen dimensionerades för att möta upp dagens myndighetskrav och ett gott inomhusklimat. Två simuleringar gjordes för båda husen; den första med ett CAV-system och den andra med ett VAV-system.</p> <p>För det mindre huset blev den årliga energibesparingen i värmeenergi 218,4 kWh, vilket motsvarar 29 euro. I fläktenergi blev den årliga energibesparingen 364,6 kWh, vilket motsvarar 49 euro.</p> <p>För det större huset blev den årliga energibesparingen i värmeenergi 334,7 kWh, vilket motsvarar 45 euro. I fläktenergi blev den årliga energibesparingen 531 kWh, vilket motsvarar 71 euro.</p>	
Nyckelord:	Behovsstyrd ventilation, VAV, CAV, Inomhusklimat, Energieffektivitet, Småhus
Sidantal:	33
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	29.05.2019

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och Miljöteknik
Identification number:	7039
Author:	Atle Aldén
Title:	Demand controlled ventilation in residential buildings
Supervisor (Arcada):	Kaj Karumaa
Commissioned by:	Arcada, Department of energy and materials technology
Abstract:	
<p>Demand Controlled Ventilation (DCV), or Variable Air Volume System (VAV) is a ventilation system, where the airflow is controlled on the basis of occupancy or heat load, to save in fan- and heat energy costs. The opposite for a VAV-system is a CAV-system (“Constant Air Volume System”), which has a constant air flow, regardless of the occupancy or heat load in the building.</p> <p>The aim of the thesis was to research the energy saving potential for VAV-systems for two residential buildings; one with an area of 118m² and the other with an area of 173 m². The ventilation of the buildings was designed to meet up with the regulatory requirements for new residential buildings in Finland. The IDA ICE energy simulation software tool was used to simulate the energy usage behavior of the buildings. Two simulations were made for both buildings; the first one with a CAV-system and the second one with a VAV-system.</p> <p>For the smaller house the yearly energy-savings were 218,4 kWh in heat energy and 364,6 kWh in fan energy, resulting in annual energy cost savings of 29 euros and 49 euros respectively.</p> <p>For the bigger house the yearly energy-savings were 334,7kWh in heat energy and 531kWh in fan energy, resulting in annual energy cost savings of 45 euros and 71 euros respectively.</p>	
Keywords:	Demand Controlled Ventilation, DCV, Variable Air Volume System, VAV, Indoor Climate, Energy Efficiency
Number of pages:	33
Language:	Swedish
Date of acceptance:	29.05.2019

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi- och Miljöteknik
Tunnistenumero:	7039
Tekijä:	Atle Aldén
Työn nimi:	Ilmamääräsäateinen ilmanvaihtojärjestelmä omakotitalossa
Työn ohjaaja (Arcada):	Kaj Karumaa
Toimeksiantaja:	Arcada, Energia- ja materiaalitekniikan osasto
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Ilmamääräsäateinen ilmanvaihtojärjestelmä (tai ”IMS-järjestelmä”) on ilmanvaihtojärjestelmä, joka säästää puhallin- ja lämpöenergiaa, säätämällä tilan ilmavirtoja henkilö- tai lämpökuorman perusteella. Tämän järjestelmän vastakohta on vakioilmavirta-järjestelmä, jonka ilmanvaihto on muuttumaton vuorokauden ympäri.</p> <p>Tämän lopputyön tavoite oli selvittää VAV-järjestelmän energiansäästöpotentiali omakotitalossa. Tutkimuskohteiksi valittiin kaksi omakotitaloa Kastellin katalogista; talot ovat pinta-aloiltaan 118m² ja 173m². Ilmanvaihto molempiin taloihin suunniteltiin ja mitoitettiin vastaamaan uusille taloille asetettuja viranomaisvaatimuksia. Energiankäytön tutkimiseen käytettiin IDA ICE-simulointiohjelmaa. Molemmille taloille on suoritettu kaksi simulointia; ensimmäinen CAV-järjestelmällä ja toinen VAV-järjestelmällä.</p> <p>Pienemmän talon vuotuinen energiansäästö VAV-järjestelmällä oli 218,4 kWh lämpöenergiassa, joka vastaa 29 euron vuotuista säästöä energiakustannuksissa. Puhallinenergian vuotuinen energiansäästö oli 364,6 kWh, joka vastaa 49 euron vuotuista säästöä energiakustannuksissa.</p> <p>Isomman talon vuotuinen energiansäästö oli 334,7 kWh lämpöenergiassa, joka vastaa 45 euron vuotuista säästöä energiakustannuksissa. Puhallinenergian vuotuinen energiansäästö oli 531 kWh, joka vastaa 71 euron vuotuista säästöä energiakustannuksissa.</p>	
Avainsanat:	Ilmamääräsäateinen, IMS, Tarpeenmukainen ilmanvaihto, VAV-järjestelmä, Omakotitalo, Sisäilmasto, Energiatohokkuus
Sivumäärä:	33
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	29.05.2019

INNEHÅLL

1	Introduktion.....	8
2	Inomhusklimat	9
2.1	Inomhustemperatur	9
2.2	Luftkvalitet	10
2.3	Fuktighet.....	11
2.4	Ljud.....	11
3	Ventilation	11
3.1	CAV	12
3.2	VAV	13
3.1	Funktionsprincipen för behovsstyrd ventilation	14
3.2	Ventilationens energieffektivitet.....	16
3.3	Ventilation i småhus	18
4	Simuleringsobjekten.....	19
5	Resultat	20
6	Diskussion	21
	Källor	23
	Bilagor	25

Figurförteckning

Figur 1. Principskiss på ett CAV-system.....	12
Figur 2. Principskiss på ett rumsreglerat VAV-system.....	13
Figur 3. Principskiss på ett zonreglerat VAV-system.....	14
Figur 4. Motorspjäll, som används i VAV-system för att reglera luftflödet i ventilationskanalen.....	15
Figur 5. Styrpanelen ”eAir” av Enervent.....	16

Tabellförteckning

Tabell 1. IDA ICE-simuleringarnas resultat av energiförbrukningen av ventilationsaggregaten.....	21
--	----

Bilagaförteckning

Bilaga 1. Luftflöden till fastigheten Economy 118.....	25
Bilaga 2. Luftflöden till fastigheten Valkama173.....	26
Bilaga 3. Ventilationsritning av Economy118.....	27
Bilaga 4. Ventilationsritning av Valkama173, första våningen.....	28
Bilaga 5. Ventilationsritning av Valkama173, andra våningen.....	29
Bilaga 6. Resultaten av Enervents Energy optimizer för ventilationsaggregatet till Economy118.....	30
Bilaga 7. Resultaten av Enervents Energy optimizer för ventilationsaggregatet till Valkama173.....	31
Bilaga 8. Beräkningar av energibesparingarna baserade på resultaten av IDA ICE-simuleringarna.....	32
Bilaga 9. Kostnadsbesparingsberäkningar.....	33

Förkortningar

CAV	Konstant luftutbyte (Constant Air Volume)
VAV	Behovsstyrd ventilation (Variable Air Volume)
IDA-ICE	Energisimuleringsprogram (IDA Indoor Climate and Energy)
SFP	Specifik fläkteffekt (Specific Fan Power)
VVS	Vatten, Värme, Sanitet

1 INTRODUKTION

Klimatförändringen och dagens myndighetskrav sätter allt högre krav på fastigheters energieffektivitet. Behovsstyrd ventilation är ett sätt att spara på el- och värmeenergi och samtidigt behålla, eller även förbättra kvaliteten på inomhusluften.

Bakgrunden till valet av ämnet var intresset för hur behovsstyrd ventilation kan tillämpas i småhus för att nå ett bättre inomhusklimat mer energieffektivt på ett ekonomiskt lönsamt sätt. Resultaten och själva arbetet kan användas främst av VVS-planerare, för att bekanta sig med principerna i ett behovsstyrt ventilationssystem och hur ett sådant system kan implementeras till ett småhus för att nå de myndighetskrav som ställs upp för ventilationssystem på ett kostnads- och energieffektivt sätt.

Behovsstyrd ventilation används främst i byggnader med högt varierande person- och värme-belastning, som t.ex. skolor, kontorsutrymmen, idrottssalar. Arbetets syfte är att utreda vilken energibesparingspotential ett behovsstyrt ventilationssystem har i småhus. Arbetet presenterar också grunderna för ett gott inomhusklimat, principerna för de två jämförda ventilationssystemen, ventilationens energieffektivitet, samt myndighetskrav som bör uppfyllas då man planerar VAV-system till småhus.

2 INOMHUSKLIMAT

Med inomhusklimat avses de fysikaliska, kemiska och mikrobiologiska faktorer som påverkar människans hälsa och trivsel i byggnader. *Inomhustemperatur, luftkvalitet och ljudteknisk funktionalitet* är de tre viktigaste delområdena inom ventilationsplanering för att trygga ett gynnsamt inomhusklimat. [4, p. 37]

2.1 Inomhustemperatur

Största delen av byggnaders energiförbrukning går åt till att med uppvärmnings- och ventilationssystem nå sådana förhållanden som är optimala för människans trivsel, hälsa och produktivitet. [4, p. 37]

När luftens temperatur stiger, så sjunker den relativa fukthalten, om ingen vattenånga tillförs luften. På vintern, då kall uteluft värms upp, kan inomhusluften upplevas som torr och unken. Dessutom är mängden av luftförorenande partikelemissioner från flera material och människan proportionella mot inomhustemperaturen. Speciellt på vintern, d.v.s. under uppvärmningsperioden, har det visat sig att människornas upplevda inomhusluftsymptom ökar snabbt då inomhustemperaturen överskrider optimalnivån. För att undvika huvudvärk, trötthet och andra luftkvalitetsrelaterade hälsoproblem är det skäl att undvika inomhustemperaturen högre än 23 °C under uppvärmningsperioden. Enligt *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders inomhusklimat och ventilation* bör man använda 21 °C som inomhustemperaturens planeringsvärde för uppvärmningsperioden. [4, p. 47] [5, p. 3]

Ökningar eller ändringar i luftströmmars hastigheter och riktningar kan orsaka en otrevlig upplevd känsla av drag. Luftens temperatur, värmestrålning och luftens rörelse påverkar känslan av drag. Människan är mer känslig för drag då rumstemperaturen är lägre än vid en temperatur som upplevs neutral/optimal. [4, p. 47]

2.2 Luftkvalitet

Luftburna föroreningspartiklar orsakar märkbara hälsoskador för människan. Hälsoproblem orsakade av dåligt inomhusklimat är oftast förknippade med hög inomhustemperatur, dammiga utrymmen, höga halter av organiska föreningar och lågt luftutbyte. Generellt gäller att ökat luftutbyte minskar risken för luftrelaterade hälsoproblem. I bekämpning av uppkomsten av luftförorenande partiklar bör tyngdpunkten dock vara i strävan att eliminera föroreningskällorna, istället för dimensionering av ventilationen på basen av dessa. [4, pp. 58-59]

Med lufttät klimatskal, effektiv filtrering av tilluftens småpartiklar och optimala rådande tryckförhållanden i huset, kan största delen av de *externa föroreningskällorna* elimineras. Med externa föroreningskällor syftar man till utelufts-burna småpartiklar och radon. [4, pp. 56-57]

Till *inre föroreningskällor* hör föroreningspartiklar som har sitt ursprung i byggmaterial, inredningsmaterial, människan och aktiviteter. Med användning av bygg- och inredningsmaterial med låga utsläpp kan de inre föroreningskällorna minskas märkvärdigt. [4, p. 59]

Människans utandningsluft innehåller koldioxid. Koldioxid i sig själva är inte skadligt, men dess mängd i luften kan ses som proportionell med andra luftföroreningar som härstammar från människan. En hög koldioxidhalt motsvarar oftast ett otillräckligt luftutbyte. [4, p. 63]

Enligt *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders inomhusklimat och ventilation* bör planeringsvärdet för rummets koldioxidhalt under vistelseperioden vara högst 1450 mg/m³ högre än uteluftens koldioxidhalt. [5, p. 3]

2.3 Fuktighet

Byggnadens ytor och konstruktioner, som under längre tider utsätts för fukt, börjar bilda mikrosväxt. Mikrosväxt innehåller komponenter som sprider sig med luften och är skadliga för hälsan. Varm fuktig luft, som kommer in i konstruktioner, avger vatten, dvs. kondenserar, då den kommer i kontakt med kalla ytor. Luftutbytets storlek påverkar hur snabbt fukten avdunstar. Med ventilationen bör man sträva till att hålla inomhusluften en aning i undertryck relativt till utomhusluften, för att undvika att inomhusluften rör sig igenom klimatskalet. Ångspärr hindrar att vatten och fuktig luft kommer igenom konstruktionen. Köldbryggor, där det finns risk för kondensering och mikrosväxt, är byggnadsdelar med lokalt sämre isoleringsförmåga än de omgivande byggnadsdelarna. Tilläggsisolering motverkar uppkomsten av köldbryggor, [6]

Inomhusluftens fukthalt bör hållas under de gränser som sätts för ifrågakvarande utrymme, för att undvika fuktskador, mikrosväxt och fuktrelaterade hälsoproblem. [5, p. 3]

2.4 Ljud

Människor upplever ljud på olika sätt och när bullret blir tillräckligt stort, kan det orsaka sömnsvårigheter, försämrad koncentrationsförmåga eller t.o.m. hörselskador. I luftkonditioneringssystem uppstår ljud från olika källor, som: fläktar, motorspjäll, kylmaskiner, etc. För att ljudet av dessa komponenter inte skulle upplevas som störande, bör de ljudisoleras. Det har uppkommit fall, där man upplevt ljudet från ventilationen störande och styrt ner på ventilationen, som har resulterat i ett otillräckligt luftutbyte i byggnaden. [4, p. 68]

3 VENTILATION

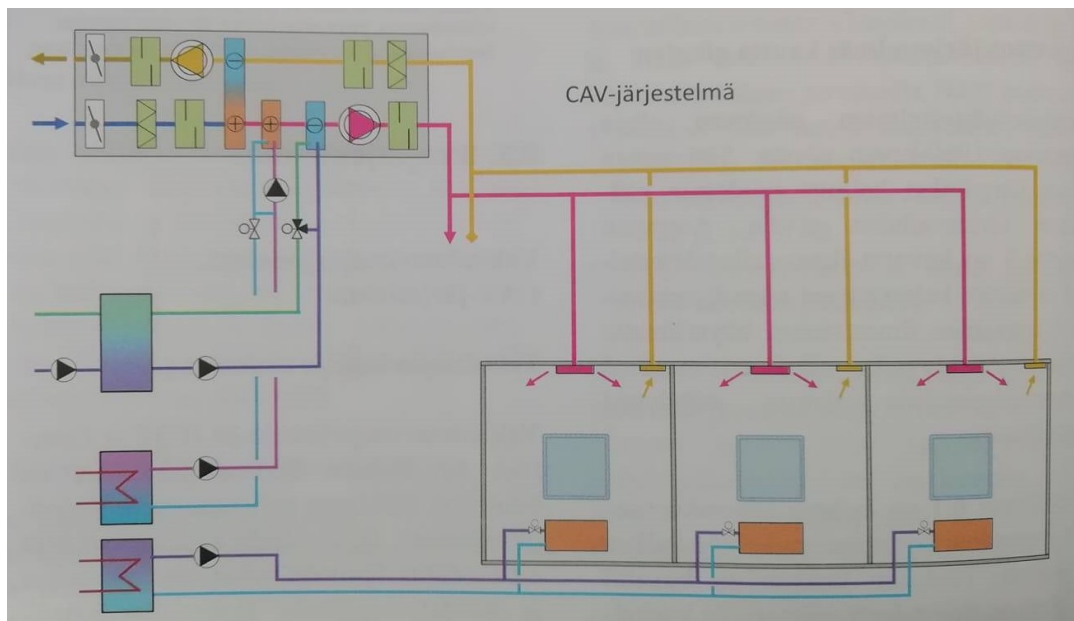
Ventilationens huvudsakliga uppgift är att avleda föroreningar från inomhusluften för att upprätthålla ett trivsamt, tryggt och hälsosamt inomhusklimat i vistelsezonen. [5, p. 4] [7, p. 5]

Med ventilationssystem avses ett system som strävar till att uppnå de krav som ställts upp för *kvaliteten på inomhusluften* i fastigheten och bör inte blandas ihop med luftkonditioneringssystem, vars uppgift är att dessutom sköta om värmeförhållandena i fastigheten. [2, p. 113]

3.1 CAV

CAV står för "*Constant Air Volume*" och är ett ventilations- eller luftkonditioneringssystem som har en konstant luftström oberoende av personbelastningen i utrymmet. CAV-systemets luftutbyte är alltså oreglerbart och dimensioneras oftast enligt sommarperiodens kylbehov om det är frågan om ett luftkonditioneringssystem, eller enligt vistelseperiodens personbelastning då det är frågan om ett ventilationssystem. [1, pp. 131,132]

Nedan finns en principskiss på ett CAV-system. Ventilationsaggregatet består av spjäll, ljuddämpare, luftfilter, fläktar, roterande värmeväxlare samt värme- och kylbatteri för tilluften.



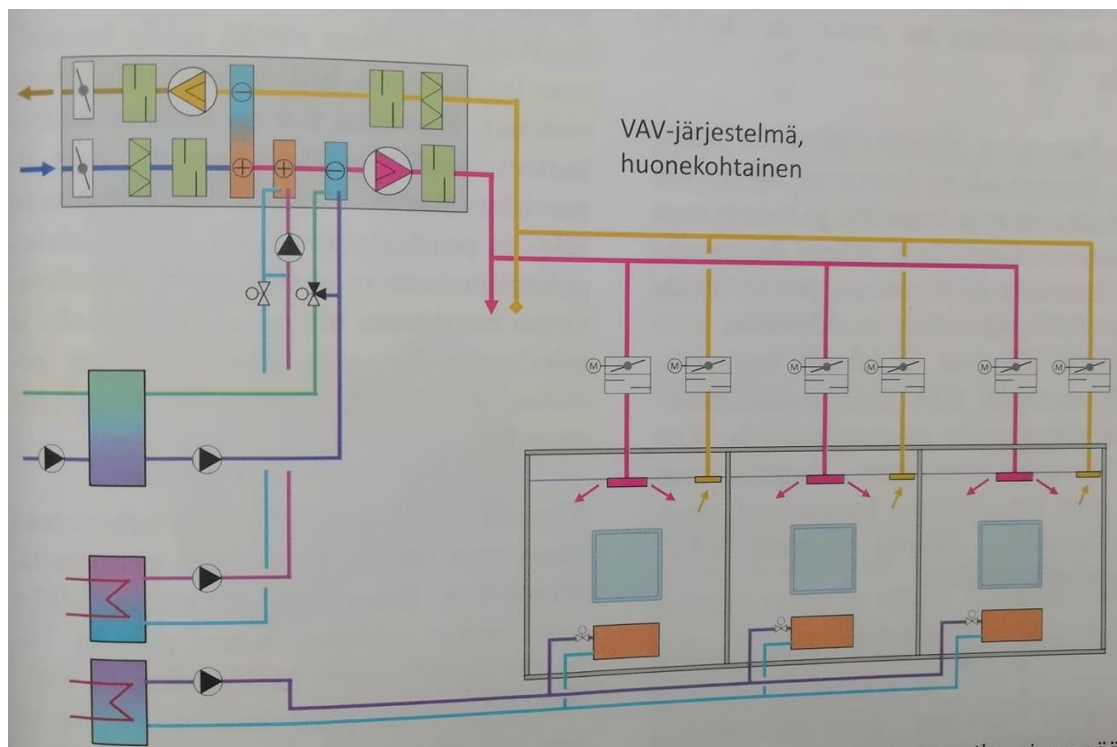
Figur 1. Principskiss på ett CAV-system. [1, p. 132]

3.2 VAV

VAV står för ”Variable Air Volume” och är ett behovsstyrt ventilations- eller luftkonditioneringssystem där luftflödet till utrymmet regleras på basis av person- eller värmebelastningen [1, pp. 133,134]. Med att minska på luftflödet sparar man i fläkt-energi och värmeenergi, som används för att värma upp tilluften. Behovsstyrd ventilation har också potential att förbättra inomhusklimatet, eftersom systemet strävar till att i realtid upprätthålla ett luftutbyte baserad på den verkliga belastningen i utrymmet. [1, p. 136]

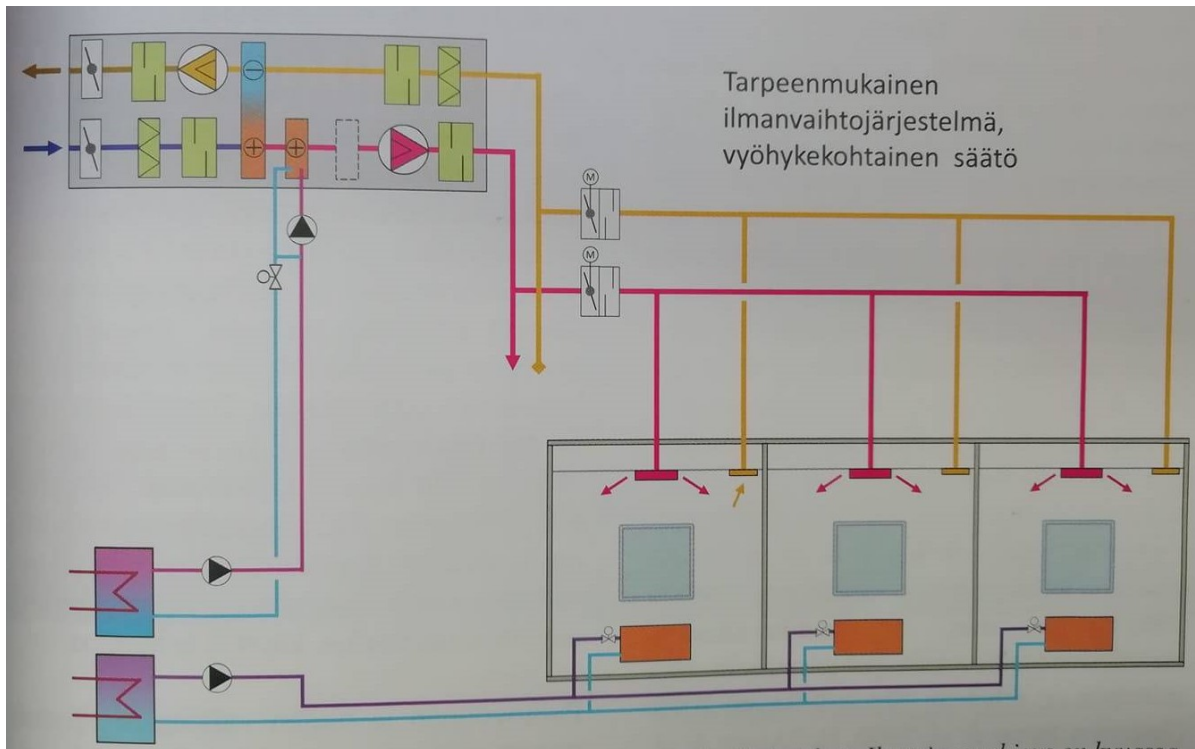
VAV-system är oftast rumsreglerade, vilket betyder att luftflödet regleras skilt för varje enskilt rum. Zonreglering, där flera rum styrs som en helhet, lämpar sig bäst då alla rum i zonen har tidsmässigt rätt jämlika värmebelastningar. [2, pp. 133,136]

Nedan finns en principskiss på ett rumsreglerat VAV-system. Tillufts- och frånluftskanalen till varje rum har motorspjäll, som reglerar luftflödet till rummen. Ventilationsaggregatet består av spjäll, ljuddämpare, luftfilter, roterande värmeväxlare samt ett värme- och kylbatteri för tilluften.



Figur 2. Principskiss på ett rumsreglerat VAV-system. [1, p. 133]

Nedan finns en principskiss på ett zonreglerat VAV-system. Luftflödet till flera rum styrs med endast ett motorspjäll i tilluftskanalen och ett motorspjäll i frånluftskanalen. Ventilationsaggregatet består av spjäll, ljuddämpare, luftfilter, roterande värmeväxlare samt ett värmebatteri för uppvärmning av tilluften.



Figur 3. Principskiss på ett zonreglerat VAV-system. [2, p. 127]

Typiskt tillämpas VAV-system i utrymmen där värme- eller personbelastningen varierar kraftigt tidsmässigt. Sådana utrymmen är t.ex.: klassutrymmen, kontorsutrymmen eller affärsutrymmen. [1, p. 134]

3.1 Funktionsprincipen för behovsstyrd ventilation

Luftflödet i ett VAV-system kan styras på basis av uppmätt data från sensorer som mäter utrymmets personantal, koldioxidhalt eller temperatur. Luftflödet kan också regleras enligt ett tidsprogram/-schema som inmatas i automationssystemet. [1, p. 134]

I VAV-system är luftflödet till zonerna beroende på motorspjällens läge och trycket i kanalsystemet. Då motorspjällen ändrar läge för att antingen öka eller sänka luftflödet, regleras fläktvarvtalet med en frekvensomriktare för att upprätthålla ett visst förhållande mellan det statiska trycket i kanalsystemet och byggnaden. Ett lägre statiskt tryck i kanalsystemet är mer energieffektivt än ett högre. [1, p. 134]



Figur 4. Motorspjäll, som används i VAV-system för att reglera luftflödet i ventilationskanalen. [1, p. 135]

Ett motorspjäll kostar kring 600-850 euro, beroende på kanalstorleken. [8, p. 16]

Ventilationen kan också styras manuellt från en styrpanel. Detta tillämpar sig bra i bostäder, där användaren själv kan ställa in ventilationen på olika lägen, som t.ex. ”hemma” eller ”borta”. Ventilationen kan också styras på distans via nätet. [3]



Figur 5. Styrpanelen ”eAir” av Enervent. [3]

3.2 Ventilationens energieffektivitet

Ventilationen har en betydande inverkan på energiförbrukningen i byggnader. Det går åt *värmeenergi* till att värma upp tilluften och *elenergi* till fläktarna som driver luftutbytet i byggnaden. Energiförbrukningen är beroende från luftströmmarnas storlek samt ventilationsystemets uppbyggnad och funktion. [7, pp. 5,7]

I slutrapporten ”*Grunderna för ventilationens dimensionering*”, publicerad av FINVAC, har man analyserat energiförbrukningens fördelning i fyra typiska byggnader. Grovt uppskattat är ventilationens andel en tredjedel av den totala energiförbrukningen. I slutsatsen betonas att man bör sträva till behovsstyrd ventilation, eftersom en otillräcklig ventilation resulterar i större kostnader på sikt. [7, p. 9]

För att minska den värmeenergi som krävs till att värma upp luften används värmeåtervinning av frånluften [7, p. 5]. Dagens roterande värmeväxlare kan nå en verkningsgrad på upp till 80-85 % [9, p. 161]

Ventilationsaggregatets värmeenergiebehov, d.v.s. den värmeenergi som går åt till att med ett värme-batteri uppvärma tilluften, kan räknas med formeln:

$$Q_{ventilation} = t_d t_v \rho_{luft} c_{p,luft} q_{v,tilluft} \left((T_{inomhus} - \Delta T_{fläkt}) - T_{vv} \right) \Delta t / 1000$$

Där:

$Q_{ventilation}$ = värmeenergin som går åt att värma upp tilluften, kWh

t_d = Ventilationsaggregatets genomsnittliga dyngliga drifttid, h/24h

t_v = Ventilationsaggregatets genomsnittliga veckoliga drifttid, dygn/7dygn

ρ_{luft} = Luftens densitet, 1,2 kg/m³

$c_{p,luft}$ = Luftens specifika värmekapacitet, 1 kJ/kg°C

$q_{v,tilluft}$ = Utrymmets tilluftsflöde, m³/s

$T_{inomhus}$ = Inomhustemperatur, °C

$\Delta T_{fläkt}$ = Luftens temperaturökning i fläkten, °C

T_{vv} = Luftens temperatur efter värmväxlaren, °C

Δt = tidsperiodens längd, h

[10, p. 449]

Fläktens elenergiförbrukning kan räknas med formeln:

$$W_{fläkt} = \sum SFP q_v \Delta t$$

Där:

$W_{fläkt}$ = Fläktens elenergiförbrukning, kWh

SFP = Specifik fläkteffekt, kW/(m³/s)

q_v = fläktens luftflöde, m³/s

Δt = fläktens användningsperiod, h

[10, pp. 453,454]

SFP-talet räknas med formeln:

$$SFP = \frac{P_{fläkt}}{q_v}$$

Där:

SFP = Specifik fläkteffekt, kW/(m³/s)

P_{fläkt} = Fläktens eleffekt, kW

q_v = Fläktens luftflöde, m³/s

[10, p. 454]

Enligt *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energieffektivitet* är ventilationsaggregatets högsta tillåtna SFP-tal 1,8 kW/(m³/s). [11, p. 14]

3.3 Ventilation i småhus

Ventilationsplaneraren måste se till att luftutbytet till fastigheten dimensioneras tillräckligt stort för att trygga ett inomhusklimat som består av hälsosam, trygg och trevlig kvalitet på inomhusluften. Det finns dock vissa minimikrav som måste uppfyllas. [5, p. 4]

Vistelsezonens luftutbyte bör dimensioneras till minst 6 dm³/s per person under planerad vistelsetid och för hela fastigheten (0,35 dm³/s)/m²_{golvyta} under planerad vistelsetid. Minimi tilluftsflödet för en bostadslägenhet är 18 dm³/s. [5, p. 4]

Bosättningsutrymmens ventilation bör planeras så att det för hela fastigheten vid behov går att förstärka luftutbytet med minst 30 % av vistelseperiodens planerade luftutbyte. Hela fastighetens luftutbyte kan minskas med högst 60 % av vistelseperiodens planerade luftutbyte. [5, p. 4]

FINVAC ry har publicerat en *Guide för ventilationens dimensionering i bostadshus*, som ett hjälpmedel för dimensionering av ventilation för att nå de krav som ställs i *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders inomhusklimat och ventilation*. [12]

4 SIMULERINGSOBJEKTEN

För att jämföra energiförbrukningen av CAV-system mot VAV-system i småhus byggdes två IDA-ICE simuleringsmodeller.

Simuleringsmodellerna baserar sig på husmodellerna ”*Economy 118*” och ”*Valkama 173*” ur Kastellis huskatalog [13]. *Economy 118* har en area på 118 m², vilket är nära den genomsnittliga arean 112 m² för småhus i Finland år 2017 [14]. *Valkama 173* har en area på 173 m².

Mantelns U-värden för båda husen är valda enligt jämförelsevärdena i *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energieffektivitet*, för att uppfylla de myndighetskrav som ställs upp för dagens nybyggnader.

- Yttervägg 0,17 W/m²K
- Yttertak 0,09 W/m²K
- Bottenbjälklag 0,17 W/m²K
- Fönster och dörrar 1,0 W/m²K

[11, p. 11]

Bostädernas luftutbyten är dimensionerade enligt de anvisningar som finns i publikationen *Guide för ventilationens dimensionering i bostadshus*, av FINVAC ry. Guiden behandlar ventilationens dimensionering enligt de krav som finns i *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders inomhusklimat och ventilation* [12, p. 2]. För var sitt hus gjordes en tabell, som innehåller luftutbytet till varje enskilt rum, beroende på användningssyfte; se bilaga 1 för *Economy 118*, samt bilaga 2 för *Valkama 173*. BIM-programmet MagiCAD användes för ventilationsplaneringen; för ventilationsritningarna se bilaga 3 för *Economy 118*, samt bilagorna 4-5 för *Valkama 173*.

Till valet av ventilationsaggregat har använts dimensioneringsprogrammet ”Energy optimizer” av ventilationsaggregatstillverkaren Enervent [15]. Till huset *Economy 118* har valts aggregatet ”LTR-3 eAir E” och till huset *Valkama 173* har valts aggregatet ”LTR-4 eAir E”; för resultaten av Energy optimizer se bilaga 6 och 7. Fläktarnas SFP-tal, samt värmeväxlarnas verkningsgrad till IDA ICE modellerna är valda enligt resultaten av dimensioneringsprogrammet Energy Optimizer, för att motsvara de valda ventilationsaggregaten. Aggregatet för *Economy 118* har ett SFP-tal på 1.26 kW/(m³/s) och dess värmeväxlare en verkningsgrad på 78,1 %. Aggregatet för *Valkama 173* har ett SFP-tal på 1,27 kW/(m³/s) och dess värmeväxlare en verkningsgrad på 77,3 %.

För båda husen gjordes två IDA ICE simuleringar. Den första simuleringen (CAV) är gjord med konstant luftutbyte dygnet runt, som motsvarar det planerade luftutbytet under vistelseperioden, samt en timmes förstärkt luftutbyte per dag, för bastu/matlagning. Den andra simuleringen (VAV) är gjord identisk som den första, förutom att luftutbytet körs ner med 60 % under tiden 07:00-16:30 på vardagar och 12:00-15:00 på veckoslut, då bostaden antas vara tom p.g.a. jobb, skola och fritidsaktiviteter. Detta VAV-system kräver inga motorspjäll, eftersom hela husets luftutbyte styrs endast genom att justera fläktvarvtalet och kräver därför inga tilläggskostnader vid installation. Styrpanelen ”eAir” (se kap. 3.3), som möjliggör behovsstyrda ventilationen enligt de boendes egna tidtabeller, hör till standardutrustning som kommer med båda aggregaten.

5 RESULTAT

Nedan finns en tabell på IDA ICE-simuleringarnas resultat av energiförbrukningen av ventilationsaggregaten. För beräkningarna baserade på resultaten se bilaga 8 och 9. Kostnadsbesparingarna är beräknade med ett uppskattat elpris av 0,1335€/kWh.

	Uppvärmning av tilluften, kWh	Värmeväxlarens värmeåtervinning, kWh	Fläktenergi, kWh
Economy 118, CAV	1439,2	10 857,6	1571,5
Economy 118, VAV	1220,8	9092,7	1206,9
Valkama 173, CAV	2171,6	15 521	2278
Valkama 173, VAV	1836,9	12 983,1	1747,1

Tabell 1. IDA ICE-simuleringarnas resultat av energiförbrukningen av ventilationsaggregaten.

Den årliga energibesparingen i värmeenergi för **Economy 118** blev 218,4 kWh, vilket motsvarar 29 euro. Den årliga energibesparingen i fläktenergi för **Economy 118** blev 364,6 kWh, vilket motsvarar 48,7 euro.

För **Valkama 173** blev den årliga energibesparingen i värmeenergi 334,7 kWh, vilket motsvarar 44,7 euro. Den årliga energibesparingen i fläktenergi för **Valkama 173** blev 531 kWh, vilket motsvarar 70,9 euro.

6 DISKUSSION

Resultaten visar att det i småhus är möjligt att spara på energi med behovsstyrd ventilation. Kostnadsbesparingarna rör sig dock endast kring 100 €/år och är så små, att det inte lönar sig att investera i ett VAV-system som kräver motorspjäll. Ventilationsaggregaten som valts till detta arbete möjliggör en behovsstyrd ventilation med en styrpanel, som hör till deras standardutrustning och kräver inga tilläggskostnader för att ”övergå” från CAV till VAV.

Eftersom värmeväxlarens verkningsgrad är så hög, är tilluftens värmeenergibehov litet, vilket gör också skillnaden mellan CAV- och VAV-systemets värmeenergibehov litet. I ett liknande system med en sämre värmeväxlare, skulle besparingarna vara större.

För att undvika fuktskador, kunde en fuktsensor installeras i badrummet, som hindrar att ta ner på luftutbytet strax efter att någon duschat, så att fukten kunde först effektivt avdunsta.

För att garantera ett gott inomhusklimat med ett VAV-system, krävs det att användaren förstår sig på styrpanelens styrmöjligheter. Om användaren styr ner på ventilationen för mycket när huset är bosatt, kan det resultera i försämrad kvalitet på inomhusluften. På andra sidan möjliggör styrpanelen en förbättrad kvalitet på inomhusluften då den används rätt.

KÄLLOR

- [1] H. R. & E. Sandberg, ”Ilmastointijärjestelmät,” i *Sisäilmasto ja ilmastointitekniikka*, Helsinki, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016, pp. 129-151.
- [2] E. S. & H. Ripatti, ”Ilmanvaihtojärjestelmät,” i *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät*, Helsinki, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016, pp. 113-128.
- [3] Enervent, ”Ilmanvaihdon ohjaaminen kotona,” 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://www.enervent.fi/control/>. [Använd 03 04 2019].
- [4] J. S. & H. Koskela, ”Sisäilmasto,” i *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät*, Helsinki, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016, pp. 37-79.
- [5] Miljöministeriet, ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta,” 27 12 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. [Använd 03 04 2019].
- [6] Sisäilmayhdistys, ”Homevaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Homevaurioiden-ehkaisy-ja-tunnistaminen>. [Använd 11 04 2019].
- [7] Finvac ry, ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet,” 30 11 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.talotekniikkainfo.fi/esimerkit/ilmanvaihdon-mitoituksen-perusteet>. [Använd 03 04 2019].
- [8] Swegon, ”Hinnasto 2019,” 2019 01 2019. [Online]. Tillgänglig: http://www1.swegon.com/Global/Finland/Espoo/Sis%C3%A4ilmahinnasto%202019_070219.pdf. [Använd 08 04 2019].

- [11] Miljöministeriet, ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta,” 20 12 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>. [Använd 03 04 2019].
- [12] Finvac ry, ”Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen,” 30 11 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.talotekniikkainfo.fi/file/opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen-2017-11-30pdf>. [Använd 03 04 2019].
- [13] Kastelli, ”ECONOMY 118/136,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.kastelli.fi/fi/talomallisto/talomallit-omakotitalo/economy/economy-118136/>. [Använd 03 04 2019].
- [14] Statistikcentralen, ”Asuntokanta 2017,” 2018. [Online]. Tillgänglig: https://www.stat.fi/til/asas/2017/01/asas_2017_01_2018-10-10_kat_001_fi.html. [Använd 03 04 2019].
- [15] Enervent, ”Mitoitusohjelma Energy Optimizer,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.enervent.fi/optimizer/>. [Använd 03 04 2019].
- [16] Helsingin Energia, ”Hinnastot ja edut,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/hinnastot/>. [Använd 09 04 2019].
- [17] Helsingin Energia, ”Perussähkö,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.helen.fi/sahko/kodit/sahkosopimus/perussahko/>. [Använd 09 04 2019].
- [18] Helsingin Energia, ”Sähkön siirtohinasto,” 01 07 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/hsv/sahkon-siirtohinasto.pdf>. [Använd 09 04 2019].
- [19] Kastelli, ”VALKAMA 173/195,” 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.kastelli.fi/fi/talomallisto/talomallit-omakotitalo/valkama/valkama-173195/>. [Använd 03 04 2019].

BILAGOR

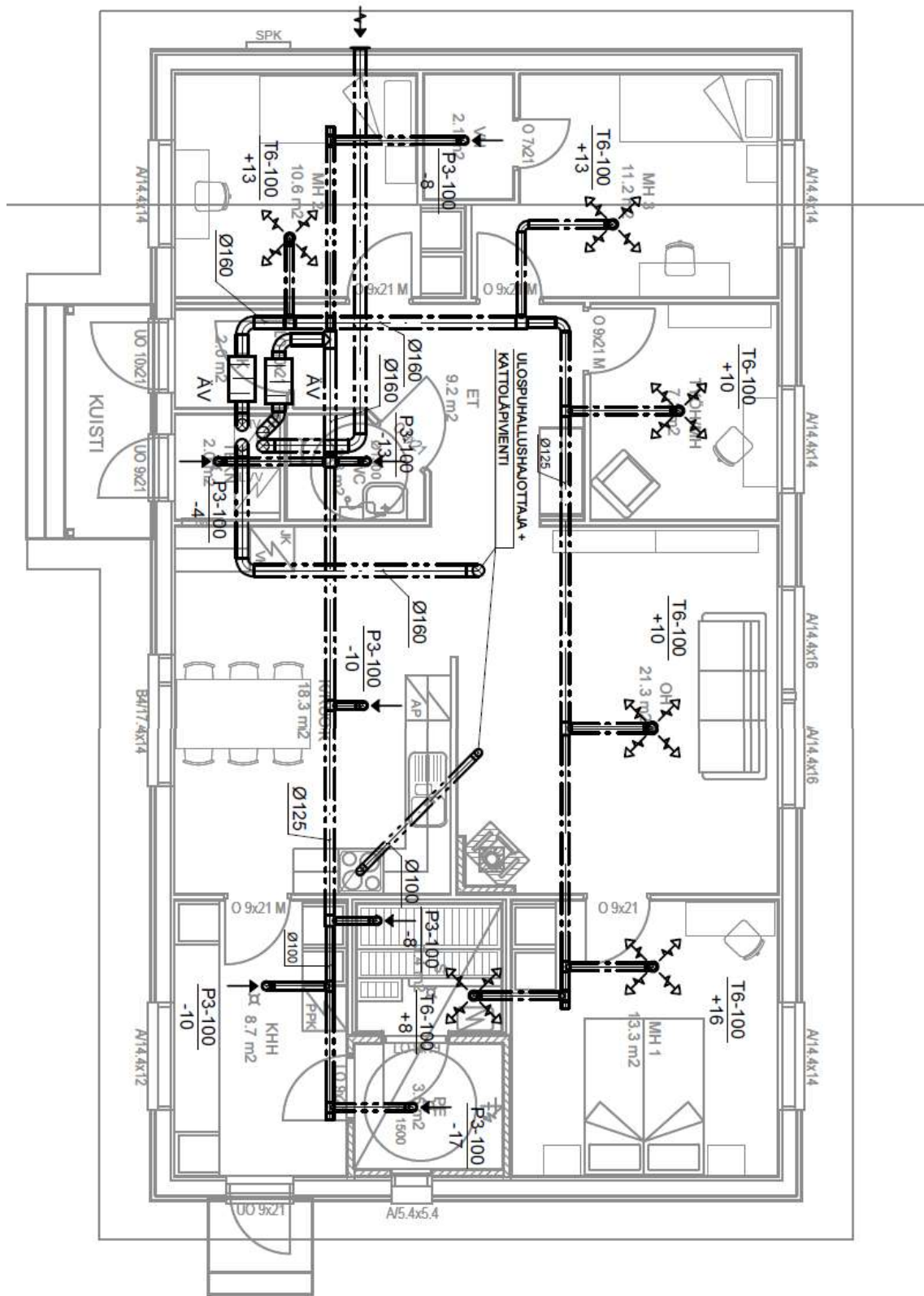
	Sovrum 1, dm ³ /s	Sovrum 2, dm ³ /s	Sovrum 3, dm ³ /s	Arbetsrum, dm ³ /s	Vardagsrum, dm ³ /s	Sammanlagd Tilluft, dm ³ /s	Kök, dm ³ /s	WC, dm ³ /s	Bastu, dm ³ /s	Tvätttrum, dm ³ /s	Hemvårdsrum, dm ³ /s	Klädrum, dm ³ /s	Tekniskt utrymme, dm ³ /s	Sammanlagd Frånluft dm ³ ,s
Rums-specifika luftflöden enligt anvisningar	12	8	8	8	8	50	8	7	+6	10	8	6	3	48
Planerade luftflöden under vistelseperioden	12	10	10	8	8	54	8	10	+6	13	8	6	3	54
Planerade luftflöden under förstärkt luftutbyte	16	13	13	10	10	70	10	13	+8	17	10	8	4	70
Förstärkt luftutbyte under matlagning	16	13	13	10	10	71	25	10	+9 -6	13	8	6	3	71

Bilaga 1. Luftflöden till fastigheten Economy 118.

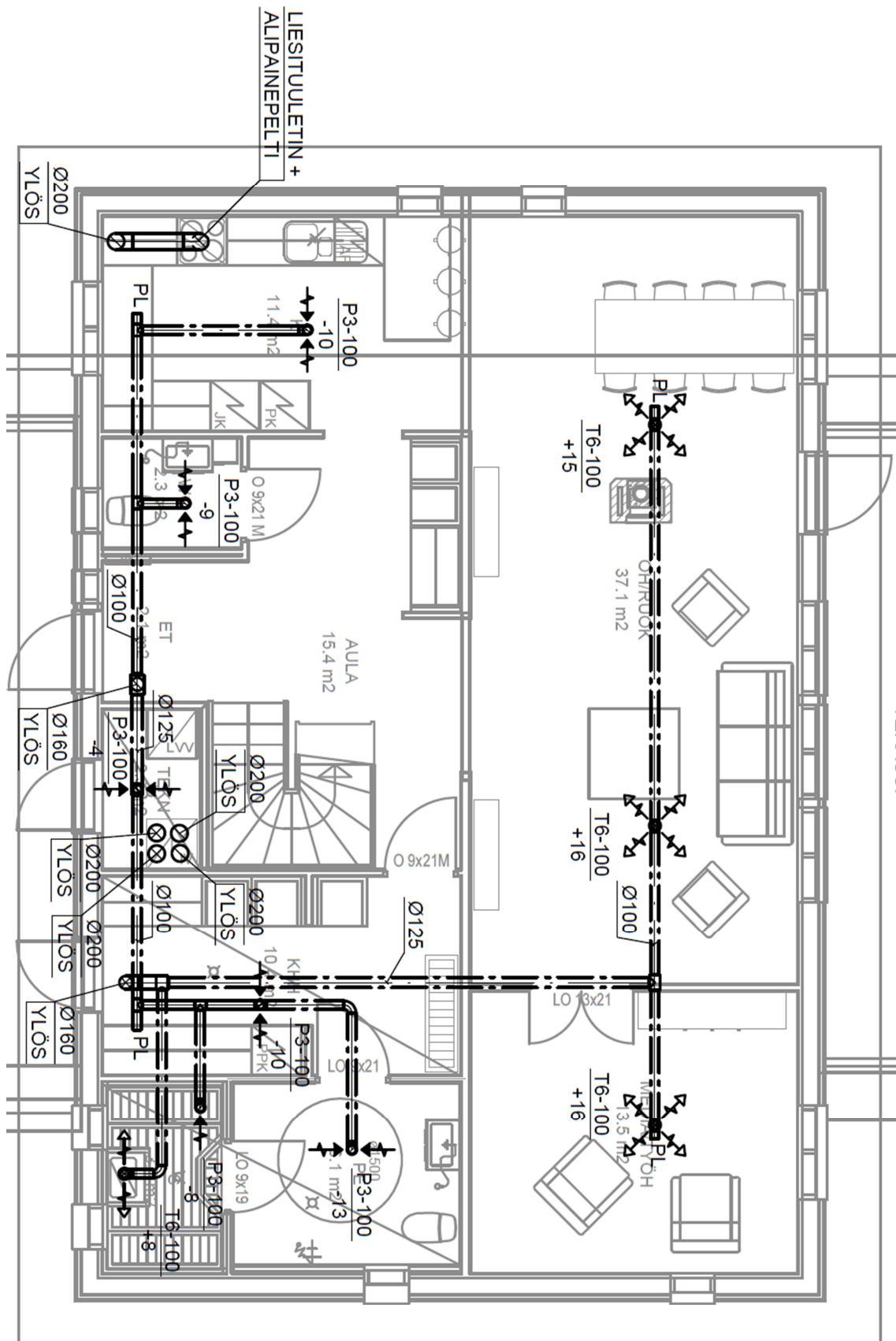
	Vardagsrum (nedre vån.), dm ³ /s	Arbetsrum (nedre vån.), dm ³ /s	Sovrum 1 (övre vån.), dm ³ /s	Sovrum 2-4 (övre vån.), dm ³ /s	Sammanlagd Tilluft, dm ³ /s
Rums-specifika luftflöden enligt anvisningar	13	8	12	24	63
Planerade luftflöden under vistelseperioden	24	12	12	24	78
Planerade luftflöden under förstärkt luftutbyte	31	16	16	31	102
Förstärkt luftutbyte under matlagning	28	15	15	30	95

	Kök (nedre vån.), dm ³ /s	WC (nedre vån.), dm ³ /s	Tekniskt utrymme (nedre vån.), dm ³ /s	Hemvårdsrum (nedre vån.), dm ³ /s	Tvätttrum (nedre vån.), dm ³ /s	Bastu (nedre vån.), dm ³ /s	Klädrum (övre vån.), dm ³ /s	WC (övre vån.), dm ³ /s	Aula (övre vån.), dm ³ /s	Sammanlagd Frånluft dm ³ ,s
Rums-specifika luftflöden enligt anvisningar	8	7	3	8	10	+6	6	7	0	55
Planerade luftflöden under vistelseperioden	8	7	3	8	10	+6	6	14	16	78
Planerade luftflöden under förstärkt luftutbyte	10	9	4	10	13	+8	10	18	21	103
Förstärkt luftutbyte under matlagning	25	7	3	8	10	+6	6	14	16	95

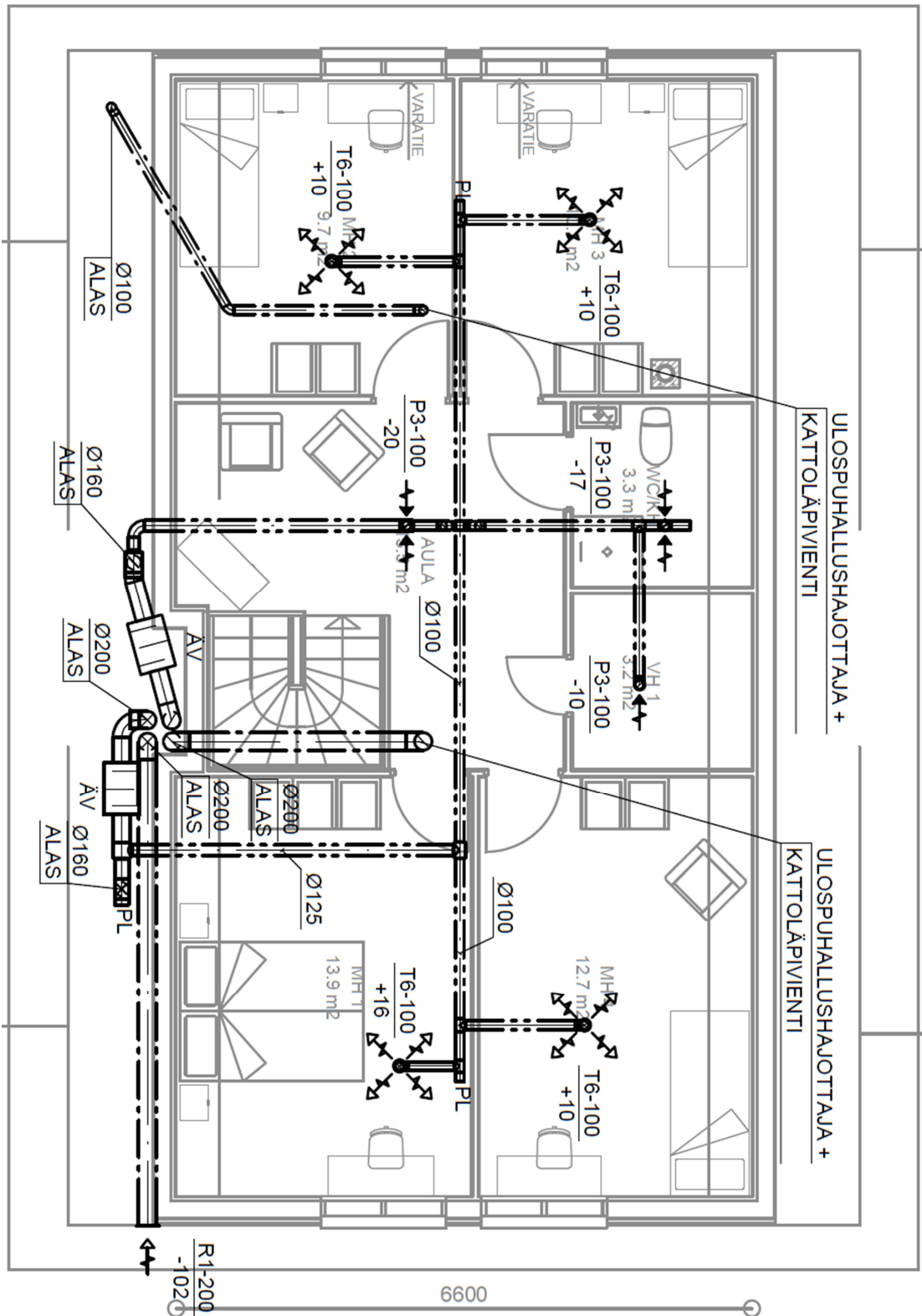
Bilaga 2. Luftflöden till fastigheten Valkama173.



Bilaga 3. Ventilationsritning av Economy118.



Bilaga 4. Ventilationsritning av Valkama 173, första våningen.



Bilaga 5. Ventilationsritning av Valkama 173, andra våningen.

LTR-3 eAir E

Puhaltimet

	Tulo	Poisto
Mitoituspisteessä		
Puhallinnopeus	67 %	67 %
Syötetty ilmavirta	70 l/s	70 l/s
Kanavapaine	62 Pa	67 Pa
Ottoteho	44 W	44 W
SFP	1.26 kW/(m ³ /s)	
Huipputeho		
Maksimi-ilmavirta	103 l/s	102 l/s
Maksimikanavapaine	135 Pa	142 Pa
Tehostusvara	48 %	46 %

Vuosilaskenta

Kaupunki	Helsinki, Suomi
Vuosihyötysuhde	78.1 %
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	78.1 %
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	9 206 kWh
Vuotuinen jälkilämmitystarve	420 kWh

Äänet (Lw)

	Taajuuudet [Hz]								dB	dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
Vaipan läpi	58	49	51	42	35	29	27	15	59.2	45.4
20 m ² absorptio LpA									38.4	
Tuloilmakanava	86	77	70	65	61	58	52	45	86.9	68.8
Poistoilmakanava	68	69	58	53	50	40	33	18	71.9	57.3
Ulkoiilmakanava	68	69	58	53	49	39	33	24	71.9	57.0
Jäteilmakanava	85	77	70	66	62	58	52	45	85.8	69.0

Ecodesign

SFPint	641 W/(m ³ /s)
--------	---------------------------

Talvi

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	-26 °C / 90 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	11.5 °C / 48 %RH
Hyötysuhde	78.1 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	18.0 °C / 32 %RH
Teho	0.56 kW

Huom! Tämä on ei ole vakioatteri tälle laitteelle. Huomauta tästä tilauksen yhteydessä."

Kesä

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	25 °C / 59 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	23.4 °C / 65 %RH
Hyötysuhde	78.1 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	23.4 °C / 65 %RH

Huom! Tämä on ei ole vakioatteri tälle laitteelle. Huomauta tästä tilauksen yhteydessä."

Bilaga 6. Resultaten av Enervents Energy optimizer för ventilationsaggregatet till Economy118.

LTR-4 eAir E

Puhaltimet

	Tulo	Poisto
Mitoituspisteessä		
Puhallinnopeus	71 %	68 %
Syötetty ilmavirta	102 l/s	103 l/s
Kanavapaine	83 Pa	72 Pa
Ottoteho	69 W	62 W
SFP	1.27 kW/(m ³ /s)	
Huipputeho		
Maksimi-ilmavirta	139 l/s	146 l/s
Maksimikanavapaine	153 Pa	145 Pa
Tehostusvara	36 %	42 %

Vuosilaskenta

Kaupunki	Helsinki, Suomi
Vuosihyötysuhde	77.3 %
Hyötysuhde yhtäsuurilla ilmavirroilla	77.6 %
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	13 396 kWh
Vuotuinen jälkilämmitystarve	624 kWh

Äänet (Lw)

	Taajuuudet [Hz]								dB	dB(A)	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k			
Vaipan läpi	55	57	50	51	47	34	26	21	60.3	51.3	
20 m ² absorptio LpA											44.3
Tuloilmakanava	72	73	69	65	64	63	56	47	77.4	69.7	
Poistoilmakanava	62	59	58	53	49	42	30	22	65.2	55.2	
Ulkoilmakanava	63	60	59	53	47	44	32	24	66.3	55.3	
Jäteilmakanava	70	71	68	64	63	61	54	46	75.7	68.3	

Ecodesign

SFPint	682 W/(m ³ /s)
--------	---------------------------

Talvi

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	-26 °C / 90 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	11.5 °C / 29 %RH
Hyötysuhde	78.0 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	17.7 °C / 20 %RH
Teho	0.79 kW

Kesä

Lämmön talteenotto

Tyyppi	Vakio
Mitoituspisteessä	25 °C / 59 %RH
Tuloilma jälkeen LTO:n	23.4 °C / 65 %RH
Hyötysuhde	78.0 %

Sähköinen patteri E

Patteri	800 W Sisäinen
Ilma ulos	23.4 °C / 65 %RH

Bilaga 7. Resultaten av Enervents Energy optimizer för ventilationsaggregatet till Val-kama173.

Årliga energibesparingen i tilluftens uppvärmning:

$$Q_{\text{ventilation, besparing}} = Q_{\text{ventilation, tilluft, CAV}} - Q_{\text{ventilation, tilluft, VAV}}$$

Årliga energibesparingen i fläktenergi:

$$W_{\text{fläkt, besparing}} = W_{\text{fläkt, CAV}} - W_{\text{fläkt, VAV}}$$

Totala årliga energibesparingen:

$$E_{\text{energibesparing, total}} = Q_{\text{ventilation, besparing}} + W_{\text{fläkt, besparing}}$$

Årliga energibesparingen i tilluftens uppvärmning för Economy118:

$$Q_{\text{ventilation, besparing}} = 1439,2\text{kWh} - 1220,8\text{kWh} = 218,4\text{kWh}$$

Årliga energibesparingen i fläktenergi för Economy118:

$$W_{\text{fläkt, besparing}} = 1571,5\text{kWh} - 1206,9\text{kWh} = 364,6\text{kWh}$$

Totala årliga energibesparingen för Economy118:

$$E_{\text{energibesparing, total}} = 218,4\text{kWh} + 364,6\text{kWh} = 583\text{kWh}$$

Årliga energibesparingen i tilluftens uppvärmning för Valkama173:

$$Q_{\text{ventilation, besparing}} = 2171,6\text{kWh} - 1836,9\text{kWh} = 334,7\text{kWh}$$

Årliga energibesparingen i fläktenergi för Valkama173:

$$W_{\text{fläkt, besparing}} = 2278,9\text{kWh} - 1747,1\text{kWh} = 531\text{kWh}$$

Totala årliga energibesparingen för Valkama173:

$$E_{\text{energibesparing, total}} = 334,7\text{kWh} + 531\text{kWh} = 866,5\text{kWh}$$

Bilaga 8. Beräkningar av energibesparingarna baserade på resultaten av IDA ICE-simuleringarna.

Elavgiften består av tre delar: elenergi, överföring och skatt. [16] Med HELEN:s ”perussähkö” blir den totala elavgiften då:

$$7,97 \text{ c/kWh} + 2,59 \text{ c/kWh} + 2,79 \text{ c/kWh} = 13,35 \text{ c/kWh} = 0,1335 \text{ euro/kWh}$$

[17] [18]

Den årliga besparingen i fläktenergi för Economy118:

$$364,6 \text{ kWh} * 0,1335 \text{ euro/kWh} = 48,7 \text{ euro}$$

Den årliga besparingen i tilluftens uppvärmning för Economy118:

$$218,4 \text{ kWh} * 0,1335 \text{ euro/kWh} = 29,2 \text{ euro}$$

Den årliga besparingen i fläktenergi för Valkama173:

$$531 \text{ kWh} * 0,1335 \text{ euro/kWh} = 70,9 \text{ euro}$$

Den årliga besparingen i tilluftens uppvärmning för Valkama173:

$$334,7 \text{ kWh} * 0,1335 \text{ euro/kWh} = 44,7 \text{ euro}$$

Bilaga 9. Kostnadsbesparingsberäkningar