

LUFTBEHANDLINGS- SYSTEM I ENERGIBERÄKNINGAR

En studie av produktdata och beräkningsmetoder

Lisa Flawn Orpana

2015-11-23

FÖRORD

Projektet *Studie om hur installationers energieffektivitet definieras vid energiberäkningar i tidiga skeden av byggprojekt* är utfört på Skanska Sverige Teknik. Projektledare och författare till rapporten är Lisa Flawn Orpana, Skanska Sverige, Teknik Energi. I arbetsgruppen har utöver kollegor från Skanska Teknik Energi även Henrik Banche, Sweco Systems ingått.

Projektet har delfinansierats av SBUF.

Särskilt stort tack riktas till referensgruppen för stöd och engagemang:

Per Levin, Projektengagemang
Jonas Gräslund, Skanska CDN
Svein Ruud, SP
Torbjörn Lundgren, Vätterhem
Beate Hedén, Projektbyggaren
Kajsa Flodberg, NCC
Anna Abrahamsson, Sweco Systems

Stort tack också till kollegorna på Skanska Teknik, Henrik Banche från Sweco och till John Engsvik som var vår praktikant under tiden för genomförandet.

Malmö 2015-11-23

Lisa Flawn Orpana

SAMMANFATTNING

Rapporten belyser problematik vid energisimuleringar av luftbehandlingssystem, där indata utgörs av produktdata hämtat t ex från produkttillverkarnas dimensioneringsprogram. Studien har fokuserat på luftbehandlingssystem för flerbostadshus och energisimulering av luft-luftvärmeåtervinning, frånluftsvärmepump och fläktar.

Produktdata från olika tillverkare har studerats.

Parameterstudier har gjorts för ett typhus med placering på olika geografiska orter.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
1.1	BAKGRUND	5
1.2	SYFTE	5
1.3	METOD	5
2	GENOMFÖRANDE	6
2.1	SYSTEM	6
2.2	TYPHUS	6
2.3	KLIMAT OCH BRUKARINDATA	7
2.4	SIMULERINGSPROGRAM	7
3	TILL- OCH FRÅNLUFTSYSTEM MED VÄRMEÅTERVINNING	8
3.1	BAKGRUND	8
3.1.1	<i>Luft-luftvärmväxlare</i>	8
3.1.2	<i>Luft-luftvärmväxlarens temperaturverkningsgrad</i>	9
3.1.3	<i>Påfrostning och avfrostning</i>	10
3.1.4	<i>Årstemperaturverkningsgrad</i>	11
3.1.5	<i>Energiberäkning med luft-luftvärmeåtervinnare</i>	11
3.2	STUDIE OCH RESULTAT	12
3.2.1	<i>Metod</i>	12
3.2.2	<i>Studie</i>	12
3.2.3	<i>Simulering och resultat</i>	17
3.3	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	21
4	VÄRMEÅTERVINNING UR FRÅNLUFT MED VÄRMEPUMP	23
4.1	BAKGRUND	23
4.1.1	<i>Värmepumpens uppbyggnad och funktion</i>	23
4.1.2	<i>Värmepumpens effektivitet</i>	23
4.1.3	<i>Värmepumpens energieffektivitet</i>	25
4.1.4	<i>Värmepump som värmeåtervinnare i ett frånluftssystem</i>	26
4.1.5	<i>Energiberäkning med värmepump</i>	28
4.2	STUDIE OCH RESULTAT	30
4.2.1	<i>Metod</i>	30
4.2.2	<i>Studie</i>	31
4.2.3	<i>Resultat</i>	35
4.3	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	37
5	FLÄKTAR, EL OCH VÄRME	38
5.1	BAKGRUND	38
5.1.1	<i>Fläktars elanvändning</i>	38
5.1.2	<i>Värme från fläkt</i>	40
5.1.3	<i>Energiberäkning av fläkt</i>	40
5.2	STUDIE OCH RESULTAT	41
6	SLUTSATSER	45

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Energiberäkningar kan ha stor betydelse vid tidiga skeden av byggprojekt som del av beslutsunderlag för investeringar och systemval. En relativt stor del av byggnadens energianvändning är relaterad till luftbehandlingssystemet. Energiberäkningens tillförlitlighet beror därmed i hög grad på hur hänsyn tagits till luftbehandlingssystemets energiprestanda, t ex vilka godhetstal som har använts i beräkningen och hur dessa har hämtats ur produktdata.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att belysa branschgemensam problematik kring energiberäkningar med avseende på luftbehandlingssystem, t ex:

- definitionsskillnader mellan indata till energiberäkningsprogrammen och leverantörernas produktdata
- hur förenklingar kan göras i tidiga skeden
- hantering av osäkerhetsfaktorer i tidiga skeden
- beräkningsprogrammets begränsningar

Centralt för projektet är att undersöka hur stor påverkan felkällor eller osäkerhetsfaktor har på energikalkylen.

Studien begränsas till att behandla installationssystemens tekniska egenskaper, med brukardata och klimatdata endast som förutsättningar för installationssystemets prestanda.

1.3 Metod

Inledningsvis görs inventeringar av genomförda energiberäkningar jämte fältstudier av relevanta produktdata från tillverkare, så att lämplig inriktning och avgränsning för studien skall kunna definieras. Detta bland annat genom diskussioner i referensgruppen.

Enskilda parametrars påverkan på beräknad specifik energianvändning undersöks genom simuleringar av ett bestämt typhus.

2 GENOMFÖRANDE

Projektet inleddes med titeln *Studie om hur installationers energieffektivitet definieras vid energiberäkningar i tidiga skeden av byggprojekt.*

Diskussioner vid inledande referensgruppmöte ledde fram till beslut om inriktning och avgränsning. Ett typobjekt skulle användas, utfall av parameterändringar undersökas också med avseende på geografisk placering.

2.1 System

Luftbehandlingssystem har stor påverkan på beräknad energianvändning. Energieffektivt luftbehandlingssystem är till stor del energieffektiv värmeåtervinning och eleffektiva fläktar.

Beslutades att studien skulle fokusera på:

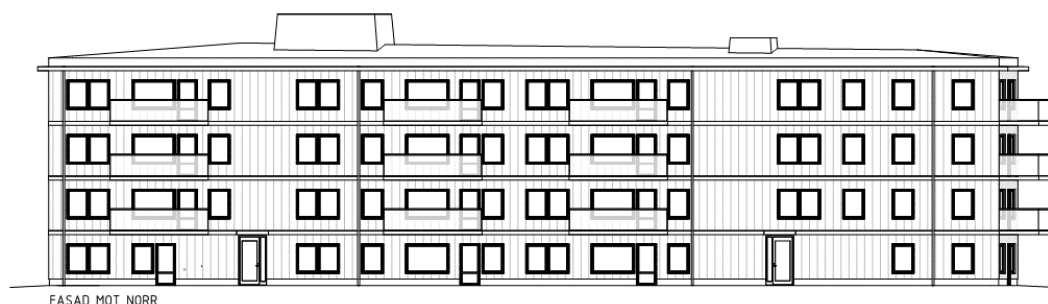
- luft-luftvärmewäxling, frågor om verkningsgrad och problematik kring avfrostning och påfrostning.
- beräkning av värmepumpar
- hur fläktars eleffektivitet definieras

Lokaler och bostäder har skilda förutsättningar och olika problemställningar. Studien avgränsades till flerbostadshus. Typiska applikationer för flerbostadshus vad gäller luftbehandlingssystem är:

- konstanta luftflöden
- plattvärmewäxlare med hög temperaturverkningsgrad
- frånluftsystem med värmeåtervinning via värmepump som kostnadseffektivt alternativ till luft-luftvärmeåtervinning i till- och frånluftsystem.

2.2 Typhus

Som typhus valdes ett lamellhus, A_{temp} 2466 m², med två trapphus, fyra våningar, ingen källare och 28 lägenheter. Huset var i sitt grundutförande projekterat för att klara energianvändningen 25 % under kravet i BBR 21.



Figur 2.1: Modellhuset för studien

2.3 Klimat och brukarindata

Energisimuleringar i studien utfördes med brukarindata enligt Sveby och klimatfiler från Sveby-SMHI.

2.4 Simuleringsprogram

Energiberäkningar är huvudsakligen gjorda med simuleringsprogrammet IDA ICE 4.6.2. Produkttillverkarens dimensioneringsprogram har använts.

3 TILL- OCH FRÅNLUFTSYSTEM MED VÄRMEÅTERVINNING

3.1 Bakgrund

Nybyggda flerbostadshus med mekanisk till- och frånluft har som regel värmeåtervinning från frånluften till tilluften i luftbehandlingsaggregatet. Ökade krav på minskad energianvändning har drivit utvecklingen mot luft-luftvärmeväxlare med allt högre temperaturverkningsgrad.

3.1.1 Luft-luftvärmeväxlare

Det finns olika typer av luft-luftvärmeväxlare. De dominerande är roterande värmeväxlare, plattvärmeväxlare och vätskekopplade värmeväxlare.

Roterande värmeväxlare är en regenerativ värmeväxlare. Rotorn består av en mängd kanaler som frånluftströmmen passerar genom och värmer upp materialet. Efter rotation tas värmen upp av uteluftströmmen på väg till tilluftssidan. Vid kall väderlek kondenserar fukt från frånluften i luftkanalerna. Fukten förångas och förs tillbaka av tilluften. Rotorns fuktöverförande förmåga kan förstärkas genom hygroskopisk beläggning. Roterande värmeväxlare har generellt hög verkningsgrad och klarar låga temperaturer utan påfrostning. Med regenerativ värmeväxling finns risk för luktöverföring från frånluft till tilluft vilket kan vara problematiskt för flerbostadshus med centralaggregat.

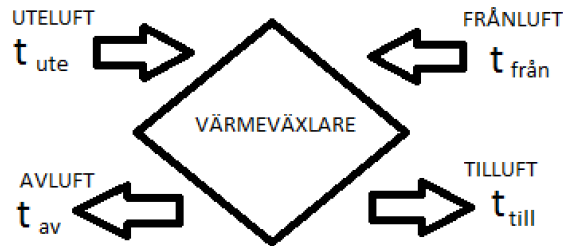
Plattvärmeväxlare, ofta **korsströmsväxlare**, är en rekuperativ värmeväxlare. Uteluft och frånluft leds genom en struktur av plattor med ett stort antal kanaler, varannan för frånluft och varannan för uteluft. Värme från frånluften överförs genom kanalväggarna till uteluften.

Vid kall uteluft kondenserar fukt från frånluften i plattvärmeväxlaren och avgår som vatten i dränering. Uteluften, som ju är separerad från frånluften, tar inte upp någon fukt under uppvärmningen och kan som tilluft bli mycket torr. Vid minusgrader finns risk att vätskan i frånluftens kanaler fryser till is. Plattvärmeväxlare utrustas därför med funktion för avfrostning. Korsströmsväxlarens temperaturverkningsgrad är generellt lägre än för roterande värmeväxlare. För högre temperaturverkningsgrad finns varianterna **motströmsvärmeväxlare** eller **dubbel korsströmsväxlare**. Plattvärmeväxlare är en vanlig lösning för värmeåtervinning i centrala luftbehandlingssystem i flerbostadshus.

Vätskekopplad värmeväxlare, batterivärmeväxlare, är en indirekt rekuperativ värmeväxlare. Värmen växlas mellan luft och vätska. Överföringen av värme sker via en vätskekrets från kylbatteri i frånluften till värmebatteri i tilluften. Flera batterier kan ingå i ett vätskekopplat system. Temperaturverkningsgraden är relativt låg i det vanliga utförandet. Högre temperaturverkningsgrad åstadkoms med större värmeöverförande ytor, d v s batterier med större frontyta och fler rörrader. Vätskekopplad värmeväxlare är ett hygieniskt och flexibelt system eftersom till- och frånluftssystemen kan vara helt skilda från varandra (endast förbundna med vätskekopplingen).

3.1.2 Luft-luftvärmesväxlarens temperaturverkningsgrad

Ett mått på värmeåtervinnarens prestanda är **temperaturverkningsgrad, η_t** som uttrycker återvunnen temperatur i procent av teoretiskt möjlig temperatur att återvinna. För en luft-luftvärmesväxlare med temperaturförutsättningar enligt Figur 3.1 definieras tilluftens temperaturverkningsgrad enligt *Ekv.3.1*, där $t_{från}$ är inkommande frånluftens temperatur, t_{ute} är inkommande uteluftstemperatur, t_{till} är tilluftens temperatur efter värmesväxlaren, men före eventuell tillskottsvarme, och t_{av} är avluftens temperatur.



Figur 3.1 Luft-luftvärmesväxlare med inkommande frånluftstemperatur $t_{från}$, inkommande uteluftstemperatur t_{ute} , tilluftstemperatur efter värmesväxlaren t_{till} och avluftstemperatur t_{av} .

$$\eta_{t,tilluft} = \frac{t_{till} - t_{ute}}{t_{från} - t_{ute}} \quad \text{Ekv.3.1}$$

Temperaturverkningsgraden gäller vid bestämda luftflöden. Högre luftflöden ger lägre temperaturverkningsgrad.

Fukt i frånluften som kondenserar i värmesväxlaren kan höja tilluftens temperaturverkningsgrad: värme frigörs vid kondenseringen. I rekuperativa värmesväxlare kommer uteluften inte i kontakt med vätskan från frånluften så ingen förångning sker utan den extra värmen höjer tilluftstemperaturen ytterligare. Detta kallas **våt värmeöverföring**.

För att kunna jämföra prestandan hos olika värmeåtervinnare under samma förutsättningar används **torr temperaturverkningsgrad** som är definierad för bestämda temperatur- och fukttillstånd.

Förutsättningar för tilluftens torra temperaturverkningsgrad enligt *SS-EN 308:1997* är

Frånluft: temperatur + 25°C, relativ fuktighet 27 %

Uteluft: temperatur + 5°C

Redovisning av torr temperaturverkningsgrad är krav i riktlinjer från branschorganisationen *Svensk Ventilation*. Enligt riktlinjerna kan temperaturverkningsgraden gärna redovisas även för andra temperatur- och fukttillstånd om de är realistiska.

3.1.3 Påfrostning och avfrostning

Plattvärmväxlare och särskilt motströmsväxlare är generellt känsliga för isbildning som kan uppstå om kondens i frånluften kyls ned under 0° C. Påfrostningen börjar i den del av växlaren som är närmast avluftens utlopp och uteluftens inlopp, det så kallade ”kalla hörnet”.

Risken för isbildning ökar med:

- Hög temperaturverkningsgrad
 - Tät lamelldelning
 - Stark nedkylning av frånluften
- Kallt utomhusklimat
- Hög relativ fuktighet i frånluften
- Material med låg resistens mot påfrostning

Plattvärmväxlarens system för avfrostning kan vara mer eller mindre sofistikerad vad gäller komponentsammansättning och styrning. Det finns olika tekniker för avfrostning, styrda enligt principen att förhindra påfrostning eller att smälta uppkommen isbildning. Några vanliga metoder, som också kan kombineras med varandra, beskrivs nedan.

- **Reducerat tilluftsflöde:** reduktion av flödet t ex vid en viss utetemperatur förebygger påfrostning.
- **Helt avstängd tilluftsfläkt** (stoppavfrostning): frånluftsflödet smälter isbildning. Avfrostningen sker i sekvenser av ett förinställt antal minuter. Periodiskt återkommande sekvenser startar t ex vid en viss utetemperatur.
- **By-pass av tilluftsflödet:** förbigångsspjäll för uteluften öppnar vilket ger bibehållet tilluftsflöde, men mängden kall uteluft över växlaren minskar. Förbigångsspjället kan styras modulerande mot en viss temperatur i kalla hörnet (avluftstemperaturen).
- **Sektionsavfrostning:** plattvärmväxlaren delas upp i ett antal sektioner som förses med individuella spjäll på uteluftssidan. Ett spjäll i taget stänger för uteluften, medan frånluften smälter isen i den aktuella sektionen. Sektionsavfrostning kan kombineras med by-pass för att behålla flödesbalansen.

Påfrostning och avfrostning medför lägre temperaturverkningsgrad under förloppen. Beroende på avfrostningsmetod reduceras värmeeffekten från värmväxlaren vilket påverkar hur eftervärmningsbatteri skall dimensioneras.

Styrningen reglerar aktivering av avfrostning och avfrostningscyklernas tidsperioder. Exempel på indikatorer, ofta i kombination, för start är:

- utetemperatur
- temperatur i kalla hörnet, avluften
- tryckfall över plattvärmväxlare
- fukthalt i frånluft

3.1.4 Årstemperaturverkningsgrad

Plattvärmväxlares temperaturverkningsgrad påverkas i olika hög grad av påfrostning och avfrostning beroende på val av avfrostningssystem, men också t ex materialytans resistens mot påfrostning.

I riktlinjer från Svensk Ventilation definieras **årstemperaturverkningsgrad** som det beräknade årsmedelvärdet av värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad under uppvärmningssäsong, att användas för vidare beräkningar av energianvändning (*Svensk Ventilation 2013*).

Årstemperaturverkningsgraden beräknas med hjälp av klimatdata från dataprogrammet Meteonorm.

Vidare förekommer också begreppet **årsenergiverkningsgrad**, som i Svensk Ventilations definition anger hur mycket den återvunna värmen i luftbehandlingsaggregatet täcker av det värmebehov som uppkommer av luftväxlingen som aggregatet orsakar.

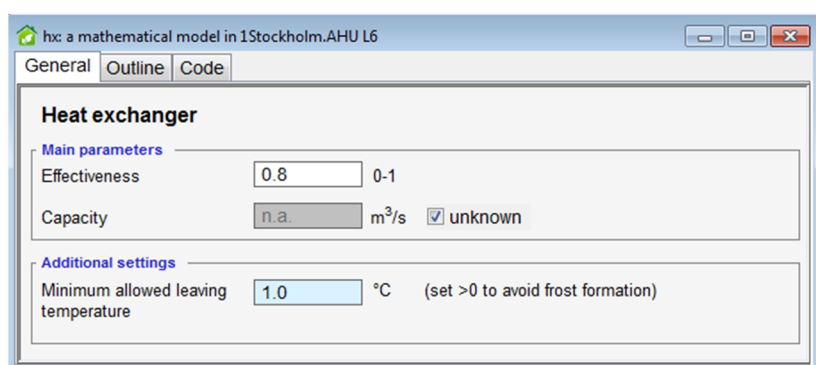
3.1.5 Energiberäkning med luft-luftvärmeåtervinnare

Energisimuleringsprogrammet IDA ICE beräknar värmeåtervinning i luftbehandlingsaggregat utifrån värmväxlarens maximala energiverkningsgrad, *effectiveness* i Figur 3.2.

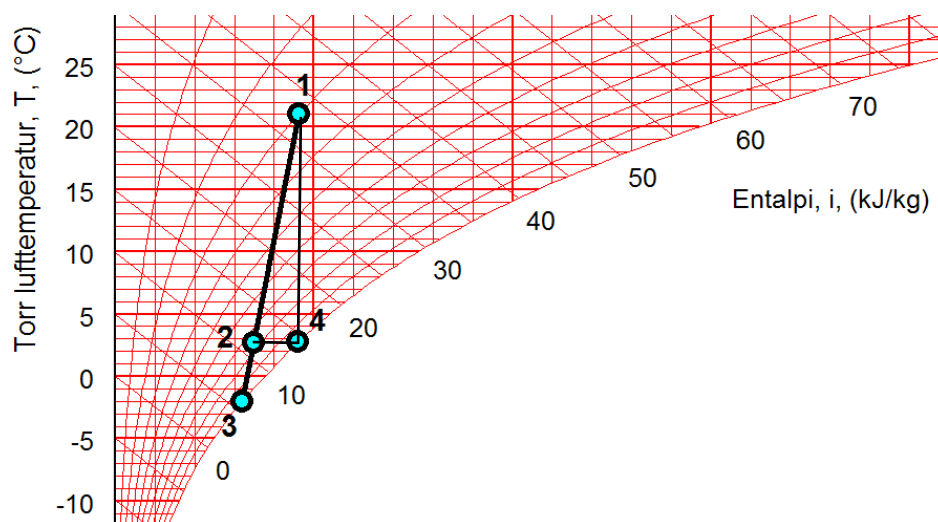
Energiverkningsgrad i det här sammanhanget anger hur stor andel energi som kan återvinnas av den energi som finns tillgänglig. Indata skall vara tilluftens torra temperaturverkningsgrad. Detta eftersom all energiväxling i det torra tillståndet resulterar i temperaturändringar, d v s ingen kondensation.

Ur maximal energiverkningsgrad (torr temperaturverkningsgrad) kan programmet beräkna den våta värmeöverföringen för de tillstånd där den uppstår, se Figur 3.3.

I dialogrutan för värmväxlaren kan man ange lägst tillåtna avluftstemperatur. Programmet simulerar en funktion för avfrostning som motsvarar steglös by-pass av tilluftsflödet styrt mot temperatur i kalla hörnet, se ovan. I simuleringen sjunker energiverkningsgraden och avkylningen begränsas.



Figur 3.2 Dialogruta till indata för luft-luftvärmväxlare i IDA ICE. I rutan för *Effectiveness* anges torr temperaturverkningsgrad.



Figur 3.3 Våt värmeåtervinning i IDA ICE. Energiverkningsgraden tolkas som förhållandet mellan sträckan (1-2) och sträckan (1-3), där punkt 1 representerar frånluft, punkt 2 avluft och punkt 3 frånluftens daggpunkt som antas vara uteluftens temperatur. Värme som förs över till tilluftssidan representeras av sträckorna (1-4) + (4-3), där sträckan (4-3) är värme som frigörs vid kondensering. IDA ICE 4.6.2 Mollierdiagram hämtat från programmet Mollier Sketcher version 2.1b, IV Produkt AB.

3.2 Studie och resultat

Studien belyser hur resultatet av en energisimulering påverkas av indata kopplade till produktdata för värmeåtervinnare. Simuleringar görs för en systemlösning med luft-luftvärmewäxling via plattvärmewäxlare. Temperaturverkningsgrad och avfrostningsskydd undersöks.

3.2.1 Metod

Produktdata för luftbehandlingsaggregat med plattvärmewäxlare hämtas från tillverkarens dimensioneringsprogram och studeras med avseende på redovisning av värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad. Uppgifter söks om inverkan av avfrostningsskydd på energianvändningen, t ex redovisning av årstemperaturverkningsgrad. Sätt att simulera skydd för avfrostning baserat på tillverkarens uppgifter undersöks.

Energianvändningen i modellhuset, se kapitel 2.2, på fyra geografiska orter och med balanserat luftflöde simuleras med IDA ICE för olika parametervärden för värmeåtervinnarens verkningsgrad och avfrostningsskydd.

3.2.2 Studie

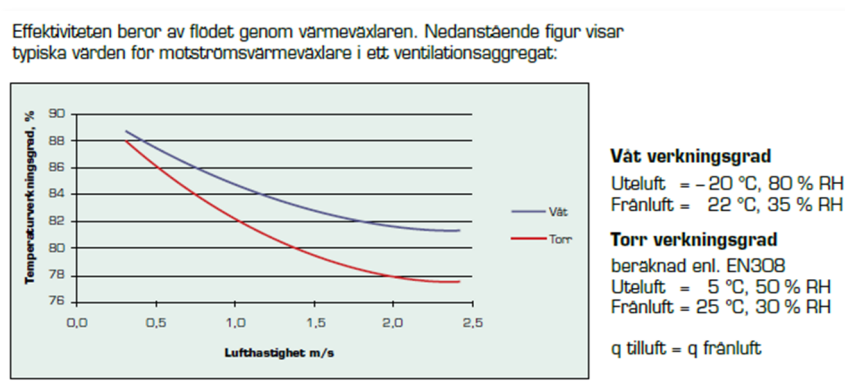
Torr temperaturverkningsgrad

Vid genomgång av produktdata för luftbehandlingsaggregat med plattvärmewäxlare från ett antal olika tillverkare framgår att torr temperaturverkningsgrad redovisas genomgående, ofta med hänvisning till standarden EN308. Det förekommer att torr temperaturverkningsgrad redovisas både med hänvisning till EN308 och för ett kallare vinterfall, se exempel i Figur 3.11.

Våt temperaturverkningsgrad och frånluftens relativa fuktighet

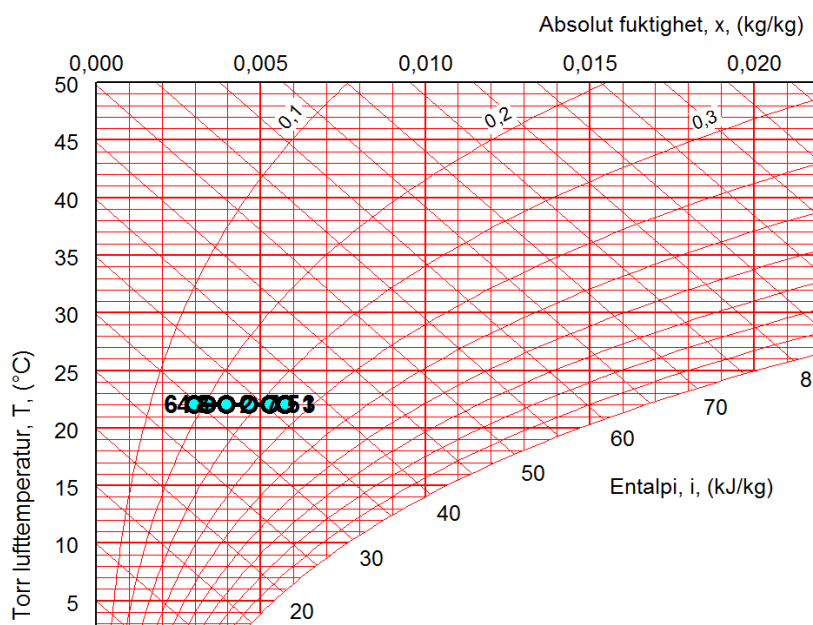
Våt temperaturverkningsgrad redovisas över lag. Vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat i tillverkares produktvalsprogram kan i vissa fall värdet på våt temperaturverkningsgrad redovisas som avsevärt högre än torr temperaturverkningsgrad, beroende på indata för frånluftens relativa fuktighet, se Figur 3.7. Rimliga värden för frånluftens relativa fuktighet undersöks därför närmare.

Ett värde som ofta används för frånluftens relativa fuktighet i bostäder är ca 30 %, som i exemplet i Figur 3.4 från en broschyr som marknadsför plattvärmväxlare för flerbostadshus.



Figur 3.4 Klipp från broschyr om eQ plate Motströms Plattvärmväxlare, Fläkt Woods.

Mätningar i frånluft i ett antal bostäder på olika orter i Sverige redovisas i rapporten *Fuktillskott i frånluft* (Jensen 2010). Frånluften vatteninnehåll för redovisade fall sätts in i ett Mollierdiagram, Figur 3.5, som visar att medelvärdet för relativ fuktighet i de uppmätta lägenheterna varierar från ca 18-35 %.

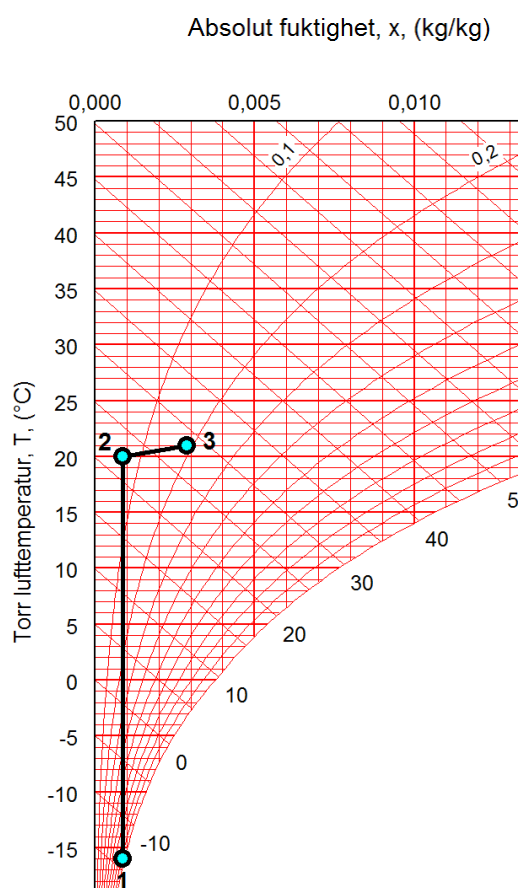


Figur 3.5 Frånluftens vatteninnehåll från mätningar i ett antal lägenheter i Karlstad, Malmö, Kiruna och Sundsvall (Jensen 2010) i ett Mollierdiagram visar spridningen av frånluftens

relativa fuktighet. Mollierdiagram hämtat från programmet Mollier Sketcher version 2.1b, IV Produkt AB.

Men, våt temperaturverkningsgrad redovisas i produktvalsprogrammet för ett bestämt tillstånd: vid dimensionerande utomhustemperatur. Enligt riktlinjer om årstemperaturverkningsgrad (Svensk Ventilation 2013) antas uppfuktning i bostäder till 2 g/kg, vilket också stöds av mätningar (Jensen 2010).

Frånluftens relativa fuktighet vid uppfuktning 2g/kg från uteluftstillståndet vid -16 °C visas i Figur 3.6 uppgå till ca 19 % relativ fuktighet.



Figur 3.6: Tillståndändringar från uteluft till frånluft. Uteluft med temperatur -16° C och relativ fuktighet 95 % (punkt 1), rekuperativ värmeväxling (ingen fuktöverföring) och eftervärmning till +20° C (punkt 2) i luftbehandlingsaggregatet, uppfuktning 2 g/kg och uppvärmning till +21° C i rummet (punkt 3).

Dimensionering av plattvärmväxlare visas i Figur 3.7 med förutsättningen *relativ fukt i frånluft* 19 % i stället för 30 % ger resultaten *våt temperaturverkningsgrad* 82,1 % i stället för 84,7 % och 80,0 % i stället för 84,3 %. Torr temperaturverkningsgrad i de båda exemplen är 82,1% (lika våt temperaturverkningsgrad) respektive 77,3 %.

Ytterligare ett exempel på dimensionering av plattvärmväxlare visas i Figur 3.8, där våt temperaturverkningsgrad redovisas som 87,3 % medan torr temperaturverkningsgrad är 79,0 %.

Förutsättningarna var inkommande uteluft med temperatur -18°C , relativ fuktighet 80 % och inkommande frånluft med temperatur $+22^{\circ}\text{C}$, relativ fuktighet 35 %.

MOTSTRÖMSVÄRMEVÄXLARE					
Indata	Lufttemperatur in	-16,0	$^{\circ}\text{C}$	-16,0	$^{\circ}\text{C}$
	Relativ fukt i uteluft	95	%	95	%
	Frånluftstemperatur	21,0	$^{\circ}\text{C}$	21,0	$^{\circ}\text{C}$
	Relativ fukt i frånluft	19	%	30	%
Utdata	Tilluftstemp efter vvx	14,4	$^{\circ}\text{C}$	14,4	$^{\circ}\text{C}$
	Tilluftstemp efter wx vid avfrostning	-0,8	$^{\circ}\text{C}$	-0,3	$^{\circ}\text{C}$
	Avluftstemperatur	-6,0	$^{\circ}\text{C}$	-4,2	$^{\circ}\text{C}$
	Temperaturverkningsgrad torr (enligt EN308)	82,1	%	82,2	%
	Temperaturverkningsgrad fuktig	82,1	%	84,7	%

Dimensionerande data		Vinter	Sommar	Vinter		Sommar
Utetemperatur		-16,0	25,0 $^{\circ}\text{C}$	Utetemperatur	-16,0	25,0 $^{\circ}\text{C}$
Relativ luftfuktighet uteluft		95	50 %	Relativ luftfuktighet uteluft	95	50 %
Frånluftstemperatur		21,0	25,0 $^{\circ}\text{C}$	Frånluftstemperatur	21,0	25,0 $^{\circ}\text{C}$
Relativ luftfuktighet frånluft		19	%	Relativ luftfuktighet frånluft	30	%
Tilluft						
Uteluftsspjäll	Tryckfall		2 Pa	Tryckfall		2 Pa
Filter	F7			F7		
	Begynnelsestryckfall		73 Pa	Begynnelsestryckfall		73 Pa
	Dimensionerande tryckfall		113 Pa	Dimensionerande tryckfall		113 Pa
	Rekommenderat sluttryckfall		153 Pa	Rekommenderat sluttryckfall		153 Pa
Värmeväxlare	Typ	Dubbel korsströms eff.klass 2		Typ	Dubbel korsströms eff.klass 2	
	Tilluftstemperatur efter VVX		13,6 $^{\circ}\text{C}$	Tilluftstemperatur efter VVX		15,2 $^{\circ}\text{C}$
	Temperaturverkningsgrad våt		80,0 %	Temperaturverkningsgrad våt		84,3 %
	Temperaturverkningsgrad torr enl EN308		77,3 %	Temperaturverkningsgrad torr enl EN308		77,3 %
	Tryckfall tilluft		123 Pa	Tryckfall tilluft		124 Pa
	Tryckfall frånluft		131 Pa	Tryckfall frånluft		131 Pa
	Avfrostning med by-pass av uteluft vid frysrisk			Avfrostning med by-pass av uteluft vid frysrisk		

Figur 3.7 Ovan: Klipp ur Envistar Flex, Home Tekniska data, programutskrift från IV Produkt Designer 305.5.2.0 vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat med motströmsvärmeväxlare. Indata Relativ fukt i frånluft 19 % ger Utdata Temperaturverkningsgrad fuktig 82,1 %. Indata Relativ fukt i frånluft 30 % ger Utdata Temperaturverkningsgrad fuktig 84,7 %. Temperaturverkningsgrad torr är 82,1 % (82,2 % i andra fallet, men skall teoretiskt vara lika i de båda fallen.)

Nedan: Klipp ur Welair Tekniska data, programutskrift från Welair Designer 1.2.0.17 från Weland Luftbehandling vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat med dubbel korsströmsväxlare. Dimensionerande data: Relativ luftfuktighet frånluft 19 % ger Temperaturverkningsgrad våt 80,0 %. Relativ luftfuktighet frånluft 30 % ger Temperaturverkningsgrad våt 84,7 % respektive torr 77,3 %.

Specifikation			
Temperaturverkningsgrad, våt	[%]	87.3	
Temperaturverkningsgrad, torr	[%]	79.0	
Ingående temp	[$^{\circ}\text{C}$]	-18	22
Relativ fuktighet	[%]	80	35
Utgående lufttemperatur	[$^{\circ}\text{C}$]	16.9	-4.8

Figur 3.8: Klipp ur Beräkning Luftbehandlingsaggregat Verso-PCF komfovent, programutskrift från Verso 1.5.4, Komfovent/Amalva vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat med motströmsvärmeväxlare. Förutsättningarna inkommande uteluft med temperatur -18°C , relativ fuktighet

80 % och inkommande frånluft med temperatur +22 °C, relativ fuktighet 35 % ger våt temperaturverkningsgrad 87,3 %. Torr temperaturverkningsgrad är 79,0 %.

Avfrostningsskydd

Avfrostningsskydd beskrivs på olika sätt i produktdata, men generellt inte särskilt ingående. I Figur 3.9 beskrivs avfrostningssättet i det ena exemplet (by-pass av uteluft vid frysrisk) och dimensionerande temperatur efter värmeväxlare i det andra.

Exemplet i Figur 3.9 nedan anger dimensionerande verkningsgrad vid avfrostning och temperaturgräns för avfrostningsskydd. *Dimensionerande* antyder att verkningsgraden endast gäller under avfrostningscykel, inte konstant under temperaturgräns.

Prestanda / Verkningsgrad	
Verkningsgrad beräknas i förhållande till vad som anges i EN308 standarden	83.1 %
Vinter, oregerat: våt/torr	85.7 / 84.7 %
Vinter dim., reglerat	59.7 %
Temperaturgräns då frostskydd startar:	-2 °C

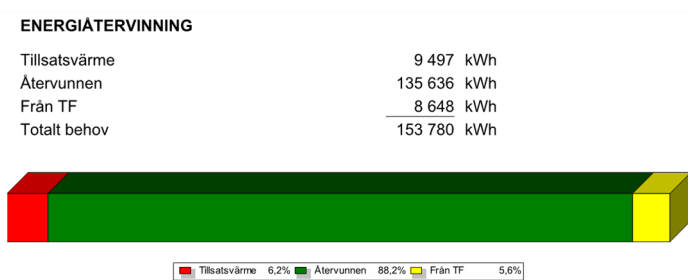
Figur 3.9: Klipp ur programutskrift från produktvalsprogrammet Acon vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat eQ med motströmsväxlare från Fläkt Woods.

Avfrostningscyklernas längd, periodicitet eller övrig styrning framgår inte. Ur produktdata går inte att hitta tillräcklig information för att simulera avfrostning under en uppvärmningssäsong.

Årsenergiverkningsgrad och årstemperaturverkningsgrad

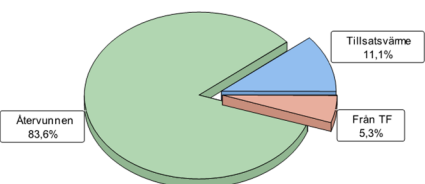
Flera produktvalsprogram för luftbehandlingsaggregat har en energiberäkningsdel. Indata till energiberäkningen är ortens årsmiddeltemperatur.

Årlig energiåtervinning	Energiåtervinning
Årlig energiverkningsgrad	93 %
Värmeåtervinning	139742 kWh
Tempökning i tilluftsfläkt	9459 kWh
Summa	149201 kWh
Årligt energibehov	Energibehov
Värme	10607 kWh
Tilluftsfläkt	9744 kWh
Frånluftsfläkt	9197 kWh
Annan utrustning	86 kWh
Summa	29634 kWh



ENERGIÅTERVINNING

Totalt behov	153 780 kWh (100%)
Tillsatsvärme	17 095 kWh (11,1%)
Återvunnen	128 504 kWh (83,6%)
Årsenergiverkningsgrad	83,6 %
Från TF	8 181 kWh (5,3%)
Från komp.	0 kWh
Årstemperaturverkningsgrad	79,4 %



Figur 3.10: Klipp ur resultatutskriften från produktvalsprogrammets energiberäkningsdelar. Ovan till vänster beräkning av luftbehandlingsaggregat med motströmsväxlare i programmet Acon från Fläkt Woods, ovan till höger beräkning av luftbehandlingsaggregat med dubbel korsströmsväxlare från Weland i Welair Designer och nederst beräkning av luftbehandlingsaggregat med motströmsväxlare i IV Product Designer.

Resultatet redovisar årlig energianvändning för luftbehandlingsaggregatet, ofta även årlig energiverkningsgrad. Med energiverkningsgrad avses här förhållandet mellan återvunnen värme i luftbehandlingsaggregatet och värmebehov orsakat av ventilationen, se kapitel 3.1.4. Energiverkningsgraden kan bli särskilt hög om frånluftstemperaturen är högre än tilluftstemperaturen, eftersom endast tillskottsvärme i ventilationssystemet räknas med. Vidare kan värme från tilluftsfläkt ingå, men fläktarnas elanvändning ingår inte.

Årstemperaturverkningsgrad redovisas endast för ett fabrikat av det studerade urvalet: det finns som resultat av energiberäkningen IV Produkt Designer, se Figur 3.10.

3.2.3 Simulering och resultat

Energianvändningen över ett år för värme simuleras med IDA ICE för modellhuset. Geografisk ort är Malmö, Göteborg, Stockholm och Umeå. Luftbehandlingsaggregatet i modellen har luft-luftvärmare och balanserade luftflöden, tilluft och frånluft, 1100 l/s. Luftvärmare efter värmareväxlaren på tilluftssidan. Tilluftstemperatur är +20° C, frånluftstemperatur är +21° C. Tillskottsvärme från tilluftsfläkt är inte medräknad. Luftbehandlingsaggregatet har ingen luftkylare på tilluftssidan.

Parameterstudie görs för olika värden på värmeåtervinnarens verkningsgrad *effectiveness*, se kapitel 3.1.5, och lägst tillåtna avluftstemperatur. Verkningsgraden varierar mellan 70 % till 90 % med steg om 5 %. Varje fall simuleras med avfrostningsskydd: lägst tillåtna avluftstemperatur +1° C, respektive utan avfrostningsskydd: lägst tillåtna avluftstemperatur -20° C.

Energianvändning för värme till luftbehandlingssystemet och till övriga värmesystemet beräknas.

Resultatet visar att verkningsgraden genomgående har stor betydelse för energianvändningen. Avfrostningsskyddet, lägst tillåtna avluftstemperatur +1° C, har endast marginell betydelse i Malmö. Större betydelse noteras i Stockholm vid hög verkningsgrad. Avfrostningsskyddet har stor påverkan på energianvändningen i Umeå.

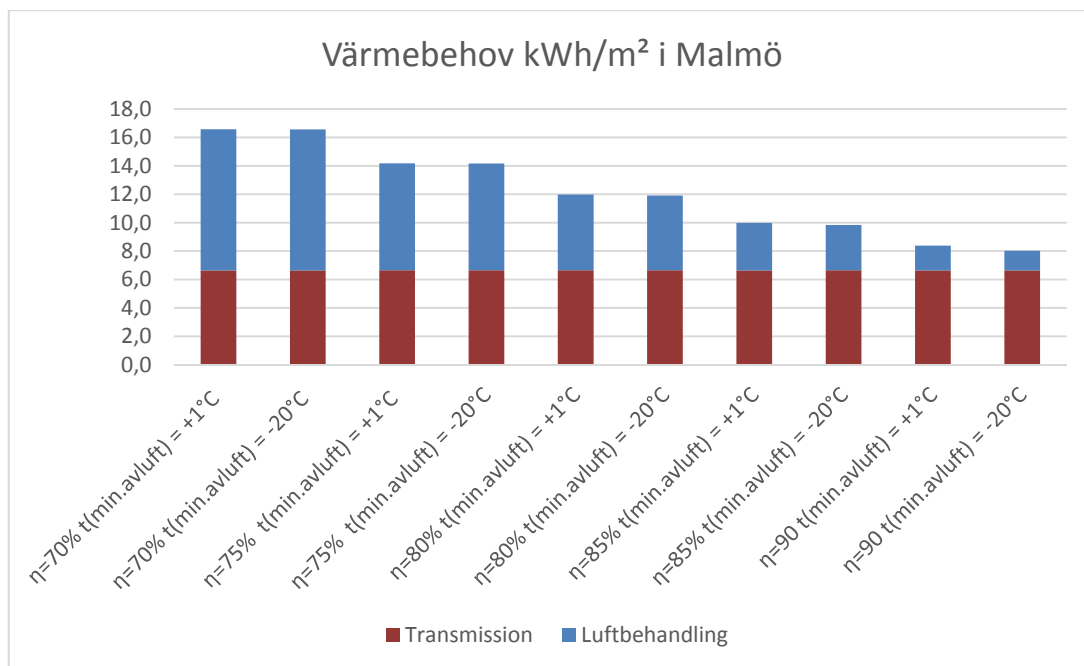


Diagram 3.1: Simulering av värmebehov vid luft-luftvärmväxling och olika värden på verkningsgrad, med och utan simulerat avfrostningskydd lägst tillåtna avluftstemperatur +1°C. Ort: Malmö. Värmebehovet påverkas av avfrostningskyddet i nämnvärd utsträckning först vid torr temperaturverkningsgrad 85%.

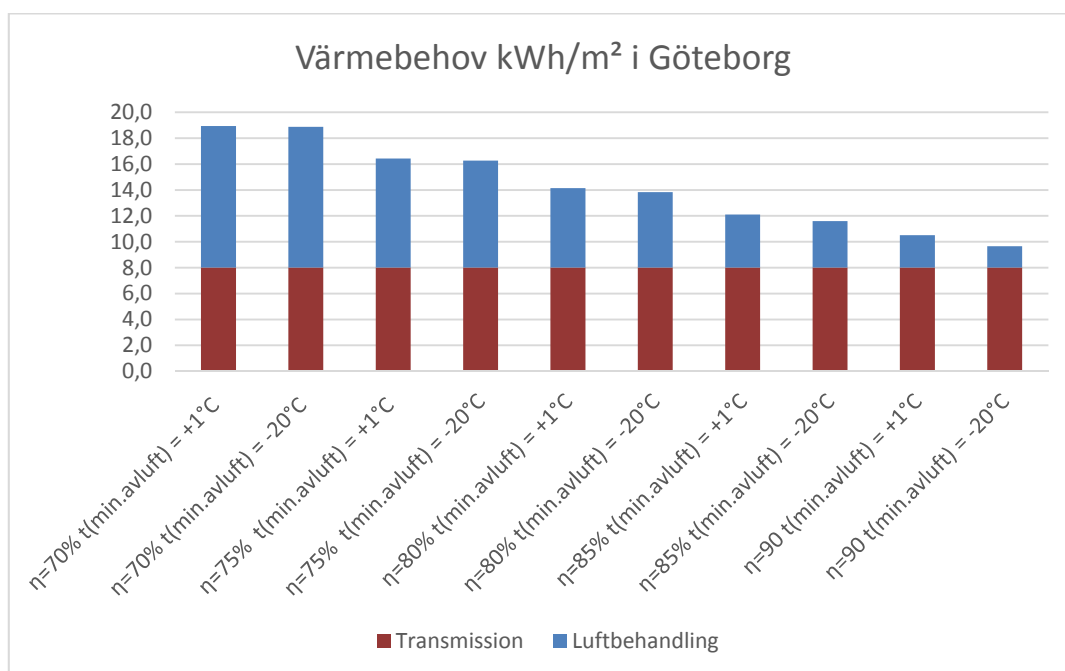


Diagram 3.2: Simulering som ovan, men ort: Malmö. Värmebehovet påverkas av avfrostningskyddet i nämnvärd utsträckning först vid torr temperaturverkningsgrad 80%.

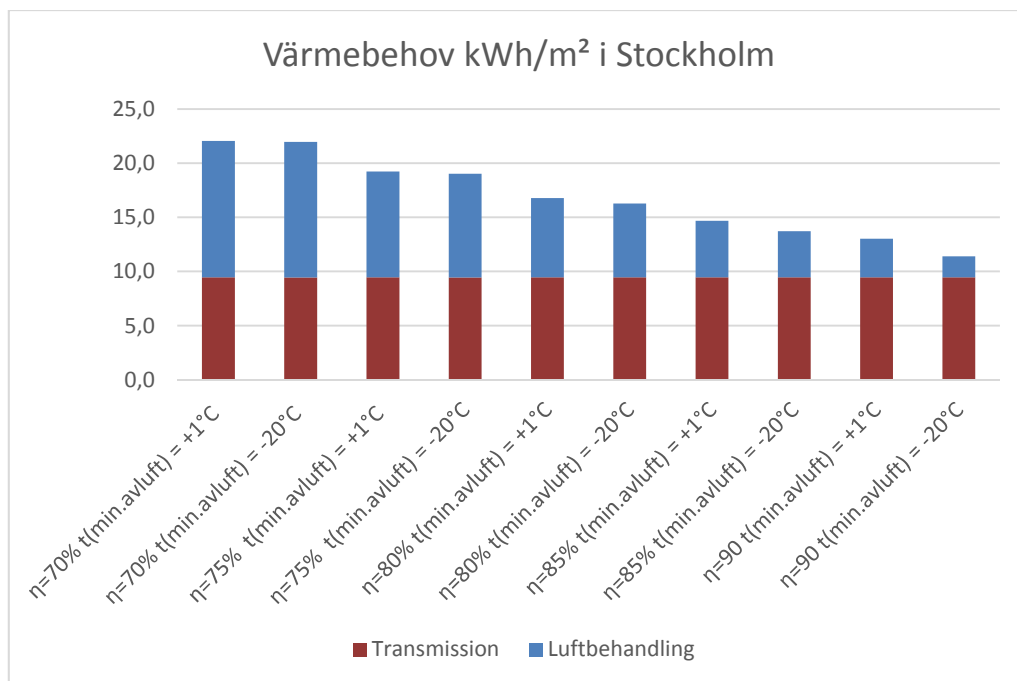


Diagram 3.3: Simulering som ovan, men ort: Stockholm. Värmebehovet påverkas av avfrostningsskyddet i knappt nämnvärd utsträckning först vid torr temperaturverkningsgrad 75%.

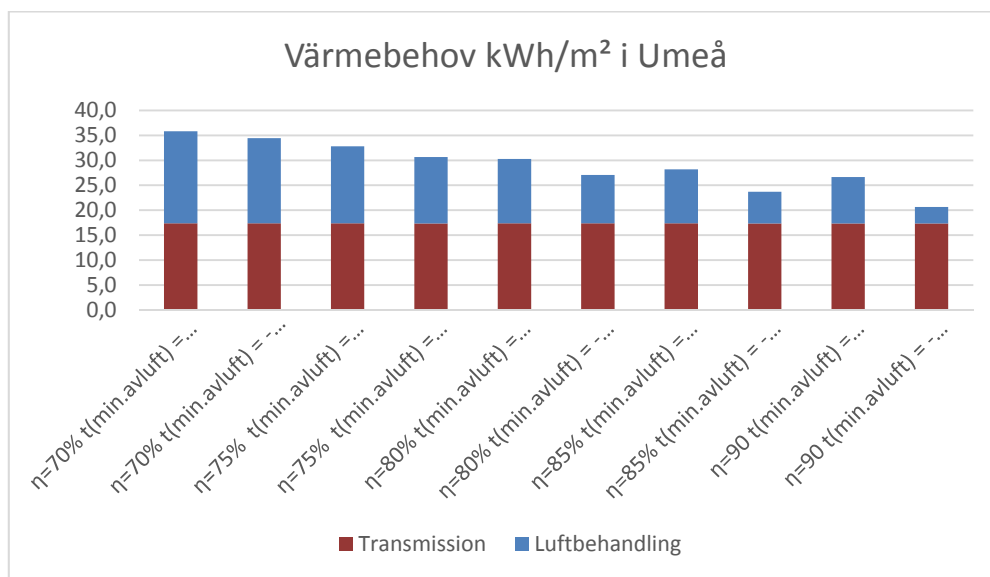


Diagram 3.4: Simulering som ovan, men ort: Umeå. Värmebehovet påverkas av avfrostningsskyddet redan vid torr temperaturverkningsgrad 70 %.

Årstemperaturverkningsgrad från produktvalsprogrammet som parameter för avfrostningsskydd jämförs med funktionen för frostskydd i IDA ICE, lägst tillåten avluftstemperatur.

Luftbehandlingsaggregat av typen *IV Produkt Home Concept Envistar Flex* med motströmsvärmväxlare dimensioneras med hjälp av produktvalsprogrammet för orterna Malmö,

Stockholm och Umeå. Förvärmare till värmeåtervinnaren väljs inte. Beräkning i produktvalsprogrammet energidel utförs med respektive ords årsmedeltemperatur som hämtas ur aktuell klimatfil för IDA ICE. Torr temperaturverkningsgrad och årstemperaturverkningsgrad noteras ur resultatutskrift från produktvalsprogrammet.

Simulering av energianvändning i IDA ICE enligt ovan görs på nytt för Malmö, Stockholm och Umeå. Indata till värmeåtervinnarens verkningsgrad är torr temperaturverkningsgrad enligt produktdata. Lägst tillåten avluftstemperatur varierar i steg om 1° med början från +1°C.

För var timme loggas temperaturerna utomhus, i frånluften före värmeväxlaren och i tilluften efter värmeväxlaren. Med hjälp av kalkylblad i Excel beräknas temperaturverkningsgraden enligt Ekv. 3.1.

Medelvärdet av temperaturverkningsgraden beräknas för årets timmar då utomhustemperaturen är maximalt +15° C och frånluftstemperaturen är maximalt +22° C. Den framräknade medeltemperaturverkningsgraden jämförs med årstemperaturverkningsgraden från produktvalsprogrammet.

Resultatet visar att avfrostningsskyddet enligt produktdata ger större påverkan på energianvändningen än tidigare undersökta lägst tillåten avluftstemperatur +1°C. Motsvarande lägst tillåtna avluftstemperatur i Malmö är ca +3°C och i Umeå knappt +2°C.

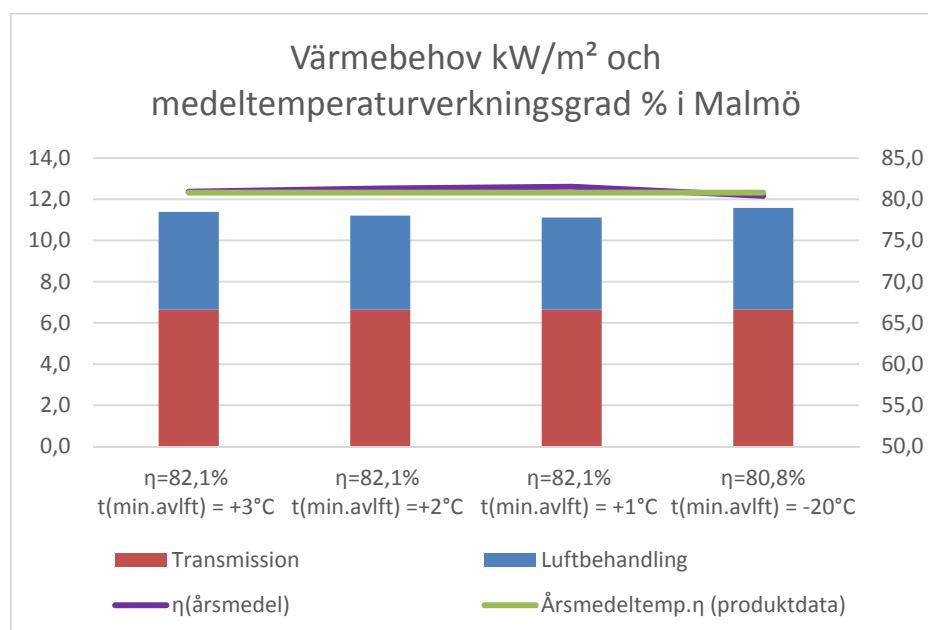


Diagram 3.5: Simulering av värmebehov vid luft-luftvärmväxling och indata för verkningsgrad: torr temperaturverkningsgrad enligt produktdata för motströmsväxlare, med olika värden för simulerat avfrostningsskydd: lägst tillåten avluftstemperatur. Jämförs med simulerat värmebehov då indata för värmeväxlarens verkningsgrad är årstemperaturverkningsgrad enligt produktdata. Ort: Malmö. Ur simuleringsresultaten beräknas medelvärdet för temperaturverkningsgraden under uppvärmning och jämförs med årstemperaturverkningsgrad. Visar att årstemperaturverkningsgrad motvarar lägst tillåtna avluftstemperatur ca +3°C.

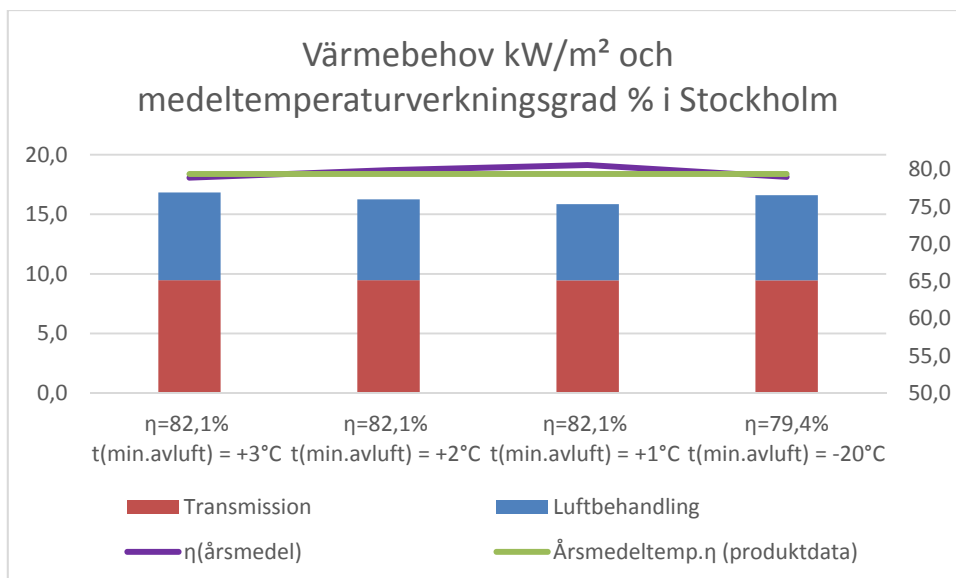


Diagram 3.6: Som ovan men ort: Stockholm. Årstemperaturverkningsgrad motvarar minsta avluftstemperatur mellan +2° och +3° C.

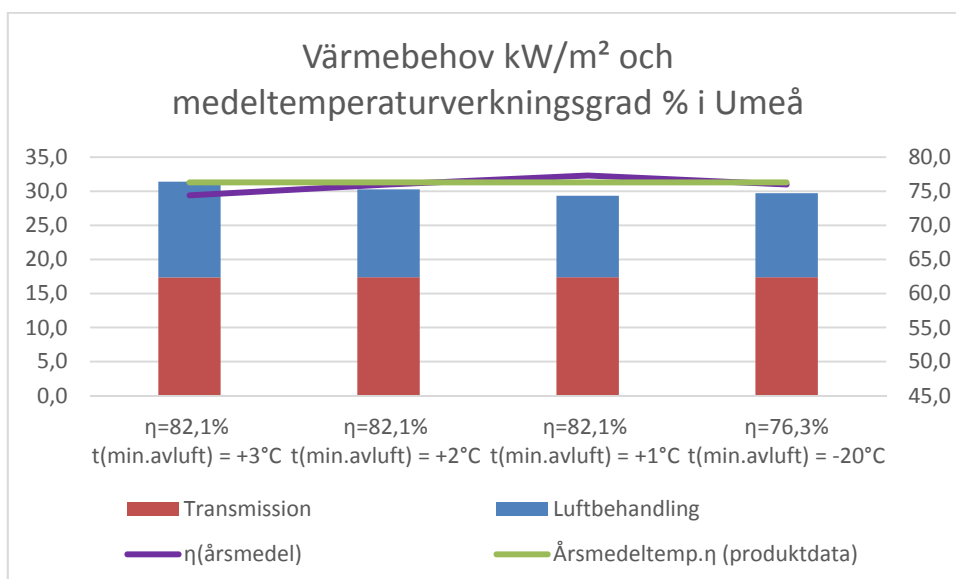


Diagram 3.7: Som ovan men ort: Umeå. Årstemperaturverkningsgrad motvarar minsta avluftstemperatur knappt +2° C.

3.3 Sammanfattning och diskussion

Studien visar att luft-luftväxlarens verkningsgrad genomgående är en viktig parameter för beräknad energianvändning. Indata till t ex energisimuleringsprogrammet IDA ICE skall vara max tillåten energiverkningsgrad och programmet räknar med våt värmeöverföring i vissa drifttillstånd. Torr temperaturverkningsgrad enligt EN308 är en pålitlig parameter och speglar max tillåten energiverkningsgrad.

För våt temperaturverkningsgrad visar studien att produkttillverkares dimensioneringsprogram kan ge orimligt höga värden, beroende på indata för frånluftens relativ fuktighet.

Mer sofistikerad teknik för avfrostning/påfrostningsskydd är svårt att simulera i energiberäkningar. Den funktion som finns i IDA ICE styrs mot temperatur i avluften.

Årstemperaturverkningsgrad speglar hur stor påverkan avfrostningsskyddet kan ha på värmeväxlarens prestanda. Årstemperaturverkningsgraden är till skillnad mot torr temperaturverkningsgrad svår att verifiera och den är upprättad mot klimatdata.

Årstemperaturverkningsgraden ger dock vägledning från produkttillverkaren om vad som kan förväntas i fråga om påverkan av avfrostningsskyddet.

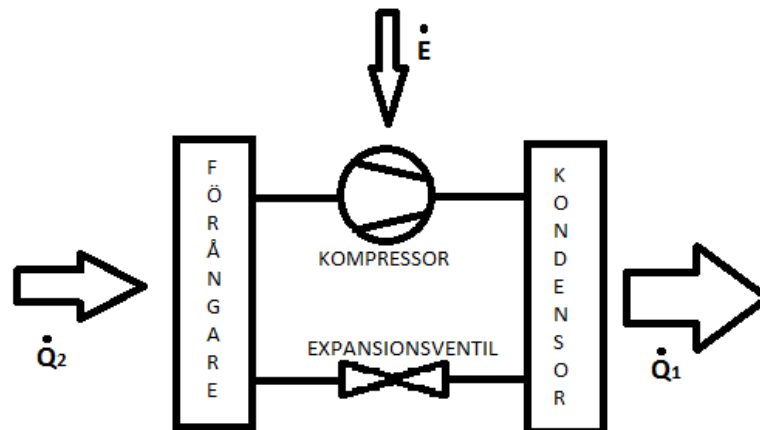
4 VÄRMEÅTERVINNING UR FRÅNLUFT MED VÄRMEPUMP

4.1 Bakgrund

Värmepump har viss utbredning i bostadshusens system för uppvärmning genom olika tillämpningssätt. Gemensamt är hur principen för värmepump används: värme med låg temperatur hämtas från något tillgängligt förråd, växlas upp genom den eldrivna värmepumpen för att med högre temperatur kunna ingå i husets värme- och/eller varmvattensystem. Värmeförrådet kan vara t ex uteluften, marken, berggrunden eller frånluften.

4.1.1 Värmepumpens uppbyggnad och funktion

En värmepump består av en köldmediekrets som passerar fyra huvudkomponenter: förångare, kompressor, kondensator och expansionsventil. Värme med låg temperatur (\dot{Q}_2) hämtas till värmepumpens förångare så att köldmediet i kretsen kan övergå från vätskefas till gasfas. Gasen komprimeras i kompressorn som drivs med el (\dot{E}). Efter kompression har gasen hög temperatur. Värme (\dot{Q}_1) avges i värmepumpens kondensator då köldmediet återgår till vätskefas. Vätskan passerar en expansionsventil för att avkyld och med lågt tryck åter ledas in i förångaren.



Figur 4.1 Värmepumpens principiella uppbyggnad där \dot{Q}_2 är tillförd värmeeffekt till förångaren, \dot{E} är tillförd eleffekt till kompressorn och \dot{Q}_1 är uttagen värmeeffekt från kondensorn.

4.1.2 Värmepumpens effektivitet

Värmepumpens prestanda anges med värmefaktorn eller COP-faktorn (Coefficient Of Performance) som är kvoten mellan avgiven värmeeffekt och tillförd eleffekt. Värmefaktorn för en värmepump betecknas här COP_1 .

$$COP_1 = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{E}} \quad \text{Ekv. 4.1}$$

Där \dot{E} är tillförd eleffekt till kompressorn och \dot{Q}_1 är uttagen värmeeffekt från kondensorn.

Teoretiskt maximala värmefaktor för en värmepump som arbetar mellan kondenseringstemperatur T_1 och förångningstemperatur T_2 uttrycks av värmefaktorn för Carnotcykeln, COP_C .

$$COP_C = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

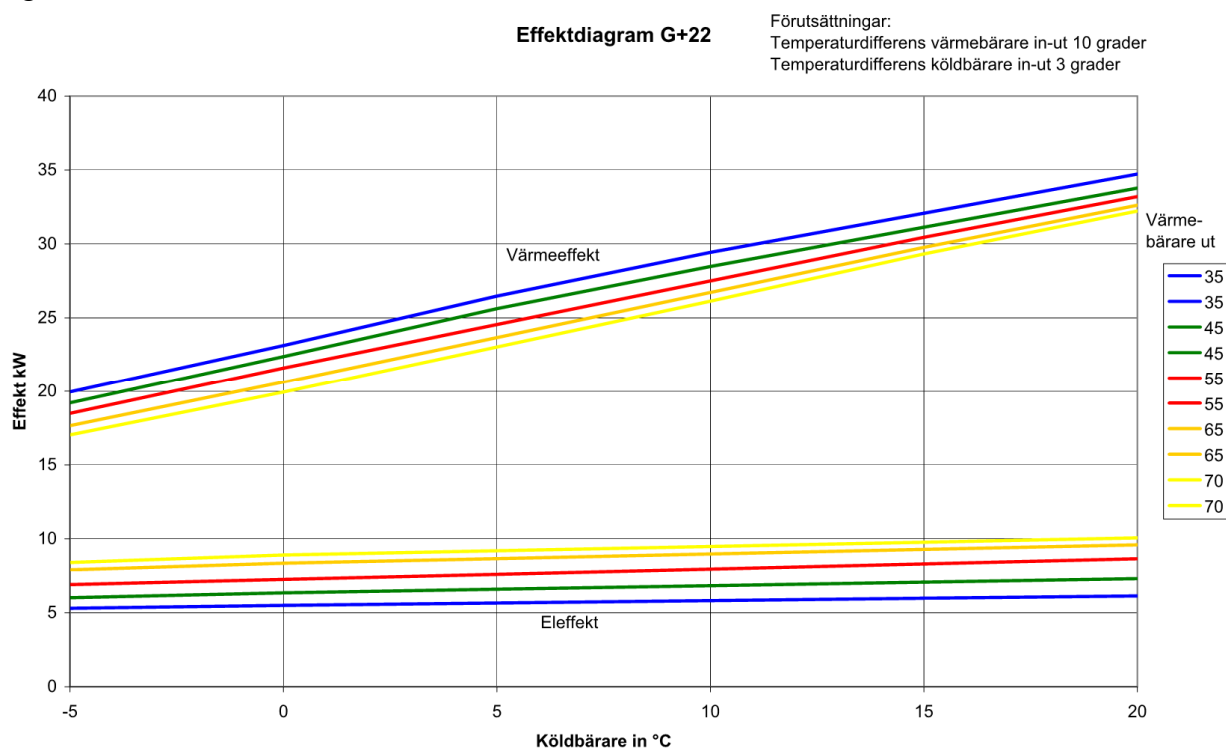
Ekv. 4.2

Carnotcykeln är en teoretisk process som är fullständigt förlustfri och reversibel. I den verkliga värmepumpen däremot finns förluster som effektförluster i kompressorn och ofrånkomliga temperaturdifferenser i förångaren och kondensorn. Temperaturdifferenser mellan köldbäraren och köldmediet respektive mellan köldmediet och värmebäraren är förutsättning för värmetransport på värmepumpens kalla respektive varma sida.

För att uppnå hög värmefaktor (COP_1) i en verklig värmepump bör processen vara så lik Carnotcykeln som möjligt: värmepumpen konstrueras för minimala förluster. Ekv. 4.2 visar dock att Carnotcykelns värmefaktor, COP_C , beror på förhållandet mellan förångningstemperatur och kondenseringstemperatur. Värmefaktorn för en bestämd värmepump är hög vid

- hög förångningstemperatur
- låg kondenseringstemperatur
- liten skillnad mellan förångningstemperatur och kondenseringstemperatur

Förhållandet mellan värmeeffekt, eleffekt, köldbärartemperatur och värmebärartemperatur visas i Figur 4.2.



Figur 4.2 Förhållandet mellan värmepumpens avgivna värmeeffekt och tillförda eleffekt vid olika temperaturer på köldbärare och värmebärare. Karakteristikan speglar förhållandet mellan värmefaktor (värmeeffekt/eleffekt), förångningstemperatur (~ köldbärare) och kondenseringstemperatur (~ värmebärare). Bild: IVT Värmepumpar

4.1.3 Värmepumpens energieffektivitet

Värmepumpens värmefaktor beror på det aktuella drifttillståndet. Hur värmefaktorn varierar med värmebehovet beror t ex på hur värmepumpen styrs:

Intermittent styrning innebär att värmepumpen slås av och på i sekvenser när värmebehovet är mindre än kapaciteten. Kondenseringstemperaturen är på en konstant (hög) nivå när värmepumpen är i gång. Utgående temperatur på varma sidan kan temporärt vara högre än behovet innan värmepumpen slås av. Större flexibilitet med intermittent drift kan uppnås genom att kombinera olika stora värmepumpar i en värmepumpinstallation vilket ger fler effektsteg.

Kapacitetsreglering, t ex frekvensstyrning av kompressorn, innebär att utgående temperatur på varma sidan kan anpassas till värmebehovet. Med lägre kondenseringstemperatur blir värmefaktorn högre.

Värmefaktorns medelvärde över ett helt år eller en uppvärmningssäsong uttrycks med årsvärmefaktorn, SPF (Seasonal Performance Factor), eller SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Årsvärmefaktorn, som bestäms av förhållandet mellan avgiven värmeenergi och tillförd elenergi enligt Ekv.4.3, anger värmepumpens energieffektivitet.

$$SPF = \frac{Q_1}{E} \quad \text{Ekv. 4.3}$$

Där Q_1 är avgiven värmeenergi under året och E är motsvarande tillförd elenergi.

Årsvärmefaktorn kan omfatta endast värmepumpen eller större delsystem, t ex:

$$SPF_{\text{värmepump}} = \frac{Q_1 \text{ värmepump till värmebärare}}{E_{\text{kompressor}}} \quad \text{Ekv. 4.4}$$

$$SPF_{\text{värmepumpinstallation}} = \frac{Q_1 \text{ värmepumpinstallation till värmebärare}}{E_{\text{kompressor}} + E_{\text{köldbärarpump}} + E_{\text{värmebärarpump}}} \quad \text{Ekv. 4.5}$$

$$SPF_{\text{värmesystem}} = \frac{Q_1 \text{ värmesystem till rum}}{E_{\text{kompressor}} + E_{\text{köldbärarpump}} + E_{\text{värmebärarpump}} + E_{\text{tillskottsvärme}}}$$

Årsvärmefaktorn för respektive systemnivå bestäms av ett antal olika parametrar i kombination, beroende på systemlösning, t ex:

- Värmeväxlingens effektivitet i olika delar av systemet
- Värmebehov, klimat, systemtemperaturer, systemflöden.
- Styrning av värmepumpen i kombination med andra komponenter i systemet.
- Effekttäckning

4.1.4 Värmepump som värmeåtervinnare i ett frånluftssystem

Värmeåtervinning i ett luftbehandlingssystem med enbart mekanisk frånluft kan åstadkommas med hjälp av värmepump.

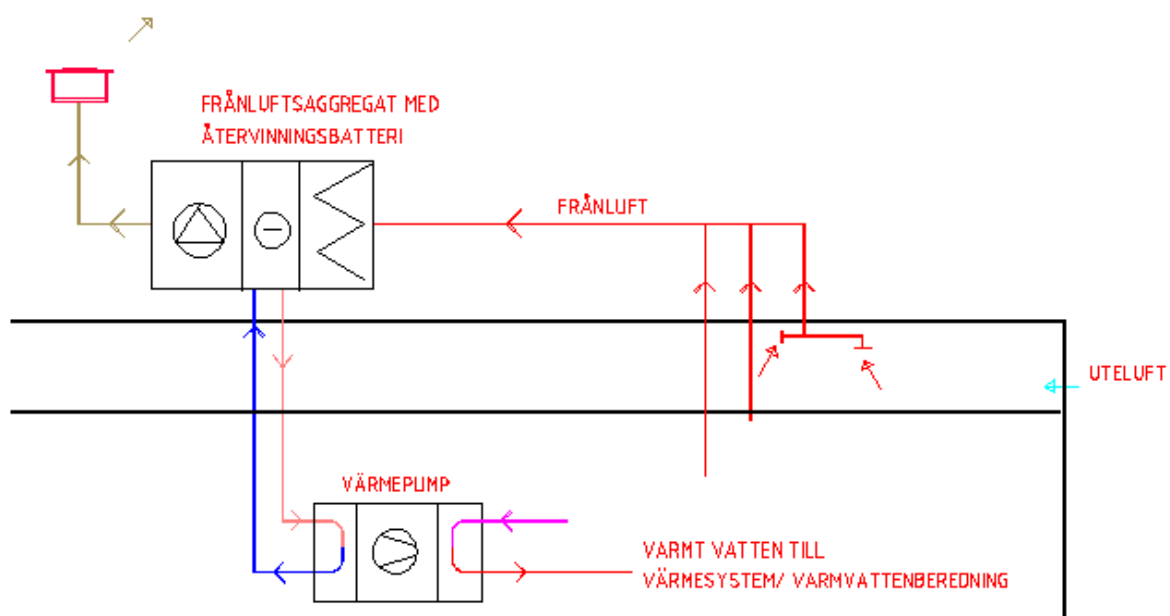
Värmepump som luftvärmeåtervinnare i ett frånluftssystem kan för flerbostadshus vara ett alternativ till luft-luftvärmeåtervinning i till- och frånluftssystem.

I bostäder evakueras frånluft från i huvudsak kök och våtrum via kanalsystem och frånluftsfläkt. Uteluft tas in till sovrum och vardagsrum genom lokala öppningar i husets fasad. Rumsluften värms upp av husets värmesystem. Uteluftsflödet i husets rum bestäms av öppningarna i klimatskalet och det undertryck som skapas av frånluftsystemet.

Frånluftflödet centraliseras så att värmen kan överföras till värmepumpen. Luftströmmen leds antingen direkt över förångaren (luftberörd förångare) eller över ett återvinningsbatteri med vätskekoppling till förångaren (vätskeberörd förångare).

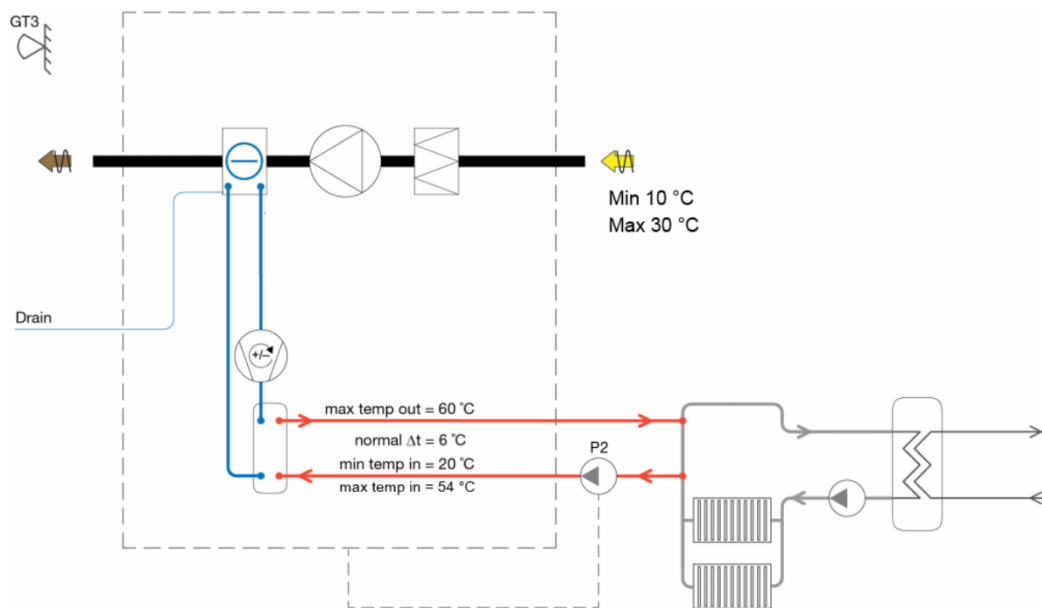
Värmepumpsaggregat med luftberörd förångare är en utbredd lösning för villor. Enheten är vanligtvis komplett med frånluftsfläkt, elpatroner för tillskottsvärme och varmvattenberedare.

För flerbostadshus med centralt frånluftaggregat har den vanliga lösningen för värmeåtervinning varit via återvinningsbatteri i luftbehandlingsaggregatet, kopplat med brinekrets till vätskeberörd förångare i ett separat värmepumpaggregat. Se Figur 4.3. Värmepumpaggregat av den här typen marknadsförs i första hand som bergvärmepump. Frånluftaggregatet tillhör normalt fläktrummet medan värmepumpaggregatet är placerat i husets undercentral. Värmebärare från kondensorn (vätskeberörd kondensator) utgörs av varmvatten till husets värme- och/eller varmvattensystem.



Figur 4.3: Principflödesschema för frånluftssystem med värmeåtervinning via återvinningsbatteri i centralaggregat och separat värmepumpaggregat.

På marknaden finns, men sedan relativt kort tid tillbaka, ett par varianter av frånluftaggregat även för flerbostadshus med integrerad värmepump och luftberörd förångare. Se Figur 4.4.



Figur 4.4: Principflödesschema för frånluftsaggregat och värmeåtervinning via integrerad värmepump med luftberörd förångare. Bild: IV Produkt

Luftbehandlingssystem med frånluftvärmepump (FX-system) i flerbostadshus är en möjlighet till energieffektivisering vid renovering, när befintligt luftbehandlingssystem består av kanalsystem för frånluft med anslutning till en eller flera centrala frånluftsfläktar. Åtgärderna för att lägga till värmeåtervinning med frånluftvärmepump till ett befintligt frånluftssystem är betydligt mindre omfattande än att byta till från- och tilluftssystem med luft-luftvärmeåtervinning (FTX-system). Det kan dessutom vara mycket begränsade möjligheter att inrätta fläktrum som rymmer FTX i ett befintligt hus, utan att genomföra radikal ombyggnad.

I nybyggnadsprojekt ses FX-system som ett kostnadseffektivt alternativt till FTX. Skillnaden i kostnad drivs dels av komponenter och byggåtgärder för det extra kanalsystem som FTX innebär, dels av den uthyrningsbara yta som upptas.

Generellt kan högre krav på inomhusmiljö och komfort uppfyllas med FTX:

- tilluften är förvärmad och flödet i varje rum är justerbart och stabilt
- det centrala uteluftsintaget kan förläggas där luften är som renast
- buller utifrån överför inte i samma utsträckning vid tät fasad

Under förutsättning att krav vad gäller komfort och inomhusmiljö klaras med FX-system kan valet FTX eller FX avgöras av hur väl projektets energimål beräknas uppfyllas.

Energiberäkningen i tidigt skede utgör då beslutsunderlag för val av FTX eller FX.

Vid val av FX, skall vidare beslutas om värmevatten från FX-systemet skall tillföras värmesystemet momentant eller om värmevatten skall ackumuleras och även kunna användas till varmvatten.

Frånluftens värmemängd är en begränsad resurs: värmevatten från frånluftvärmepumpen räcker som regel inte till både värmesystemet och varmvattenberedning vintertid. Däremot kan värmeåtervinningen vid FX, till skillnad mot vid FTX, utnyttjas till varmvattenberedning sommartid och därigenom ge mindre årlig energianvändning, vilket dock inte behöver vara det ekonomiskt mest lönsamma alternativet:

- Energianvändningen vid FX jämfört med FTX innebär större andel el. Kostnaden för värme sommartid skall jämföras med kostnaden för den el som värmepumpen behöver för värmeväxlingen.
- Värmepumpens livslängd förlängs om den tidvis kan vara helt avstängd.
- Ackumulering av värmevatten och varmvattenberedning innebär större omfattning av installationer och därmed större kostnader för investering och underhåll.

Det finns ett antal olika sätt att kombinera frånluftvärmepump med fjärrvärme. Kopplingen mellan värmepump och fjärrvärmecentral kan vara mer eller mindre komplicerad för att uppnå optimerad prestanda beroende på vilka parametrar som är kritiska, t ex:

- värmepumpens värmefaktor
- fjärrvärmens returtemperatur
- elanvändning i förhållande till värmeanvändning
- systemets enkelhet och överblickbarhet
- investeringskostnad
- kostnader för drift och underhåll.

Förutsättningar som har betydelse för optimerat val i det enskilda projektet är t ex värmebehov i förhållande till varmvattenbehov, temperaturer i värmesystemet och energileverantörernas prismodeller.

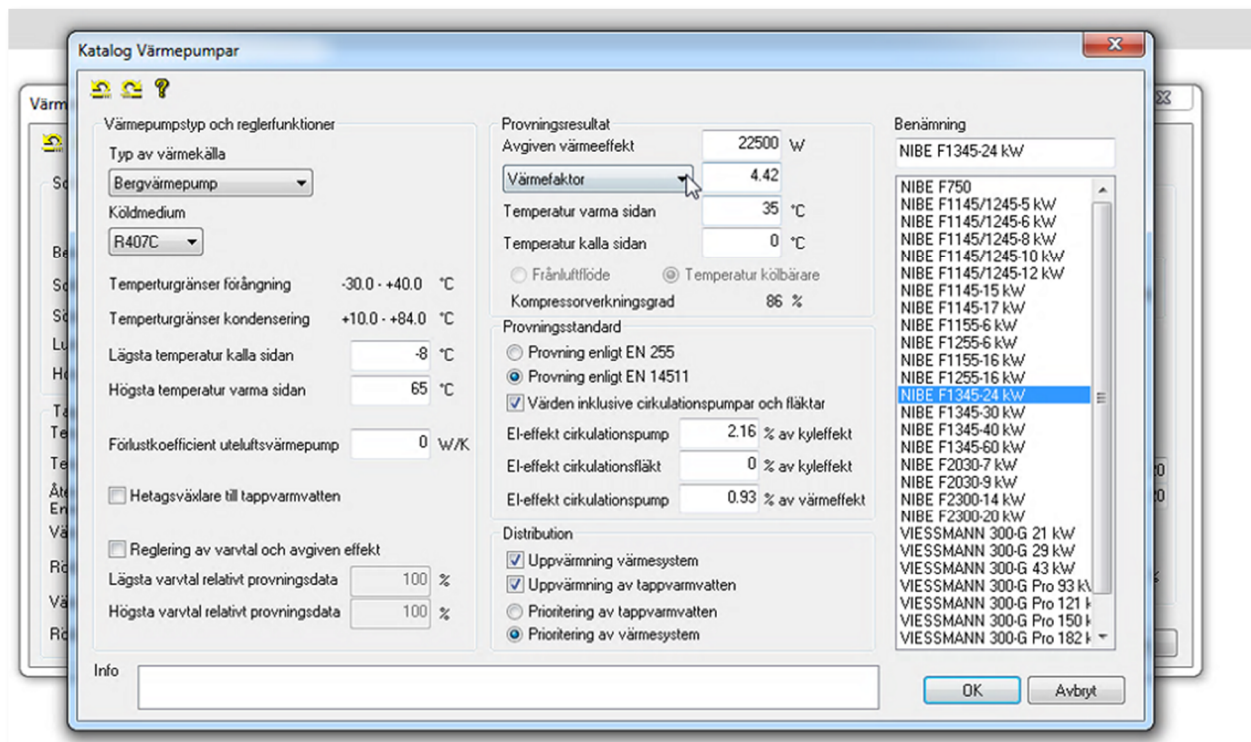
4.1.5 Energiberäkning med värmepump

Värmepumplösningens energieffektivitet beror på flera parametrar som hänger samman med varandra. Noggrann beräkning av energianvändning med värmepump är komplex.

Beräkningsprogrammet VIP Energy har en utvecklad funktion för värmepump.

Beräkningsmodellen hanterar produktdata som utgår från standardiserad provning.

Provningsstandard anges. Grunddata för ett antal produkter finns färdiga i programmet, se exempel i Figur 4.4. Produktdata kan också med leverantörens hjälp presenteras i indataformulär för VIP Energy, som exemplet i Figur 4.5.



Figur 4.4: Dialogruta från energiberäkningsprogrammet VIP Energy. I programmet finns katalogdata för ett antal produkter.

ComfortZone Excellence		Indata VIP-Energy			
Kapacitetsreglerade frånluftsvärmepumpar		EX35	EX50	EX65	
Värmeproduktion					
Köldmedium		R410A			
Lägsta temp kalla sidan		-15			°C
Högsta temp varma sidan		63			°C
Förlustkoefficient uteluftsärmepump		N/A			
Hetgasväxlare till varmvatten		Nej			
Reglering av varvtal och avgiven effekt		Ja			
Lägsta varvtal relativt provningsdata		57	42	34	%
Högsta varvtal relativt provningsdata		125	139	143	%
Avgiven värmeeffekt		2565	3420	4275	(W) *
Värmefaktor		3,04	3,07	3,05	(-) *
Temperatur varma sidan		45	45	45	°C
Frånluftsföde		41,7	55,6	69,4	(l/s)
Frånluftsföde markerat		Ja			
Provning enligt EN14511		Ja			
Värden inklusive cirkulationspumpar och fläktar		Ja			
El-effekt köldbärarpump		N/A			
El-effekt cirkulationsfläkt		1,0	1,1	1,2	%
El-effekt värmebärarpump		0,40	0,45	0,50	%
Uppvärmning av värmesystem		Ja			
Uppvärmning av tappvarmvatten		Ja			
Prioritering av tappvarmvatten		Ja			

Figur 4.5: Indataformulär med produktdata anpassad för VIP Energy från www.comfortzone.se.

Programmets beräkningsmodell simulerar funktionen i kompressor, förångare och kondensor utifrån hur prestanda påverkas av kondenserings- och förångningstemperaturer. Värmeväxlingen från köldbäraren till köldmediet i förångaren och från köldmediet till värmebäraren i kondensorn beräknas också. För bergvärmepump anges inkommande köldbärartemperatur som referensvärde på kalla sidan. Vad gäller frånluftsvärmepump anges frånluftsföde. Frånluftstemperatur och relativ fuktighet är standardiserade till 20°C och 40 % (*VIP-Energy Manual, version 3.0.0*).

I tidigt skede av byggprojektet skall energiberäkningen på ett tydligt sätt kunna vara vägledande vid systemval. Med fördel görs förenklingar så att fokus kan sättas på ett fåtal godhetstal, men ändå så att de parametrar som har betydande påverkan på energianvändningen beaktas.

4.2 Studie och resultat

Studien belyser hur resultatet av en förenklad energikalkyl påverkas av parametrar kopplade till produktdata. Beräkningar görs för alternativa systemlösningar med två olika typer av produktuppsättningar och produktdata analyseras.

I studien undersöks energiberäkning av ett relativt okomplicerat system med värmeåtervinning ur frånluft via värmepump, utan varmvattenberedning och utan ackumulering av värme. Systemlösningen är främst tänkt att ersätta funktionen av luft-luftvärmeåtervinning i till- och frånluftssystem.

Simuleringsverktyget IDA ICE används men kompletteras med kalkyl i Excel.

4.2.1 Metod

Värmeåtervinning ur frånluft i flerbostadshus med central frånluftsfäkt och värmepump, utan ackumulering av värme, kan förenklat karakteriseras av:

- Kontinuerligt luftflöde → Värmeeffekten från frånluften är begränsad men relativt konstant.
- Värmebehovet varierar med utomhustemperaturen → högst kondenseringstemperatur vid dimensionerande utetemperatur.

Här bortses från eventuell forcering av frånluftsfödet för osuppfångning vid matlagning.

Energianvändning för husets värme med frånluftsvärmepump beräknas med två godhetstal: maximal värmeeffekt från värmepump, \dot{Q}_{1max} , och värmepumpsaggregatets årsvärmefaktor, *SPF*.

Husets värmebehov, Q_{behov} , simuleras med hjälp av IDA ICE för aktuellt klimat. I modellen har luftbehandlingssystemet ingen värmeåtervinning och ingen luftvärmare. Husets värmeeffektbehov, \dot{Q}_{behov} , loggas varje timme över året.

I en kalkyl över året jämförs för var timme \dot{Q}_{behov} med \dot{Q}_{1max} : värmeeffekt från värmepumpen, \dot{Q}_1 , motsvarar \dot{Q}_{behov} upp till och med \dot{Q}_{1max} . Om \dot{Q}_{behov} är större än \dot{Q}_{1max} adderas tillskottsvärme $\dot{Q}_{tillskott}$.

Samtliga timmars \dot{Q}_1 och $\dot{Q}_{tillskott}$ adderas. Summorna representerar avgiven värmeenergi från värmepumpen respektive mängden tillskottsvärme över året.

Ur *Ekv. 1.3* erhålls tillförd elenergi, E :

$$E = \frac{Q_1}{SPF} \quad \text{Ekv. 1.6}$$

Exempel på energianvändningskalkyl ses i figur 4.7.

A_{temp} (m ²)	Klimat: Malmö	$\dot{Q}_{1,max}$ (W)	SPF		Klimat: Stockholm			
2466	(SMHI/Sveby)	33700	3,73		(SMHI/Sveby)			
Timme	\dot{Q}_{behov} (W)	\dot{Q}_1 (W)	$\dot{Q}_{tillskott}$ (W)	\dot{E} (W)	\dot{Q}_{behov} (W)	\dot{Q}_1 (W)	$\dot{Q}_{tillskott}$ (W)	\dot{E} (W)
0	25048	25048	0,0	6715	32482	32482	0	8708
1	29496	29496	0	7908	32569	32569	0	8732
1302	42452	33700	8752	9035	39696	33700	5996	9035
1303	40111	33700	6411	9035	38115	33700	4415	9035
1304	34542	33700	842	9035	35369	33700	1669	9035
1305	30939	30939	0	8295	33298	33298	0	8927
1306	26794	26794	0	7183	32556	32556	0	8728
2986	54	54	0	14	507	507	0	136
2987	31	31	0	8	358	358	0	96
5233	0	0	0	0	78	78	0	21
8758	27533	27533	0	7382	32458	32458	0	8702
8759	28537	28537	0	7651	36357	33700	2657	9035
8760	30778	30778	0	8251	45315	33700	11615	9035
Summa kWh	117864	112596	5268	30187	148143	132079	16064	35410
kWh/m²	47,8	45,7	2,1	12,2	60,1	53,6	6,5	14,4
El+värme(kWh/m²)				14,4				20,9

Figur 4.7: Exempel på kalkyl över årets energianvändning avseende uppvärmning med frånluftsvärmepump i ett flerbostadshus i Malmö respektive Stockholm. Ett urval timvärden visas. Värderna för \dot{E} är gråmarkerade eftersom COP_1 inte är känt för varje timme och därmed inte heller \dot{E} .

4.2.2 Studie

Alternativ för frånluftsvärmepump studeras för modellhuset. Husets frånluftflöde är 1100 l/s. Geografisk ort är Malmö respektive Stockholm. Energianvändning för värme till värmesystemet beräknas.

Indata till beräkningen är värmepumpens värmeeffekt ($\dot{Q}_{1,max}$) och årsvärmefaktor (SPF). Produktdata hämtas med hjälp av dimensioneringsprogram från respektive produkttillverkare. Kommentarer om produktdata sammanfattas i Tabell 4.2.

VP1 och **VP2** är luftberörd värmepump integrerad i frånluftsggregat i två olika storlekar. Värmepumpens förångare utgör värmeåtervinningsbatteri i luftbehandlingsaggregatet.

Storleken på VP1 respektive VP2 bestäms med storleken på luftbehandlingsaggregatet. För det aktuella luftflödet kan två aggregatstorlekar väljas, vilket ger specifik fläkteffekt, $SFP_E = 0,77$ kW/m³s⁻¹ för det större aggregatet (VP1) och $SFP_E = 0,80$ kW/m³s⁻¹ för det mindre aggregatet (VP1). Produktdata i figur 4.8 visar att frånluften kyls ned till +2°C med den större

värmepumpen. Framledningstemperaturen för VP1 och VP2 kan inte ändras i produktvalsprogrammet.

Storlek		190-1	1,10 m ³ /s
VÄRMEPUMP			
Indata	Frånluftstemperatur	21,0	°C
	Relativ fukt i frånluft	33	%
Utdata	Avluftstemp	2,0	°C
	Värmeeffekt	38,4	kW
	Tillförd eleffekt	10,1	kW
	Värmefaktor årlig*	3,80	

Storlek		150-1	1,10 m ³ /s
VÄRMEPUMP			
Indata	Frånluftstemperatur	21,0	°C
	Relativ fukt i frånluft	33	%
Utdata	Avluftstemp	3,5	°C
	Värmeeffekt	33,7	kW
	Tillförd eleffekt	9,0	kW
	Värmefaktor årlig*	3,73	

*Genomsnittlig värmefaktor beräknad med värmebärare ut 40°C.

Figur 4.8: Klipp ur EcoHeater Tekniska data, programutskrift från IV Produkt Designer 305.5.2.0 vid dimensionering av frånluftsaggregat med integrerad värmepump.

VP3 är en värmepump av modell bergvärmepump. Värmepumpens förångare är vätskekopplad till en luftkylare i form av ett vattenbatteri i frånluftsaggregatet.

VP3 dimensioneras utifrån mängden värme som kan tas ur frånluften. I dimensioneringsprogrammet för värmepumpen väljs frånluft som värmekälla. Programmet svarar med ett visst erforderligt luftflöde, men hur mycket frånluften kyls eller på annat sätt hur stor effekt som hämtas från frånluften, framgår inte. I beräkningsresultatet redovisas ett visst antaget effektbehov för huset och ett effektbehov för tillskottsvärme utöver värmepump. Differensen mellan dem ger värmepumpens värmeeffekt (\dot{Q}_{1max}). Värmepumpens årsvärmefaktor ges enligt Ekv.4.3 av kvoten mellan energimängderna (Gratisenergi VP + Drivenergi VP) och Drivenergi VP.

Typ av värmepump

Berg-/Jord-/Sjövärme
 Luft/Vatten
 Frånluft
 GEO 312
 AirX
 IVT 490/690 + IVT Air Combo 60
 Luft/Vatten - Split
 Manuellt val st

Värmekälla

Geoenergi
 Frånluft
 Grundvatten °C

Värmesystemet

Framledning °C vid utetemp °C
Husets egenuppvärmning °C
Önskad effektäckning %
Ändring av beräknad brine °C

Ber/angiven effekt	67.1 kW	Maxbehov tillskott	42.7 kW
Ber/angiven energi	148140 kWh	Drivenergi VP	26820 kWh
Medeltemp för orten	6,6 °C	Tillskott VP	34730 kWh
DUT	-18.1 °C	Gratisenergi VP	86600 kWh
		Drifttid	4630 h/år
		Effektäckning	36 %
		Energitäckning	77 %

Värmekälla

Brinetemperatur medel	5 °C	Min. volym värmesystem	243 liter
Lägsta luftflöde	974 l/s		

Figur 4.6: Klipp ur beräkningsresultat IVT Greenline HE E21, programutskrift från VPW 2100 vid dimensionering av värmepump med värme från frånluft.

Energianvändningen beräknas för VP3 med olika kombinationer av köldbärartemperatur (Brinetemperatur) och värmebärartemperatur (Framledning).

Modell	HE E21
Drift vätska/vatten	
Värmeeffekt (B0/W35) ¹⁾	20,8 kW
Värmeeffekt (B0/W45) ¹⁾	20,0 kW
Tillförd effekt (B0/W35) ¹⁾	5,1 kW
Tillförd effekt (B0/W45) ¹⁾	5,9 kW

Figur 4.7: Klipp ur produktblad för IVT Greenline HE E21.

Tabell 4.1: Kommentarer om de produktdata som utgör underlag för indata till energiberäkningen.

Alternativ	VP1, VP2	VP3
Produkt	IV Produkt <i>EcoHeater</i> 190-1, 150-1 Frånluftsaggregat med integrerad värmepump, luftberörd förångare och vätskeberörd kondensor.	IVT <i>Greenline HE E21</i> Värmepumpsaggregat med vätskeberörd förångare och vätskeberörd kondensor. Marknadsförs primärt som berg/mark/sjövärmepump. Se Figur 7.
Produktvalsprogram	IV Produkt Designer G3 Version 305.5.2.0 Dimensionering för <i>Tekniska data</i> . Energikalkyl i separat del.	VPW2100 Version 2015-07-24 Beräkningsprogram för dimensionering och energikalkyl. (Produktblad och effektdiagram för produkten finns på www.ivt.se .)
Köldbärare, temperatur	Frånluft efter frånluftsfläkt.	Brinevätska. Inkommande köldbärartemperatur kan väljas som <i>Ändring av beräknad brine</i> upp till 4°C vilket ger brinetemperatur +5°C.
Frånluftstemperatur	Anges som indata, kopplas i programmet till relativ fuktighet.	Rumstemperatur anges som indata.
Frånluftflöde	Anges som indata vid dimensionering av hela luftbehandlingsaggregatet.	Erforderligt frånluftflöde ges som resultat av vald värmepump. Begränsat antal möjliga val medför viss underdimensionering: minsta luftflöde 896 l/s (Malmö 4/55°C) – 974 l/s (Stockholm 5/40°C) men tillgängligt luftflöde är 1100 l/s.
Värmeeffekt	Finns i <i>Tekniska data</i> .	Framgår av antaget effektbehov och effekttäckning i beräkningsresultatet.
Värmebärare	Årsvärmefaktor beräknad med värmebärare ut 40°C, kan inte väljas i programmet. Antas inkopplad på	Framledningstemperatur kan väljas i programmet
Årsvärmefaktor	Genomsnittlig årsvärmefaktor ges av programmet.	Beräknas m h a <i>Gratisenergi VP</i> och <i>Drivenergi VP</i> , se Figur 6.
Geografisk ort, klimatdata	Geografisk ort eller klimat anges inte vid dimensionering.	Geografisk ort väljs. Klimatdata från <i>Meteonorm</i> .
Cirkulationspumpar för värmebärare och köldbärare	Effekt för värmecirkulation kondensor ingår inte i <i>Tekniska data</i> . I programmets energikalkyldel beräknas elanvändningen till 806 kWh/år (VP1) och 702 kWh/år (VP2), vilket läggs till årets summerade elanvändning för jämförelse med VP3.	Cirkulationspumpar för värmebärare och köldbärare ingår i produkten och elanvändningen är inräknad i drivenergi.

4.2.3 Resultat

Resultatet visar att alternativen med högre maximal värmeeffekt, VP1 och VP2, ger betydligt lägre energianvändning än alternativ VP3, som dock ger avsevärt lägre elanvändning.

Resultaten visas i Tabell 4.2, Diagram 1 och Diagram 2 där också alternativet ingen värmepump finns med som jämförelse.

Tabell 4.2: *Energianvändning för uppvärmning med hjälp av frånluftvärmepump och alternativa lösningar: VP1 och VP2 är olika storlekar av värmepump med luftberörd förångare. VP3 är värmepump med vätskeberörd förångare kopplat till värmeåtervinningsbatteri luft-vatten.*

Energianvändning för värme med frånluftvärmepump									
Alternativ brine/ framlednings- temperatur	Värme- effekt \dot{Q}_{1max} kW	Årsvärme- faktor SPF		Malmö			Stockholm		
		Malmö	Sthlm	Energi- anvndn. kWh/m ²	varav el till VP	till- skotts- värme	Energi- anvndn. kWh/m ²	varav el till VP	till- skotts- värme
VP1 NA/40°C	38,4	3,80		13,6	12,7	0,9	18,9	15,1	3,8
VP2 NA/40°C	33,7	3,73		14,7	12,5	2,1	21,2	14,6	6,5
VP3 4/40°C	23,8	4,12	4,17	18,4	9,4	8,9	27,0	10,4	16,6
VP3 4/50°C	23,5	3,81	3,88	19,4	10,1	9,3	28,1	11,1	17,0
VP3 4/55°C	23,4	3,67	3,71	19,8	10,5	9,4	28,6	11,4	17,1
VP3 5/40°C	24,4	4,19	4,23	17,8	9,4	8,3	26,3	10,5	15,8
VP3 5/50°C	24,1	3,87	3,94	18,8	10,1	8,6	27,4	11,1	16,2
VP3 5/55°C	23,9	3,72	3,81	19,1	10,2	8,8	28,2	11,7	16,5
ingen VP	NA	NA		47,8	0	47,8	60,1	0	60,1

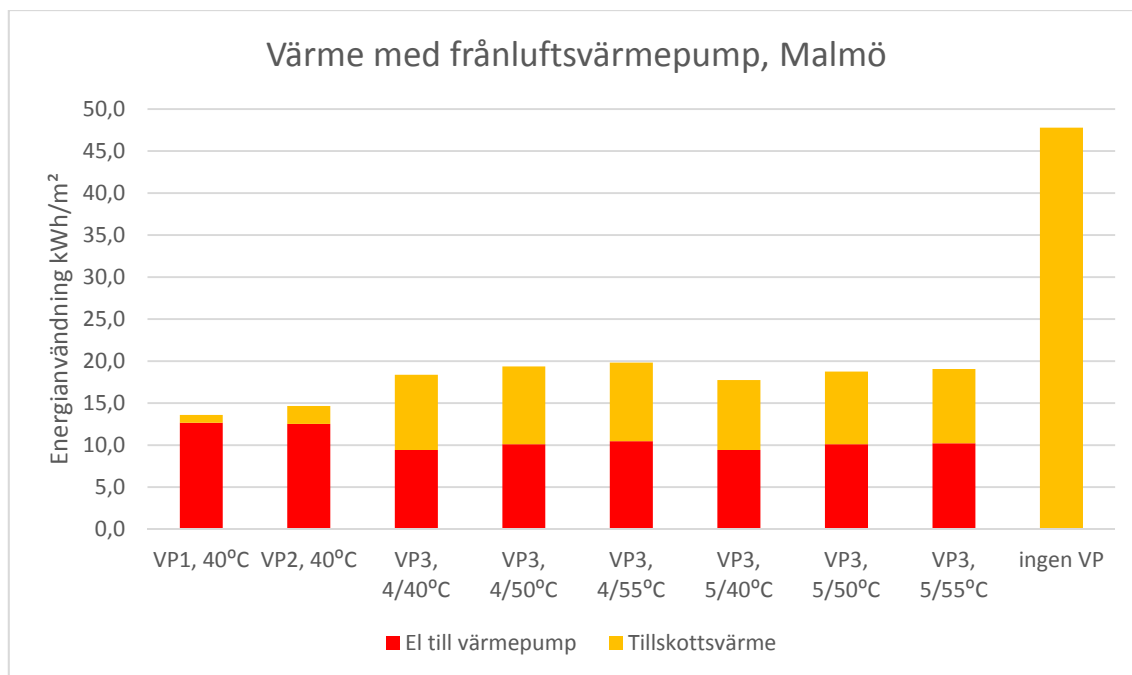


Diagram 4.1: *Energianvändning enligt Tabell 1 för uppvärmning med hjälp av frånluftsvärmepump och alternativa lösningar med geografisk placering i Malmö.*

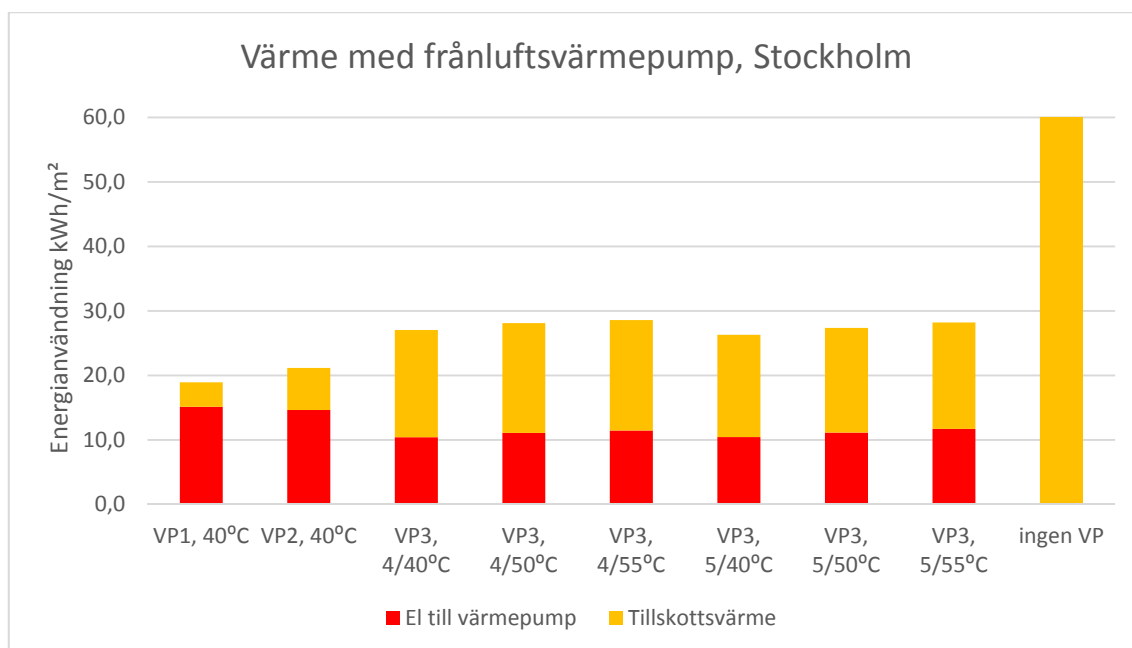


Diagram 4.2: *Energianvändning enligt Tabell 1 för uppvärmning med hjälp av frånluftsvärmepump och alternativa lösningar med geografisk placering i Stockholm.*

VP1 har högre effekt än VP2, frånluften kyls av mer, men också högre årsvärmefaktor trots samma mängd frånluft. Detta kan förklaras med att VP1 är ett större luftbehandlingsaggregat, värmeväxlingen i förångaren sker över större värmeöverförande ytor och lufthastigheten är lägre. Lägre specifik fläkteffekt (SFP_E) för det större luftbehandlingsaggregatet bidrar till ytterligare lägre elanvändning, men det visas inte här.

Olika kombinationer av köldbärartemperatur och värmebärartemperatur för VP3 ändrar energianvändningen med upp till ca 10 %. Värmebärartemperaturen är avhängig temperaturen i resten av värmesystemet och hur värmepumpens inkoppling kan göras. Produktdata för VP1 och VP2 utgår från relativt gynnsamma förhållanden för värmepumpen med värmebärartemperatur 40 °C.

Genomsnittlig årsvärmefaktor ges för VP1 och VP2, d v s oberoende av geografisk ort. Beräknad årsvärmefaktor för VP3 är genomgående högre för Stockholm än för Malmö. Genomsnitt för årsvärmefaktor prövas i det fall skillnaden är som störst (5/55°C): beräknad elanvändning ändras ~1%. Därmed kan också fel avseende årsvärmefaktor på grund av att den är beräknad med annan klimatdata antas försumbar.

Köldbärartemperaturen för alternativ V3 har koppling till frånluftflödet men sambandet är inte transparent, antaganden om värmeväxlingen mellan frånluft och köldbärare framgår inte.

4.3 Sammanfattning och diskussion

Värmepumpens prestanda bestäms både av värmeväxlingens effektivitet i systemets olika delar och av förhållandet mellan förångningstemperatur och kondenseringstemperatur. Små temperaturskillnader ger hög värmefaktor. Värmefaktorn varierar med drifttillståndet t ex beroende på värmepumpens styrning, sambanden mellan olika parametrar är komplexa och kan vara svåra att överblicka i en energisimulering.

Värmepumpsystemets energieffektivitet definieras av årsvärmefaktorn som är kvoten mellan avgiven värmeenergi och tillförd driftenergi under året. Årsvärmefaktorn definieras per systemnivå, t ex värmepumpaggregatet med inbyggda cirkulationspumpar för värmebärare och köldbärare.

Energianvändningen för värme med frånluftvärmepump beräknas på ett förenklat sätt med godhetstalen maximal värmeeffekt och årsvärmefaktor. Förenklingen innefattar t ex karaktären av den aktuella applikationen och att tidsstegen mellan olika driftfall genomgående är en timme.

Transparent energiberäkning kan ge vägledning vid systemval och produktkrav, det är viktigt att kritiska parametrar framgår i produktdata och att förutsättningar vid systemgränser är tydliga. Till exempel förutsättningarna för återvinningsbatteriet i gränssnittet till värmepumpen: högre värmeeffekt kunde få ner energianvändningen i alternativ 3, men kraven på återvinningsbatteriet var otydliga. Kan förklaras av att produktdata för bergvärmepump inte är utvecklad för värmeåtervinning ur frånluft.

5 FLÄKTAR, EL OCH VÄRME

5.1 Bakgrund

Luftbehandlingssystemens fläktar påverkar husets energianvändning både vad gäller el och värme. El till fläktar är en betydande del av fastighetens elanvändning. Värmen från tilluftsfläkten bidrar till att höja tilluftstemperaturen.

5.1.1 Fläktars elanvändning

Fläktars elanvändning beror på:

- Tryckfall i luftbehandlingsaggregatet och övriga kanalsystemet
- Verkningsgrad hos
 - fläkt
 - motor
 - transmission
 - reglerutrustning

Specifik fläkteffekt, SFP (Specific Fan Power), **för en hel byggnad** definieras enligt *SS-EN 13779:2007* (fritt översatt): eleffektbehovet för byggnadens samtliga fläktar delat med byggnadens totala luftflöde, se Ekv.5.1.

$$SFP = \frac{P_{tf} + P_{ff}}{q_{max}} \quad \text{Ekv.5.1}$$

där:

SFP är specifika fläkteffekten i W/(m³/s)

P_{tf} är totala eleffekten till tilluftsfläktar i W

P_{ff} är totala eleffekten till frånluftsfläktar i W

Q_{max} är byggnadens största projekterade flöde (antagligen frånluftsflödet) i m³/s

Förutsättning för SFP för hel byggnad skall enligt *SS-EN 13779:2007* vara medelvärden av tryckfall mellan rena och smutsiga filter respektive torra och våta batterier.

För enskilda fläktar och luftbehandlingsaggregat finns i *SS-EN 13779:2007* definierat **SFP_E** och **SFP_v**.

För till- och frånluftsaggregat med värmeåtervinning gäller:

$$SFP_E = \frac{P_{tfLB} + P_{ffLB}}{q_{maxLB}} \quad \text{Ekv.5.2}$$

där:

SFP_E är specifika fläkteffekten i W/(m³/s) för till- och frånluftsaggregatet

P_{tflB} är tilluftsfläktens eleffektbehov i W

P_{fflB} är frånluftsfläktens eleffektbehov i W

q_{maxLB} är det största flödet i m³/s av tilluft eller frånluft i luftbehandlingsaggregatet.

För en enskild fläkt, tilluftsaggregat eller frånluftsaggregat gäller

$$SFP_E = \frac{P_{fläkt}}{q} \quad \text{Ekv. 5.3}$$

där:

SFP_E är specifika fläkteffekten i W/(m³/s) för fläkten eller luftbehandlingsaggregatet

$P_{fläkt}$ är fläktens eleffektbehov i W

q är luftflödet i m³/s.

Förutsättning för SFP_E skall (liksom för SFP för hela byggnaden) vara **medelvärden av tryckfall mellan rena och smutsiga filter** respektive torra och våta batterier. SFP_E är lämpligt att använda vid energiberäkningar.

SFP_V , med V som i **validering**, definierar specifika fläkteffekten för luftbehandlingsaggregat under förutsättningar lämpliga för kontroll, vilket är rena filter och torra batterier. Övrigt analogt SFP_E , d v s:

$$SFP_V = \frac{P_{tflBV} + P_{fflBV}}{q_{maxLB}} \quad \text{Ekv. 5.4}$$

där:

SFP_V är specifika fläkteffekten i W/(m³/s) för till- och frånluftsaggregatet

P_{tflBV} är tilluftsfläktens eleffektbehov i W vid rena filter och torra batterier

P_{fflBV} är frånluftsfläktens eleffektbehov i W vid rena filter och torra batterier.

$P_{fläkt}$ kan uttryckas:

$$P_{fläkt} = \frac{q \cdot \Delta p_{fläkt}}{\eta_{fläkt}} \quad \text{Ekv. 5.5}$$

där:

$\Delta p_{fläkt}$ är fläktens totala tryckökning i Pa

$\eta_{fläkt}$ är fläktens totalverkningsgrad

Ekv.5.3 och Ekv.5.5 kan skrivas om så att:

$$SFP_E = \frac{\Delta p_{fläkt}}{\eta_{fläkt}} \quad \text{Ekv.5.6}$$

5.1.2 Värme från fläkt

Värme från fläkt består både av (*Fläkt Woods 2009*):

- Temperaturökning på grund av att fläkten bearbetar luften
- Värme från fläktens drivmotor, om motorn finns i luftströmmen

Temperaturhöjningen kan beräknas (*Svensk Ventilation 2013*):

$$\Delta t = \frac{P_{fläkt}}{q * \rho_{luft} * c_p} \quad \text{Ekv.5.7}$$

där:

Δt är luftens temperaturhöjning genom fläkten i °C

$P_{fläkt}$ är uttagen aktiv eleffekt från nätet till fläktens drivsystem i kW (vid motor i luftström, annars gäller fläktaxeeffekt enligt *V-skript 2003:1, Svensk Ventilation 2003*)

q är fläktens luftflöde i m³/s

ρ_{luft} är luftdensitet: 1,20 kg/m³

c_p är specifik värmekapacitet för luft: 1,00 kJ/(kg*K)

Värme från tilluftsfläkt höjer tilluftstemperaturen och minskar därmed behovet av tillskottsvärme efter värmeväxling med frånluft. Värme från frånluftsfläkt kan komma återvinningssystemet till godo vid frånluftsvärmepump, om fläkten är placerad före återvinningsbatteriet.

Temperaturhöjningen 1° har tidigare varit ett vanligt schablonvärde för värme från fläkt.

5.1.3 Energiberäkning av fläkt

Energisimuleringsprogrammet IDA ICE beräknar elanvändning för respektive fläkt.

Motsvarande gäller också beräkningsprogrammet VIP Energy. Indata är fläktens totala tryckökning och totalverkningsgrad, alternativt i IDA ICE specifik fläkteffekt och

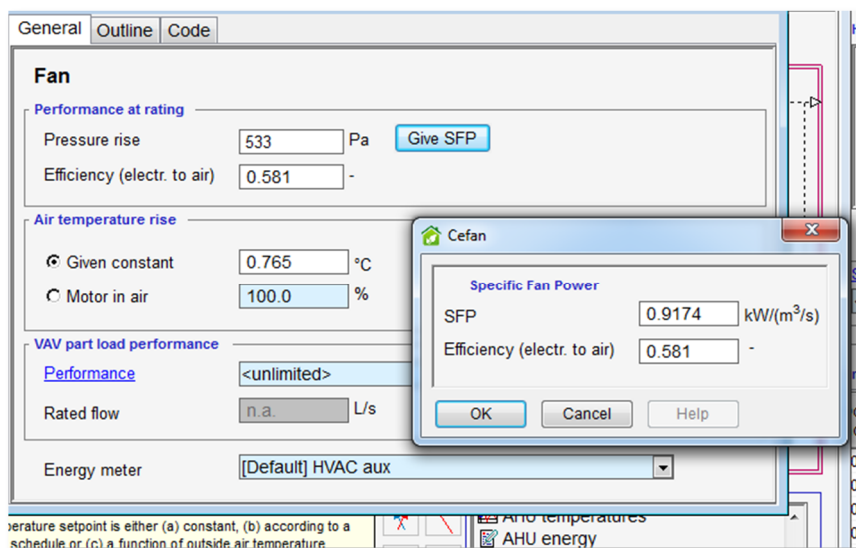
totalverkningsgrad, se Figur 5.1. Dialogen i IDA ICE ger specifik fläkteffekt, SFP , ur

tryckökning och verkningsgrad eller tryckökning ur specifik fläkteffekt och verkningsgrad. Se

Ekv.5.6. Notera att SFP här betecknar vad som i *SS-EN 13779:2007* kallas SFP_E .

Ur ovanstående parametrar kan programmet räkna ut luftens temperaturhöjning. Se Ekv.5.7. Vid valet *Motor in air* beräknas temperaturhöjningen av programmet och adderas till

tilluftstemperaturen vid simuleringen. Väljs *Given constant* adderas ett angivet värde till tilluftstemperaturen.



Figur 5.1: Dialogruta till indata för fläkt i IDA ICE. Fläktens totala tryckökning och totalverkningsgrad ger specifik fläkteffekt, SFP. Alternativt anges SFP och verkningsgrad, dialogen svarar med total tryckökning.

5.2 Studie och resultat

Studien belyser hur beräknad elanvändning för fläktar beror på produktdata som indata vad gäller fläktars eleffektivitet. Vidare hur beräknad energianvändning för värme beror på indata vad gäller temperaturhöjning från tilluft/fläkt.

Produktdata för fläktar i luftbehandlingsaggregat framgår ur resultatutskrift från tillverkarens dimensioneringsprogram. Indata till produktvalsprogram vid dimensionering av fläkt är luftflöde och externt tryckfall, det vill säga tryckfall genom kanalsystemen för uteluft och tilluft respektive för frånluft och avluft. I produktvalsprogrammet adderas externa tryckfall till interna tryckfall för luftbehandlingsaggregatets komponenter och summan utgör fläktens totala tryckökning vid dimensionerande flöde.

Produktdata för fläktar innehåller uppgifter om fläktens totala verkningsgrad och fläktens totaltryck. I något fall ges även luftens temperaturhöjning genom fläkten, se Figur 5.2.

Tilluftslöde	4.50 m ³ /s	Frånluftslöde	4.50 m ³ /s
Externt tryckfall	250 Pa	Externt tryckfall	250 Pa
Spänning	3 x 400V + N, 50 Hz	Vikt	2947 kg
Specifikt eleffektbehov	1.35 kW/(m ³ /s)	Dim. för våt kondition	
Ref. täthet	1.2 kg/m ³	Ref. höjd över havet	0 m

Dimensionerande data	
Varvtal	918 Rpm
Max varvtal	1050 Rpm
Totalverkningsgrad	65.7 %
Tryckökning, dimensionerande	468 Pa
Näteffekt	3.36 kW
Temperaturhöjning	0.6 °C
SFP-beräkning	
Näteffekt enligt SFP	3.05 kW
Tryckökning	415 Pa
Varvtal	889 Rpm

Figur 5.2: Klipp ur programutskrift från produktvalsprogrammet Acon vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat eQ från Fläkt Woods.

Som regel anges den specifika fläkteffekten, SFP_v, övergripande för luftbehandlingsaggregatet. Det är dock inte alltid tydligt att SFP_v avses. Se Ekv.5.4. SFP_v beräknas med fläkteffekt för rent filter. Fläkteffekt för dimensionerande tryckfall avser medelvärde av begynnelse- och sluttryckfall för filter.

SPECIFIK FLÄKTEFFEKT (SFP _v)			
Utdata	Totalt för aggregatet	1,65	kW/m ³ /s
GRUNDDATA			
		Tilluft	Frånluft
Indata	Flöde	1,10	1,10 m ³ /s
	Extern tryckfall	300	300 Pa
	Fördelning av extern tryckfall		
	Uteluft/Tilluft	(100/200)	(200/100) Pa
Utdata	Tvåsnittshastighet	1,1	1,1 m/s
	Filter Finfilter F7 / Finfilter M5	76	65 Pa
	Begynnelsetryckfall	(36)	(25) Pa
	Sluttryckfall	(116)	(105) Pa
	Motströmsvärmväxlare	114	113 Pa
	Avfrostningsspjäll	14	Pa
	Luftvärmare vätska	16	Pa
	Inbyggnadsförlust	13	13 Pa
	Summa internt tryck	233	191 Pa
FLÄKTAR			
		Tilluft	Frånluft
Utdata	Totalt statiskt tryck	533	491 Pa
	Fläktvarvtal	1 454	1 408 r/m
	Totalverkningsgrad	58,1	57,5 %
	Fläkteff dim tryck	1,01	0,94 kW
	Fläkteff rent filt	0,94	0,87 kW
	Motoreffekt	1,62	1,62 kW
	Motorström vid 400V 3-fas	2,5	2,5 A
	Maxvarv	1 750	1 750 r/m
	Reservkapacitet	43	48 %
	Fläkttyp	EC450R63D	EC450R63D
	K-faktor för flödesmätning	15,00	15,00

Figur 5.3: Klipp ur Envistar Flex, Home Tekniska data, programutskrift från IV Produkt Designer 305.5.2.0 vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat.

Aggregatinformation	
Aggregattyp	WLXX
Aggregatstorlek	05
Flöde tilluft	1,10 m ³ /s
Flöde frånluft	1,10 m ³ /s
Luftvärmare	VV
Värmväxlare	Dubbel korsströms eff.klass 2
SFP _v (Dim. flöde & rena filter)	1,72 kW/m ³ /s

Fläkt	Fläkttyp	EC-lågenergimotor
	Externtryckfall	300 Pa
	Systemförlust	3 Pa
	Summa interntryck	250 Pa
	Total tryckökning	550 Pa
	Fläktvarvtal	1 492 rpm
	Totalverkningsgrad	59 %
	Fläkteffekt dimensionerande tryck	1,07 kW
	Fläkteffekt rent filter	0,98 kW
	Motorstorlek	1,61 kW
	Motorström	2,5 A
	Motorspänning	400 V

Figur 5.4: Klipp ur Welair Tekniska data, programutskrift från Welair Designer 1.2.0.17 från Weland Luftbehandling vid dimensionering av luftbehandlingsaggregat.

Energianvändningen över ett år för elanvändning och värme simuleras med IDA ICE för modellhuset. Geografisk ort är Stockholm.

Luftbehandlingsaggregatet i modellen har luft-luftvärmexlaren och balanserade luftflöden, tilluft och frånluft, 1100 l/s. Luftvärmare efter värmexlaren på tilluftssidan. Tilluftstemperatur är +20° C, frånluftstemperatur är +21 °C.

Luftbehandlingsaggregat av typen *IV Produkt Home Concept Envistar Flex* med motströmsvärmexlaren dimensioneras med förutsättningar enligt ovan samt externa tryckfall 300 Pa för vardera tilluft inklusive uteluft respektive frånluft inklusive avluft. Ur programutskrift, se Figur 5.3 hämtas produktdata för tilluftsfläkt och frånluftsfläkt.

Jämförande simuleringar av elanvändning för fläktar görs med olika produktdata som indata, för att belysa skillnaden mellan olika definitioner på SFP-tal samt påverkan av externtryckfall.

Elanvändning för fläktar simuleras med SFP_v som indata för SFP, se figur 5.1. SFP skall anges för respektive fläkt, så värdet på SFP_v fördelas med hälften var till tilluftsfläkt och frånluftsfläkt. Motsvarande simulering görs med SFP_E beräknad enligt Ekv. 5.6 som indata till SFP.

Luftbehandlingsaggregatet dimensioneras på nytt med externtryckfallen vardera 50 Pa lägre än ovan respektive 50 Pa högre.

Elanvändning för fläktar simuleras med fläkteffekt för dimensionerande tryck och totalverkningsgrad som indata i de tre fallen: externtryckfall 250/250 Pa, 300/300 Pa och 350/350 Pa.

Resultatet visar att beräknad elanvändning är ca 7 % lägre vid SFP_v som indata för SFP i stället för att använda fläkteffekt för dimensionerande tryck och totalverkningsgrad. Vidare förändrar uppskattat externtryckfall beräknad elanvändning 9-10% per 50 Pa högre eller lägre värde.

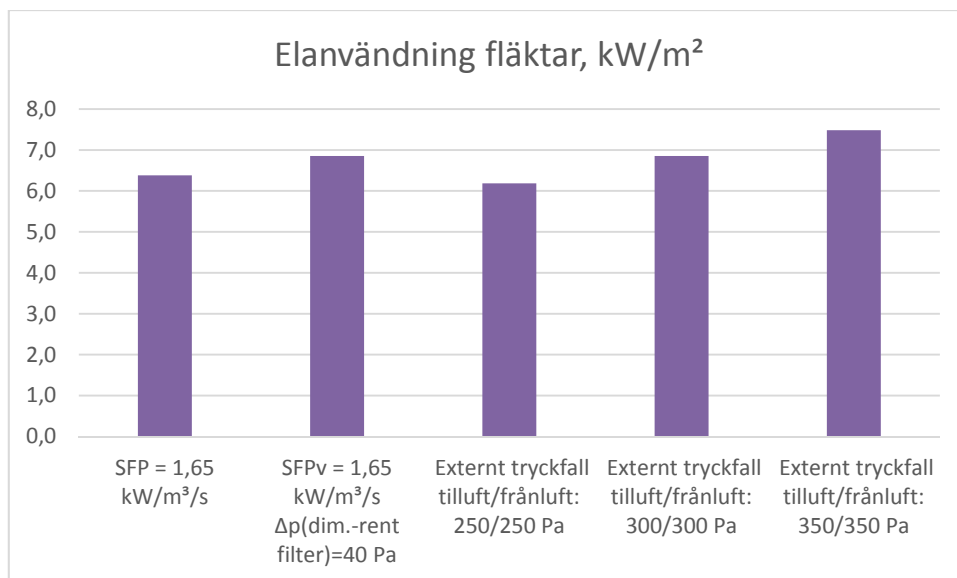


Diagram 5.1: Till vänster elanvändning för fläktar med SFP_v som indata till beräkning av fläkt, jämfört med SFP beräknat utifrån dimensionerande tryckfall. Till höger olika resultat av elanvändning beroende på externt tryckfall

Energianvändning för värme simuleras med indata för tilluftsfläktens temperaturhöjning av luften: 0°C , Δt beräknad ur Ekv.5.7 och produktdata respektive 1°C .

Resultatet visar att temperaturhöjningen från tilluftsfläkten kan stå för ca 12 % av värmebehovet. Beräknad temperaturhöjning ger något högre värmebehov än vad (tidigare) schablonvärde 1°C ger.

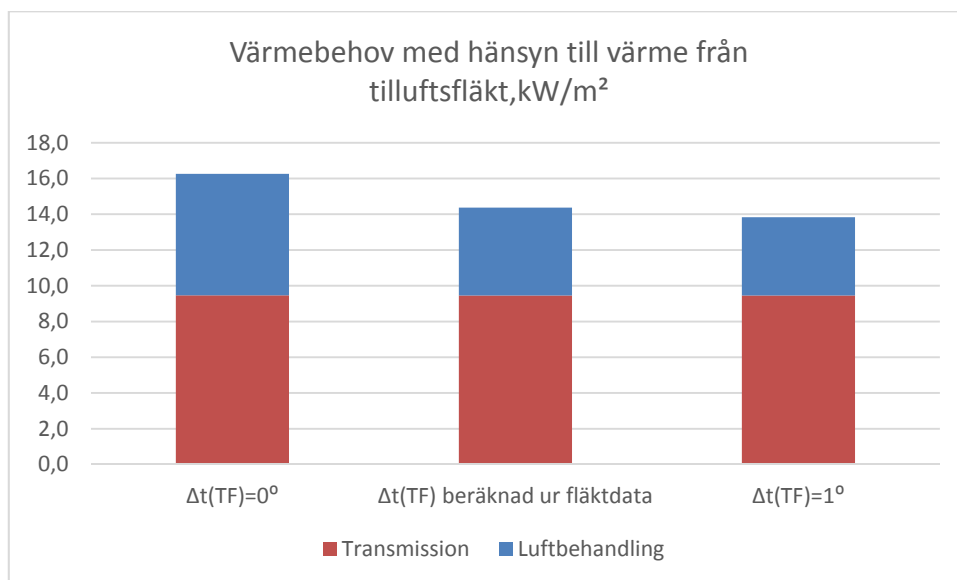


Diagram 5.2: Beräknat värmebehov med olika indata för tilluftsfläktens temperaturhöjning av luften. Ort: Stockholm, luft-luftvärmeåtervinning med torr temperaturverkningsgrad 82 %.

6 SLUTSATSER

Energiberäkningar i tidigt skede kan utgöra beslutsunderlag för systemval och produktkrav, de bör därför vara så rätt som möjligt utan att för den skull bli onödigt noggranna för skedet.

Vad gäller produktdata som indata till energiberäkningar är det viktigt att skilja på produktdata för validering och upphandling och produktdata för energiberäkning. Typiskt exempel är specifik fläkteffekt SFP_V för validering och SFP_E för energiberäkning. Båda skulle kunna anges tydligt i produktdata.

Vissa godhetstal för produkter är starkt beroende av förutsättningarna för dimensionering, t ex exterytryckfall vid specifik fläkteffekt, systemtemperaturer vid värmepumpar och relativ fuktighet för våt temperaturverkningsgrad. Vidare är det viktigt att produkters systemgränser är tydligt definierade, så att rätt förutsättningar kan vara dimensionerande. T ex vid värmepump för återvinning av värme ur frånluft via batteri.

Behov finns att kunna mäta system för avfrostning, d v s påverkan på energianvändningen. Godhetstal för bra avfrostningsskydd i energiberäkningar kunde då vara drivkraft för produktutveckling.