



Mätning och utvärdering av värmeåtervinningsaggregat i befintliga flerbostadshus

September 2015

Åsa Wahlström, CIT Energy Management
Bengt Bergqvist, Bengt Bergqvist Energianalys AB
Bo Wikensten, CIT Energy Management

Förord

Beställargruppen bostäder, BeBo, är ett samarbete mellan Energimyndigheten och fastighetsägare/förvaltare av flerbostadshus. BeBo initierades 1989 av Energimyndighetens företrädare NUTEK. Gruppen driver idag utvecklingsprojekt med inriktning på energieffektivitet och miljö. För att få mer kunskap om hur system med värmeåtervinningsaggregat fungerar praktiskt har mätningar utförts under vintern 2014/2015 i 14 flerbostadshus. I 12 byggnader placerade i Stockholm har mätningar utförts av Bengt Bergqvist, Energianalys AB och i två byggnader placerade i Göteborg av Stefan Aronsson och Bo Wikensten, CIT Energy Management. Föreliggande sammanställning har gjorts av Bengt Bergqvist Energianalys AB, Bo Wikensten CIT Energy Management och Åsa Wahlström CIT Energy Management där den sistnämnde har varit projektledare. För 7 av de byggnader som är placerade i Stockholm är mätningarna en fortsättning av ett projekt som gjordes inom ramen för Hållbara Järva-projektet på uppdrag av Miljöförvaltningen, Stockholm Stad under vintern 2013-2014. Under denna projekttid förekom dock inga perioder med låga utetemperaturer. Ett stort tack riktas till Pia Hedenskog och Erik Andersson på Svenska Bostäder i Stockholm och till Mattias Pettersson och Anna-Karin Larsen på Familjebostäder i Göteborg som har tillhandahållit flerbostadshusen för mätning. Ett stort tack riktas också till Energimyndighetens beställarnätverk för bostäder (BeBo) för initiering av detta projekt och till Lisa Enarson och Jan Ulric Sjögren på Miljöförvaltningen, Stockholms Stad som initierade mätningar i de första aggregaten. Projektet har haft en referens- och sakkunniggrupp där upplägg av mätningar diskuterats och som förutom ovanstående har bestått av:

- Therese Rydstedt, SABO
- Arne Elmroth, professor emeritus vid Lunds tekniska högskola
- Helena Ulfspärre, Familjebostäder
- Lars Heinonen och Ann Lindkvist, Huga Fastigheter
- Peter Axelsson och Gunnar Wiberg, Stockholmshem
- Göran Werner, WSP och BeBo
- Tomas Berggren, Energimyndigheten

Dessa mätningar har tillsammans med erfarenheter från en teknikupphandling av värmeåtervinningssystem för befintliga flerbostadshus legat till grund för en kravspecifikation som tagits fram för att vara ett stödjande underlag vid upphandling av värmeåtervinning. Resultatet kommer att behandlas vidare under hösten 2015 för ytterligare förbättring av kravspecifikationen för upphandling i BeBos klustergrupp för ventilation.

Åsa Wahlström
CIT Energy Management
September 2015

Sammanfattning

En utbredd installation av värmeåtervinning är ett viktigt bidrag för att vi ska klara de nationella och europeiska energieffektiviseringsmålen i befintliga flerbostadshus. För att fastighetsägare ska känna sig trygga vid installation av värmeåtervinning behövs fler erfarenheter och exempel på installationer som genomförts. Mätningar har genomförts i 14 befintliga flerbostadshus för att utvärdera olika installationer av värmeåtervinningsaggregat. Aggregaten har undersökts med avseende på verkningsgrader, SFP, flödesförhållanden, täthet, ljud i fläktrum, utrymmesbehov och avfrostning.

Mätningarna visar att värmeåtervinningssystemen fungerar relativt väl och att det går att göra bra installationer av värmeåtervinning i befintliga flerbostadshus. Tio av aggregaten har årliga värmebesparingar på över 35 kWh per kvadratmeter och de bästa aggregaten har värmebesparingar på ca 42 kWh per kvadratmeter, men de är också relativt utrymmeskrävande. Det aggregat som har sämst värmebesparing (25 kWh per kvadratmeter) har relativt liten värmeväxlare och har valts av utrymmesskäl.

För att åstadkomma värmebesparingen använder aggregaten årligen från 2 till 8 kWh el per kvadratmeter och det visar på att det finns all anledning att arbeta med att få ned SFP-värdena för aggregaten. Aggregaten är överlag täta vilket minskar risk för luktöverföring.

Värmebesparing är här uppmätt för respektive installation i drift och resultatet är beroende av byggandens area, balans i luftflöden, storlek på luftflöde, utomhusförhållanden under mätperioden m.m. Därmed kan flera av aggregaten ha en potential till bättre värmebesparing om de installeras i en annan byggnad under andra förhållanden. Flera av aggregaten kan också ha lite eller mycket sämre värmebesparing om mätningar hade kunnat ske vid kallare väderlek med betydligt större behov av avfrostning. Det går därför inte att dra någon slutsats om att något fabrikat skulle vara bättre framför ett annat.

Avsikten var att särskilt studera aggregatens avfrostningsfunktion. För största möjliga energieffektivitet är det viktigt att aggregaten har en reglering som undviker påfrysning och där eventuell avfrostning sker effektivt utan onödigt stor säkerhetsmarginal. Tyvärr var vintern 2014-2015 alldeles för mild för att någon större påfrysning, och behov av avfrostning, skulle ske. Några fall av påfrysning har konstaterats i mätningarna och några aggregat har gått in i styrning för avfrostning som visar på en liten försämring av värmeåtervinning detta år. För lite mätningar finns för att dra erfarenheter om hur mycket avfrostning kan försämra värmeåtervinningen ett år med en riktigt kall vinter.

Studien kan konstatera att avfrostning bör regleras med fler parametrar än bara tryckfall över värmeväxlaren för att undvika onödig avfrostning (t.ex. utomhustemperatur eller dagpunkt). Dock behövs mer mätning under kalla utomhusperioder för att ta fram tydliga kriterier för en reglerstrategi som ger god energieffektivitet. Vidare behövs mätningar för aggregat som har andra tekniska lösningar för reglering av påfrysning och avfrostning. För att jämföra olika fabrikat av aggregat behöver mätningar göras under betydligt mer reglerade förhållanden.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Sammanfattning.....	2
1 Inledning.....	4
1.1 Syfte.....	5
1.2 Metod.....	5
1.2.1 Mätningar.....	5
1.2.2 Beräkningar.....	6
1.3 Beskrivning av aggregaten.....	8
2 Resultat.....	12
2.1 SFP-värde.....	12
2.2 Temperaturverkningsgrad.....	14
2.3 Värmebesparing.....	16
2.3 Undvika påfrysning och avfrostning.....	17
2.5 Energianvändning i eftervärmningsbatteri.....	22
2.6 Uppmätta ljudnivåer i fläktrum.....	24
2.7 Utrymmesbehov för aggregaten.....	24
2.8 Läckluftflöden i aggregat.....	25
2.9 Iakttagelser under mätning.....	26
3 Diskussion och sammanfattande slutsatser.....	31
Bilaga 1: Värmeåtervinningsaggregat 1 (Voltair)	
Bilaga 2: Värmeåtervinningsaggregat 2 (Voltair)	
Bilaga 3: Värmeåtervinningsaggregat 3 (Voltair)	
Bilaga 4: Värmeåtervinningsaggregat 4 (Voltair)	
Bilaga 5: Värmeåtervinningsaggregat 5 (IV Produkt Flexomix)	
Bilaga 6: Värmeåtervinningsaggregat 6 (IV Produkt Envistar)	
Bilaga 7: Värmeåtervinningsaggregat 7 (Menerga)	
Bilaga 8: Värmeåtervinningsaggregat 8 (Exhausto)	
Bilaga 9: Värmeåtervinningsaggregat 9 (Weland)	
Bilaga 10: Värmeåtervinningsaggregat 10 (Weland)	
Bilaga 11: Värmeåtervinningsaggregat 11 (Weland)	
Bilaga 12: Värmeåtervinningsaggregat 12 (Swegon)	
Bilaga 13: Värmeåtervinningsaggregat 13 (Swegon Gold PX)	
Bilaga 14: Värmeåtervinningsaggregat 14 (Swegon Gold 08 DRX)	

1 Inledning

Under ledning av SABO har Energimyndighetens beställargrupp för bostäder, BeBo, genomfört en teknikupphandling av värmeåtervinningssystem för befintliga flerbostadshus. Syftet med teknikupphandlingen var att initiera en utveckling av energieffektiva systemlösningar som kan erbjudas på marknaden inför de upprustningar av flerbostadshus som kommer att behövas inom de närmaste åren, genom att:

- få fram fler leverantörer som erbjuder en kostnadseffektiv helhetslösning omfattande komponenter, projektering och installation med funktionsansvar för ett ventilationsystem som ger god luftkvalitet och god värmeåtervinning ur frånluften. En helhetslösning som är enkel för bostadsföretagen att beställa.
- demonstrera systemlösningar för värmeåtervinning i befintliga flerbostadshus.

En upphandling genomfördes där två systemlösningar för värmeåtervinning antogs för installation i sju demonstrationshus. Det är dels en systemlösning som använder sig av kondenserande värmepumpsteknik och dels en systemlösning med värmeväxling mellan från- och tilluft (FTX). I det senare fallet har nya kanalsystem för tilluftskanaler i lägenheter installerats.

Teknikupphandlingen har redovisats^{1, 2} med en utvärdering av installation, idrifttagning och drift. Energibesparingen har jämförts med uppställda krav i specifikationen vid upphandling. Utvärderingen konstaterade att båda systemlösningarna fungerar tekniskt men att det fortfarande bedömdes finnas en utvecklingspotential för förbättrad funktion, både vad gäller energi- och kostnadseffektivitet. FTX-aggregaten i teknikupphandlingen har en systemlösning utan eftervärmningsbatteri och utformningar där frånluftsflödet är betydligt större än tilluftsflöde. Under utvärderingen testades olika avfrostningsfunktioner.

Teknikupphandlingen av värmeåtervinning har fått stor uppmärksamhet och kunskapsöverföring har skett på bred front. Inom branschen har flera andra systemlösningar och produkter lanserats och flera flerbostadshusägare som inte ingick i teknikupphandlingen har installerat värmeåtervinning. För att ta till vara på fler erfarenheter från liknande installationer med olika systemlösningar och fabrikat av luftbehandlingsaggregat har mätningar genomförts i 14 byggnader. Erfarenheter från flera installationer med värmeåtervinning är ett viktigt underlag för förbättring av den kravspecifikation för upphandling som tagits fram i teknikupphandlingen.

Avfrostning

Värmeåtervinningsaggregat för flerbostadshus har normalt plattvärmväxlare av korsströms- eller motströmstyp även om roterande värmväxlare också kan förekomma. En fördel med plattvärmväxlare jämfört med roterande värmväxlare är att risken för luktspredning från frånluft till tilluft är lägre medan en nackdel är att de oftare kräver avfrostningsdrift med reducerad värmeåtervinning när det är kallt ute. Vid låga utetemperaturer ska normalt aggregatets avfrostningsfunktion träda in så att isbildning, igensättning och sönderfrysning av värmväxlaren undviks. Påfrysning sker på den värmväxlaryta som ligger an mot frånluften under förutsättning att:

¹"Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus – utvärdering", Åsa Wahlström, Rapport utförd på uppdrag av Bebo och Sabo, www.bebostad.se, januari, 2014.

² "Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus, Kompletterande energimätningar", Åsa Wahlström, Rapport utförd på uppdrag av Bebo och Sabo, www.bebostad.se, november, 2014.

1. Kondensering skett (vilket sker när frånluften kyls ned till så låg temperatur att den blir lägre än dess daggpunktstemperatur)
2. Värmeväxlarytan är lägre än 0°C under en viss tid.

De vanligaste avfrostningsmetoderna är att:

- Tilluftsflödet kopplas (by-passas) förbi värmeväxlaren varvid eftervärmningsbatteriet istället tillfälligt får värma tilluften mer.
- Tilluftfläkten intermittent nedvarvas eller stannar helt under en viss tid så att värmeväxlarens nedkylda avluftsida kan värmas och eventuell is kan smälta bort. Om frånluftsflödet bibehålls kommer tilluft istället att tas in genom byggnadsskärmens otätheter vilket ökar behov av radiatorvärme för att bibehålla oförändrad rumstemperatur och termisk komfort.

När aggregatens avfrostningsfunktion träder in ökar eftervärmningsbehov och/eller uppvärmningsbehov. Därför är det väsentligt att avfrostningen enbart går in när avfrostningsbehov föreligger och inte i onödan.

1.1 Syfte

Att samla erfarenheter från olika installationer av värmeåtervinningsaggregat i ett antal befintliga flerbostadshus med avseende på bland annat verkningsgrader, flödesförhållanden, SFP och avfrostning samt den möjliga energibesparing som de olika aggregaten kan åstadkomma. Visa på att det finns goda exempel där värmeåtervinning har installerats i befintliga flerbostadshus.

1.2 Metod

För att fastställa verkningsgrader har mätningar utförts på 14 aggregat placerade i befintliga flerbostadshus. Mätningar har utförts under något olika tidsperioder för de olika aggregaten under perioden oktober 2014 till maj 2015. Aggregaten 1 – 12 finns i Svenska Bostäders flerbostadshus i Stockholm och aggregaten 13 – 14 finns i Familjebostäders flerbostadshus i Göteborg.

För att beskriva den möjliga energibesparing som de olika aggregaten kan åstadkomma har beräkningar för varje aggregat genomförts med uppmätta verkningsgrader och luftflöden som extrapolerats för att gälla för ett helt år.

Samtliga mätningar är genomförda centralt i flerbostadshuset (i fläktrum). Inga mätningar har skett på lägenhetsnivå och därmed kan inga slutsatser dras om de boendes inneklimat, ljud i lägenheter med mera.

1.2.1 Mätningar

Mätningarna har utgjorts av korttidsmätningar under en arbetsdag och långtidsmätningar med loggningar veckovis eller månadsvis (mätningar sker varje minut och medelvärde för var 5:e minut sparas). Följande mätningar har gjorts på alla eller några aggregat.

Korttidsmätningar

- Till- och frånluftsflöden med spårgas och gasanalys och/eller till- och frånluftsflöden via befintliga fasta mätuttag i de fall sådana funnits. Dessa har jämförts med styrsystemets loggning av till- och frånluftsflöden för några aggregat.
- Eventuell överläckning i aggregat från frånluft till tilluft i aggregaten samt från avluftssida till

- uteluftssida. Har genomförts med spårgas och gasanalys i 10 av aggregaten.
- Eventuell överläckning i ventilationssystem från frånluft till tilluft samt från avluftssida till uteluftssida. Har genomförts med spårgas i ett aggregat.
- Elanvändning av fläktar. Mätning av effekt och SFP-värde (specifik fläkteffekt i kW/(m³/s)).
- Statiska tryck i kanaler för uteluft, tilluft, frånluft och avluft för 12 aggregat.
- Ljudnivåer i fläktrum för 12 aggregat.

Långtidsmätningar

- Loggning av temperaturer i kanaler och i aggregat. För samtliga aggregat har följande temperaturer mätts:
 - uteluft
 - tilluft före eftervärmare
 - tilluft efter eftervärmare
 - frånluft
 - avluft
- Loggning av statiskt tryck i tilluftskanal och frånluftskanal i 11 aggregat och loggning av tilluftflöde och frånluftflöde över fasta mätuttag för flöde i ett aggregat.
- Loggning av differenstryck mellan frånluft och avluft i två aggregat.
- Loggning av relativ luftfuktighet i frånluft i 12 aggregat och loggning av relativ fuktighet i tilluft och i frånluft i 2 aggregat.
- Värmemängdsmätningar av tillförd värme i eftervärmningsbatteri i 7 aggregat.
- Loggning av koldioxidhalter i kanaler för uteluft, tilluft, frånluft och avluft för bedömning av överläckning vid normal drift och under driftfall avfrostning i ett aggregat (aggregat 1).

1.2.2 Beräkningar

Beräkningar av temperaturverkningsgrad

Från mätdata har tilluftens torra temperaturverkningsgrad beräknats för samtliga värmeåtervinningsvärmare. Tilluftens temperaturverkningsgrad beräknas ur sambandet:

$$\eta_{t, vx} = (t_{\text{tilluft}} - t_{\text{uteluft}}) / (t_{\text{frånluft}} - t_{\text{uteluft}})$$

där

t_{tilluft} = tilluftstemperatur efter värmare och före eftervärmare

$t_{\text{frånluft}}$ = frånluftstemperatur före värmare

t_{uteluft} = uteluftstemperatur före värmare

Normalt anges tilluftens temperaturverkningsgrad vid lika luftflödesförhållande mellan tilluft och frånluft. I praktiken är sällan dessa luftflöden lika stora. Därför behöver temperaturverkningsgraden korrigeras med luftflödesförhållandet. Den korrigerade temperaturverkningsgraden erhålls genom att multiplicera uppmätt temperaturverkningsgrad med förhållandet tilluft/frånluft. Denna korrigerad har endast tillämpats om tilluftsflödet understigit frånluftsflödet.

Frånluftens temperaturverkningsgrad har också uppmätts och redovisas i bilagorna. Frånluftens temperaturverkningsgrad beräknas ur sambandet: $(t_{\text{frånluft}} - t_{\text{avlucht}}) / (t_{\text{frånluft}} - t_{\text{uteluft}})$ där t_{avlucht} är avluftstemperatur efter värmeväxlare

För hela aggregatets temperaturverkningsgrad ($\eta_{t,\text{aggr.}}$) ingår även fläktvärme som tillförs med tilluftsfläkten. I de fall temperaturmätning skett före tilluftsfläkt har tilluftstemperaturen höjts med den temperaturhöjning som tilluftsfläkten beräknats ge enligt sambandet:

Temperaturhöjning = tillförd driveffekt/(luftflöde*densitet).

Normalt ligger höjningen på ca 0,5 till 0,7 °C.

Vidare redovisas den flödeskorrigerade temperaturverkningsgraden ($\eta_{t,\text{aggr. flödes-korr.}}$) enligt:

$\eta_{t,\text{aggr. flödes-korr.}} = \text{tilluftflöde/frånluftflöde} * \eta_{t,\text{aggr}}$

Beräkningar av energibesparing

För beräkning av energibesparing görs en simulering över respektive aggregat. Värmebehov utan värmeåtervinning och värmebehov för tilluft i eftervärmningsbatteri är beräknad utgående från uppmätta luftflöden och verkningsgrader (temperaturer i ventilationsaggregaten) under respektive aktuella mätperiod. Beräkningarna har gjorts för timvärden av ett normalt Stockholms- respektive Göteborgsklimat. Vid beräkningarna har en frånluftstemperatur på 22 °C och en tilluftstemperatur efter eftervärmare på 18 °C ansatts för att inte överskatta värmeåtervinning. Detta stämmer relativt väl med uppmätta medeltemperaturer. Avfrostning har i vissa fall skett under mätperioden vilket avspeglar sig i sämre verkningsgrader.

Resultatet av besparat värmebehov i varje aggregat redovisas per A_{temp} i respektive byggnad så att de går att jämföra. Beräkningar har gjorts dels för uppmätt frånluftsflöde och dels för frånluftsflödet 0,35 l/(s,m²) för de byggnader som har ett högre frånluftsflöde än vad BBR kräver. Resultatet visar möjlig värmebesparing i själva aggregaten för det aktuella tilluftsflödet. Den energibesparing som kommer huset tillgodo är också beroende av ventilationssystemets utformning i övrigt (t.ex. isolering av tilluftskanaler från fläktrum till lägenhet). För de aggregat som har större frånluftsflöde än tilluftsflöde kommer tilluft också att tas in via infiltration i byggnadens klimatskärm, vilken behöver värmas upp med byggnadens värmesystem. Om även denna luft hade passerat aggregatet skulle sannolikt mer värme kunna besparas.

Mätning av SFP, Specific Fan Power, görs genom att mäta aktiv eleffekt (medelvärde av effekten i en växelströmskrets) för tilluftsfläkt och frånluftsfläkt. SFP-värdet fås som summa aktiv fläkteffekt dividerat med det största av uppmätta till- och frånluftsflödet för aggregatet. Är tilluftflödet lägre än frånluftsflödet blir SFP-värdet något underskattat.

Elanvändning är beräknad för ett år i full drift utgående från uppmätta SFP-värden. Detta innebär att elanvändning är något överskattad eftersom luftflöden kan kopplas (by-passas) förbi värmeväxlaren på både tillufts- och frånluftssidan under sommaren och därmed reducera tryckfall.

1.3 Beskrivning av aggregaten

De byggnader och värmeåtervinningsaggregat som har undersökts är samtliga av typ plattvärmeväxlare (korsströms- eller motström) förutom ett aggregat som har roterande värmeväxlare. Inga vätskekopplade värmeväxlare ingår.

En sammanställning av undersökta aggregat och dess typ av värmeväxlare finns i Tabell 1.

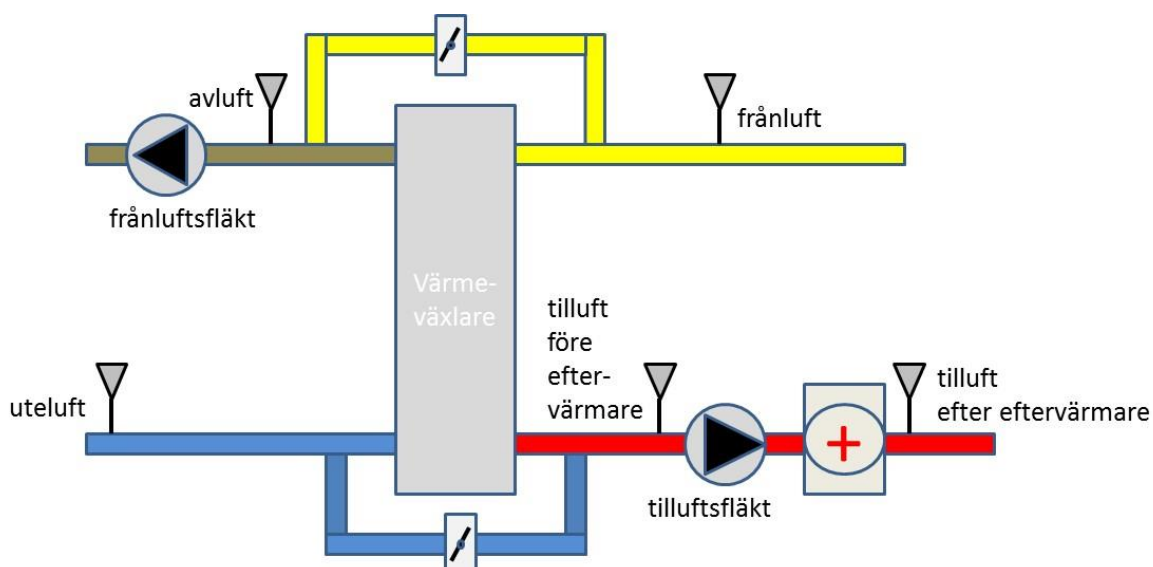
Tabell 1: Undersökta aggregat och dess typ av värmeväxlare

Nr	Fabrikat	Typ av värmeväxlare
1, 2, 3, 4	Voltair	Dubbla korsström
5	IV Produkt Flexomix	Enkel korsström
6	IV Produkt Envistar	Enkel korsström
7	Menerga	Motström
8	Exhausto	Enkel korsström
9, 10, 11	Weland	Dubbla korsström
12	Swegon	Enkel korsström
13	Swegon Gold PX	Enkel korsström
14	Swegon Gold 08 DRX	Roterande

Vad avser fläktplacering skiljer sig aggregaten en del. Aggregaten av fabrikat Swegon, IV Produkt, Exhausto och Weland har samtliga fläktplacering med tilluftsfläkten i tilluften efter plattvärmeväxlaren (räknat i luftriktningen) och frånluftsfläkten efter värmeväxlaren i avluften (figur 1).

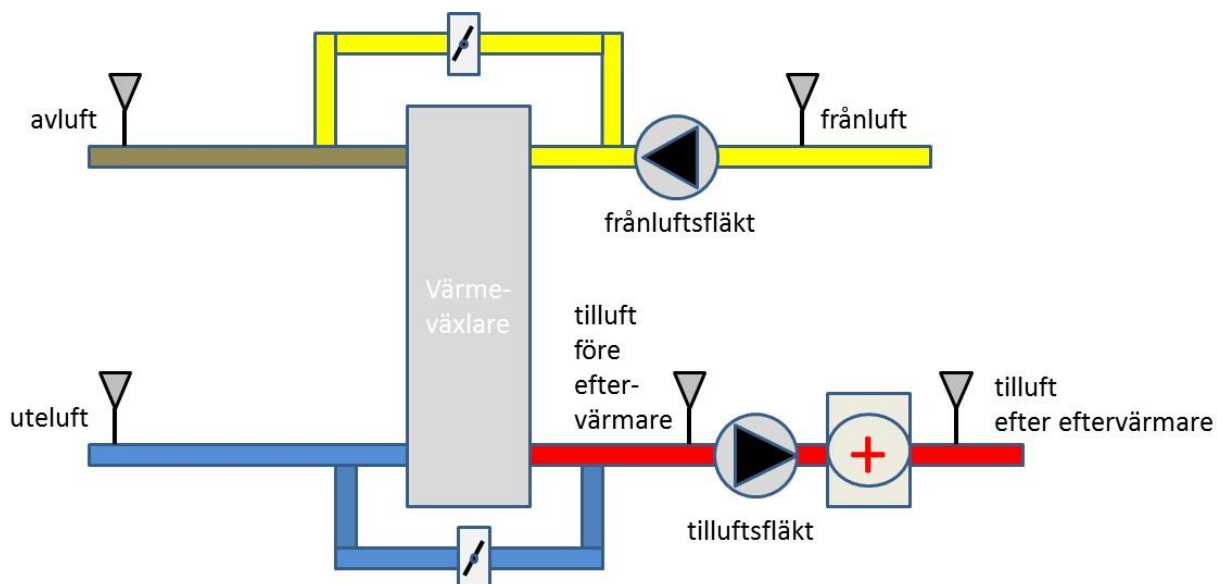
Tilluftsfläktens placering kan kräva mer ljuddämpning jämfört med placering före värmeväxlaren eftersom värmeväxlare dämpar en del ljud. Frånluftsfläktens placering gör däremot att behovet av ljuddämpning minskar. Ljuddämpare kan dock behövas i uteluftskanalen beroende av avluftsutblåsets placering. Tilluftsfläktens placering ger att temperaturskillnad mellan tilluft och frånluft är största möjliga i värmeväxlaren innan överskottsvärme från fläkten tillvaratas.

Från- och tilluftsfläktarna är placerade efter värmeväxlaren. Detta minskar risken för överläckning om värmeväxlaren är otät jämfört med då frånluften trycks in. Risken för överläckning i tilluften minskar även vid by-pass-drift eller om tilluftsfläkten varvas ned till exempel under avfrostning.



Figur 1: Exempel på aggregat där både tillufts- och frånluftsfläktar är placerade efter värmeväxlare.

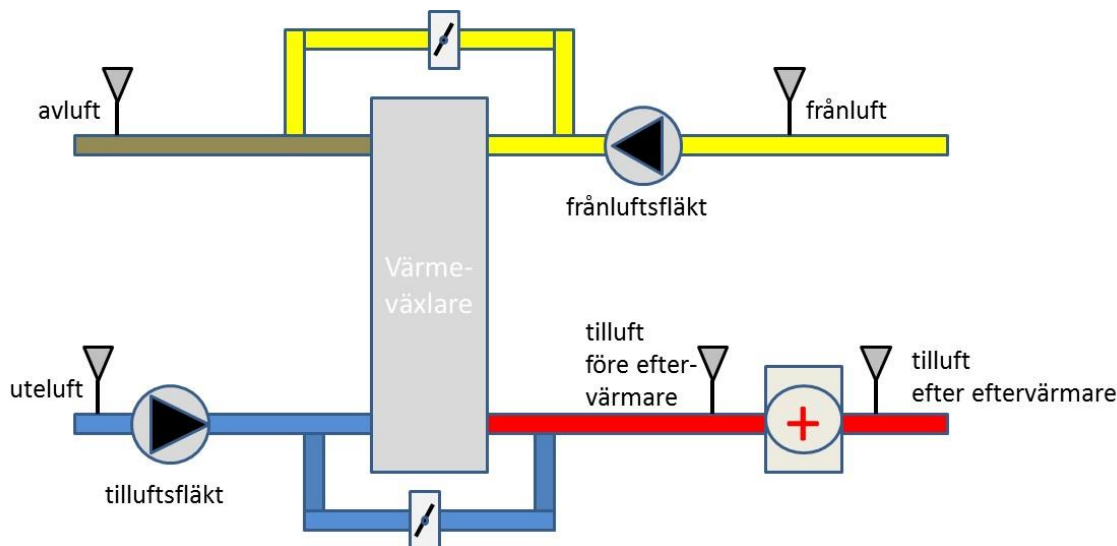
Menergaggregat har frånluftsfläkten placerad i frånluften före värmeväxlaren och tilluftsfläkten placerad efter värmeväxlaren (figur 2). Med denna placering är det speciellt viktigt att värmeväxlaren är helt tät för att undvika överläckning av frånluft till tilluft eftersom övertryck alltid råder på värmeväxlarens frånluftssida jämfört med dess tilluftssida. Från- och tilluftsfläktarnas placering kan också kräva mer ljuddämpning jämfört med placering efter värmeväxlaren.



Figur 2: Exempel på aggregat där tilluftsfläkten är placerad efter värmeväxlaren och frånluftsfläktar är placerade före värmeväxlare.

Voltairs aggregat har såväl tilluftsfläkt som frånluftsfläkt placerade före värmeväxlaren (figur 3). Tilluftsfläktens placering gör att behovet av ljuddämpning i tilluften minskar eftersom värmeväxlare dämpar en del ljud. Däremot kan ljuddämpare behövas i uteluftskanalen om uteluftsintag är placerat på platser med krav på låga ljudnivåer. Frånluftsfläktens placering kan också kräva mer ljuddämpning

jämfört med placering efter värmeväxlaren. Frånluftsfläkten är, liksom för Menergas aggregat, placerad i frånluften före värmeväxlaren och kan därför trycka in frånluft till tilluftssidan om värmeväxlaren är otät. Men eftersom även tilluftsfläkten är placerad före värmeväxlaren på uteluftssidan erhålls ett mottryck vilket bör minska risken för överläckning. Däremot ökar risken för överläckning vid by-pass-drift eller om tilluftsfläkten varvas ned till exempel under avfrostning.



Figur3: Exempel på aggregat där både tillufts- och frånluftsfläktar är placerade före värmeväxlaren.

Avfrostning för samtliga aggregat sker huvudsakligen genom att tilluftsflödet kopplas (by-passas) förbi värmeväxlaren, varvid eftervärmningsbatteriet istället tillfälligt får värma tilluften mer. IV Produkt Flexomix förhindrar påfrysning genom att mäta avluftstemperaturen (till exempel under 2°C) och vid hög utsignal från frånluftsfläkten (95 %) startar avfrostning. Voltairs, Menergas, Exhausto, Swegons och IV Produkts Envistar aggregat styr avfrostning genom att mäta differensstryck över värmeväxlarens frånluftssida. När differensstryck överstiger ett visst värde startas avfrostningen (till exempel 300 Pa). Detta alternativ kan ge oönskad avfrostningsdrift om differensstrycket över värmeväxlaren ökar av andra orsaker än isbildning, t ex om spiskåpor öppnas samtidigt i ett flertal lägenheter så ökar i regel fläktvarvtal på frånluftsfläkt för att konstanthålla undertryck i frånluftskanal för aggregat. Därför har till exempel IV Produkt två villkor som ska vara uppfyllda för att avfrostning ska starta. Ett är att börvärde för differensstryck över värmeväxlaren, som reglerar start av avfrostning, beror på frånluftsflödet. Börvärdet beräknas genom en funktion av varvtalet på frånluftsfläkten. Det andra villkoret är att uteluftstemperaturen ska vara lägre än ett visst värde (till exempel 2°C). Även Swegons Gold PX aggregatet blockerar avfrostning vid varm uteluftstemperatur.

Att förhindra påfrysning, och på så sätt minska behov av avfrostning, sker genom att delar av eller hela uteluften leds förbi värmeväxlaren direkt till eftervärmningsbatteriet i samtliga aggregat ovan. Förutom stegvis frånkoppling (by-pass) av tilluften genom värmeväxlaren så minskar Exhausto och minst två av Voltairs aggregat tilluftflödet vid låga uteluftstemperaturer. Vid konstant frånluftsflöde medför detta att uteluft måste tillföras genom byggandens otätheter, vilket orsakar lägre energiåtervinning och kan dessutom orsaka drag.

Menerga-aggregatet går ett steg ytterligare och reducerar såväl tilluftsfläktens som frånluftsfläktens varvtal. Fördelen med att även reducera frånluftens varvtal är att luftflödesbalansen mellan till- och frånluft och energianvändningen inte påverkas så mycket medan nackdelarna är att mindre varm luft finns för issmältning och byggnaden får reducerad ventilation.

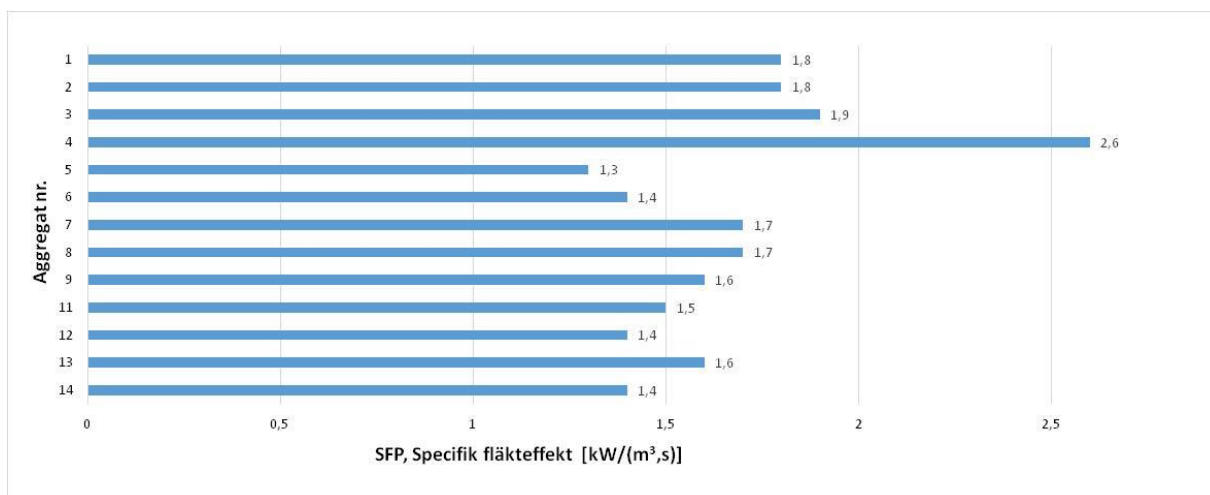
Weland har en konstruktion med dubbla korströmsväxlare där påfrysning minimeras genom att frånluften avfuktas i den varma växlaren innan den når den kallare växlaren och frostbildning elimineras helt eller uppträder först vid betydligt lägre utetemperatur. IV Produkt Envistar åstadkommer en effektivare avfrostning genom att ha ventiler så att frånluftsflödet kan växlas mellan båda sidor på värmeväxlande ytor.

För Swegon Gold 08 DRX är risken för påfrysning liten eftersom det är en roterande värmeväxlare. Eventuell avfrostning sker genom en sekvens där rotorns varvtal successivt varvas ned. Under avfrostningen tinar den varma frånluften upp eventuell isbeläggning och sedan får rotorn rotera långsamt ytterligare några minuter för att torka värmeväxlarytorna innan rotorn varvas upp igen. Detta aggregat har inget eftervärmningsbatteri.

2 Resultat

2.1 SFP-värde

Figur 4 visar uppmätta specifika fläkteffekter (SFP) för de undersökta aggregaten. För aggregat 10 uppmättes ett SFP-tal på 0,8 vilket sannolikt beror på att fläktarna gick på reducerat varvtal vid mätning och är därmed inte tillförlitligt. Aggregat 10 har därför inte tagits med i figur 4.



Figur 4: Uppmätt specifik fläkteffekt för undersökta aggregat.

SFP-krav enligt BBR³ är 2,0 kW/m³s för alla byggnader. Kravet tar ingen hänsyn till byggnadstyp eller utformning som t.ex. antal våningar. BeBo har tagit fram några godhetstal⁴ för energieffektiva byggnader där SFP-kravet ligger på 1,5 kW/m³s.

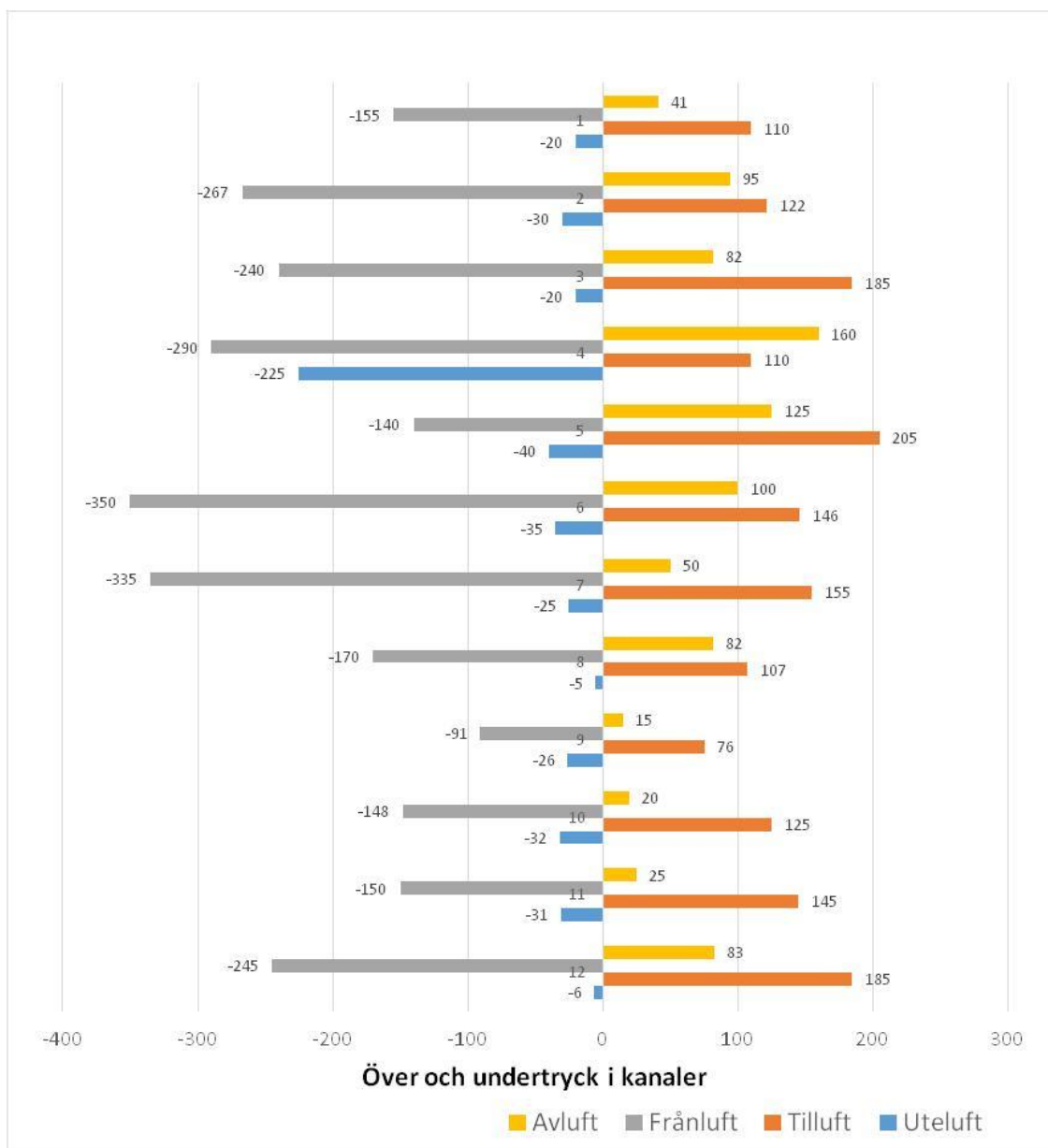
Resultatet visar att alla byggnader utom ett klarar BBR-kraven för nybyggnad. Fem aggregat klarar till och med kraven enligt BeBos godhetstal.

Det bör också beaktas att tryckfallet över ventilationssystemet har direkt påverkan på SFP-värdet. Ett högre tryckfall i kanalsystem ger högre SFP-värde. Tryckfallet över ventilationssystemet beror av systemets utformning med engångstryckfall men också av kanalernas motstånd och dess längd. Detta gör att tryckfallet blir högre i till exempel i höghus, där det krävas högre schakt och längre kanaler. SFP-värdet beror också på fläktarnas verkningsgrad. Ett högt SFP-värde ger en ökad elanvändning. En äldre tumregel är att ett totalt kanaltryck på 250 Pa ger SFP på 2,5 kW/m³s och för 200 Pa fås SFP 2,0 kW/m³s, men på senare år har fläktarna blivit betydligt effektivare vilket gör att det går att uppnå dessa SFP-värden för högre tryckfall.

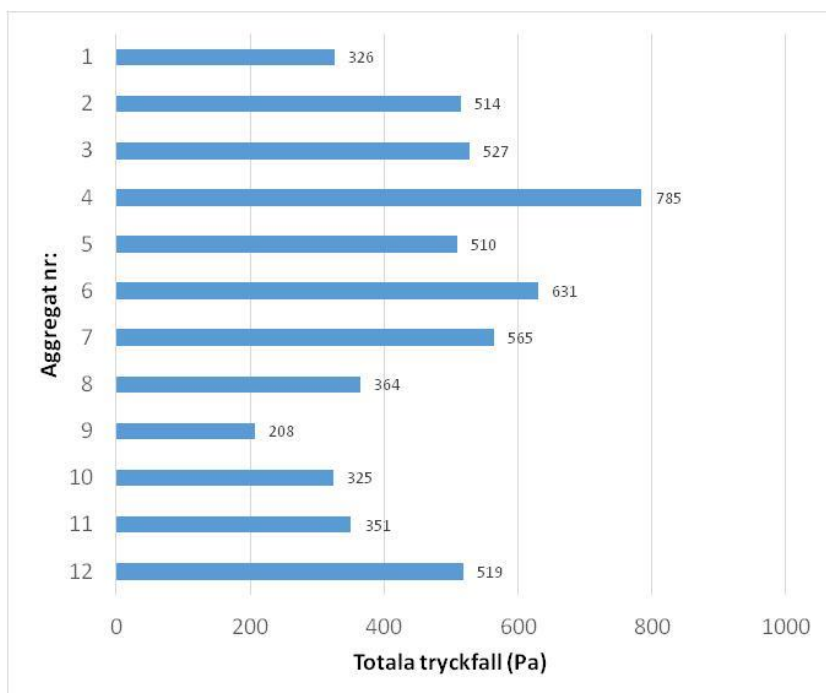
³ BBR - Boverkets Byggregler, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd.

⁴ BeBos Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus - Ombyggnad juli 2013

I figur 5 redovisas uppmätta tryckfall för uteluftskanal, tilluftskanal, frånluftskanal och avluftskanal och i figur 6 visas totalt tryckfall för de olika aggregaten. Här kan konstateras att aggregat 4 som har ett högt SFP-värde också har ett mycket högt totalt tryckfall. Aggregat 6 har också ett relativt högt tryckfall men har ändå ett SFP-värde under kravet för BeBos godhetstal.



Figur 5: Uppmätta över- och undertryck i kanaler för aggregat 1 (överst) till 12 (underst) som tillsammans ger ventilationssystemets totala tryckfall.



Figur 6: Externa kanaltryck i Pa för de olika aggregaten.

Med en bra energieffektiv design av ventilationssystemet får man en lägre elanvändning till ventilationssystemet samt mindre ljud från ventilationssystemet, då fläktarna går lugnare/energieffektivare och luften håller lägre hastighet i ventilationskanalerna.

2.2 Temperaturverkningsgrad

Uppmätta temperaturverkningsgrader redovisas i tabell 2, se kapitel 1.2.2 för definitioner på verkningsgrader. Här visas även medeltemperatur på frånluft och tilluftstemperatur mätt före och efter eftervärmningsbatteriet.

BeBo⁵ rekommenderar en torr temperaturverkningsgrad på 80% som ett godhetstal och en miniminivå på 60% (enligt Svensk Ventilations riktlinjer, dvs. torr verkningsgrad enligt SS-EN 308:1997 med balanserade flöden och för fallet då frånluften håller +25 °C, 27 % relativ fuktighet och uteluften +5 °C). Miljöstyrningsrådet⁶ rekommenderar torr verkningsgrad på minst 70 % för plattvärmväxlare av typ mot- och korsström (80 % för avancerad nivå). För roterande värmväxlare rekommenderas verkningsgrad på minst 80 % (avancerad nivå 90 %). (Uppmätt enligt SS-EN 308:1997). I tabell 2 är torra temperaturverkningsgrader uppmätta under en längre period och med faktiska flöden och kan därmed bara jämföras i storleksordning med dessa rekommendationer.

⁵ BeBos Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus - Ombyggnad juli 2013

⁶ Miljöstyrningsrådets upphandlingskriterier för energiprestanda vid renovering, ombyggnation, tillbyggnation av flerbostadshus vid utförandeentreprenad (2014-06).

Tabell 2: Uppmätta temperaturverkningsgrader för de olika aggregaten.

Nr:	Mät-period	Tilluft-flöde (m ³ /s)	Tilluft-flöde/frånluft-flöde	Medel-värde frånluft-temp (°C)	Medelvärde tillufttemp. före efter-värmare (°C)	Medelvärde tillufttemp. efter efter-värmare (°C)	$\eta_{t,vvx}$	P/(q*g) (°C)	$\eta_{t,aggr.}$	$\eta_{t,aggr.}$ flödes-korr.
1	6/2-12/3	0,95	1	21,7	20,3	20,4	92%	ingår	92%	92%
2	29/12-19/2	1,39	0,8	20,2	18,1	20,3	89%	ingår	89%	71%
3	29/12-19/2	1,21	0,99	20,5	18,9	19,3	92%	ingår	92%	91%
4	2/1-3/2	2,4	0,8	22,1	19,4	19,4	88%	ingår	88%	70%
5	19/12-2/1	0,86	0,74	19,6	13,4	20,5	70%	0,58	73%	55%
6	29/12-19/2	1,6	0,78		17,2	18,7	85%	0,52	88%	68%
7	2/1-10/2	2,4	0,71	21	14,2	18,7	78%	0,69	81%	58%
8	6/1-9/1	0,85	0,78	21,2	13,0	19,2	60%	0,8	63%	49%
9	29/12-24/2	0,82	1,08	20	13,8	18,8	69%	0,4	71%	71%
10	29/12-24/2	0,68	1,11	20,2	13,0	18,6	62%	0,4	65%	65%
11	29/12-24/2	1,02	1,06	20	14,7	18	72%	0,4	74%	74%
12	2/1-10/2	2,8	0,93	19,8	16,5	18,6	83%	0,54	86%	80%
13	17/12-1/3	0,63	0,84	21-23	14-18	20-26	72%	ingår	72%	58%
14	19/12-1/3	0,51	1,08	21	18		80%	ingår	80%	80%

Temperaturverkningsgrader är här uppmätta för respektive installation i drift och resultatet är beroende av bland annat vilket flödesförhållande som det aktuella aggregatet har. Därmed kan flera av aggregaten ha en potential till att ha bättre verkningsgrader om de installeras i en annan byggnad under andra förhållanden och till exempel balans i luftflöden.

Den låga temperaturverkningsgrad för aggregat 8 beror till stor del på att aggregatet endast har en liten enkel plattvärmväxlare på grund av utrymmesskal. Den låga verkningsgraden för aggregat 10 beror sannolikt delvis på att tilluftsflödet är 11% högre än frånluftsfödet. Projekterat flöde för aggregatet är balanserat och det uppmätta tilluftsflödet var 25% lägre än projekterat flöde .

Ett balanserat luftflöde ger bättre värmeåtervinning. Då frånluften är större än tilluften innebär det att undertryck skapas i bygganden och tilluft måste tas in genom byggandens otätheter. Denna luft går då miste om möjlig värmeåtervinning i aggregatet.

Vidare skapas ett övertryck i bygganden när byggandens tilluftsflöde är större än frånluftsflödet. Risk finns då att fuktig luft trycks in till exempel i byggandens innertak, vilket kan orsaka fuktskador. För att undvika detta är en bra regel att dimensionera ventilationssystemet med något högre frånluftsflöde än tilluftsflöde. För aggregat 9, 10 och 11 är tilluftsflödet högre än frånluftsflödet i aggregaten men byggnaderna har kompletterande frånluftsfläktar vilket gör att det kan vara undertryck i själva byggnaderna. Projekterade luftflöden är balanserat för de tre aggregaten.

2.3 Värmebesparing

I tabell 3 visas aggregatens beräknade värmebesparing under ett år utgående från mätdata i tabell 2 enligt kapitel 1.2.2. Det vill säga hur mycket värme som återvinns i aggregatet jämfört med om samma tillufts mängd skulle tas in kall i byggnaden. I tabellen visas hur mycket värme som besparas jämfört med utan värmeåtervinning i två fall:

- vid uppmätt tilluftsflöde och
- vid tilluftsflödet $0,35 \text{ l/(s,m}^2\text{)}$ men med oförändrat förhållande mellan frånlufts- och tilluftsflöden.

Enligt Boverkets byggregler krävs ett minsta uteluftsflöde på $0,35 \text{ l/s}$ per kvadratmeter golvarea då någon vistas i bostaden och uteluftsflödet får inte bli lägre än $0,10 \text{ l/s}$ per kvadratmeter golvarea då ingen vistas där. Samtliga byggnader har uteluftsflöden som är högre än $0,35 \text{ l/s}$ per kvadratmeter bostadsarea. Några byggnader har dock betydligt högre uteluftsflöde och orsaken till detta är okänd men kan till exempel vara förhöjda radonhalter. För att kunna jämföra de olika byggnaderna har beräkningar även gjorts för värmebesparing och elanvändning med ett tilluftsflöde på $0,35 \text{ l/s}$ per kvadratmeter A_{temp} för de byggnader som har ett tilluftsflöde på högre än $0,35 \text{ l/s}$ per kvadratmeter A_{temp} .

I tabell 3 visas också hur mycket el som behövs till fläktar för respektive flöde och möjlig energibesparing för aggregatet. Energibesparingen är något underskattad eftersom en mindre mängd el till fläktar skulle ha behövts även utan aggregat. För de aggregat som har större frånluftsflöde än tilluftsflöde kommer tilluft också att tas in via infiltration i byggnadens klimatskärm, vilken behöver värmas upp med byggnadens värmesystem. Om även denna luft hade passerat aggregatet skulle sannolikt mer värme kunna besparas.

Samtliga mätperioder för de olika aggregaten har varit relativt kalla, dvs en uteluftstemperatur under -5°C ett antal gånger och för aggregat nummer 5 var uteluftstemperatur under -8°C en period. För 11 aggregat har ingen avfrostning inträffat under mätperioden medan aggregat 6, 7 och 12 har haft några avfrostningar under mätperioden. För aggregat 6 och 12 by-passas tilluftsflödet men reduceras inte vilket innebär att uppmätt verkningsgrad väl representerar en period med avfrostningar. För aggregat 7 minskas både tillufts- och frånluftsflöde under avfrostning vilket innebär att byggnaden fått ett lägre uteluftsflöde under avfrostningsperiod än vad som krävs enligt Boverkets byggregler.

Värmebesparing är här uppmätt för respektive installation i drift och resultatet är beroende av byggandens area, flödesförhållande, storlek på luftflöde, utomhusförhållanden under mätperioden m.m. för det aktuella aggregatet. Därmed kan flera av aggregaten ha en potential till att ha bättre värmebesparing om de installeras i en annan byggnad under andra förhållanden och till exempel

balans i luftflöden. Flera av aggregaten kan också ha en sämre värmebesparing om mätningar hade kunnat ske vid kallare väderlek med betydligt större behov av avfrostning.

Tabell 3: Beräknad värmebesparing i aggregaten utifrån mätdata, jämfört med utan värmeåtervinning.

Nr:	Atemp	Antal lägenheter	Avfrostning under mätperiod	Värmebesparing a) uppmätt från- och tilluftsflöde (kWh/m ² , år)	El till fläktar a) uppmätt från- och tilluftsflöde (kWh/m ² , år)	Värmebesparing b) tilluftsflöde 0,35 l/(s,m ²) (kWh/m ² , år)	El till fläktar b) tilluftsflöde 0,35 l/(s,m ²) (kWh/m ² , år)	Energi- besparing vid uppmätt från- och tilluftsflöde eller vid tilluftsflöde 0,35 l/(s,m ²) (kWh/m ² , år)
1	2444	30	Ingen	47,4	6,1	42,9	5,6	37
2	5121	49	Ingen	33,1	4,3			29
3	2673	18	Ingen	55,0	7,5	42,9	5,9	37
4	3410	39	Ingen	86,0	16,0	42,5	8,0	35
5	2505	25	Ingen	38,1	3,9			34
6	5213	42	Flera ggr	37,4	4,6			33
7	9070	99	Flera ggr	31,5	3,3			28
8	3260	34	Ingen	25,5	3,9			22
9	2512	24	Ingen	35,4	2,3			33
10	2512	22	Ingen	27,2	2,1			25
11	2512	24	Ingen	45,6	3,6	39,3	3,1	36
12	9096	99	Några ggr	37,4	3,8			34
13	1582	23	Ingen	42,2	5,6	36,8	4,9	32
14	1114	12	Ingen	50,7	5,6	39,0	4,3	35

2.3 Undvika påfrysning och avfrostning

Under mätperioden fanns mätningar under en särskilt kall dag (decemberdag med utomhustemperatur ned mot - 10 °C) där funktion för att förhindra påfrysning aktiverats för fem aggregat. Uppmätt temperaturverkningsgrad under den kalla dagen har korrigerats för de aggregat som, samtidigt med stegvis frånkoppling av tilluft genom värmeväxlaren också, reducerar tilluftsflödet genom att motsvarande luftmängd tas in med uteluftsstemperatur. Beräkningar är gjorda utifrån uppmätta temperaturverkningsgrader och tilluftsflöden på samma sätt som för kapitel 2.2 vilket beskrivs i kapitel 1.2.2. I tabell 4 visas skillnad i värmebesparing om motsvarande funktion

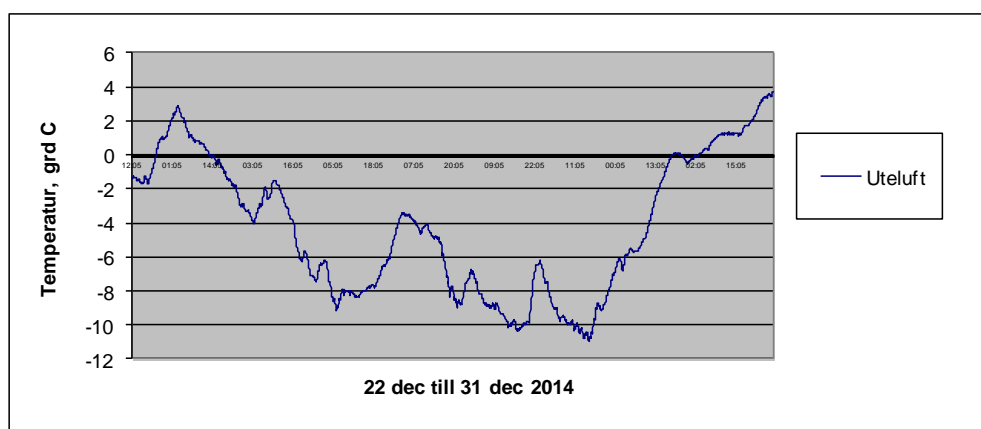
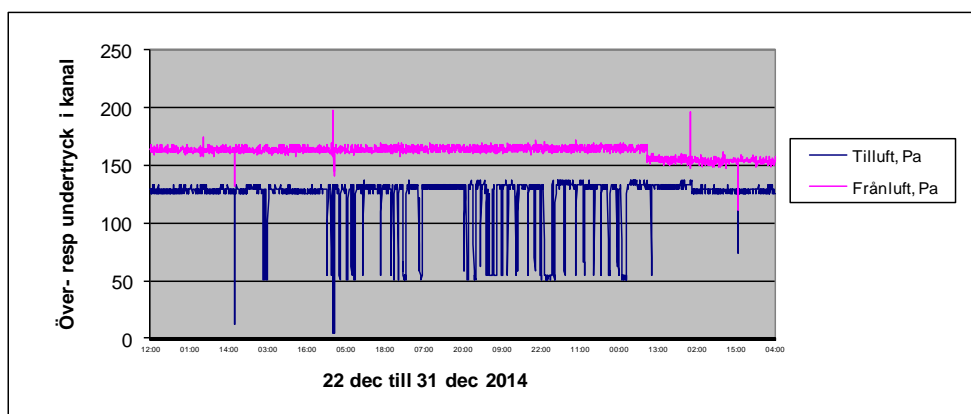
för att förhindra påfrysning skulle ske varje dag under ett år i jämförelse med ett år utan att detta inträffar. En överslagsberäkning ger att om en särskilt kall dag inträffar ett stort flertal dagar under ett år på samma sätt som under den uppmätta decemberdagen så kommer värmebesparingen att påverkas mindre än 1-2 kWh/m² för dessa aggregat med dessa strategier för att undvika påfrysning. I slutet av den kalla decemberperioden leddes tilluften förbi värmeväxlaren i aggregat 4 betydligt mer än den kalla dag som redovisas i tabell 4. Verkningsgraden gick ned till 44 % och här kan en avfrostning ha förekommit. Om detta inte var en tillfällighet, utan att avfrostning behövs i slutet av en kall period, så påverkas värmebesparingen betydligt mer än 1-2 kWh/m² för detta aggregat.

För aggregat 7 minskas både tillufts- och frånluftsflöde under den kalla decemberdagen vilket innebär att byggnaden förutom försämrade verkningsgrad kommer att ha ett lägre uteluftsflöde under avfrostningsperioden (under decemberdagen var flödet ca 11 % mindre än normalt).

Tabell 4: Beräknad skillnad i årlig värmebesparing för temperaturverkningsgrad under en kall dag med funktion för att förhindra påfrysning och för temperaturverkningsgrad under en längre mätperiod.

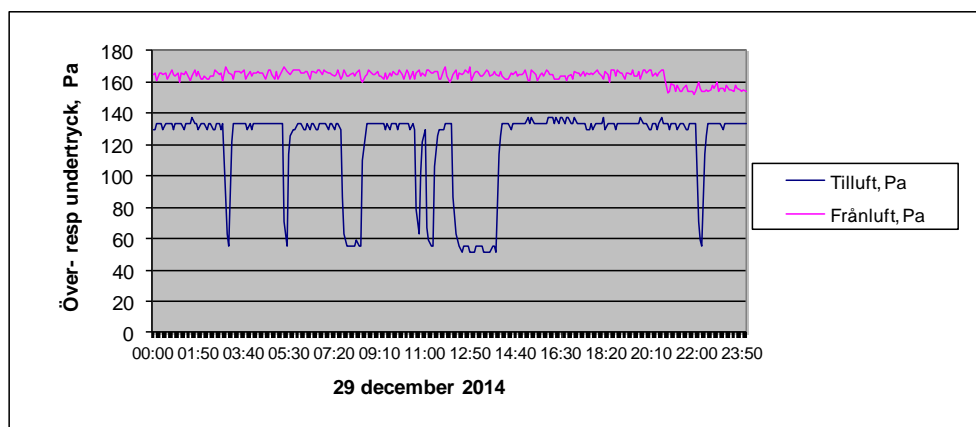
Nr:	Tilluft- flöde m ³ /s	η _{t,aggr.} Lång period	η _{t,aggr.} Kall dag	Årlig värme- besparing, med verknings- grad för lång period (kWh/m ² , år)	Årlig värme- besparing, med verknings- grad för kall dag (kWh/m ² , år)	Differens (kWh/m ² , år)
1	0,86	92%	78%	42,9	41,1	1,8
4	1,19	88%	70%	42,5	37,4	5,1
5	0,86	73%	66%	38,1	34,9	3,2
7	2,4	81%	64%	30,0	26,1	3,8
12	2,8	86%	71%	37,4	33,4	4,0

Funktionen för att förhindra påfrysning skiljer sig en hel del mellan de undersökta aggregaten. I figur 7 till 11 visas några olika principer.

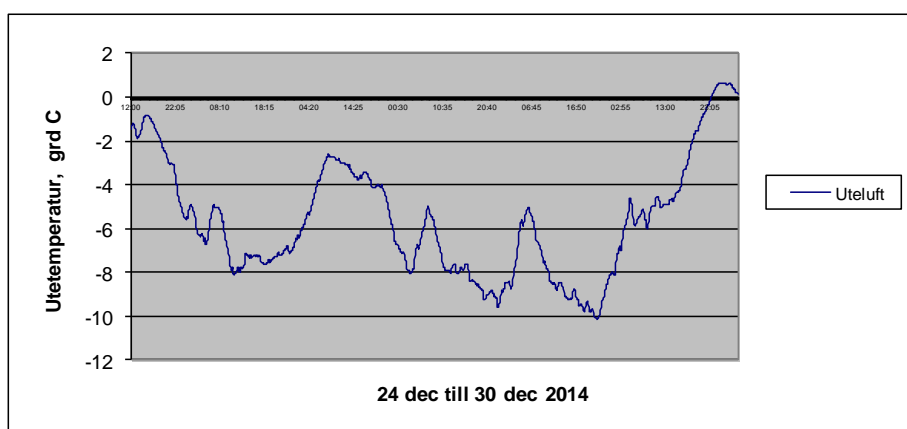
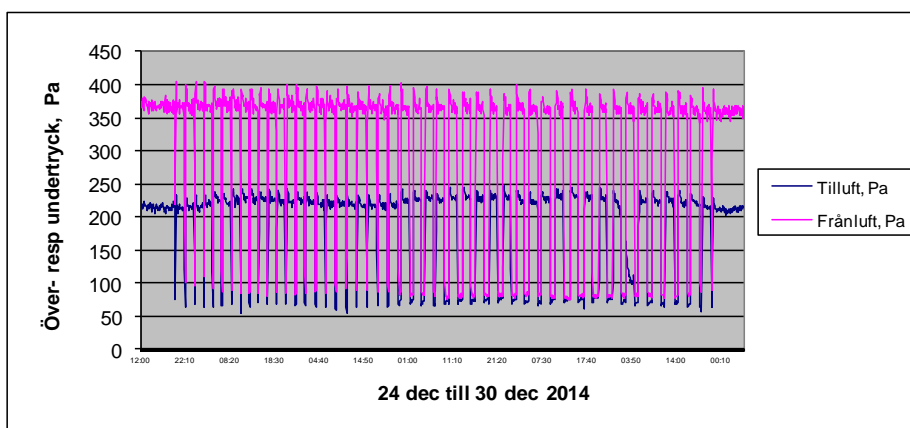


Figur 7 a och b: Uppmätt över- och undertryck i kanaler för aggregat 1, Voltair-aggregat, vid uppmätt utetemperatur. Här styrs avfrostning genom att mäta differenstryck över värmeväxlaren.

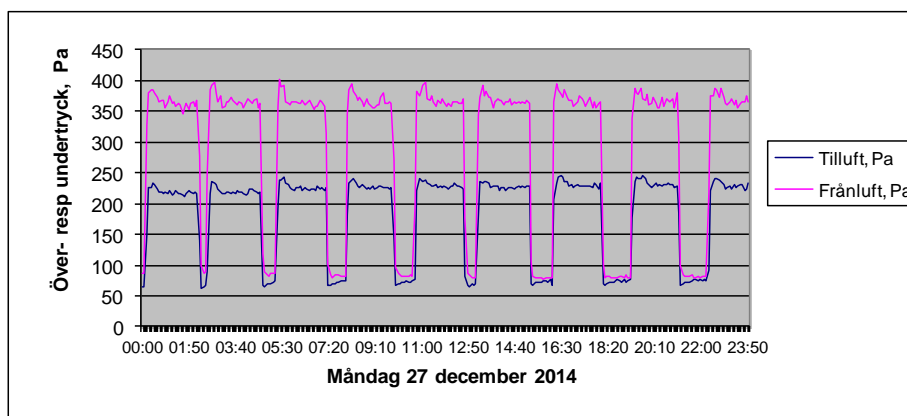
Tilluftstrycket, och tilluftsflödet genom aggregatet, reduceras i samband med att tilluftsfläktens varvtal minskas samtidigt som bypass-spjäll öppnas över värmeväxlarens tilluftssida. I just detta fall sker förmodligen en del avfrostningsdriftfall i onödan. Orsaken kan vara ett ökat tryckfall över värmeväxlaren på grund av forcering av frånluftsfläkt orsakade av att flera spiskåpor används samtidigt. Liknande funktion finns för aggregat 8, Exhausto-aggregat.



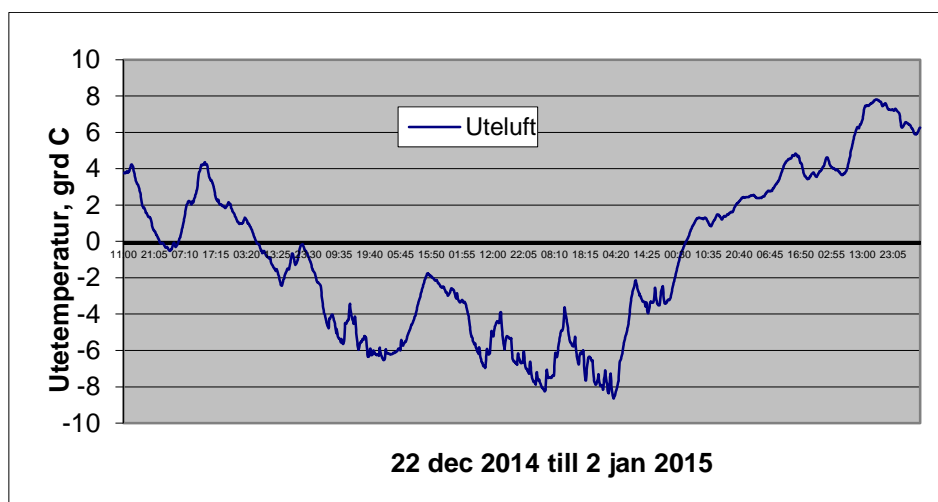
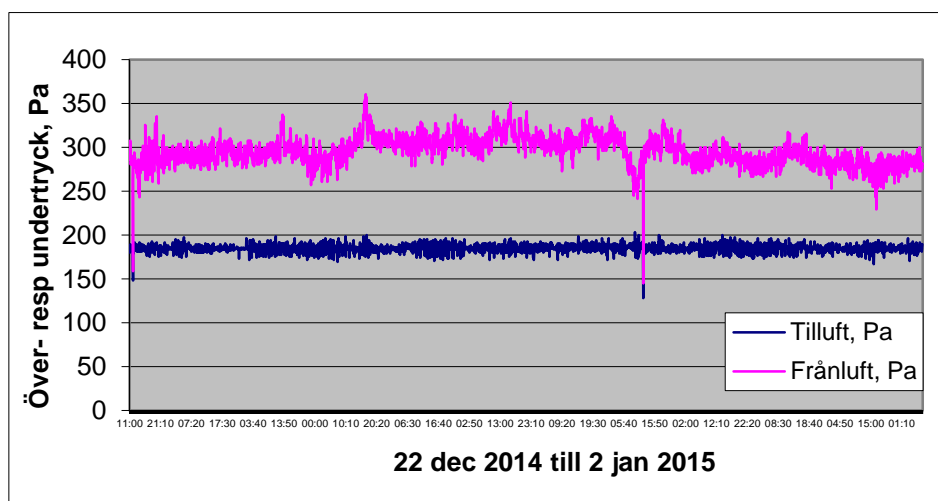
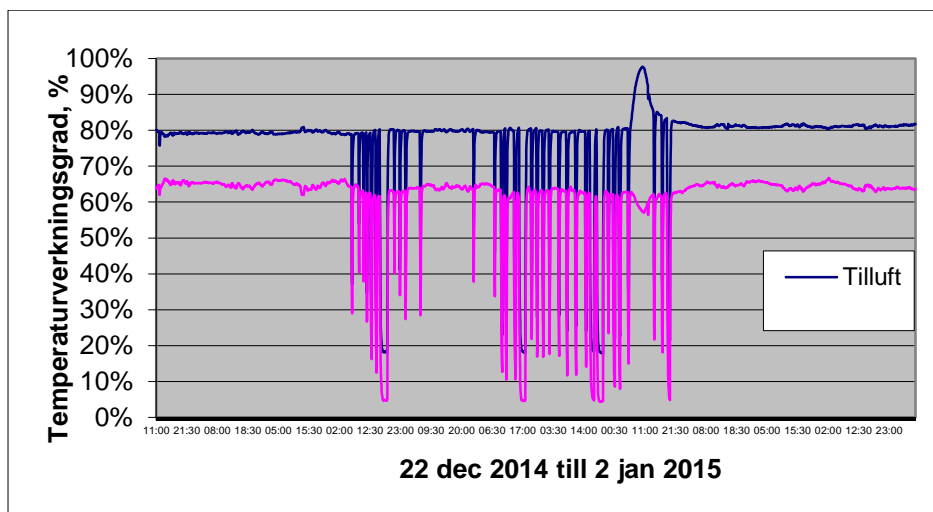
Figur 8: Uppmätt över- och undertryck i kanaler under en dag för aggregat 1, Voltair-aggregat, vilket visar hur ofta tilluftsflödet minskas i aggregatet.



Figur 9 a och b: Uppmätt över- och undertryck i kanaler för aggregat 7 (Menerga-aggregat) vid uppmätt utetemperatur. Här styrs avfrostning genom att mäta differenstryck över värmeväxlaren. Till- och frånluftstrycket, liksom motsvarande luftflöden genom aggregatet, reduceras i samband med att varvtal reduceras för såväl tilluftsfläkt som frånluftsfläkt vid avfrostning. Att reducera frånluftsflödet innebär försämrad ventilation. Att reducera både frånluften och tilluften gör att luftflödesbalansen mellan till- och frånluft och energianvändningen inte påverkas så mycket medan nackdelen är att mindre varm luft finns för ismältning och byggnaden får reducerad ventilation.



Figur 10: Uppmätt över- och undertryck i kanaler under en dag för aggregat 7, Menerga-aggregat, vilket visar hur ofta till- och frånluftsflöden minskas i aggregatet.



Figur 11 a, b och c: Uppmätt temperaturverkningsgrad och över- och undertryck i kanaler för aggregat 12, Swegon-aggregat, vid uppmätt utetemperatur. Till- och frånluftstrycket är i stort sett konstant vilket visar att varvtal hos till- och frånluftsfläkt inte ändras under avfrostningen. Avfrostningen sker genom att bypass-spjäll öppnar över värmeväxlarens tilluftssida, vilket visas i

försämrade verkningsgrader. Liknande funktion fast med annan styrning finns för aggregat 5 och 6, IV Produkt-aggregat.

För aggregat 9, 10 och 11 (Weland) inträffade inte något avfrostningsdriftfall under loggade perioder. Vintern 2014-2015 hade inga längre kalla köldperioder. Dock noterades relativt kraftig isbildning på Weland-aggregatens värmeväxlare i samband med besök 29 december, se figur 12.

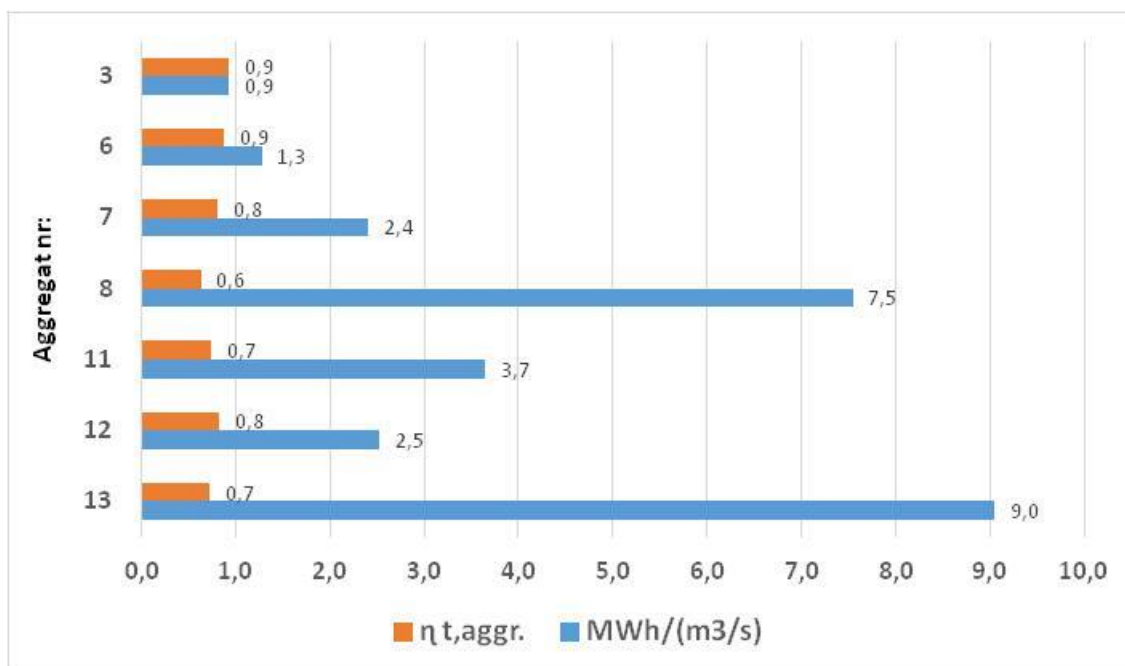


Figur 12: Isbildning på värmeväxlarens avluftssida för aggregat 9, 10 och 11 den 29 december.

2.5 Energianvändning i eftervärmningsbatteri

Värmemängder har uppmätts för några aggregat under perioden 29 januari till 12 mars 2015 (ca 1008 timmar). I figur 13 visas värmeenergi till eftervärmningsbatteri för olika värmeåtervinningsaggregat per uppvärmd luftvolym (MWh per m³/s) och aktuellt luftflödesförhållande tilluftflöde/frånluftflöde.

För aggregat 8 och 13 gick det åt mer än 7 MWh respektive 9 MWh per transporterad m³/s trots att tilluftflödet endast är 78 % respektive 84 % av frånluftsfödet. Aggregat 8 har av utrymmesskäl endast en liten enkel plattvärmeväxlare och därmed sämre återvinningsverkningsgrad medan aggregat 13 har en onormalt hög tilluftstemperatur (efter eftervärmare). För aggregat 3 gick det åt mindre än 1 MWh per m³/s för samma period. Detta aggregat har stora dubbla seriekopplade korsströmsvärmeväxlare.



Figur 13: Uppmätt värmeenergi till eftervärmningsbatteri i MWh per m³/s och tillluftens temperaturverkningsgrad för några aggregat.

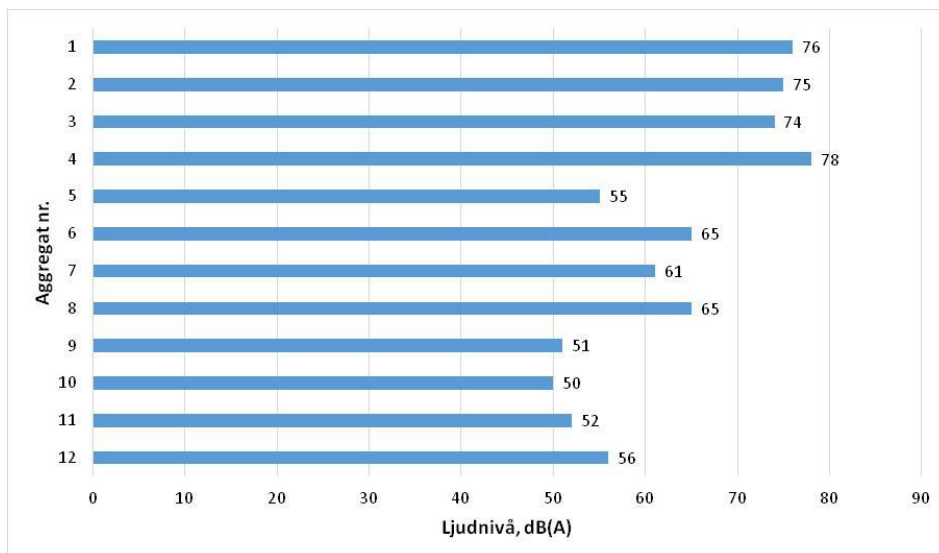
I tabell 5 visas tillförd värme till eftervärmningsbatteri för olika värmeåtervinningsaggregat per uppvärmd byggnadsarea (kWh per A_{temp}) under mätperioden tillsammans med beräknat årligt värmebehov för eftervärmningsbatteriet enligt kapitel 1.2.2 och uppmätta data enligt tabell 2. Ett antagande att helårsbehov av tillförd värme är ungefär 3 gånger större än för den aktuella mätperioden visar att uppmätta värden stämmer relativt bra överrens med beräknade.

Tabell 5: Uppmätt tillförd värmeenergi till eftervärmningsbatteri i jämförelse med beräknat årligt värmebehov. Här visas också uppmätt tilluftstemperatur efter eftervärmare och tilluftflöde.

Aggregat nr:	Uppmätt värme tillförd i eftervinningsbatteri (kWh/m ²) 29/1-12/3	Beräknat värme tillförd i eftervinningsbatteri på ett helt år (kWh/m ²)	Uppmätt medel på tilluftstemp. efter eftervärmare (°C)	Tilluftflöde (m ³ /s)
3	0,4	0,1	19,3	1,21
6	0,4	0,6	18,7	1,6
7	0,6	2,5	18,7	2,4
8	2,0	6,3	19	0,85
11	1,5	7,8	18,1	1,02
12	0,8	2,5	18,6	2,8
13	3,7	18,0	20-26	0,63

2.6 Uppmätta ljudnivåer i fläktrum

I figur 14 visas uppmätta ljudnivåer i olika fläktrum.



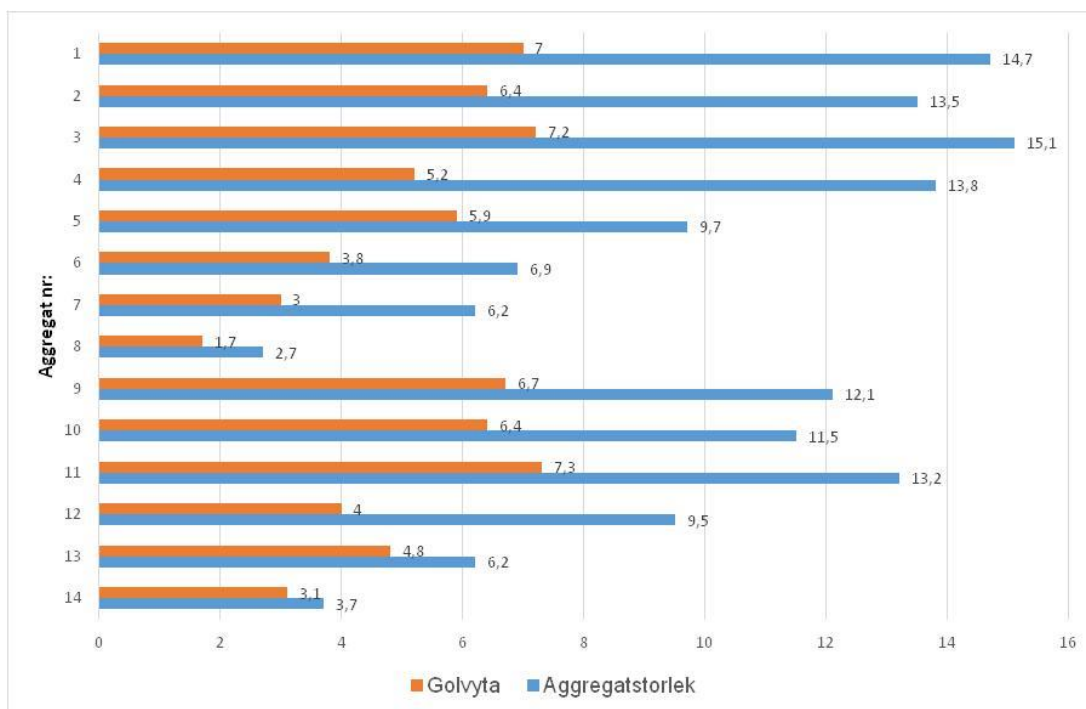
Figur 14: Uppmätta ljudnivåer i fläktrum i efterklangsfältet.

Beroende av fläktrumets ljudisolering kan ljudnivåer i fläktrum vara relevant att beakta. Enligt arbetsmiljöverket⁷ så bör ljudnivån inte överstiga 55 dB i miljö med genomsnittliga krav på fungerande talkommunikation med normal röststyrka på näravstånd från talaren. En ljudnivå på över 70 dB innebär att samtal med hög röst nätt och jämnt kan föras på 1 m avstånd för personer med fullgod hörsel. Fläktrum är ingen stadigvarande arbetsplats men drift- och servicepersonal kan behöva föra ett normalt samtal i fläktrummet.

2.7 Utrymmesbehov för aggregaten

I figur 15 redovisas aggregatens storlek i volym (bredd*höjd*längd) samt i golvarea (bredd*längd) redovisas per luftflödet i m³/s. I befintliga byggnader kan det vara svårt att finna plats för själva aggregatet. Därav kan fastighetsägaren ibland behöva välja ett aggregat som inte har den bästa verkningsgraden, men som går att installera. Detta gäller till exempel aggregat 8. För plattvärmväxlare är verkningsgraden ofta bättre ju större aggregatet är.

⁷ Arbetsmiljöverkets författningssamling, Buller AFS 2005 :16.



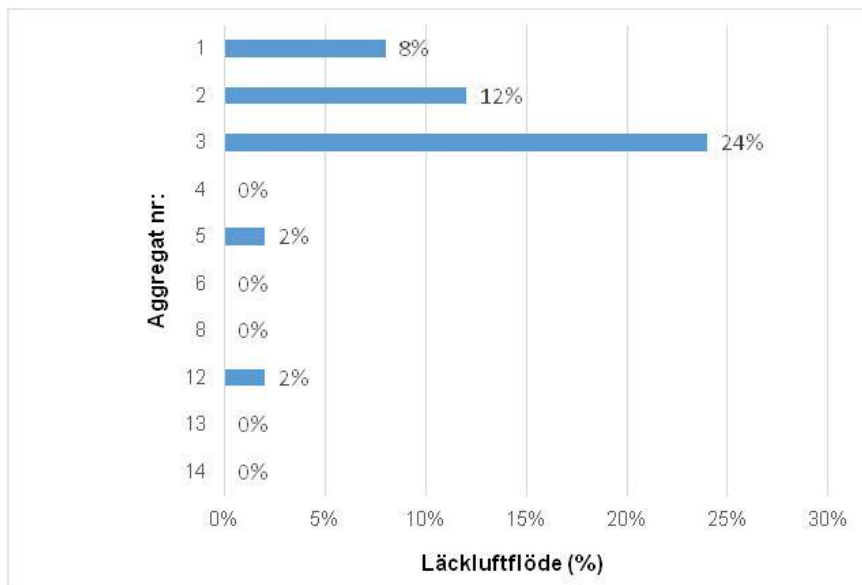
Figur 15: Aggregatens volym [$\text{m}^3/(\text{m}^3/\text{s})$] och golvarea [$\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$] räknat per transporterat luftflöde i m^3/s .

2.8 Läckluftflöden i aggregat

Spårgasmätningar har använts för att kontrollera om värmeåtervinningsaggregaten är täta mellan frånluftssida och tilluftssida och mellan avluftssida och uteluftsida.

Inget av de provade aggregaten uppvisade något läckage från frånluftssida till tilluftssida vid normaldrift. Under driftfall avfrostning uppmättes dock läckage på ca 5 % i Voltair-aggregatet nr 1. Eftersom varvtalet minskar för tilluftsfläkten vid avfrostning samt bypass-spjället öppnar så kommer trycket på värmväxlarens tilluftssida att minska. Frånluft kan då läcka över till värmväxlarens tilluftssida om otätheter finns. Klagomål på matoslukt i sovrum och vardagsrum har också framförts av hyresgäster i denna byggnad. Otätheterna i dessa Voltair-aggregat har nu åtgärdats av Voltair.

Läckage från uteluftsida till avluftssida konstaterades i 3 Voltair-aggregat. Storleken på dessa läckage uppgick till 8 %, 12 % samt 24 % av totalt uteluftsflöde. För övriga aggregat uppmättes inga eller mycket små läckage, mindre än 2 %. Dessa läckage försämrar energieffektiviteten men ger inte problem med luktöverföring som uppstår vid läckage mellan frånluftssida och tilluftssida.



Figur 16: Läckluft från uteluftssida till avluftssida i aggregat.

2.9 Iakttagelser under mätning

Aggregat nr 1, Voltair-aggregat

Inledande spårgasmätningar visade att 8 % av den uteluft som togs in i aggregatet läckte över till aggregatets avluftssida. Vid normal drift läcker dock inte någon frånluft över till tilluftssidan. Under driftfall avfrostning erhålls ett läckage av ca 4% från frånluft till tilluftssida. Klagomål på matoslukter från tilluftsdon i sovrum och vardagsrum har framförts från några hyresgäster. Avfrostning förekommer även vid utetemperaturer över 0°C.

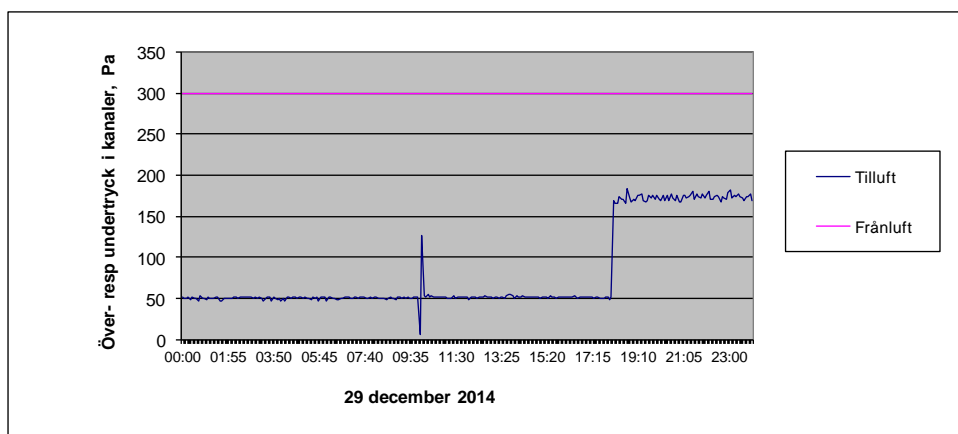
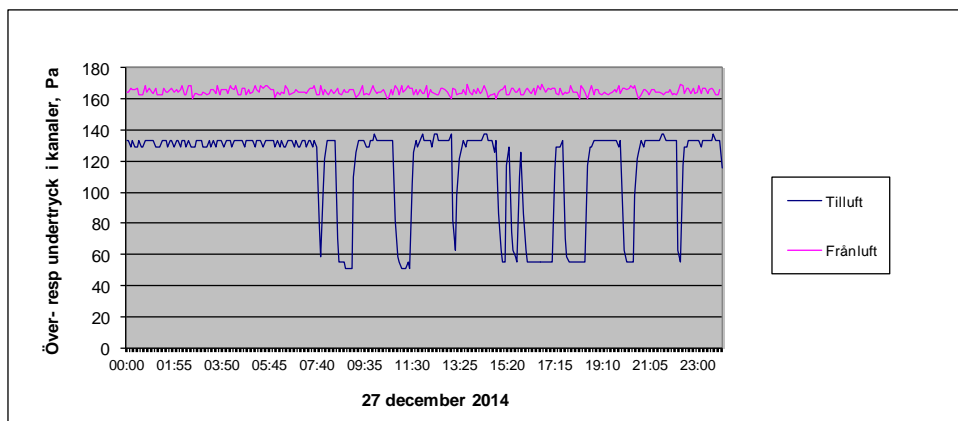
Orsaken till att frånluft läcker över till tilluft bedöms vara att frånluftsfläkten är placerad i frånluftskanal före aggregatet. Därför uppstår ett övertryck på frånluftssidan men genom att tilluftsfläkten också är placerad på uteluftssidan av aggregatet så upprätthåller denna ett tillräckligt mottryck vid normaldrift. Vid driftfall avfrostning varvar tilluftsfläkten ned samtidigt som by-pass-spjäll öppnar. Mottrycket minskar då och frånluft med matos kan då läcka över till tilluften.

Aggregat nr 4, Voltair-aggregat

Inga otätheter eller läckage mellan frånluft och tilluft eller mellan uteluft och avluft kunde upptäckas. Högt ljudnivå i fläktrum konstaterades. Tryckfall i uteluftskanal var relativt högt, 225 Pa, vilket delvis beroende på att ljuddämpare installerats i uteluftskanal. Även högt tryckfall i avluftskanal, 160 Pa. Detta bidrar till hög specifik fläkteffekt (SFP=2,6) och hög ljudnivå i fläktrum (78 dB(A)).

Vid avfrostning sänks tilluftflöde samtidigt som by-pass-spjäll öppnar. Mätningar under den kalla decemberperioden visar att först sker avfrostning under korta perioder medan i slutet av den kalla perioden sker avfrostningen under en stor del av dagen. I figur 17 a och b kan de olika principerna jämföras. Verkningsgraden under den 27 december är 70 % medan den gått ned till 44 % under den

29 december. Tilluften efter värmeväxlaren är ca 7 °C och efter eftervärmningsbatteriet ca 16 °C. Här sker en större avfrostning vilket påverkar både energianvändningen och inomhusklimatet.



Figur 17 a och b: Uppmätt över- och undertryck i kanaler för aggregat 4 (Voltair-aggregat) två kalla december dagar. Minskning i tryck över tilluftsflödet visar hur ofta tilluftsflödet minskas i aggregatet. Under 29 december är flödet reducerat under större delen av dygnet.

Aggregat nr 6, IV Produkt Envistar

Vid avfrostning by-passas tilluft förbi värmeväxlaren. Till- och frånluftstryck konstanthålls så att luftflöden inte påverkas av avfrostningsdriftfallet.

Vid platsbesök 29 december 2014 noterades hög ljudnivå från luftbehandlingsaggregatets tilluftsfläkt och stort tryckfall (850 Pa) över uteluftintag i kombihuv på tak. Vid närmare kontroll/felsökning konstaterades att detta berode på att uteluftintagets ytterväggsgaller var nästan helt igensatta av snö och is. Tilluftsfläkten hade då varvat upp till maxvarvtal eftersom den styrdes för att upprätthålla konstant övertryck i tilluftskanal. Påföljande dag hade dock den mesta snön/isen försvunnit och tryckfallet minskat till normala 30 Pa.



Figur 18 a: Takhuv med uteluftintag. Uteluftsgallret är nästan helt igensatt av snö och is. Platsbesök 29/12-15.



Figur 18 b: Här har den mesta snön försvunnit och den fria arean är nästan normal. Platsbesök 30/12-15.

Aggregat nr 7, Menerga-aggregat

Vid avfrostning bypassas tilluften förbi värmeväxlaren. Dessutom sänks såväl till- och frånluftflöden till ca hälften mot normalt under de korta avfrostningsperioderna (20 - 40 minuter). Tillufttrycket sänks med 70 % och frånlufttrycket med ca 80 %. Detta motsvarar en sänkning av tilluftflödet med ca hälften och frånluftflödet med drygt hälften. Genom att frånluftflödet sänks kommer byggnaden att få försämrade ventilation. Under en uppmätt avfrostningsdag var flödet ca 11 % mindre än normalt.

Aggregat nr 8, Exhausto-aggregat

Värmeåtervinningen var ur drift de 14 första dygna av loggningen (22 december till 5 januari 2015) av okänd anledning. Under denna tid var bypass-spjället öppet och tilluften passerade ej genom värmeväxlaren. Under resten av loggningstiden verkar driftfall avfrostning aldrig ha gått in.

Aggregat nr 12, Swegon-aggregat

Vid avfrostning by-passas tilluft förbi värmeväxlaren. Till- och frånluftstryck konstanthålls så luftflöden inte påverkas av avfrostningsdriftfallet. Plattvärmeväxlarens dropp-plåt var pluggad och dräneringsrör till golvbrunn saknades vid platsbesök. Detta påtalades och åtgärdades.

Aggregat nr 2 och 3 (Voltair-aggregat) , aggregat nr 5 (IV Produkt Flexomix) och aggregat nr 9, 10 och 11 (Weland-aggregat)

Under loggningsperioden 29 december till 19 februari inträffade inget driftfall med avfrostning.

Aggregat nr 13, Swegon Gold PX

Genom att jämföra frånluftens daggpunktstemperatur med värmeväxlarens temperatur har mätvärden med risk för kondensering undersökts. Kondens antas inträffa när värmeväxlarplåtens temperatur är lägre än frånluftens daggpunktstemperatur. Värmeväxlarens temperatur har i sin tur approximerats med medelvärdet av uteluften och avluften. Ingen nämnvärd påverkan på

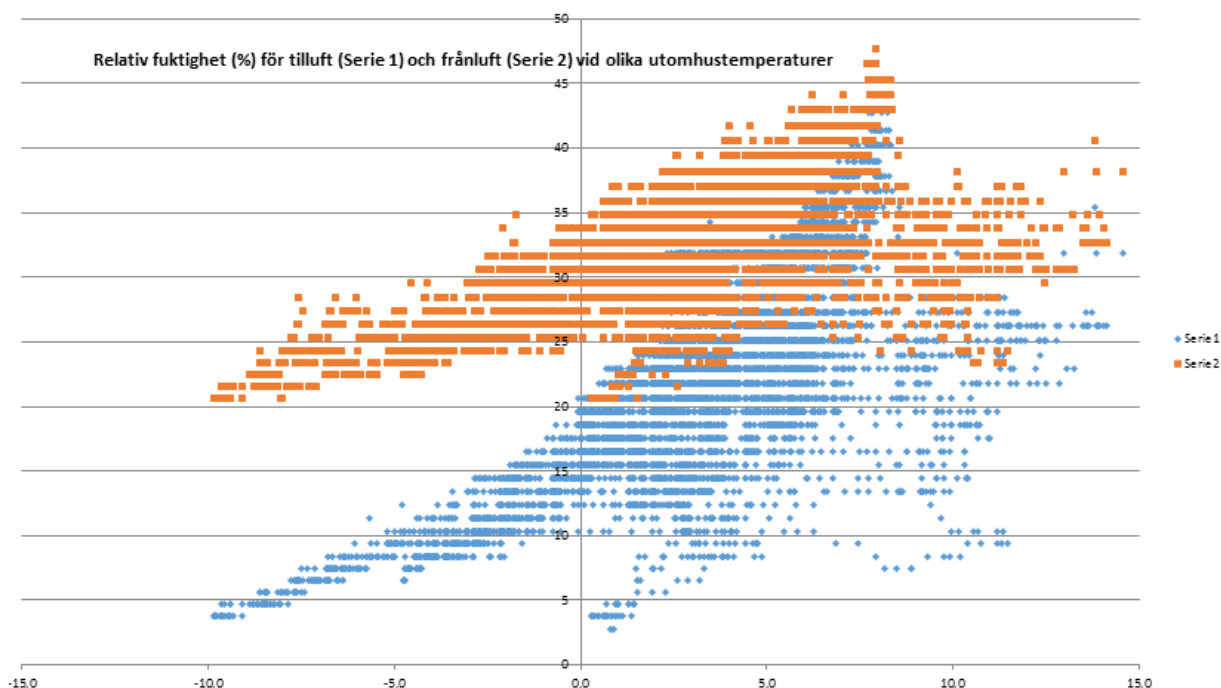
temperaturverkningsgraden har kunnat iakttas. Ingen påfrysning har skett under mätperioden eftersom förutsättningarna inte varit uppfyllda.

Läckagemätning med spårgas visade att det inte finns något läckage över värmeväxlaren, men däremot i kombihuven. Läckaget visades sig vara lite drygt 2 %. Vid mättillfället var utomhustemperaturen ca 3°C och vindhastigheten ca 4 m/s.

Köksfläktarna är kopplade till FTX-aggregatet. Dock har ingen flödesändring p g a köksfläktar observerats. Det framgick inte av någon dokumentation om luftflöden styrs ned med sjunkande utomhustemperatur vintertid. Inget utetemperaturberoende kunde observeras via loggning.

Tilluftstemperaturen efter eftervärmaren är väldigt hög. Exempelvis kan nämnas morgonen den 2 februari (utetemperatur: -6°C), då tilluften var 25°C. Även förmiddag den 22 april (utetemperatur 12°C) är tilluften varm, ca 22°C. Det ser ut som att tilluften har auktoritet för att värma byggnaden och att radiatorsystemet är sekundärt.

För detta aggregat har luftfuktighet i tilluft och frånluft mätts, vilket visas i figur 19. Medeluppfuktningen är under mätperioden ca 12 % och maximalt 22 %.

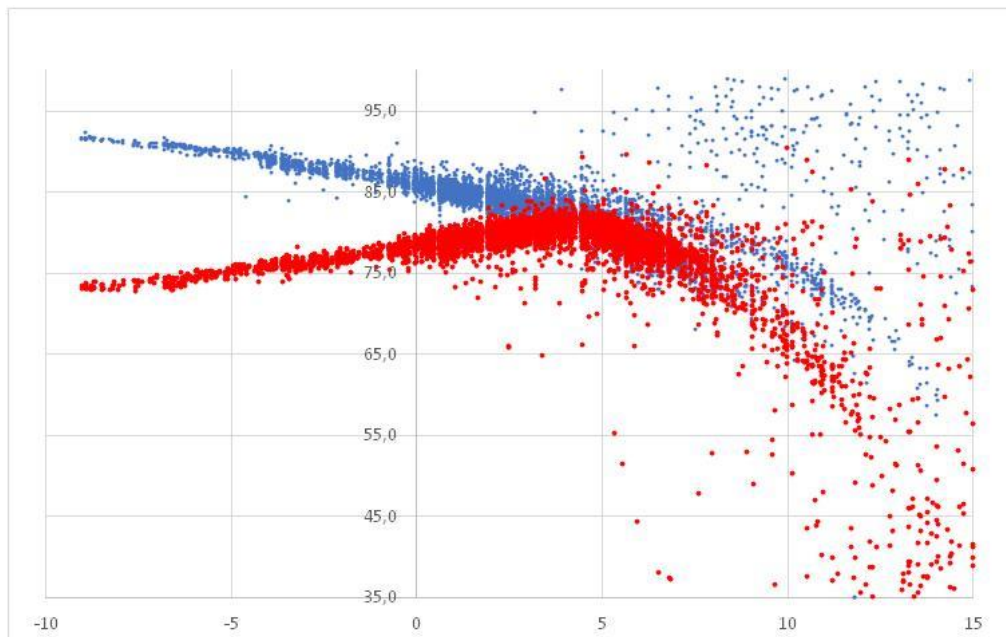


Figur 19: Uppfuktning av tillförd luft. Relativ fuktighet (%) för tilluft (blå) och frånluft (orange). Varje punkt representerar medelvärdet vart femtonde minut.

På grund av den höga tilluftstemperaturen (efter luftvärmaren) vid låga utomhustemperaturer blir relativa fuktigheten i tilluften låg (5% vid -10°C). Detta kan skapa problem med för torr inomhusluft.

Aggregat nr 14 (Swegon Gold 08 DRX)

Figur 20 visar att frånluftens temperaturverkningsgrad faller med sjunkande utetemperatur (från 84% till 72%), vilket beror på kondensering. Då frånluften kondenserar sjunker inte dess temperatur till lika låg nivå som den skulle ha gjort utan kondensering. Samtidigt värms tilluften med frånluftens avgivna kondensvärme, vilket kan ses i ökande tilluftstemperaturverkningsgrad.



Figur 20: Temperaturverkningsgrader (tilluft, blå och frånluft, röd) efter korrigerings för flöde och fläktarnas temperaturökning som funktion av utetemperaturer.

Genom att jämföra frånluftens dagpunktstemperatur med värmeväxlarens temperatur har risk för kondensation undersökts. Kondens antas inträffa när värmeväxlarplåtens temperatur är lägre än frånluftens dagpunktstemperatur. Värmeväxlarens temperatur har i sin tur approximerats med medelvärdet av uteluften och avluften. Kondensering beräknas ske vid ungefär 40 % av mätvärdena under mätperioden december 2014 till mars 2015. Kondensation sker framför allt vid låga utetemperaturer, vid vilka tilluftens temperaturverkningsgrad stiger dels pga. att kondensvärmets värmer plåten och sålunda tilluftstemperaturen och dels pga. av bättre värmeöverföring. Ingen påfrysning har skett under mätperioden eftersom förutsättningarna inte varit uppfyllda.

3 Diskussion och sammanfattande slutsatser

Mätningarna visar att värmeåtervinningsystemen fungerar relativt väl vilket visar att det går att göra bra installationer av värmeåtervinning i befintliga flerbostadshus. Tio av aggregaten har energibesparingar över 30 kWh per kvadratmeter och de bästa aggregaten har energibesparingar över 37 kWh per kvadratmeter men de är också relativt utrymmeskrävande. Det aggregat som har sämst energibesparing (22 kWh per kvadratmeter) har relativt liten värmeväxlare och har valts av utrymmeskäl.

Värmebesparing är här uppmätt för respektive installation i drift och resultatet är beroende av byggandens area, balans i luftflöden, storlek på luftflöde, utomhusförhållanden under mätperioden m.m. Därmed kan flera av aggregaten ha en potential till bättre värmebesparing om de installeras i en annan byggnad under andra förhållanden. Flera av aggregaten kan också ha lite eller mycket sämre värmebesparing om mätningar hade kunnat ske vid kallare väderlek med betydligt större behov av avfrostning. Det går därför inte att dra någon slutsats om att något fabrikat skulle vara bättre framför ett annat.

Mätningarna visar att det finns all anledning att arbeta med att få ned SFP-värdena för aggregaten för att få goda energibesparingar. Till exempel har aggregat 4, som är placerad i en byggnad med högt tryckfall, ett högt SFP-värde vilket innebär att mycket el går åt till fläktar. Det är också viktigt ha ett lämpligt börvärde på tilluftstemperatur efter värmeåtervinningsbatteriet så att onödigt mycket energi i eftervärmningsbatteriet kan undvikas. Aggregaten är överlag täta och har inget läckage mellan flöden. Dock noterades att några Voltair-aggregat har läckage från uteluft till avluft. Detta försämrar energieffektiviteten men ger inte problem med luktöverförings som uppstår vid läckage från frånluft till tilluft. För ett system noterades läckage i kombihuven.

Avsikten var att särskilt studera aggregatens avfrostningsfunktion men tyvärr var vintern alldeles för mild för att någon större påfrysning och behov av avfrostning skulle ske. Några fall av påfrysning har konstaterats i mätningarna och några aggregat har gått in i styrning för avfrostning.

Under en kall decemberdag finns mätningar där funktion för att förhindra påfrysning aktiverats men beräkningar visar att de försämrade verkningsgraderna inte påverkar årsenergibesparingen mer än 1-2 kWh per kvadratmeter. Undantaget är en dag för aggregat 4 som hade betydligt sämre verkningsgrad under ett av de kalla dygna i slutet av en kall period. Detta kan bero på att mycket is bildats som behövde avfrostas. Mätningar från dessa perioder visar att det är viktigt att utforma en väl genomtänkt påfrysning- och avfrostningsfunktion. Det är viktigt att ha en reglering som undviker påfrysning, men inte med onödigt stor marginal och där eventuell avfrostning sker effektivt. Eventuellt kan en annan mer tuffare reglering behövas under längre perioder med kyla. Avfrostning bör regleras med fler parametrar än bara tryckfall över värmeväxlaren för att undvika onödig avfrostning (t.ex. utomhustemperatur eller dagpunkt).

För att ta fram tydliga kriterier för en reglerstrategi som ger god energieffektivitet behövs mer mätning under kalla utomhusperioder. Vidare kan mätningar behövas för aggregat som har andra tekniska lösningar för reglering av påfrysning och avfrostning. För att jämföra olika fabrikat av aggregat behöver mätningar göras under betydligt mer reglerade förhållanden.