

Teknikupphandling av värmeåtervinningsystem i befintliga flerbostadshus

- utvärdering



Åsa Wahlström
CIT Energy Management

Januari 2014

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 fart på energieffektivisering inom flerbostadshussektorn genomförs en teknikupphandling av värmeåtervinning ur ventilationsluft. Teknikupphandlingen drivs av en beställargrupp under ledning av SABO genom Therese Rydstedt. Åsa Wahlström CIT Energy Management är projektledare för teknikupphandlingen med assistans av Arne Elmroth, professor emeritus vid Lunds tekniska högskola. Tomas Berggren Energimyndigheten och Göran Werner WSP medverkar som sakkunniga. Bengt Bergqvist Energianalys AB har genomfört uppföljande mätningar. Catrin Heincke CIT Energy Management har utvärderat inomhusklimatenkäterna och Peter Filipsson CIT Energy Management har gjort energiberäkningar. Beställargruppen består av:

Therese Rydstedt, SABO

Helena Ulfsparre och Peter Norrenge, Familjebostäder

Jane Kylberg, Helsingborgshem

Lars Heinonen och Ann Lindkvist, Huga Fastigheter

Kenneth Faaborg och Rodrigo Fuentes, Hyresbostäder i Växjö

Peter Axelsson och Gunnar Wiberg Stockholmshem.

Åsa Wahlström
CIT Energy Management
Januari 2014

Sammanfattning

Under ledning av SABO har Energimyndighetens beställargrupp för bostäder BeBo genomfört en teknikupphandling av värmeåtervinningssystem för befintliga flerbostadshus. Syftet med teknikupphandlingen är att initiera en utveckling av energieffektiva systemlösningar som erbjuds 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 ventilationssystem som ger god luftkvalitet och god värmeåtervinning ur frånluften. En helhetslösning som är enkel för bostadsföretagen att beställa.
- demonstrera systemlösningar för värmeåtervinning i sju flerbostadshus.

En upphandling har genomförts där två systemlösningar för värmeåtervinning har antagits för installation i sju demonstrationshus. Det är dels en systemlösning som lyfter kondenserande värmepumpsteknik från enfamiljshus till flerbostadshus, dels en systemlösning med värmeväxling mellan från- och tilluft (FTX) i vilket ett kanalsystem för tilluftskanaler i lägenheter utvecklats. Föreliggande rapport redovisar mätning och utvärdering av installation, idrifttagning och drift av de sju demonstrationsprojekten i förhållande till krav ställda i specifikation vid upphandling. Utvärderingen kan konstatera att båda systemlösningarna för värmeåtervinning fungerar men att det fortfarande finns utvecklingspotential för förbättrad funktion, både vad gäller energi- och kostnadseffektivitet. Utvärderingen kan inte visa på att den ena systemlösningen är bättre än den andra. De två systemlösningarna kommer att ha olika egenskaper (fördelar, nackdelar och risk) för främst driftsäkerhet, inomhusklimat, ekonomi och energianvändning med dess relaterade miljöpåverkan. Utvärderingen har studerat energianvändning i form av värme och el med respektive kostnader och har inte gjort någon analys av miljöpåverkan. Vid val av systemlösning för värmeåtervinning är det viktigt att titta på byggnadens förutsättningar innan man bestämmer sig. De två systemlösningarna kan passa för olika typer av byggnader men val av system beror också på vilka egenskaper en fastighetsägare prioriterar högst.

Teknikupphandlingen har främst visat att det är fullt möjligt att hitta plats för kanaldragningar, aggregat och andra komponenter som behövs för värmeåtervinningssystem, vilket tidigare har setts som ett starkt hinder mot värmeåtervinning. Det har i samtliga demonstrationsprojekt varit möjligt att göra installationerna utan att nya utrymmen som fläktrum har behövt byggas. Installation av värmeåtervinning kan göras med relativt begränsade ingrepp innanför lägenheterna och de kan utföras på kort tid varför störningarna för hyresgästerna kan bli små. Tydlig information till hyresgäster och design på de ingrepp som görs i lägenheter är mycket viktiga faktorer för att få acceptans.

Av de fyra byggnader som har en systemlösning med värmepump klarar två uppställda krav på energieffektivisering, men inte någon av byggnaderna klarar utlovad prestanda som entreprenören gett i anbudet. Av de tre byggnader som har en systemlösning med FTX klarar två uppställda krav på energieffektivisering.

I och med teknikupphandlingen har investeringskostnaderna för installation kunnat reduceras och har blivit betydligt lägre än vad tidigare erfarits. Kravet att nuvärdet av kostnadsbesparing genom energieffektivisering ska vara större än värmeåtervinningssystemets totala kostnader under en brukstid av 12 år har dock inte uppfyllts för någon byggnad. Detta beror dels på att en hel del utveckling var tvungen att genomföras under projektets genomförande vilket har fördyrat

installationerna och dels på att flera byggnader inte nått upp till den energibesparing som utlovats. Vidare har alla kostnader betraktats som investering i energiåtgärd trots att det vore rimligt att bokföra merparten av kostnaderna som underhåll.

Inneklimatenkät och -mätningar visar inga tendenser till problem varken i systemlösning med värmepumpar eller med FTX, dvs båda systemlösningar klarar att ge ett tillfredställande inomhusklimat. Systemlösning med FTX har dock förutsättningar till att ge ett förbättrat inomhusklimat genom att förvärmad och filtrerad luft tillförs i lägenheterna. För systemlösning med värmepump finns större risk för drag, särskilt om luftflöden i utgångsläget inte är tillräckligt stora, vilket gör det mer viktigt att säkerställa att luftflödena tas in i byggnaden på ett för systemlösningen korrekt vis. Lufttätning av klimatskärmen är viktig och nödvändig för båda systemlösningarna för att säkerställa en god inomhuskomfort.

Befintliga luftkanaler har visat sig vara mycket otäta och det finns ett behov av utveckling av billigare och effektivare tätningsmetoder för kanaler. Det finns också ett behov av att fortsatt utveckla reglerstrategier för avfrostning för att få en effektiv värmeåtervinning och god inblåsningstemperatur utan att eftervärmare behöver användas. Det finns också utrymme för fortsatt designutveckling av kanalsystem i lägenheter.

Idrifttagning är fortsatt ett problem och det kommer framöver att finnas ett växande behov av kunnig driftpersonal som i samverkan med entreprenören kontrollerar systemens prestanda och vid behov gör nödvändiga justeringar åtminstone under de första årens drift. Kontinuerlig driftövervakning rekommenderas och att mätsystemen kan integreras med ordinarie övervakningssystem för att få en optimal drift. Detaljerade mätningar och ett tydligt idrifttagningsåtagande för entreprenören som innefattar utbildning av driftpersonal är viktigt i framtida projekt.

Vi har fått fram två vinnare som kan passa för olika byggnader. Teknikupphandlingen har fått karaktären av ett utvecklingsprojekt där förbättrade system tagits fram och där utveckling fortsätter. En marknad för värmeåtervinning i befintliga flerbostadshus har etablerats och det finns nu utvecklade erbjudanden om totala systemlösningar inklusive komponenter, projektering och installation av värmeåtervinning till en rimlig kostnad.

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Förord..... | 1 |
| Sammanfattning..... | 2 |
| 1 Inledning..... | 7 |
| 1.1 Potential | 7 |
| 1.2 Bakgrund..... | 7 |
| 1.3 Målsättning..... | 7 |
| 1.4 Genomförande | 8 |
| 1.5 Systemlösning..... | 8 |
| 2 Etapp 2..... | 9 |
| 2.1 Systemlösning med kondenserande frånluftsvärmepump | 9 |
| 2.2 Systemlösning med FTX..... | 9 |
| 2.3 Demonstrationsbyggnader..... | 10 |
| 3 Mätuppföljning..... | 11 |
| 3.1 Iakttagelser och åtgärder som genomförts vid idrifttagningar av systemlösning med FTX. 11 | |
| 3.2 Iakttagelser och åtgärder som genomförts vid idrifttagning av systemlösning med värmepump | 12 |
| 3.3 Mätperioder för energiutvärdering..... | 13 |
| 3.4 Utvärdering av inomhusklimat | 14 |
| 3.4.1 Utvärdering för systemlösning med värmepump | 14 |
| 3.4.2 Utvärdering för systemlösning med FTX | 15 |
| 4 Uppföljning av krav..... | 17 |
| 4.1 Överordnande krav..... | 17 |
| 4.2 Byggnader med frånluftsvärmepump som systemlösning..... | 18 |
| 4.2.1 Energieffektivitet | 18 |
| 4.2.2 Kostnader..... | 20 |
| 4.2.3 Inneklimatparametrar | 21 |
| 4.2.4 Design och funktion..... | 23 |
| 4.2.5 Installation | 23 |
| 4.2.6 Robusthet | 23 |
| 4.2.7 Drift och underhåll..... | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2.8 | Uppföljning av temperatur och energianvändning | 24 |
| 4.2.9 | Systemflexibilitet | 24 |
| 4.3 | Byggnader med FTX systemlösning | 25 |
| 4.3.1 | Energieffektivitet | 25 |
| 4.3.2 | Kostnader..... | 27 |
| 4.3.3 | Inneklimatparametrar | 27 |
| 4.3.4 | Design och funktion..... | 29 |
| 4.3.5 | Installation | 29 |
| 4.3.6 | Robusthet | 29 |
| 4.3.7 | Drift och underhåll..... | 29 |
| 4.3.8 | Uppföljning av temperatur och energianvändning | 30 |
| 4.3.9 | Systemflexibilitet | 30 |
| 4.4 | Service tillgänglighet | 30 |
| 5 | Resultat och erfarenheter | 31 |
| 5.1 | Installation | 31 |
| 5.2 | Idrifttagning | 31 |
| 5.3 | Information till hyresgäster | 31 |
| 5.4 | Design och funktion..... | 32 |
| 5.5 | Energianvändning | 32 |
| 5.6 | Inneklimat..... | 32 |
| 5.7 | Eftervärmare..... | 33 |
| 5.8 | Tillgänglighet för service..... | 33 |
| 5.9 | Investeringskostnad | 33 |
| 5.10 | Ekonomi..... | 33 |
| 5.11 | Övergripande slutsatser | 34 |
| 5.12 | Informationsöverföring | 34 |
| 5.13 | Behov av fortsatt utvecklingsarbete..... | 35 |

Bilagor

Bilaga A: Kommentarer från Climate Soltion

Bilaga B: Kommentarer från Systemair

Bilaga C: Mätningar i byggnad Alfa

Bilaga D: Mätningar i byggnad Beta

Bilaga E: Mätningar i byggnad Gamma

Bilaga F: Mätningar i byggnad Delta

Bilaga G: Mätningar i byggnad Epsilon

Bilaga H: Mätningar i byggnad Zeta

Bilaga I: Mätningar i byggnad Eta

Bilaga J: Enkätundersökning av inomhusklimat i värmepumpsbyggnader

Bilaga K: Enkätundersökning av inomhusklimat i FTX byggnader

Bilaga L: Referensbyggnader

Bilaga M: Mätningar i byggnad Theta

Bilaga N: Mätningar i byggnad Jota

Bilaga O: Mätningar i byggnad Kappa

Bilaga P: Mätningar i byggnad Lambda

1 Inledning

Installation av tekniska lösningar för värmeåtervinning ur ventilationsluft (VÅV) är en mycket viktig energiåtgärd i befintliga flerbostadshus för att nå de nationella målen om en halverad energianvändning fram till år 2050. Idag står många av de flerbostadshus som byggdes mellan 1940 och 1970 inför omfattande renoveringar/ombyggnader. I många byggnader är ventilationen undermålig och behöver åtgärdas för att få ett acceptabelt inneklimat. Det blir då mer kostnadseffektivt att samtidigt installera värmeåtervinning. Därför är det viktigt att utveckla tekniken och rationalisera installationsprocessen så att bättre systemlösningar kan bli kostnadseffektiva i befintliga byggnader.

1.1 Potential

Den tekniska potentialen för energibesparing med VÅV är stor. Värmeåtervinning ur frånluft är en av de absolut viktigaste åtgärderna i befintliga flerbostadshus eftersom den har stor besparingspotential till en rimlig investeringskostnad. En förstudie¹ som genomfördes 2008 visar att värmebehovet i flerbostadshus kan reduceras med ca $30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år genom att återvinna värmen i ventilationsluften. Med dagens renoveringstakt är energisparpotentialen ca 0,8 TWh/år till år 2020 om system för värmeåtervinning installeras vid renovering. Om renoveringstakten ökar och VÅV installeras i alla befintliga flerbostadshus som saknar VÅV är den tekniska sparpotentialen ca 5 TWh/år, det vill säga ett betydande bidrag för att klara av de nationella energisparmålen. Värmeåtervinning med frånluftsvärmepump kan ge ännu högre värmebesparing men har samtidigt en ökad elanvändning.

1.2 Bakgrund

I den förstudie som genomfördes 2008 har det konstaterats att det då endast fanns enstaka exempel på installation av VÅV i befintliga flerbostadshus. Marknaden för VÅV var obefintlig. Det fanns få produkter, projektörer, installatörer och framför allt få entreprenörer som kunde erbjuda komplett installation av VÅV. 2008 fanns komponenter och system för VÅV men de behövde utvecklas och anpassas för ombyggnad av flerbostadshus och bli mer kostnadseffektiva. Dessutom behövdes större kunskap och mer erfarenheter av upphandling, installation och drift av värmeåtervinning ur frånluft. Genom att ta vara på erfarenheter från goda exempel blir risktagandet för fastighetsägaren lägre vilket möjliggör att flera projekt genomförs.

1.3 Målsättning

Teknikupphandling används som metod för att utveckla och introducera nya energieffektiva produkter och system på marknaden. Avsikten med teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus är att initiera en utveckling av energieffektiva systemlösningar som erbjuds på marknaden inför de upprustningar av flerbostadshus som kommer att behövas inom de närmaste åren.

¹ Åsa Wahlström, Åke Blomsterberg, Daniel Olsson, "Värmeåtervinningssystem för betifliga flerbostadshus – förstudie inför teknikupphandling", Rapport utförd på uppdrag av Bebo och Sabo, www.bebostad.se, januari, 2009.

Syftet med teknikupphandlingen har därför varit att:

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

1.4 Genomförande

Teknikupphandlingen sker i tre etapper.

I etapp 1 har underlag för upphandling tagits fram och en anbudsfrågan har genomförts. 18 anbud från 4 anbudsgivare lämnades in. Två anbudsgivare antogs för installation (ett FTX-system och ett system med frånluftsvärmepumpar). Anbudet som lämnades in visade på både en teknisk utveckling genom att i ena fallet lyfta kondenserande värmepumpsteknik från enfamiljshus till flerbostadshus och i det andra fallet utvecklat förtillverkade estetiskt acceptabla kanaler för tilluft i lägenheterna som går snabbt att installera. Vidare har anbudet inneburit utveckling i och med att de erbjuder en komplett systemlösning inklusive komponenter, projektering och installation av värmeåtervinning till en rimlig kostnad. Etapp 1 har tidigare rapporterats².

I etapp 2 har de vinnande förslagen testats och utvärderats i 7 demonstrationshus. Resultaten publiceras i föreliggande rapport.

I etapp 3 kommer kravspecifikationen att förbättras genom att inkludera erfarenheterna från demonstrationsprojekten. Den bör kunna fungera som underlag vid upphandling av värmeåtervinning. Offentlig upphandling kan genomföras genom antingen:

- a) Ramavtal som kan hanteras via HBV(husbyggnadsvaror). HBV fungerar som en central inköpsorganisation för dess medlemmar som är främst kommunala bostadsbolag eller
- b) Lokal entreprenadupphandling genom att beskriva vilka system som skall upphandlas och välja installation med bästa villkor.

1.5 Systemlösning

Teknikupphandlingen av VÅV är den första teknikupphandling som sker för en systemlösning och inte en enskild komponent. Den är därmed en test på om det går att använda denna upphandlingsform för en systemlösning och upplägget är därför något annorlunda jämfört med en traditionell teknikupphandling. Anbudsgivarna har i första hand vunnit fördel av att få installera och demonstrera deras respektive koncept av VÅV i några befintliga flerbostadshus där flerbostadshusföretagen givit full kostnadstäckning för installationen. Kravspecifikationen behöver förbättras efter utförda demonstrationsprojekt innan nya upphandlingar kan komma till stånd.

² Åsa Wahlström, "Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus -rapport etapp 1", Rapport utförd på uppdrag av Bebo och Sabo, www.bebostad.se, april, 2009.

2 Etapp 2

Två anbudsgivare antogs för installation (ett FTX-system och en frånluftsvärmepump). I fyra flerbostadshus har frånluftsvärmepump installerats och i tre hus FTX-system.

2.1 Systemlösning med kondenserande frånluftsvärmepump

Detta tävlingsbidrag har lämnats av Climate Solutions Sweden AB. Lösningen innebär installation av ett system bestående av luft-vattenvärmepumpar, av märket Stiebel-Eltron, för återvinning av värme i ventilationsluften. Värme levereras till värmesystemet eller till varmvatten. Värmepumparna placeras på vind eller tak där frånluften är åtkomlig och ansluts sedan med isolerade rör till husets befintliga värmeanläggning. I en av byggnaderna placerades värmepumparna direkt i en befintlig frånluftskammare. Värmepumpen avses kunna kyla luften ned till -10 grader C (eventuellt ned till -20 grader C) och kan också tillgodogöra värmeinnehållet i frånluftens fuktighet. Detta förbättrar energitäckningsgraden. Denna typ kallas kondenserande frånluftsvärmepump när det gäller villor och hade vad beställargruppen kände till inte tidigare använts i flerbostadshus. Förslaget utnyttjar befintliga frånluftskanaler och man avsåg från början att inte göra några ingrepp alls i respektive lägenhet utan litade på att befintliga tilluftsdon var tillräckliga för att på ett acceptabelt sätt förse lägenheterna med uteluft. Det finns dock en risk för ökat drag om luftflödena ökar något för de fall uteluftsflödena i utgångsläget inte är tillräckligt stora för att säkerställa god luftkvalitet. I etapp 1 genomfördes täthetsmätningar av samtliga byggnader som visade på att de ingående demonstrationsbyggnaderna är relativt lufttäta från början. Det går att åtgärda eventuella dragproblem genom att byta uteluftsdon som ger mindre drag, men det har inte genomförts i demonstrationshusen.

Anbudet från Climate Solution innehöll två alternativa lösningar för varje byggnad. Ett grundalternativ med ett mindre värmepumpsystem som avser att klara kravet på effektiv elanvändning, dvs att byggnadens användning av fastighetsel maximalt får öka med $12 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år för byggnader med frånluftsventilation ($14 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år för byggnader med självdrag). Det andra alternativet är med ett större värmepumpsystem dimensionerat för en energitäckningsgrad nära 100 %. Värmebesparingen blir betydligt större men med en kraftigt ökad elanvändning. Den ekonomiska kalkylen är något bättre än grundalternativet. Alternativet innebär att fjärrvärmeanslutningen inte skulle behöva vara kvar, eventuellt behov av värmestillskott vid extrem kyla kan täckas med de elpatroner som redan finns i värmepumparna. Angiven värmefaktor i anbudet är 4,3 för grundalternativet och 3,4 för alternativet med det större värmepumpsystemet.

2.2 Systemlösning med FTX

Detta tävlingsbidrag är ett samarbete mellan ingenjörsfirman Gösta Schelin, aggregattillverkaren Systemair och installationskonsultföretaget PQR Consult. Systemlösningen bygger på att befintliga frånluftskanaler utnyttjas och nya tilluftskanaler installeras i trapphus. Nyutvecklade fyrkantiga färdigmålade tilluftskanaler installeras i respektive lägenhet, vilket innebär ett begränsat ingrepp i lägenheterna. Tilluftskanalerna går ifrån trapphuset in i lägenheternas hall och fördelas där ut till sovrum och vardagsrum. I sovrum och vardagsrum dras kanaler under taket längs vägg bort till motsatt ände av rummet där kanalerna dras ned till golvnivå. Systemlösningen kan därmed klara brandskydds krav utan behov av brandspjäll.

En motströmsvärmeväxlare från Systemair används i anbudet med angiven temperaturverkningsgrad på 90 %. Förutom kontroll av luftflöden bedöms inga efterarbeten vara nödvändiga. Filterbyten behöver göras 2 gånger per år.

2.3 Demonstrationsbyggnader

I tabell 1 beskrivs areor, antal lägenheter och våningar för demonstrationsbyggnaderna och i tabell 2 och 3 beskrivs installerad systemlösning i varje byggnad.

I de flesta byggnader var installationsarbetena färdiga i januari 2012. Dock har samtliga byggnader haft driftstörningar under inledningskedet.

Tabell 1: Areor, antal lägenheter och våningar för demonstrationsbyggnaderna

| Byggnad | Area m ² A _{temp} | Antal lägenheter | Antal våningar ovan mark |
|---------|--|------------------|--------------------------|
| Alfa | 2252 | 36 | 6 |
| Beta | 3100 | 35 | 6 |
| Gamma | 1088 | 14 | 3 |
| Delta | 3114 | 41 | 8 |
| Epsilon | 1798 | 18 | 3 |
| Zeta | 2002 | 24 | 8 |
| Eta | 750 | 12 | 3 |

Tabell 2: Byggnader med frånluftsvärmepump som systemlösning

| Byggnad | Beskrivning av installerad systemlösning |
|---------|---|
| Alfa | Två stycken parallellkopplade WPL23 (14,7 kW) placerades på vinden i den ena trappuppgången och två stycken WPL23 (14,7 kW) på vinden i den andra. En av värmepumparna producerar vid behov varmvatten och därefter har den värmeproduktion. Ny frånluftsflykt av EC-typ installerad med kanaler från befintlig skorsten. Här har beställaren valt ett värmepumpssystem som har nära 100 % energitäckning. Beställaren har vidare valt att koppla samman systemen via en markkulvert. |
| Beta | Två parallellkopplade WPL33 (19,7 kW) med dubbla kompressorer placerades i frånluftskammare. Här har beställaren valt ett värmepumpssystem som har nära 100 % energitäckning. |
| Gamma | Två värmepumpar i serie WPL23 och WPL33 (14,7kW + 19,7 kW) placerades på yttertaket. Här har beställaren valt ett värmepumpssystem som har nära 100 % energitäckning. |
| Delta | Två parallellkopplade WPL23 (14,7 kW) placerades på yttertaket och anslöts till kanal mellan filter och befintlig frånluftsflykt. Detta är ett värmepumpssystem enligt grundalternativet som avser att uppfylla kravet på effektiv elanvändning. |

Tabell 3: Byggnader med FTX som systemlösning

| Byggnad | Beskrivning av installerad systemlösning |
|---------|---|
| Epsilon | Befintliga frånluftskanaler används. Nya tilluftskanaler installerades. Har tilluftsdon direkt över dörr i lägenhetsrum. Installerat eftervärmare på tilluften under våren 2012. Brandsäkerhetskraven har lösts genom backspjäll på vind i tilluftskanalerna. |
| Zeta | Befintliga frånluftskanaler används. Nya tilluftskanaler installerades. Kanaldragning ned till golv i lägenhetsrum, vilket gör att brandsäkerhetskraven uppfylls. |
| Eta | Befintliga frånluftskanaler används. Befintliga tilluftskanaler utnyttjas. Murade kanaler används som försetts med invändig flexibel aluminiumkanal. Brandsäkerhetskraven har lösts genom backspjäll på vind i tilluftskanaler. |

3 Mätuppföljning

En mät- och uppföljningsplan för demonstrationshusen togs parallellt fram med kravspecifikationen. Med utgångspunkt från denna har mätningar genomförts under 2012 och våren 2013. Detta är ett års förlängning i jämförelse med den ursprungliga tidsplaneringen. Den främsta orsaken till förlängningen är att det tog längre tid att installera och justera systemen i de sju demonstrationsbyggnaderna än vad som beräknats från början. De första mätningarna visade inte på tillfredställande prestanda. Bristerna grundar sig förmodligen i svårigheterna att göra en teknikupphandling med en komplett systemlösning och inte bara en komponent. Detta har inneburit en del problem som inte kunde förutses och detaljer har behövts utvecklas efterhand. Därför beslutade beställargruppen i samverkan med entreprenörerna att förlänga tiden för teknikupphandlingen. Flera av de brister som upptäcktes i början har därmed på olika sätt åtgärdats efter hand. Mätperioden förlängdes ett år (dvs under hösten 2012 och våren 2013) med kontinuerliga avstämningsmöten mellan alla parter.

3.1 Iakttagelser och åtgärder som genomförts vid idrifttagningar av systemlösning med FTX

De första mätresultaten visade att systemen inte klarar den energibesparing som utlovats. Detta beror på en hel del intrimningsproblem och följande brister har identifierats där flera har åtgärdats:

- Mer frånluft har mätts upp centralt än i summan av delflödena i varje lägenhet/tvättstuga/källare/lokal för sig. I byggnaden Eta, som har befintliga kanaler som tätats med slang, är denna skillnad mindre. Orsaken till att flödet vid fläktarna är större än delsummorna är sannolikt läckage genom otäta frånluftskanaler. Erfarenheten har visat att det är lämpligt att täta gamla frånluftskanaler som i byggnad Eta men detta har inte gjorts i projektets övriga byggnader.
- Avfrostningsfunktionen i FTX-aggregaten hade från början ett onödigt stort by-pass flöde under långa perioder. Ett stort by-pass flöde ger dels försämrad årsmedelverkningsgrad eftersom värme i frånluft inte återvinns för by-pass flödet och dels ger det en försämrad inomhuskomfort eftersom tilluften inte förvärms i samma grad. En ny avfrostningsstyrning med ett mer reglerat by-pass flöde har utvecklats och installerats i två av FTX-byggnaderna (Zeta och Eta). Se beskrivning av avfrostningsfunktionen i bilaga B.
- Innan den nya avfrostningsfunktionen installerades skedde så mycket påfrysning att aggregatet frös sönder och det uppstod läckage genom otätheter mellan värmeväxlare och aggregathölje. Avluften konstaterades förutom frånluft även bestå av 20% uteluft. Detta upptäcktes med spårgasmätning. Aggregaten har nu tätats med silikon. Med den nya styrningen av avfrostning förväntas inte problemet uppstå igen.
- Tider för avfrostning i FTX-aggregaten blir längre om fukthalten i frånluften är stor. För att undersöka om mycket fukt kommer med till aggregatet i frånluftsflödet från tvättstugorna i byggnaderna Zeta och Eta har mätningar på fukthalt gjorts under sommaren 2012. En bedömning är att detta inte bör vara något problem. (Många byggnader har centrala tvättstugor som kan anslutas till FTX-systemet.)
- Problem med luktöverföring orsakades i början genom att avluft överfördes till uteluft i en så kallad kombihuv placerad på tak. Överläckningen skedde främst i otät anslutning mellan kombihuv och kanalsystem men också via kombihuvens dräneringshål. Dessa är tänkta att

dränera bort regnvatten eller smältvatten som tränger in i avluftsutsläppet. Efter att problemet upptäckts har anslutningen tätats och dräneringshålen flyttats längre från luftintaget. Spårgasmätning har genomförts som visar på att kombihuven fungerar efter dessa åtgärder.

- FTX-aggregatens kondensplåt fick kvarstående kondensvatten under värmeväxlaren pga att plåten lutade åt fel håll i förhållande till dräneringshålen. Detta har åtgärdats i alla tre byggnader med FTX-system.
- Ett av aggregaten är placerat direkt på golv. Det är fördelaktigt att installera aggregaten med en matta under som har uppviktt kant för uppsamling av eventuell vätskeansamling.
- Termografering i byggnad Epsilon visar att frånluftskanaler har partier med bristfällig isolering. Detta gäller främst av befintliga samlingslådor och rensluckor. Mätningar visar att frånluftstemperaturen vid aggregatet sjunkit en till två grader jämfört med frånluftstemperaturen i lägenheterna.
- Utformningen på kanaldragningen har justerats i byggnad Zeta. I det första utförandet placerades baksidan av kanaler på väggen, en bit ned från taket, så att framsidan enkelt skulle kunna sättas på plats. En "hylla" bildades ovanpå kanalen vilket medförde plats för dammansamling, vilket kan vara svåråtkomlig för städning var det inte estetiskt tilltalande. I det nya utförandet ligger kanalerna dikt an mot taket.

3.2 **laktagelser och åtgärder som genomförts vid idrifttagning av systemlösning med värmepump**

De första mätresultaten visade att systemen inte ger den energibesparing som utlovats. Detta beror på en hel del intrimningsproblem och följande brister har identifierats där flera har åtgärdats:

- Fjärrövervakningsutrustningen för värmepumparna har inte fungerat som den ska. Den bör kunna anslutas och kommunicera med ordinarie styr- och övervakningssystem. Detta har dock inte åtgärdats.
- I början av idrifttagningen har flera av värmepumparna haft flera driftstopp. Stora intrimningsproblem har noterats och slutligen åtgärdats så att värmepumparna nu (hösten 2013) går som de ska (med undantag av en värmepump i byggnad Alfa som fortfarande står still).
- Värmepumparna i byggnad Beta har gått ett år med för låg värmefaktor. Filter och utlopp har rengjorts varvid bättre prestanda har mätts upp i slutet av mätperioden. Normalt rekommenderas årlig rengöring av filter. En längre mätperiod behövs för att verifiera att den nya erhållna prestandan är stabil.
- Styrningen av värmepumparna i förhållande till fjärrvärmecentralen var inte optimalt injusterad i byggnad Beta. Detta har åtgärdats.
- En av värmepumparna i byggnad Alfa har frusit sönder (anläggningen består av fyra värmepumpar). Denna ska åtgärdas på garanti men har inte kunnat genomföras under mätperioden eftersom utbyte innebär att taket måste tas upp, vilket inte är lämpligt under

vintern. För att inte störa den korta mätperiod som därefter stod till förfogande beslutades att genomföra bytet hösten 2013.

- I en av värmepumparna i byggnad Alfa, som har fyra värmepumpar, har läckage uppstått i köldmediekretsen vilket orsakade kompressorhaveri. Detta har åtgärdats.
- I en av värmepumparna i byggnad Gamma, som har två värmepumpar, har läckage uppstått i köldmediekretsen. Detta har åtgärdats på garanti men vid åtgärd uppstod krångel med styrutrustning vilket inte påverkade driften men väl fjärravläsningen. Detta har åtgärdats.
- I en av värmepumparna i byggnad Delta satte ett filter igen vilket åtgärdades inom rimlig tid. Rensning av filter var dock så komplicerad att den inte kunde utföras direkt av ordinarie driftpersonal. Därefter uppstod problem med en temperaturgivare vilket orsakade många driftstopp. Det berodde på glappkontakt i stiften för returledningsgivaren. (Liknande glapp har ställt till problem med framledningsgivaren i byggnad Alfa.) Temperaturgivarna är nu utbytta.
- I en av referensbyggnaderna (se bilaga M) är den befintliga frånluftskanalen ansluten till ett skorstensschakt på två meter. Vid installation har ny frånluftskanal dragits till värmepumpen med avstick precis innan skorstensschaktet. Skorstenen utlopp är tätat men ventilationsluften i själva skorstenen blir stillastående och kyls ned genom transmission från omgivning. Detta upptäcktes med värmekamera och har åtgärdats genom bättre isolering och tätning av skorstenen hela vägen från den nya frånluftskanalen. Erfarenheten visar på att det är viktigt att isolera alla kanaler ordentligt i kalla utrymmen (t.ex på vind).

3.3 Mätperioder för energitvärdering

Mätperioder för utvärdering av anläggningarnas prestanda har valts när upptäckta brister under idrifttagningsperioden åtgärdats. På grund av de problem som nämnts ovan har anläggningarna endast fungerat under begränsad tid utan kända störningar, trots förlängd mätperiod på ett år. I tabell 4 och 5 anges tidpunkt för när mätperioder börjar som slutligen kunnat användas för energiuppföljning. Samtliga mätningar har pågått till sista juni 2013. Det bör noteras att mätresultat i tidigt skede har identifierat flera av idrifttagningsproblemen, varför det rekommenderas att alltid göra noggranna uppföljande mätningar så snart utrustningen installerats.

Tabell 4: Tidpunkt för mätperioder i respektive hus med frånluftsvärmepump som systemlösning då anläggningarna fungerat som avsett.

| Byggnad | Period |
|---------|--|
| Alfa | Installerad och driftsatt september 2011. 3 värmepumpar går sedan februari 2013. En värmepump kom aldrig igång under mätperioden. Mätperiod februari 2013 – juni 2013. |
| Beta | Installerad och driftsatt september 2011. Går sedan oktober 2012. Rengöring av filter och utlopp (april 2013). Mätperiod januari 2013 – juni 2013. |
| Gamma | Installerad och driftsatt med en värmepump januari 2011 och den andra installerades januari 2012. Båda värmepumparna går sedan februari 2013. Mätperiod februari 2013 – juni 2013. |
| Delta | Installerad och driftsatt oktober 2012. Går sedan februari 2013. Mätperiod februari 2013 – juni 2013. |

Tabell 5: Tidpunkt för mätperioder i hus med FTX som systemlösning då anläggningarna fungerat som avsett.

| Byggnad | Beskrivning |
|---------|--|
| Epsilon | Installerad och driftsatt juni 2011. Från oktober 2012 har anläggningen gått med eftervärmare och avfrostningsstyrning från annan styrfirma. Mätperiod november 2012 – juni 2013. |
| Zeta | Installerad och driftsatt januari 2012. Sedan 1 februari 2013 har anläggningen tätats efter tidigare sönderfrysning och ny avfrostningsfunktion har installerats. Mätperiod februari 2013 – juni 2013. |
| Eta | Installerad och driftsatt december 2011. Sedan 1 februari 2013 har anläggningen tätats efter tidigare sönderfrysning och ny avfrostningsfunktion har installerats. Mätperiod februari 2013 – juni 2013. |

3.4 Utvärdering av inomhusklimat

För att verifiera upplevt inomhusklimat i de olika demonstrationsprojekten har en inneklimateenkät används som komplement till de tekniska mätningarna. En första enkät innan installation av systemen besvarades i mars och april 2010 och en efterföljande enkät efter genomförda åtgärder besvarades i mars-april 2013. Den så kallade Stockholmsenkäten³ har använts i undersökningen.

3.4.1 Utvärdering för systemlösning med värmepump

Systemlösningarna med frånluftsvärmepump innebär i princip inga ingrepp i respektive lägenhet. Installationen av systemlösning med värmepump kan därmed påverka inomhusklimatet dels om luftflöden i respektive lägenhet förändras (till exempel om de tidigare inte uppfyllt gällande krav under årets alla timmar) och dels genom injustering av värmesystemet vilket har gjorts i samtliga byggnader i samband med injustering av styrning av värmepumparna i förhållande till fjärrvärmecentralen. Förändrade luftflöden kan dels påverka inomhusklimatet negativt genom en ökad risk av drag och dels positivt genom förbättrad luftomsättning.

Enkätsvar finns både före och efter installation för byggnad Alfa (ca 39 % av lägenheterna) och Beta (ca 54 % av lägenheterna). För byggnaderna Gamma (ca 36 % av lägenheterna) och Delta (ca 24 % av lägenheterna) samt för två referensbyggnader (se bilaga L) finns enkätsvar endast efter installation. Totalt sett har demonstrationsbyggnaderna 38 enkätsvar före installation och 48 enkätsvar efter installation.

I samtliga byggnader som utvärderats anser hyresgästerna att temperaturen i lägenheten sommardag är lagom. Detta gäller både före och efter installation i byggnad Alfa och Beta. Värme komforten under sommarhalvåret har gått från att upplevas något bättre än *acceptabelt* till närmare *ganska bra*. För byggnad Beta har upplevelse av besvär med temperaturvariationer, att det är kallt på morgonen, kallt på golvet och kallt i lägenheten vintertid ökat efter installation medan det i byggnad Alfa har minskat. För vinterhalvåret ligger den upplevda värme komforten på *acceptabel* nivå för byggnad Alfa, Beta och Gamma medan den är något sämre för byggnad Delta.

Upplevelsen av drag i kök, badrum och hall är mindre än i vardagsrum och sovrum. För byggnad Alfa och Beta har andelen som besväras av drag minskat överlag. Besvär av drag är större i byggnad Delta.

³ Engvall/USK Formulär 1990:2, Stockholms Stads Utrednings- och Statistikkontor

Problemen med drag är störst i vardagsrummen. Överlag besvärar hyresgästerna inte av olika olägenheter i sin lägenhet och de få besvär som fanns i byggnad Alfa och Beta har minskat efter installation av värmeåtervinning med tillhörande injusteringar. I dessa byggnader har upplevelsen av att luften är *frisk* och *ren* och upplevelsen av luftkvaliteten förbättrats efter installation av systemen. I samtliga demonstrationsbyggnader (Alfa, Beta, Gamma och Delta) ligger upplevelsen av luftkvaliteten i dag på strax under nivån *Ganska bra*. Besvär från störande ljud har överlag minskat och besvärande ljud från ventilationen upplevs sällan. Överlag anser hyresgästerna att de har små möjligheter att påverka värme eller ventilation.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att inomhusklimatet är bra i demonstrationsbyggnaderna och har överlag förbättrats i byggnad Alfa och Beta i samband med installation av värmepump med tillhörande injusteringar. Enkätsvaren för byggnad Beta visar på ökade problem med värmekomforten vilket kan förklaras med de intrimningsproblem som varit med värmesystemet under det första årets drift. Detta ska nu vara åtgärdat. Enkätsvaren antyder inget ökat problem med drag vilket är en risk vid installation av frånluftsvärmepump.

Sammanställning av samtliga enkätsvar finns i bilaga J.

3.4.2 Utvärdering för systemlösning med FTX

Systemlösningarna med FTX innebär att inomhusklimatet i respektive lägenhet kan förändras påtagligt, vilket gör det viktigt att följa upp hur inneklimatet upplevs. Genom installationen kan dels luftflöden i respektive lägenhet förändras (till exempel om de tidigare inte uppfyllt gällande krav under årets alla timmar) och dels kommer den luft som tillförs att vara både förvärmad och filtrerad. Vidare sätts tilluftsventiler i fasaden igen vilket minskar risken för drag.

I byggnader med FTX som systemlösning har tyvärr relativt få enkätsvar kommit in. För byggnaderna Zeta och Eta finns för få svar innan installation av värmeåtervinning för att de ska kunna sammanställas. För byggnad Epsilon har enkätundersökning efter installation inte genomförts och därför har de enkätsvar som samlats in innan installation inte utvärderats. Efter installation har elva enkätsvar kommit in från hyresgästerna i byggnad Zeta, vilket motsvarar 46 % av lägenheterna, och sju enkätsvar kommit in från hyresgästerna i byggnad Eta, vilket motsvarar 58 % av lägenheterna. Det är egentligen alltför litet antal svar för att kunna dra säkra slutsatser. Resultatet från dessa redovisas dock nedan.

Både i byggnad Zeta och Eta anser hyresgästerna att temperaturen i lägenheten sommartid är lagom, däremot anser hyresgästerna att det ibland är kallt under vinterhalvåret. Ibland upplevs temperaturvariationer i lägenheten till följd av temperaturvariationer utomhus. Hälften av hyresgästerna i byggnad Zeta upplever att lägenheternas golv är kalla. Det finns få besvär av drag i lägenheternas olika rum men några hyresgäster besvärar av drag i vardagsrummet. Luften upplevs *ganska torr*. Ibland besvärar hyresgästerna av att lukt från eget matos sprids i lägenheten. Det är sällan problem med lukter men hyresgästerna i byggnad Zeta besvärar ibland av tobaksrök eller annan lukt från grannlägenhet medan hyresgästerna i byggnad Eta kan känna av mögellukt. Luftkvaliteten upplevs som *acceptabel* i alla rum. Möjligheter att kunna påverka luftkvaliteten är små. I byggnad Zeta kan ljud från ventilationen ibland upplevas som besvärande.

I byggnad Zeta och Eta har ingen eftervärmare satts in vilket kan ge ökad risk för låga inblåsningstemperaturer i samband med avfrostning vid kalla utomhustemperaturer. Detta eftersom tilluften efter installation tillförs direkt i rummet (vid golvet i byggnad Zeta och ovanför dörr i byggnad Eta) istället för bakom radiatorer. Det kan vara orsaken till att några besvärar av drag i

vardagsrummet och kalla golv. Sammanfattningsvis kan det konstateras, från de få enkätsvar som kommit in, att inomhusklimatet är överlag bra.

Sammanställning av enkätsvar för systemlösning med FTX finns i bilaga K.

4 Uppföljning av krav

4.1 Överordnande krav

Följande överordnande krav ställdes för värmeåtervinningssystemen:

- a. De tekniska lösningarna skall utformas så att värme återvinns ur frånluften och tillgodogörs byggnaden (till rumsuppvärmning och/eller tappvarmvatten).
- b. Värmeåtervinningssystemet skall ha god energieffektivitet och god livscykelkostnad.
- c. Ventilationsanläggningen skall konstrueras så att krav på inomhusmiljö uppfylls.
- d. Komponenter som är synliga i lägenhet eller trapphus, skall ha en design som kan accepteras av de flesta boende.
- e. Systemlösningen får inte påverka bostadens funktion negativt, t.ex genom påtaglig minskning av uthyrningsbar area.
- f. Ombyggnad skall inte förorsaka påtagliga störningar för de boende.
- g. Systemlösningen skall vara robust. Komponenter som kan behöva bytas under systemets brukstid skall ha standardmått och ska enkelt gå att byta ut.
- h. Drift- och skötselinstruktioner skall ingå. Systemet skall vara utformat så att det är lätt att sköta och underhålla av ordinarie driftspersonal.
- i. Värmeåtervinningssystemets effektivitet skall gå att mäta kontinuerligt till exempel genom integration med fastighetens styr- och övervakningssystem.

Den ursprungliga mätplanen har under projektet kompletterats med ytterligare mätningar för att verifiera om de övergripande kraven har uppnåtts. I kapitel 4.2 och 4.3 sker en sammanfattande genomgång av detaljkrav ställda i kravspecifikationen och uppföljande mätningar. Detaljerade rapporter om mätningar och systemlösningar finns beskrivna i bilaga C-H.

4.2 Byggnader med frånluftsvärmepump som systemlösning

4.2.1 Energieffektivitet

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Alfa | Byggnad Beta | Byggnad Gamma | Byggnad Delta |
|---|--|---|--|---|---|
| <u>Täthet</u> Befintliga ventilationskanaler skall ha täthet enligt AMA VVS & Kyl ⁴ | Klass B cirkulära ventilations- kanaler Klass A rektangulära kanaler. | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordning en för klass A. | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordning en för klass A. | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordning en för klass A. | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordning en för klass A. |
| <u>Effektiv energianvändning:</u> Byggnadens energiprestanda (energi för uppvärmning, tappvattenvärmning och fastighetsel) minskas vid uteluftsflödet 0,35 l/(sm ²) med minst, | 30 kWh/m ² A _{temp} , år och 60% av ventilations- förlusterna återvinns | Krav uppfylls En större värmepumps- lösning har valts än i grundanbud Minskning med ca 76 kWh/m ² , år (3 av 4 värmepumpar har varit i drift) | Krav uppfylls En större värmepumps- lösning har valts än i grundanbud Minskning med ca 48 kWh/m ² , år | Krav uppfylls En större värmepumps- lösning har valts än i grundanbud Minskning med ca 65 kWh/m ² , år | Krav uppfylls Minskning med ca 39 kWh/m ² , år |
| <u>Effektiv elanvändning:</u> Byggnadens behov av fastighetsel ökar inte mer än, | F-ventilation: 12 kWh/m ² A _{temp} , år Självdrag: 14 kWh/m ² A _{temp} , år | Krav gäller inte. Elökning är ca 35 kWh/m ² , år | Krav gäller inte. Elökning är ca 31 kWh/m ² , år | Krav gäller inte. Elökning är ca 35 kWh/m ² , år | Krav uppfylls ej. Elökning är ca 17 kWh/m ² , år |
| Årsmedel- värmefaktor (a) uppmätt 2013 i värmepumps styrssystem (b) använd fjärrvärme och fastighetsel våren 2013 jämfört med innan installation (c) direkt mätning i undercentral | Indirekt krav 3,0 * I anbud anges 3,4 ** I anbud anges 4,3 | Indirekt krav uppfylls Anbud uppfylls ej (a) 3,2* (b) 2,9 (c) 2,7 (2012) | Indirekt krav uppfylls ej Anbud uppfylls ej (a) 2,5* (b) 2,2 (c) 2,5 (d) Efter rengöring av filter och utlopp. April mätt i UC: 2,7 April-maj mätt i VP: 2,9 | Indirekt krav uppfylls ej Anbud uppfylls ej (a) 2,9* (b) 2,8 (år 2012) | Indirekt krav uppfylls Anbud uppfylls ej (a) 3,3** (b) 3,5 (mars- maj 2013, separat elmätare till VP har använts) (c) 2,7 (sommar 2013) |

⁴ Tätheten har inte provas i 10% av kanalsystemen enligt SS EN 12237 eftersom provningen i sig blev för komplicerad. Detta eftersom provningen innebär ingrepp i kanalsystemet (tar upp luckor) och kräver tillträde till flera lägenheter samtidigt. Istället har varje delluftflöde uppmätts i lägenheter mm och jämförts med samlingsflöde (på vind). Vidare har spårgasmätning med analys av luftflödesbalans genomförts.

För kravet på effektiv energianvändning angav kravspecifikationen att byggnadens energiprestanda minskas med minst $30 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år och för effektiv elanvändning att byggnadens behov av fastighetsel ökar inte mer än $12 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år ($14 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år för självdragsventilerade byggnader). Beställarna har i tre byggnader dock valt att installera större värmepumpar än i grundförfrågan som begränsades av maximal elökning. För att se om systemlösningen klarar uppställda krav har ett indirekt krav på årsmedelvärmefaktor beräknats till 3,0 (vilket motsvarar minskning av värmeanvändning med $42 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år med en elanvändning på $14 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år.)

I anbudet utlovas en betydligt högre årsmedelvärmefaktor nämligen 3,4 för de större värmepumparna och 4,3 för den systemlösning med värmepump som avser att följa grundkravet i kravspecifikationen, dvs maximal ökning av el med $12 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år.

Vid verifiering av kravet har

- (a) mätningar som uppmätts i värmepumparnas styrsystem använts. Dessa ger något för hög värmefaktor eftersom el till cirkulationspumpen inte ingår i dessa mätvärden. Felet är uppskattningsvis mindre än 0,1 i årsmedelvärmefaktor.
- (b) Dessa värden har jämförts med normalårskorrigerade värden för använd fjärrvärme och fastighetsel våren 2013 jämfört med användning innan installation (år 2010 och 2011). Eftersom energianvändning i en byggnad beror på många olika saker förutom utomhustemperatur blir detta bara en kontroll av att energibesparingen har rätt storleksordning.
- (c) Vidare har mätning skett direkt med mätare i undercentral. För byggnad Alfa finns mätningar för 2012 men systemlösningen har fungerat bättre 2013. För byggnad Beta stämmer mätningarna (b) och (c) överrens. För byggnad Gamma har mätarna inte fungerat. Mätningar i byggnad Delta kom igång först i april och resultat över sommaren visar därmed övervägande värmefaktor för varmvattenproduktion under del av år.
- (d) I byggnad Beta genomfördes en rengöring av filter och utlopp i april vilket sedan har förbättrat värmefaktorn (d), vilket indikeras av mätningar både i värmepumparnas styrsystem och vid mätning i undercentral.

4.2.2 Kostnader

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Alfa | Byggnad Beta | Byggnad Gamma | Byggnad Delta |
|---|---|--|--------------|------------------|------------------|
| <p><u>Nuvärde (Besparingar – Investeringar):</u> Nuvärdet av kostnadsbesparing genom energieffektivisering ska vara större än värmeåtervinningssystemets totala kostnader under en brukstid av,</p> <p>Gäller för minst 10 lgh Kalkylränta: 4 % Energiprisökning: 2 % värme 4% el Elenergipris: 1,0 kr/kWh Värmeenergipris: 0,60 kr/kWh</p> | 12 år | <p>Krav uppfylls ej. Detta beror främst på att anläggningar inte klarar angiven årsmedelvärmefaktor i anbud. Tre av anläggningar är dyrare än vad som angavs i grundanbudet eftersom beställarna valt större värmepumpar med högre energitäckning än det grundläggande anbudet med krav på maximalt elökning på 12-14 kWh/m²A_{temp}, år.</p> | | | |
| <p>Investeringskostnad inklusive projektering och installation (exklusive moms).</p> <p>* (inkl. markarbete för kulvert mellan byggnaderna på 11500 kr per lgh)</p> | Cirka Kronor per lägenhet | 36 000* | 19 000 | 43 000 | 15 000 |
| | Cirka Kronor per m ² A _{temp} | 580* | 214 | 550 | 200 |

4.2.3 Inneklimatparametrar

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Alfa | Byggnad Beta | Byggnad Gamma | Byggnad Delta |
|---|---|---|---|--|--|
| Lufthastighet i vistelsezonen (50 cm från yttervägg med fönster) | Vinterfall, max 0,15 m/s Sommarfall, max 0,25 m/s | Krav uppfyllt | Krav uppfyllt | Krav uppfyllt | Krav uppfyllt |
| Tilluftstemperatur 50cm efter tilluftsdon alternativt uteluftsdon | Min 16 °C vid DVUT | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har uppmätts Besvär av drag har minskat enligt inneklimatenkät | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har uppmätts Besvär av drag har minskat enligt inneklimatenkät | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har uppmätts | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har uppmätts |
| Luftväxling i lägenheter Uteluftsflöde | Driftsfall: Vid närvaro $\geq 0,35 \text{ l}/(\text{sm}^2)$ Tom lägenhet $\geq 0,10 \text{ l}/(\text{sm}^2)$ | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning |
| Luftkvalitet | Halten CO ₂ i inomhusluften får inte överskrida 1000 ppm i något rum (max. medelvärde över 12 timmar vid ventilationsflöde $\geq 0,35 \text{ l}/(\text{sm}^2)$) | Krav uppfyllt enligt mätning Luftkvaliteten har förbättrats enligt inneklimatenkät | Krav uppfyllt enligt mätning Luftkvaliteten har förbättrats enligt inneklimatenkät | Krav uppfyllt enligt mätning Luftkvalitet upplevs vara <i>ganska bra</i> enligt inneklimatenkät | Luftkvalitet upplevs vara <i>acceptabel</i> till <i>ganska bra</i> enligt inneklimatenkät |
| Högsta tillåtna värden på ljudnivå i lägenheten från ventilation | Klass B i sovrum och vardagsrum Klass C i badrum och kök | Klarar krav för klass B. Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Klarar krav för klass B. Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Krav för klass B uppfyllt Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Krav inte helt uppfyllt. Klarar klass C men inte B. Högt ljud i ett av badrummen (49 dB). Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. |

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Alfa | Byggnad Beta | Byggnad Gamma | Byggnad Delta |
|---|---|---|---|---|---|
| Ljuddämpning mot omgivning | Samma nivå som före ombyggnad | Krav uppfyllt Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Ingen föremätning finns gjord att jämföra med. Inga eller små problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. |
| Ljuddämpning mellan lägenheter | Samma nivå som före ombyggnad | Krav uppfyllt enligt mätningar Besvär från störande ljud har överlag minskat enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätningar Besvär från störande ljud har överlag minskat enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätningar Sällan eller aldrig besvär från störande ljud från grannlägenheter enligt inomhusklimatenkät | Ingen föremätning finns gjord att jämföra med Besvär från störande ljud är små enligt inomhusklimatenkät |
| Inneklimat (luftspridning, drag, ljud, temperatur m.m.) | Krav enligt BBR och Socialstyrelsens rekommendationer skall följas efter installation | Krav uppfyllt enligt mätningar Överlag har inneklimatet förbättrats (kallt vintertid, luftspridning, drag, ljud, luftkvalitet) och är betydligt bättre än referensbyggnaderna enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätningar Kallt vintertid och besvär med temperaturvariationer har försämrats men är bättre än referensbyggnaderna. I övrigt har inneklimatet förbättrats (drag, luftspridning, ljud, luftkvalitet) och är betydligt bättre än referensbyggnaderna enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätningar Inneklimatet är bättre än referensbyggnaderna (drag, luftspridning, ljud, luftkvalitet etc.) enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätningar Inneklimatet är bättre än referensbyggnaderna (drag, luftspridning, ljud, luftkvalitet etc.) enligt inomhusklimatenkät. |
| Medelvärde av innetemperatur | Rekommendation: ej lägre än 20 C ej högre än 22 C vintertid | Vintertid 21,7 - 22,1 Går ej över 27 C sommartid Går ej under 19 C vintertid | Vintertid 19,9 - 21,7 Går ej över 26 C sommartid Går ej under 19 C vintertid | Vintertid 21,6 Går ej under 19 C vintertid Upplevs kallt vintertid enligt inneklimatenkäten. | Vintertid 21,5 - 22,6 Går ej över 27 C sommartid Går ej under 19 C vintertid |

4.2.4 Design och funktion

| PARAMETER | Alla byggnader |
|---|--|
| Komponenter och kanaler som är synliga i lägenhet eller trapphus, skall ha en design som kan accepteras av de flesta boende | Nya komponenter och kanaler har ej installerats i lägenheter |
| Systemlösning skall inte påverka bostadens funktion negativt t.ex. genom påtaglig minskning av uthyrningsbar yta | Nya komponenter och kanaler har ej installerats i lägenheter |

4.2.5 Installation

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|--|--|--|
| Kanaldragning i lägenheter då hyresgästerna bor kvar får inte överstiga: | 5 efterföljande dygn där varje lägenhet har högst 3 arbetsdagar exklusive injustering och besiktning | Inga installationer har skett i lägenheter |

4.2.6 Robusthet

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|--|-------------------------------------|---|
| Komponenter som kan behöva bytas under systemets brukstid ska vara enkla att byta ut och ha standardmått | Beskrivning av ingående komponenter | Beskrivning finns inte. En brist var att ett filterbyte i byggnad Delta var tvunget att genomföras av Climate Solution. |

4.2.7 Drift och underhåll

| PARAMETER | Alla byggnader |
|--|--|
| Värmeåtervinningssystemets komponenter som behöver underhåll skall vara placerade så att de är tillgängliga. Underhåll inkluderar injustering, flödeskontroll, rensning, filterbyte och övriga åtgärder. | Krav uppfyllt |
| Drift- och underhållsinstruktioner skall levereras till driftpersonalen innan anläggningen tagits i bruk. | Krav uppfyllt |
| Lättförståeliga användarbeskrivningar för de boende skall levereras. | Det behövs ingen instruktion. Inget har förändrats i lägenheter. |

4.2.8 Uppföljning av temperatur och energianvändning

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|--|--|--|
| Frånlufts- och avlufts-temperaturer i ventilationssystemet Uteluftstemperatur | Temperaturgivare ska kunna anslutas till SÖ-systemet. Beskrivning av mätosäkerhet på givare | Uppföljning finns men har ej kopplats till byggnadens SÖ-system. |
| Frånluftsflöde | Flödesgivare ska kunna anslutas till SÖ-systemet Beskrivning av mätosäkerhet på givare | Mätare finns inte. |
| Elanvändning för värmepumpssystemet | Elmätare ska kunna anslutas till SÖ-systemet. Beskrivning av mätosäkerhet på givare. | Elmätare finns och är kopplat till SÖ-system. |

4.2.9 Systemflexibilitet

| PARAMETER | Alla byggnader |
|---|--|
| Öppen lösning på styr- och reglersystem, som kan integreras med komponenter av olika fabrikat | Värmepumparna har ett styr och övervakningssystem som går att fjärravläsa. Har ej kopplats in i byggnadernas centrala styr- och övervakningssystem, dels eftersom tekniken inte var färdigutvecklad vid installation och dels för att det inte varit helt kompatibelt. |

4.3 Byggnader med FTX systemlösning

4.3.1 Energieffektivitet

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Epsilon | Byggnad Zeta | Byggnad Eta |
|--|--|--|--|--|
| <u>Eleffektivitet</u> Specifikt eleffektbehov för ventilationssystem (SFP) vid normflödet genom huset dvs. 0,35 l/(sm ²) i hela huset | FTX-system: 2,0 kW/(m ³ /s) | Krav uppfyllt 2,0 kW/(m ³ /s) | Krav uppfyllt 1,9 kW/(m ³ /s) | Krav uppfyllt 1,2 kW/(m ³ /s) |
| <u>Täthet</u> Nya ventilationskanaler skall ha täthet enligt AMA VVS & Kyl ⁵ | Klass C cirkulära ventilations- kanaler Klass B för rektangulära ventilations- Kanaler | Krav är uppfyllt för tilluftskanaler i trappuppgång. Summa delflöden är samma som flöde vid aggregat. Tilluftskanaler i lägenhet klarar inte klass B och inte heller klass A. Dock anses läckflödet vara obefintligt pga av låga kanaltryck inne i lgh. och krav behöver ej uppfyllas. | Gick ej att mäta delflöden för tilluft. | Krav är uppfyllt för tilluftskanaler i trappuppgång. Summa delflöden är samma som flöde vid aggregat. |
| <u>Täthet</u> Befintliga ventilationskanaler skall ha täthet enligt AMA VVS & Kyl | Klass B cirkulära ventilationska naler Klass A för rektangulära ventilationska naler Om tätning behövs skall metod för tätning redovisas | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordningen för klass B. | Det har konstaterats att kanaler läcker och är i storleksordningen för klass B. | Kanaler är täta. Läcker mindre än 5%. |

⁵ Tätheten har inte provas i 10% av kanalsystemen enligt SS EN 12237 eftersom provningen i sig blev för komplicerad. Detta eftersom provningen innebär ingrepp i kanalsystemet (tar upp luckor) och kräver tillträde till flera lägenheter samtidigt. Istället har varje delluftflöde uppmätts i lägenheter mm och jämförts med samlingsflöde (på vind). Vidare har spårgasmätning med analys av luftflödesbalans genomförts.

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Epsilon | Byggnad Zeta | Byggnad Eta |
|---|--|---|--|--|
| <u>Effektiv energianvändning:</u> Byggnadens energiprestanda (energi för uppvärmning, tappvattenvärming och fastighetsel) minskas vid uteluftsflödet 0,35 l/(sm ²) med minst, (a) beräknad på ett år utgående från uppmätt verkningsgrad och flöden (b) minskning enligt fjärrvärmemätning och elmätning | 30 kWh/m ² A _{temp} , år | Krav uppfylls ej Minskning med ca (a) 20 kWh/m ² , år (b) 25 kWh/m ² , år | Krav uppfylls Minskning med ca (a) 30 kWh/m ² , år (b) 32 kWh/m ² , år I juni 2013 justerades Tilluftsflöde/Frånluftslöde från : 430/660 l/s till 700/740 l/s Vilket kan ge en bättre energibesparing. | Krav uppfylls Minskning med ca (a) 40 kWh/m ² , år (b) 69 kWh/m ² , år (innehåller även fönsterbyte, vattensparåtgärder och injustering) |
| <u>Effektiv elanvändning:</u> Byggnadens behov av fastighetsel ökar inte mer än, | F-ventilation: 12 kWh/m ² A _{temp} , år Självdrag: 14 kWh/m ² A _{temp} , år | Krav uppfyllt 3 kWh/m ² | Krav uppfyllt 3 kWh/m ² | Krav uppfyllt 1 kWh/m ² |
| Temperaturverkningsgrad ⁶ | 90% angivet i anbud | Verkningsgrad tilluft: 91,6 % Verkningsgrad frånluft: 42,1 % Vinternettoverkningsgrad (med hänsyn till flöden): 42% | Verkningsgrad tilluft: 95 % Verkningsgrad frånluft: 71% Vinternettoverkningsgrad (med hänsyn till flöden): 62 % | Verkningsgrad tilluft: 92 % Verkningsgrad frånluft: 58 % Vinternettoverkningsgrad (med hänsyn till flöden): 55 % |

⁶ Tilluftens temperaturverkningsgrad beräknas ur sambandet:

$$\frac{(U_{\text{tilluft}} - U_{\text{uteluft}})}{(U_{\text{frånluft}} - U_{\text{uteluft}})} \quad \text{där}$$

U_{tilluft} = tilluftstemperatur efter värmeväxlare

$U_{\text{frånluft}}$ = frånluftstemperatur före värmeväxlare

U_{uteluft} = uteluftstemperatur före värmeväxlare

Frånluftens temperaturverkningsgrad beräknas ur sambandet:

$$\frac{(U_{\text{frånluft}} - U_{\text{avlucht}})}{(U_{\text{frånluft}} - U_{\text{uteluft}})} \quad \text{där}$$

U_{avlucht} = avluftstemperatur efter värmeväxlare

4.3.2 Kostnader

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Epsilon | Byggnad Zeta | Byggnad Eta |
|---|-----------------------------|---|-----------------|--|
| <u>Nuvärde (Besparingar – Investeringar):</u> Nuvärdet av kostnadsbesparing genom energieffektivisering ska vara större än värmeåtervinningssystemets totala kostnader under en brukstid av, Gäller för minst 10 lgh Kalkylränta: 4 % Energiprisökning: 2 % värme 4% el Elenergipris: 1,0 kr/kWh Värmeenergipris: 0,60 kr/kWh | 12 år | Krav uppfylls ej. Det beror i vissa fall på att extra kostnader tillkommit och i vissa fall att utlovade energibesparingar inte uppnåtts. | | |
| Investeringskostnad inklusive projektering och installation (exklusive moms). | Cirka Kronor per lägenhet | 27 000 (exkl. installerad eftervärmare) | 36 000 | 49 000 (inkl. tätning av kanaler på 9300 kr per lgh) |
| | Cirka Kronor per A_{temp} | 280 (exkl. installerad eftervärmare) | 440 | 780 (inkl. tätning av kanaler) |

4.3.3 Inneklimatparametrar

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Epsilon | Byggnad Zeta | Byggnad Eta |
|---|--|---|---|--|
| Lufthastighet i vistelsezonen (50 cm från yttervägg med fönster) | Vinterfall, max 0,15 m/s Sommarfall, max 0,25 m/s | Krav uppfyllt Klagomål innan värmebatteri sattes in. (Kan bero på dålig avfrostningsfunktion) | Krav uppfyllt Vissa besvär av drag i vardagsrum och sovrum enligt inomhusklimatenkät | Krav uppfyllt Få besvär av drag enligt inomhusklimatenkät |
| Tilluftstemperatur 50cm efter tilluftsdon alternativt uteluftsdon | Min 16 °C vid DVUT | Inga låga temperaturer har kunnat konstaterats. Eftervärmare installerades tidigt för att minska risken för klagomål. | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har kunnat konstaterats efter avfrostningsfunktion införd Mätningar visar att tilluftstemperatur efter ny avfrostningsfunktion är ca 16 grader i medletal och understiger inte 12,5 grader. | Krav uppfyllt Inga låga temperaturer har kunnat konstaterats efter avfrostningsfunktion införd Mätningar visar att tilluftstemperatur efter ny avfrostningsfunktion är ca 16 grader i medletal och understiger inte 12,5 grader. |
| Luftväxling i lägenheter Uteluftsflöde | Driftsfall: Vid närvaro $\geq 0,35$ l/(sm ²) Tom lägenhet $\geq 0,10$ l/(sm ²) | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning | Krav uppfyllt Ingen behovsstyrning |

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Byggnad Epsilon | Byggnad Zeta | Byggnad Eta |
|--|---|--|---|---|
| Luftkvalitet | Halten CO ₂ i inomhusluften får inte överskrida 1000 ppm i något rum (max. medelvärde över 12 timmar vid ventilationsflöde $\geq 0,35 \text{ l}/(\text{sm}^2)$) | Krav uppfyllt | Krav uppfyllt Luftkvaliteten upplevs vara acceptabel enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt Luftkvaliteten upplevs vara acceptabel enligt inomhusklimatenkät. |
| Högsta tillåtna värden på ljudnivå i lägenheten från ventilation | Klass B i sovrum och vardagsrum Klass C i badrum och kök | Krav uppfyllt enligt mätning | Krav uppfyllt enligt mätning. Ibland störande ljud från ventilationen enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt enligt mätning. Inga problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. |
| Ljuddämpningen mot omgivning | Samma nivå som före ombyggnad | Krav uppfyllt | Krav uppfyllt Inga problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt. Inga problem med ljud enligt inomhusklimatenkät. |
| Ljuddämpning mellan lägenheter | Samma nivå som före ombyggnad | Krav uppfyllt Kanaler går separat från varje lägenhet hela vägen upp till vind | Krav uppfyllt Kanaler går separat från varje lägenhet hela vägen upp till vind. Ljud från grannar är ibland störande enligt inomhusklimatenkät. | Krav uppfyllt Kanaler går separat från varje lägenhet hela vägen upp till vind. Ljud från grannar är ibland störande enligt inomhusklimatenkät. |
| Inneklimat (luktspridning, drag, ljud, temperatur m.m.) | Krav enligt BBR och Socialstyrelsens rekommendationer skall följas efter installation | Krav uppfyllt enligt mätningar | Krav uppfyllt enligt mätningar. Inomhusklimatenkät indikerar att inneklimatet är överlag gott. Värmekomfort sommardag är god men det är lite kallt på vintern. Luftkvaliteten är acceptabel. Besvär av ljud är små. Klagomål finns angående besvär med tobaksrök från grannlägenheten. | Krav uppfyllt enligt mätningar. Inomhusklimatenkät indikerar att inneklimatet är överlag gott. Värmekomfort sommardag är god men det är lite kallt på vintern. Luftkvaliteten är acceptabel. Besvär av ljud är små. Vissa besvär kan urskiljas när det gäller mögellukt |
| Medelvärde av innetemperatur | Rekommendation: ej lägre än 20 C ej högre än 22 C vintertid | Vintertid 20,8 - 22.9 Går ej över 26 C sommardag Går ej under 20 C vintertid | Vintertid 21,5 - 23.2 Går ej över 27 C sommardag Går ej under 21 C vintertid. Upplevs kallt vintertid enligt inneklimatenkäten. | Vintertid 21,2 - 22.3 Går ej över 25 C sommardag Går ej under 19 C vintertid. Upplevs något kallt vintertid enligt inneklimatenkäten. |

4.3.4 Design och funktion

| PARAMETER | Alla byggnader |
|---|---|
| Komponenter och kanaler som är synliga i lägenhet eller trapphus, skall ha en design som kan accepteras av de flesta boende | I trapphus och hall är kanaldragning snygg. Den första kanaldragningen i vardagsrum och sovrum ned till golvnivå (för brandkrav) accepterades inte av de boende. I en byggnad har designen förbättrats så kanaldragning nu går diskret längs tak och vägg. Vidare har designen gjorts om för att undvika hylla som kan samla damm. Två byggnader har ändrat design till att ha tilluftsdon direkt ovanför dörr i sovrum och vardagsrum. |
| Systemlösning skall inte påverka bostadens funktion negativt t.ex. genom påtaglig minskning av uthyrningsbar area | Komponenter och kanaler i lägenheter tar inte uthyrningsbar yta. |

4.3.5 Installation

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|--|--|---------------------------------------|
| Kanaldragning i lägenheter då hyresgästerna bor kvar får inte överstiga: | 5 efterföljande dygn där varje lägenhet har högst 3 arbetsdagar exklusive injustering och besiktning | Installation sker under en arbetsdag. |

4.3.6 Robusthet

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|--|-------------------------------------|---|
| Komponenter som kan behöva bytas under systemets brukstid ska vara enkla att byta ut och ha standardmått | Beskrivning av ingående komponenter | Instruktioner finns tillgängliga vid aggregatet |

4.3.7 Drift och underhåll

| PARAMETER | Alla byggnader |
|--|---|
| Värmeåtervinningssystemets komponenter som behöver underhåll skall vara placerade så att de är tillgängliga. Underhåll inkluderar injustering, flödeskontroll, rensning, filterbyte och övriga åtgärder. | Krav uppfyllt |
| Drift- och underhållsinstruktioner skall levereras till driftpersonalen innan anläggningen tagits i bruk. | Instruktioner finns tillgängliga vid aggregatet |
| Lättförståeliga användarbeskrivningar för de boende skall levereras. | Det behövs ingen instruktion. Eventuellt skulle instruktion behövas om att fönster behöver öppnas då forcering av spisfläkt sker. |

4.3.8 Uppföljning av temperatur och energianvändning

| PARAMETER | KRAV Skall uppfyllas | Alla byggnader |
|---|--|--|
| Tillufts-, frånlufts- och avlufts-temperaturer i ventilationssystemet Uteluftstemperatur | Temperaturgivare ska kunna anslutas till SÖ-systemet. Beskrivning av mätosäkerhet på givare | Finns inte |
| Frånluftsflöde och Tilluftsflöde | Flödesgivare ska kunna anslutas till SÖ-systemet Beskrivning av mätosäkerhet på givare | Finns inte |
| Elanvändning för ventilations- och värmeåtervinningssystemet | Elmätare ska kunna anslutas till SÖ-systemet Beskrivning av mätosäkerhet på givare | Elmätare finns och är kopplat till SÖ-systemet |

4.3.9 Systemflexibilitet

| PARAMETER | Alla byggnader |
|---|----------------|
| Öppen lösning på styr- och reglersystem, som kan integreras med komponenter av olika fabrikat | Finns inte |

4.4 Servicetillgänglighet

Värmepumparna som är placerade på tak (byggnad Gamma och Delta) är relativt svårtillgängliga för service. Byggnad Gamma nås genom en stege till vindslucka och via vinden. I byggnad Delta sker tillträde via en lucka ut på tak. Byggnad Gamma har rör för kondensvattenavledning som ligger så att snöskottning av tak försvåras. Det är relativt svårt att ta sig fram till frånluftsvärmepumpar på vind i byggnad Alfa.

Aggregaten i FTX systemlösningen är i ett fall placerade på vind med låg takhöjd och relativt svåra att ta sig fram till. I de andra två fallen är takhöjden tillräcklig och gångar betydligt mer lättillgängliga. Det är dock fullt möjligt att utföra servicearbete utan större problem. Det mest kritiska är när tillträde sker genom stege och lucka i trapphustak, dvs när vindstrappa inte har installerats. Stege kan relativt lätt bytas ut till bredare utfällbar trappa.

5 Resultat och erfarenheter

5.1 Installation

Det går oftast att hitta utrymmen och bra lösningar i befintliga hus för placering av kanaldragning, aggregat, ackumulatortankar med mera. I samtliga sju byggnader har nya fläktrum inte behövt byggas eller andra utrymmen för anläggningarna.

Med rätt planering går installation av tilluftskanaler och tilluftsdon att göra utan större störningar för de boende. Installation i lägenheter har kunnat utföras under en till två arbetsdagar.

Det är viktigt att värmeisolera alla kanaler ordentligt i kalla utrymmen (t.ex på vind). Annars sker onödiga temperaturfall.

Befintliga kanaler är ofta otäta och kan behöva tätas för ett väl fungerande system. En tätning med slang ger förutom bättre kontroll av luftflöden ett reducerat fläktarbete. Med otäta kanaler kommer luftflödet att bli onödigt stort och ge onödig energianvändning eftersom luftflöde mäts och regleras lägenhetsvis vid OVK. Detta gäller båda typerna av systemlösningar men ger större konsekvens för FTX lösningen.

Om kombihuv måste användas så är det viktigt att täta kombihuv och att sätta dräneringshålen rätt så att avluften inte blandas med tilluften.

5.2 Idrifftagning

Idrifftagning har varit ett stort problem och det kommer sannolikt även framöver att finnas behov av kunnig driftpersonal som i samverkan med entreprenören kontrollerar systemens prestanda och vid behov gör nödvändiga justeringar. Även om en systemlösning handlas upp behöver beställaren ha ordentlig kunskap om tekniken för att den i detta tidiga stadium av teknikutvecklingen ska kunna installeras på rätt sätt.

Kontinuerliga och detaljerade mätningar under det första årets drift är nödvändiga i framtida projekt. Helst bör uppföljning ske under två år. Mätningar för kontinuerlig övervakning kan rekommenderas för att snabbt upptäcka eventuella störningar i funktionen. Det är också av största vikt att det finns bra föremätningar som beskriver hur byggnaden fungerade innan installation av värmeåtervinnig. Ett tydligt idrifftagningsåtagande för entreprenören är viktigt i framtida projekt. Entreprenören bör assistera med driften och kunskapsöverföring till driftpersonalen under garantitiden.

5.3 Information till hyresgäster

Det är viktigt att hyresgästerna informeras korrekt om dels vilka ingrepp som måste ske i varje lägenhet dels om vilka konsekvenser de nya installationerna har för inneklimat och termisk komfort. Det är av stor vikt att ha god kommunikation med hyresgästerna för att renovering ska fungera och för att de nya systemen ska bli accepterade. De boende måste få god information om varför ventilationen behöver förbättras, hur det nya ventilationssystemet fungerar och om vilka ingrepp som måste göras i respektive lägenhet. Inte minst behövs tydlig information om hur köksventilation ska skötas på det mest effektiva sättet. God kommunikation med hyresgästen minskar risken för missförstånd.

5.4 Design och funktion

Det går att hitta lösningar i lägenheter med kanaldragning av tilluftskanaler som hyresgästen kan acceptera. Kanaldragning behöver inte ta praktiskt användbar area i anspråk och reducerar därmed inte uthyrningsbar area. Den kan göras relativt snyggt och utan kommande städsvårigheter (ingen dammhylla).

Kanaldragning i trapphus går också att göra snyggt och de har fått plats i de aktuella byggnaderna.

5.5 Energianvändning

Av de systemlösningar med värmepumpar klarar endast en byggnad uppställda energibesparingskrav (byggnad Alfa). Beställarna har i tre byggnader (Alfa, Beta och Gamma) valt att installera större värmepumpar än i grundanbudet som begränsades av maximal elökning på 12 respektive 14 kWh/m²A_{temp} år. Indirekt krav på årsmedelvärmefaktor är 3,0 i kravspecifikationen medan angiven årsmedelvärmefaktor i anbudet är 3,4. Byggnad Alfa klarar det indirekta kravet på årsmedelvärmefaktor men klarar inte den som utlovas i anbudet. Byggnaderna Beta och Gamma klarar varken indirekt årsmedelvärmefaktor eller angiven årsmedelvärmefaktor i anbud.

I byggnad Delta har en värmepumpslösning enligt kravspecifikationen installerats. Systemlösningen har en uppmätt årsmedelvärmefaktor på 3,3 vilket är högre än det indirekta kravet på 3,0 men är långt från att klara angiven årsmedelvärmefaktor i anbud som är 4,3. Anläggningen klarar inte kravet på en maximal elökning av 12 kWh/m²A_{temp} år.

För systemlösning med FTX klarar 2 av tre byggnader uppställda krav på energianvändning. Kravet på ökad elanvändning uppfylls för systemlösningar med FTX med god marginal och är endast 1-3 kWh/m²A_{temp} år.

Systemlösning med FTX har i teknikupphandlingen haft en systemlösning där värme ur frånluft från källare och tvättstugor använts medan tilluft till tvättstugor inte har skett via värmväxlaren. Orsaken har varit att det blivit dyrt och krångligt att installera tilluftskanaler till källare och tvättstugor. Systemen har därmed varit i obalans med betydligt mer frånluft än tilluft. Detta har inneburit att temperaturverkningsgraden för tilluften blivit hög men den är å andra sidan låg för frånluften. Om det är möjligt att installera tilluftskanaler till källare och tvättstugor kan en högre energieffektivitet uppnås vid motsvarande luftomsättning för byggnaden.

5.6 Inneklimat

Inneklimatenkät och -mätningar visar att inomhusklimatet kan betraktas som bra både i byggnader med i värmepumpsystem och med FTX-system.

Lufttätning av klimatskärmen är viktig och nödvändig för båda systemlösningarna för att säkerställa en god inomhuskomfort. Tätheten är något känsligare för värmepumpslösningen eftersom det är viktigt att tilluft tas in bakom radiatorer. I FTX lösningen utjämnas tryckbalansen vilket gör att mindre luft tas in genom fasaden. Det finns dock fuktrisker med otät ytterfasad om tilluftsflödet skulle bli högre än frånluftsflödet i respektive lägenhet.

Systemlösning med FTX har en fördel eftersom tilluften är förvärmad medan det är viktigt att tilluft i systemlösning med frånluftsvärmepump tillförs bakom radiatorer. En annan fördel med FTX-systemet är att tilluften kommer att passera ett filter i aggregatet innan den tillförs i lägenheten.

Det finns risk för luktöverföring då det finns köksfläktar som kan forceras, eftersom luften då pga tryckförändringar kan gå baklänges i frånluftskanalerna. Detta kan undvikas genom att öppna ett fönster i lägenheten (helst inte i köket) när köksfläkten används.

5.7 Eftervärmare

Systemlösningen med FTX (byggnad Zeta och Eta) har valt att inte ha någon eftervärmare i tilluften. En eftervärmare innebär dels extra investeringskostnader och dels behöver den placeras i varmt utrymme eller isoleras väl. Därutöver kommer extra energi att behövas till eftervärmningen. Om det är möjligt att ha ett väl fungerande system utan eftervärmare kan både kostnader, ytterligare problem att finna plats och extra energianvändning undvikas. Det innebär dock att vid extremt kallt väder får tilluften vid avfrostning relativt låg temperatur, men väsentligt högre än om den tas in direkt utifrån genom uteluftsdon. Mätningar visar att tilluftstemperatur vid en utetemperatur på ca minus 7 grader varierar mellan 12,5 och 18 grader med ett medelvärde på nära 16 grader. Systemlösningen har därmed visat sig kunna fungera tillräckligt väl i Stockholmsklimat medan eftervärmning sannolikt behövs i kallare klimat. Om eftervärmare måste användas bör den om möjligt inte placeras på kall vind eftersom det då blir risk för att värmebatteri och eller värmerör fryser sönder (alternativt att isolera eftervärmaren väl om den står på kall vind). Vår bedömning är att inneklimatet med den nya avfrostningsfunktionen kommer att vara acceptabelt. En förklaring av hur avfrostningen fungerar finns i bilaga B.

5.8 Tillgänglighet för service

Vid installation är det viktigt att tänka på kommande service. Om anläggningar placeras på vind eller yttertak med tillgänglighet via stege så bör denna bytas ut och istället installera trappa. Det måste på relativt enkelt sätt gå att komma åt anläggningar för service och filterbyten. För byggnaderna i teknikupphandlingen har det inte byggts något särskilt fläktrum eller annat utrymme, utan befintliga utrymmen har utnyttjats. Detta har sparat på investeringskostnader men innebär något sämre tillgänglighet.

En av systemlösningarna med värmepump har kanaldragning för dräneringsvatten tvärs över taket. Detta kan bl.a. innebära tillgänglighetsproblem vid snöskottning av taket.

5.9 Investeringskostnad

Investeringskostnader är i samma storleksordning för systemlösning med värmepump som systemlösning för FTX för de mindre byggnaderna med litet antal lägenheter.

Vid ett större antal lägenheter är investeringskostnaden mer fördelaktig för systemlösning med värmepump. Särskilt gäller detta om byggnaderna från början har en frånlufts-kammare i vilken värmepumpen kan placeras.

Kostnader för systemlösningar med FTX är betydligt lägre än tidigare erfarenheter från installation av FTX.

I teknikupphandlingens byggnader har befintliga utrymmen använts för anläggningarna och därmed ingår inga kostnader för fläktrum, takutbyggnad m.m. eller bygglov för sådana.

5.10 Ekonomi

Kravet att nuvärdet av kostnadsbesparing genom energieffektivisering ska vara större än värmeåtervinningssystemets totala kostnader under en brukstid av 12 år har inte uppfyllts. Samtliga anläggningar är dyrare än vad som angavs i anbudet.

För systemlösning med värmepump är investeringskostnaden högre eftersom beställarna i tre fall valt större värmepumpar med högre energitäckning än det grundläggande anbudet. Dessutom klarar värmepumpslösningarna inte i anbudet angiven årsmedelvärmefaktor. Byggnad Delta, som har en storlek enligt grundkrav, är närmast till att klara ekonomikravet på 12 år, men även här skulle årsmedelvärmefaktorn ha behövt vara en aning bättre.

För systemlösning med FTX uppfylls inte kravet främst pga av högre investeringskostnader. I byggnad Zeta har extra kostnader tillkommit för utveckling och design av kanaldragning. I byggnad Eta har extra kostnader tillkommit främst för tätning av kanaler. För byggnad Epsilon uppnås inte förväntad värmebesparing.

En del av kostnaderna som finns med här som t.ex. kanaltätning eller att installera trappa för tillgänglighet till vind borde rimligtvis ligga på underhållskostnader och inte på investeringskostnader för energieffektiverande åtgärder eftersom de hade behövt göras oavsett installation av värmeåtervinning. Den ekonomiska fördelen måste motiveras på annat sätt.

5.11 Övergripande slutsatser

Systemlösningarna var under teknikupphandlingen inte helt färdigutvecklade vilket har krävt stora arbetsinsatser av såväl entreprenörerna som flerbostadshusbolagens egen driftpersonal.

Utvärderingen kan konstatera att systemen fungerar men att det fortfarande finns utvecklingspotential för att de ska kunna bli ännu bättre, både vad gäller energi- och kostnadseffektivitet. I bilaga A och B ger entreprenörerna deras syn på den utveckling och erfarenheter som uppnåtts under projektet.

Utvärderingens resultat visar inte att den ena systemlösningen är bättre än den andra. Vid val av system är det viktigt att titta på byggnadens förutsättningar innan man bestämmer sig. Det gäller att först besvara frågor som: Finns bra utrymmen för att placera aggregat eller värmepumpar? Hur kan aggregat eller värmepump placeras för att använda befintliga frånluftskanaler? Finns möjlighet att dra tilluftskanaler? Om många lägenheter ska förses från ett aggregat kan diametern på kanaler bli stor. Finns möjlighet att ta in tilluft bakom radiatorer vid installation av värmepump? Är byggnadens klimatskärm tät? Finns risk för drag? Behöver inomhusklimat förbättras i form av ökade luftflöden, förvärmad tilluft, filtrerad tilluft etc.? Kan ett förbättrat inomhusklimat löna sig i form av t.ex. nöjdare hyresgäster? Kan ingrepp göras inuti lägenheter? Vad kostar fjärrvärmens respektive elen? Hur ser fastighetsägaren på risk för ökade el respektive fjärrvärmepriser? Hur ser fastighetsägaren på miljöaspekter från energianvändning? Vilken är risken för komplicerad idrifttagning och framtida driftstopp? De två systemen kan med andra ord passa för olika typer av byggnader och val av system beror också på vilka egenskaper som fastighetsägaren prioriterar högst. Engagerade och kunniga beställare är en viktig faktor för ett lyckat resultat.

5.12 Informationsöverföring

Teknikupphandlingen av VÅV har fått stor uppmärksamhet och kunskapsöverföring har skett på bred front. De sju flerbostadshus som ingår i teknikupphandlingen har redan (hösten 2013) haft ett 20-tal studiebesök från andra flerbostadshusägare. Framförallt har den gett stort fokus på frågan och gett branschen en förståelse för den stora marknadspotentialen att installera värmeåtervinning av ventilationsluften i befintliga flerbostadshus. Inom branschen har flera nya koncept och produkter lanserats och flera flerbostadshusföretag som inte ingår i teknikupphandlingen har börjat att studera hur de kan installera VÅV och ett antal har redan börjat att installera VÅV-system.

Exempel på flerbostadshusföretag som har börjat planera och installera VÅV är Stockholmshem och Helsingborgshem som fortsätter i större skala (båda ingår i teknikupphandlingen). Huga Fastigheter installerar för närvarande VÅV i ett antal fastigheter som stamrenoveras och planerar att fortsätta med detta i samband med alla större renoveringar av bostadsfastigheter där värmeåtervinning saknas.

Andra företag som har installerat eller är på gång är Halmstadsbostäder, Uddevallahem, Bostads AB Poseidon, MKB, Örebrobostäder, Svenska Bostäder, Bostadsbolaget med flera. Swegon, EB Hedlund, IV Produkts Home Concept och Lindab har börjat utveckla konkurrerande produkter.

Denna positiva utveckling beror av många samverkande faktorer där teknikupphandlingen i sig kan vara en av de pådrivande faktorerna. Ett faktum är att i flertalet av ovannämnda utvecklingar har den kravspecifikation som togs fram i projektets första etapp varit ett av underlagen vid utvecklingen.

5.13 Behov av fortsatt utvecklingsarbete

Utvärderingen kan konstatera att båda systemlösningarna för värmeåtervinning fungerar men att det fortfarande finns utvecklingspotential för förbättrad funktion, både vad gäller energi- och kostnadseffektivitet. Följande utvecklingsarbete har särskilt identifierats:

- *Billigare och effektivare tätningsmetoder för kanaler.* Befintliga luftkanaler har visat sig vara mycket otäta och kommer i många byggnader att behöva tätas. Vidare behövs metoder utvecklas för hur man fastställer otätheten i befintliga kanaler.
- *Effektiva metoder för avfrostning.* Avfrostningsbehovet beror på frånluftens fukthalt och är olika i olika byggnader. Avfrostning behöver optimeras för att få så stor värmeåtervinning som möjligt samtidigt som inblåsningstemperaturer av tilluft inte får bli för låg. Det finns stora fördelar att fortsätta utveckla tekniken så att eftervärmare kan undvikas. Metoder behöver utvecklas så att krav på avfrostningens effektivitet kan ställas och följas upp.
- *Utveckla övervakningssystem som direkt kan kommunicera med fastighetsbolagens övervakningssystem.* Ett fortstätt problem är att de mätare som sitter i befintlig utrustning inte kan anslutas till de befintliga styr- och övervakningssystemen. Detta behövs för kontinuerlig optimal drift.
- *Utveckla effektivare metoder och kontroller för idrifttagning.* Idrifttagning är fortsatt ett problem och det kommer framöver att finnas ett växande behov av kunnig driftpersonal som i samverkan med entreprenören kontrollerar systemens prestanda och vid behov gör nödvändiga justeringar. åtminstone under de första årens drift. Metoder och överenskommelser behöver utvecklas som tydligt beskriver hur mätningar ska gå till och vilket idrifttagningsåtagande som finns för entreprenören. Här behöver även utbildning av driftspersonal ingå.
- *Tydlig information till hyresgäster.* Material kan behöva utvecklas som på ett pedagogiskt sätt förklarar fördelar och nackdelar med den nya systemlösningen.

Det finns också utrymme för fortsatt designutveckling av kanalsystem i lägenheter.