

## Lågtemperatursystem ger stor energibesparing

Positiva resultat för lågtemperatursystem i fastigheter. Med energieffektiva lågtemperatursystem kan man sänka framledningstemperaturen till 40 grader utan att den upplevda temperaturen försämras. Forskare vid KTH har testat lågtemperaturlösningen i både nya byggnader och vid renovering, med positiva resultat.

### Sänkt temperatur men bibehållen komfort

Projektet "Energieffektiva lågtemperatursystem i byggnader Etapp 3" har pågått under flera år och nu avslutar det sin tredje etapp. De två första etapperna hade fokus på

komponentnivå, främst radiatorerna.

– Vi ville få fram hur vi kan använda så lågtempererad värme som möjligt, sänka temperaturen i radiatorerna och samtidigt ha ett behagligt inomhusklimat, förklarar Sture Holmberg professor vid KTH och den som lett arbetet.

– I den tredje etappen har syftet varit att se hur komponenterna ska utformas på ett optimalt sätt och hur vi

därifrån skapar ett bra inomhusklimat, säger Sture Holmberg vidare.

### Moderna värmepumpar sparar energi

För att undersöka energiprestandan hos låg- och mycket lågtemperatursystem jämfördes dessa med medeltempererade system under identiska labbförhållanden i en klimatkammare vid Danmarks Tekniska Universitet.

De olika alternativ som undersöktes var konventionella radiatorer, ventilationsradiatorer och golvvärme. Mätningar visade att för att täcka värmebehovet för 20 W/kvadratmeter krävdes en framledningstemperatur på 45 grader C för konventionella radiatorer, 33 grader C för ventilationsradiatorer och 30 grader C för golvvärme.

En temperatursänkning på 12–15 grader C för ventilationsradiator och golvvärme resulterar i en primär energibesparing på 17–22 procent jämfört med referensfallet med konventionella radiatorer.

### Flera företag involverade

I projektet har även Huga Fastigheter, NCC, Elementfläkt ingått liksom Rettig ICC, som tillverkar radiatorer och regleringsutrustning för inomhustemperatur. Radiatorerna som har använts i projektet förbättrades successivt under själva projektet, bland annat genom att göra dem helt täta och använda en annan form av isolering. Huga fastigheter i Huddinge, söder om Stockholm, har installerat ventilationsradiatorerna i en renoverad fastighet.

– Den första utvärdering som Huga Fastigheter har gjort är mycket positiva och de planerar att införa ventilationsradiatorer i fler av sina fastigheter, då de är energisnåla och ger bra inomhuskomfort, säger Sture Holmberg.

### Ökat intresse för lågtemperatursystem

I projektet har man också undersökt hur befintliga radiatorer kan göras mer effektiva genom att använda lågtemperatursystem. Lösningen blev en forcerad konvektion som med hjälp av fläktar på befintliga radiatorer får ut värmen i rummet vid lägre temperaturförändringar mellan radiatoryta och omgivande luft. Ett intressant resultat var att yttemperaturen, särskilt golvtemperaturen, i försökskhuset påverkades. Detta leder till högre operativ temperatur och i många fall förbättrad klimatupplevelse.

De positiva resultaten från projektet talar för ett ökat intresse för lågtemperatursystem i fastigheter. Det sparar energi, men leder också till att energikällor med lägre temperatur kan nyttiggöras i högre utsträckning än idag. Låga temperaturer ger också minskad energiförlust vid transport, till exempel i fjärrvärmenät.

Text av Ann Sofie Borglund



Projektledare Sture Holmberg, KTH



## Sammanfattning av projektet

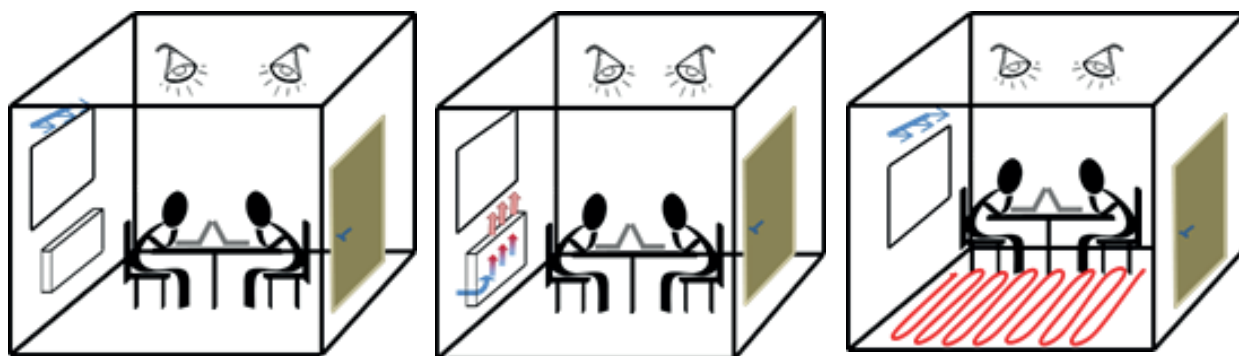
Byggsektorn slukade cirka 39 % av den totala energin i Sverige år 2013. Energi som används för uppvärmning och varmvattenberedning stod för cirka 60 % av den totala energiförbrukningen i byggsektorn. För hög besparing och god miljöpåverkan är det därför viktigt att energieffektiva uppvärmnings- och ventilationssystem integreras med förnyelsebara energikällor. Sture Holmberg, professor på KTH och den som ansvarat för projektet, sammanfattar projektets syfte, metod, resultat och slutsatser.

Projektet har syftat till att öka energieffektiviteten i byggnader, förbättra miljön och samtidigt öka trivselen genom bättre design och ökad termisk komfort. Framsteg i projektets första etapp har dubblat uttagen effekt vid låg framledningstemperatur. I ett omfattande samarbete med byggbranschens olika aktörer har tekniken vidareutvecklats och provas i verkliga system. Här har energibesparingen över tid utvärderas i verkliga system. I en andra etapp har värmeöverföringen från olika lokala luftförvärmare (tilluftsradiatorer och tilluftskonvektorer) analyserats och systemen vidareutvecklats. Detta har skett med förstorad och mera kompakt värmeöverförande yta och genom att kombinera luftförvärmning med befintligt radiatorvärmesystem. Resultat från dessa studier visar att framledningstemperatur i kombinerade system kan sänkas till ungefär 40 °C utan att minska den upplevda termiska komforten. Värmefaktorn (COP) hos värmepumparna i dessa kombinerade system var 8-18 % högre jämfört med konventionella värmesystem.

Avancerade datorsimuleringar används för att finna optimala installationer och material som lämpar sig för distribution av värme vid låg temperatur. Resultat från experimentella undersökningar och analytiska modeller har använts vid verifiering av simulerade resultat. I början fokuserades forsknings- och utvecklingsarbetet i huvudsak på komponentnivå och vi har sedan med egen förvärvad kunskap och genom en omfattande litteraturstudie under flera år börjat få en allt tydligare bild av olika komponenters möjligheter och begränsningar. I projektets slutskede lades därför en något större tyngdpunkt på systemlösningar och kanske i första hand sådana systemlösningar som lämpar sig väl för både ombyggnad och nyproduktion. Som en utmanande fortsättning kombinerar vi nu komponenter med ambitionen att hitta optimerade systemlösningar.

De besparingspotentialer som studerats i avhandlingsarbetet för detta projekt inrymmer en kombination av lågtemperaturuppvärmning med framledningstemperatur under 45 °C och värmepump samt säsongslagring av energi för uppvärmning. Varierande luftflöden i ventilationsdelen har utprovats med behovsstyrning. Avsikten var att utvärdera energibesparingar och även luftkvaliteten inomhus då energieffektiva och uthålliga uppvärmnings- och ventilationssystem implementeras i byggnader. För detta ändamål har fältmätningar, labbförsök, analytiska modeller samt energiberäkningsprogram för byggnader IDA Indoor Climate and Energy 4 använts.

För att undersöka energiprestandan hos låg- och mycket lågtempererade uppvärmningssystem jämfördes dessa med medeltempererade system under identiska labbförhållanden i en klimatkammare vid Danmarks Tekniska Universitet (DTU). Mätningar visade att för att täcka värmebehovet för 20 W/m<sup>2</sup> var den behövliga framledningstemperaturen 45 °C för konventionella radiatorer, 33 °C för ventilationsradiatorer och 30 °C för golvvärme. En 12-15 °C stor temperatursänkning med ventilationsradiator och golvvärme resulterar i en primärenergibesparing på 17-22 % jämfört med referensfallet med konventionella radiatorer. I figur 1 illustreras labbuppsättningarna vid Danmarks tekniska universitet, DTU.



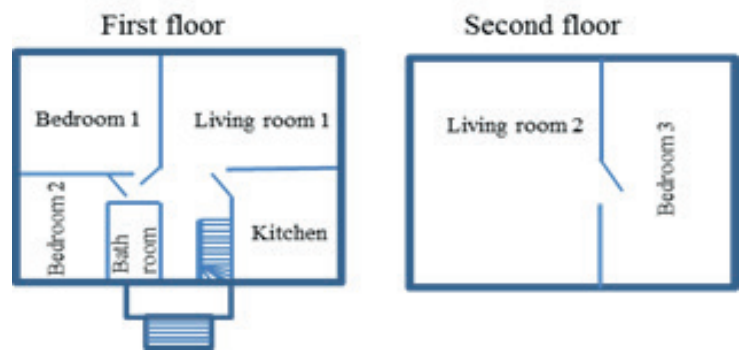
Figur 1. Laboratiormätningar vid DTU där energi och inneklimatförhållande jämförs mellan (från vänster) traditionella radiatorer, ventilationsradiatorer och golvvärme.

En sänkning av framledningstemperaturen i en byggnads värmesystem ger ökade möjligheter att använda lågvärdiga förnyelsebara energikällor såsom sol i olika former. I avhandlingen undersöktes också termisk energilagring i kombination med värmepump i ett hus med mycket låg, låg, och medium tempererat värmesystem. Analysen gav vid handen att en 250 m<sup>3</sup> stor tank för säsongslagring kopplad till en 50m<sup>2</sup> solfångare gav 85-92 % av totala värmebehovet.

I tillägg till värmesystem behandlar avhandlingen i någon utsträckning ventilationssystem där variabelt (lågt) luftflöde ersätter konstant (høgt) luftflöde i nya och renoverade äldre byggnader. Analytiska koncentrationsberäkningar visade att halten av flyktiga organiska komponenter de första åren efter byggnadens konstruktion ökade till oacceptabla nivåer vid hemkomst kl. 18:00 om ventilationen minskades till 0.1 l/s·m<sup>2</sup> under hela perioden 8:00-18:00 då de boende inte var hemma. Det visade sig att för att skapa en acceptabel luftkvalitet vid hemkomst måste ventilationsflödet ställas om till normal nivå två timmar före hemkomsten. Denna minskning av ventilationsflödet under 8 timmar gav 20 % energibesparing i uppvärmd mängd ventilationsluft och 30 % besparing i elförbrukning för fläktarbetet.

Hur olika luftflödesnivåer vid ventilation påverkar luftkvaliteten och energibesparingar studerades såväl analytiskt som experimentellt i ett enfamiljshus med två vuxna och ett barn i Borlänge. Koldioxidhalten (CO<sub>2</sub>) användes som indikator för att hitta lämpligt ventilationsflöde. Mätningar visade att med ett ventilationsflöde på 0.20 l/s·m<sup>2</sup> var CO<sub>2</sub> nivån alltid under 950 ppm. Detta var följaktligen ett tillräckligt ventilationsflöde för referenshuset då CO<sub>2</sub> halten hölls under rekommenderad nivå på 1000 ppm. Beräkningar visar här att ett lågt ventilationsflöde på 0.20 l/s·m<sup>2</sup> ger acceptabel luftkvalitet och energibesparingar på 43 % för luftberedning och transport jämfört med ett normalt luftflöde på 0.35 l/s·m<sup>2</sup> rekommenderat av BBR (Boverkets byggregler). Sänkning av ventilationsflöden från rekommenderade värden kräver naturligtvis god kontroll av alla farliga emissioner i rummet.



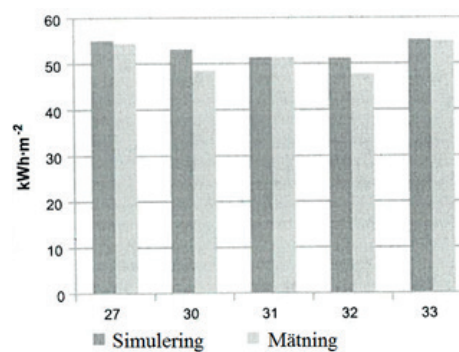


Figur 2. Mäthuset i Borlänge där behovsrelaterad ventilation utvärderades.

En helårsbaserad fältmätning i fem nybyggda parhus med låg och mycket låg framledningstemperatur för uppvärmning som kopplats till frånluftsvärmepump visade att mellan 45-51 kWh/m<sup>2</sup> användes för uppvärmning och varmvattenberedning. Dessa värden är 39-46 % lägre än 84 kWh/m<sup>2</sup> som gäller i medeltal för uppvärmning och varmvattenberedning i nya svenska en- och tvåfamiljshus.



Figur 3. I fem nyproducerade byggnader med ventilationsradiatorer och golvvärme utvärderades energiförbrukningen både med simuleringar och med mätningar i byggnaderna. Se resultat i figur 4.



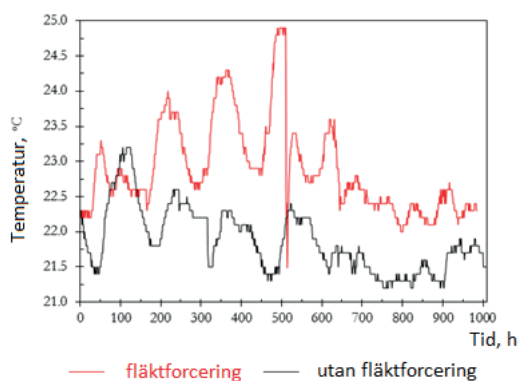
Figur 4. Simulerad och uppmätt total energiförbrukning i fem nyproducerade fastigheter från figur 3.



I ansökan om projektmedel till detta projekt framhöll vi vikten av att även undersöka hur befintliga radiatorer kan göras mera effektiva att använda i lågtemperatursystem. Eftersom radiatorytan då är konstant föreslog vi forcerad konvektion med hjälp av fläktar för att få ut värmen i rummet vid lägre temperaturgradient mellan radiatoryta och omgivande luft. Arbetet genomfördes som examensarbete med en omfattande mätisats i en enfamiljvilla, se figur 5.



Figur 5. I detta enfamiljshus i en stockholmsförort genomfördes studien med fläktförstärkt konvektion på befintliga radiatorer för att öka värmeöverföringen vid låg framledningstemperatur. En kassett med små datorfläktar placerades under radiatoren, se pilen. Se resultat i figur 6 nedan.



Figur 6. Ett intressant resultat av fläktförstärkt konvektion från konventionella vattenburna radiatorer var att yttemperaturen, särskilt golvtemperaturen, i försöks huset påverkades. Detta leder till högre operativ temperatur och i många fall förbättrad klimatupplevelse.



## Sammanställning av målsättning, metod och bearbetade resultat

### Målsättning

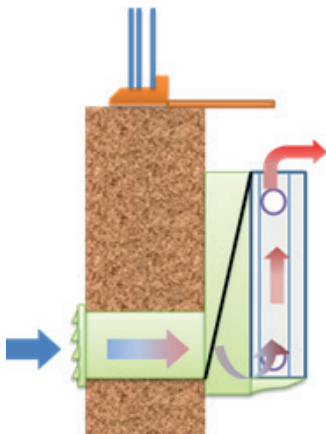
- Undersöka energibesparingar och termisk komfort vid uppvärmning med låg framledningstemperatur
- Studera ökad energieffektivitet genom förvärmning av inkommande friskluft med ventilationsradiatorer
- Studera termisk prestanda för traditionella radiatorer i jämförelse med radiatorer utrustade med fläktförstärkt konvektion
- Datorsimuleringar skall kompletteras med laboriemätningar och fältmätningar

### Metod

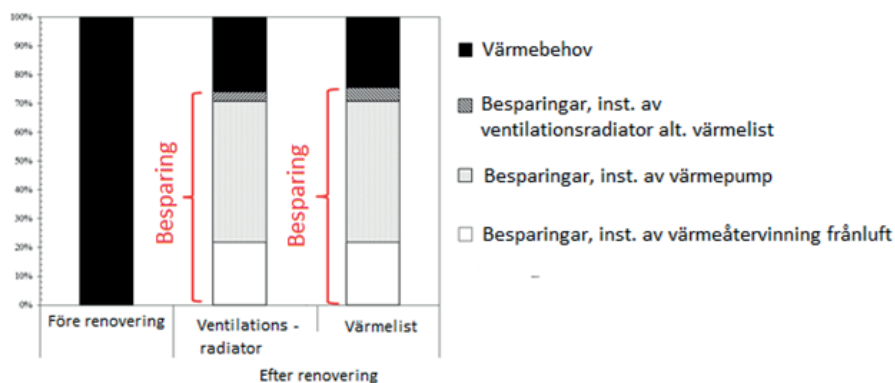
- Simulering av energiprestandan med hjälp av kraftfulla datorer och IDA ICE mjukvara
- Experimentella studier i klimatkammare tillsammans med DTU, Danmarks Tekniska Universitet
- Fältmätningar i olika byggnadstyper för jämförelse och validering av beräknade resultat och labbförsök.

### Resultat

Ventilationsradiatorer har fått stort utrymme i våra studier. Ventilationsradiatorn sammanför uppvärmningssystemet med ventilationssystemet i ett enda system. Inkommande ventilationsluft för effektivt in värme i rummet även vid låg framledningstemperatur till radiatorn. Ett alternativ till ventilationsradiatorer vid lågtemperaturuppvärmning är värmelister, se figur 7.



Figur 7. Ventilationsradiatorer (t.v.) och värmelister (t.h.) är två intressanta alternativ för uppvärmning av rum vid låg framledningstemperatur. Båda har utvärderats i studien och resultat visas i figur 8 nedan.



Figur 8. Beräknade procentuella energibesparingar för uppvärmning efter renovering. Konventionellt vattenburet radiatorsystem som referens före renovering.



## Resultatdiskussion och fortsatt forskning

Av resultaten i figur 8 framgår med all tydlighet att värmepumpar ger stora besparingar i vattenburna uppvärmningssystem med låg framledningstemperatur. Tydligt är också att värmeåtervinning ur utgående ventilationsluft ger stora besparingar. Det faktum att man tar en modern värmepump i bruk ger den största besparingen. Vi har studerat värmepumpar i vattenburna lågtemperatursystem, det vill säga vattenburna system med låg framledningstemperatur. En alternativ väg att undersöka lågtemperatursystem hade varit att låta värmepumpen blåsa in varm luft direkt i de utrymmen som skall uppvärmas, det vill säga luftvärme. I exempelvis Japan används ofta flera värmepumpar fördelade på olika delar (rum) av en bostad för differentierat värme och kylbehov samt för god termisk komfort.

Med en sådan systemlösning klarar man sig utan vattenburet system. Sannolikt kommer dock utvecklingen i Sverige och Europa att gå mot energieffektiva och miljövänliga integrerade systemlösningar framöver. Ur det perspektivet kan det vara svårt att klara sig utan vattenburen transport av energibidrag inom systemet. Om till exempel solvärme skall integreras med värmepumpsteknik används ofta varmvattenreservoarer som mellanlager. I och med att vi studerat lågtemperaturteknik teoretiskt och utvecklat komponenter och system för detta tillsammans med näringslivet har vi banat väg för ökad användning av solenergi som ju i högre grad blir tillgänglig om man kan utnyttja värme vid lägre temperatur.

På samma sätt har vi banat väg för en effektivare användning av fjärrvärme då förlusterna i fjärrvärmenätet minskar linjärt med minskad temperatur mellan värmebärande vatten i rörsystemet och omgivningens temperatur. Nya förutsättningar skapas för miljövänlig samhällsbyggnad. Frånvatten i våra bostäder innehåller också en massa energi som måste tas till vara och det ska ett nytt projekt med finansiering från Energimyndigheten och SBUF nu gå vidare med. Adnan Ploskic på vår avdelning för Strömnings- och klimatteknik (KTH) är projektledare och det nya projektet har titeln "Efficient heat recovery system for waste heat in apartment buildings". Syftet med forskningen är att utveckla tekniska lösningar för energieffektiv och miljövänlig uppvärmning och ventilation av byggnader.

I det nu aktuella projektet läggs fokus på utveckling av system för samtidig värmeåtervinning ur utgående ventilationsluft (frånluft) och utgående tappvatten (frånvatten). Effektiv användning av värmepumpar och insatser för förbättrad värmeväxling vid låga driftstemperaturer är centrala delar i projektet. Som forskningsmetod prioriteras beräkningar inklusive numeriska simuleringar av termisk energiöverföring och energianvändning i byggnader. Den så kallade CFD-tekniken ger även möjlighet att utföra analyser av inomhusklimatet och upplevd termisk komfort. Tillsammans med näringslivet vill vi senare testa tekniken i fullskaleförsök.

## Viktiga resultat

- Energieffektiva lågtemperatursystem kan sänka framledningstemperaturen till 40 grader utan att den termiska komforten försämras.
- Ventilationsradiatorer, golvvärme och värmelister fungerar bra för uppvärmning när framledningstemperaturen är låg.
- Lågtemperaturlösning har testats för både nybygge och renovering, med positiva resultat.
- Moderna värmepumpar med låg framledningstemperatur ger stor energibesparing.
- Lågenergisystemen kan använda energikällor med låg temperatur, som idag inte kan nyttiggöras i så stor utsträckning.

## Övriga publikationer

Slutrapporten består av flera publikationer som alla finns på [E2B2s webbplats](#) inklusive en doktorsavhandling: Doctoral thesis: (by Arefeh Hesaraki, et al) *Low-Temperature Heating and Ventilation for Sustainability in Energy-Efficient Buildings*, Fluid and Climate Technology, KTH, 2015

## Rapportens författare

Sture Holmberg

## Utförare

Kungliga Tekniska Högskolan

## Samfinansiärer

SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond)

Energimyndighetens projektnummer: 30326-4

*I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och olika samhällsaktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. E2B2 pågår mellan åren 2013–2017 och är ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och IQ Samhällsbyggnad.*