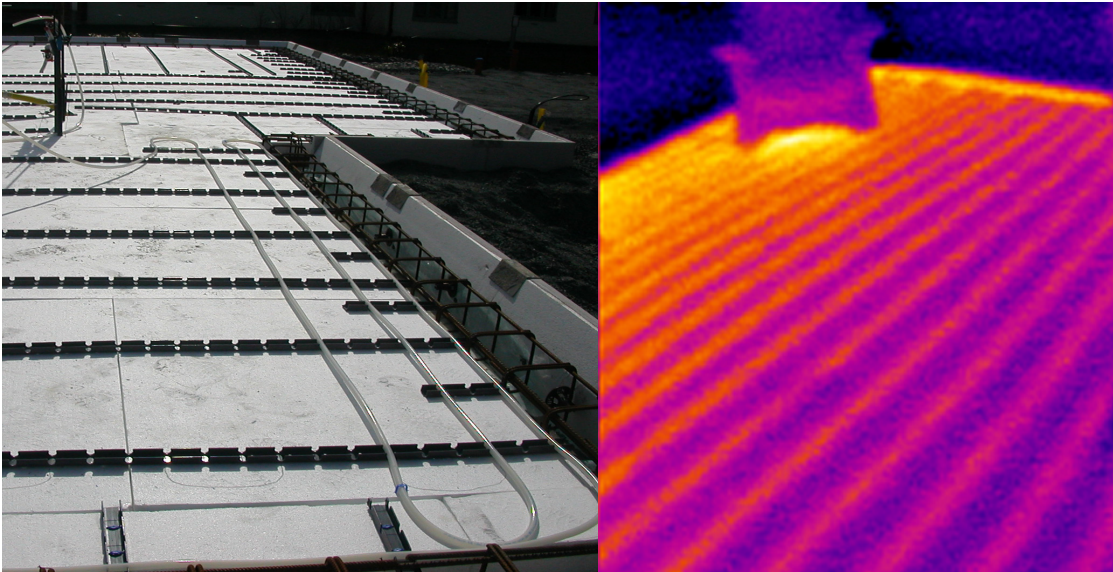




Golvvärme – Något för framtiden!

CARL-ERIC HAGENTOFT
HENRIK KARLSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

Rapport 2007:1

Golvvärme – Något för framtiden!
CARL-ERIC HAGENTOFT
HENRIK KARLSSON

©CARL-ERIC HAGENTOFT, HENRIK KARLSSON, 2007

Rapport 2007:14
ISSN 1652-916

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 GÖTEBORG
Telefon 031-772 1000

Innehållsförteckning

Byggnadsintegrerad uppvärmning	1
Projektet	1
En unik modellplattform	2
Tre simuleringsexempel – bostadshus med mekanisk frånlufts- -ventilation och ingjuten golvvärme	5
Ex 1. Termisk komfort – Operativ temperatur	7
Ex 2. Frånluftsvärmepump	8
Ex 3. Test av innovativa idé	1
Branschnytta och möjligheter	12
Fortsättning på projektet	13
Referenser	14

Byggnadsintegrerad uppvärmning

I ett byggnadsintegrerat uppvärmningssystem tillförs byggnadens behov av värme via ett aktivt inflöde av värme till en del av byggnadens klimatskal. Golvvärme är idag den vanligaste tillämpningen av byggnadsintegrerad uppvärmning. Enligt en studie av Energimyndigheten (2001) var upp till 70 % av Sveriges småhusproduktion utrustade med golvvärme. Populariteten beror förmodligen till största del på ett antal subjektiva faktorer så som estetik och termisk komfort. Ur en teknisk synvinkel kan konstateras att det finns både för- och nackdelar med byggnadsintegrerad uppvärmning. Byggnaden och dess klimatskal måste anpassas till de särskilda förutsättningar som ges av golvvärmesystemet för att den tillförda värmen skall komma byggnaden till nytta. En effektiv värmeisolering mot värmeförluster till den underliggande marken samtidigt som värmeisolerande golvmaterial bör användas med försiktighet är två förutsättningar för att uppnå en hög verkningsgrad.

Miljöpåverkan från våra byggnader är stor. Energianvändningen i byggsektorn utgör ca 40 % av den totala energianvändningen i samhället. Ett sätt att minska byggnadernas miljöpåverkan är att göra dem energieffektiva och använda alternativa energislag som t.ex. solvärme och spillvärme. De alternativa energislagen förutsätter ofta lågtempererade system med vatten som värmebärare. För att kunna använda dessa krävs god kännedom om byggnadens och de tekniska installationernas egenskaper. Om de inte är "kompatibla" med varandra kan energianvändningen bli hög och inomhuskomforten bristfällig.

Projektet

Den här korta rapporten har tagits fram för att illustrera och exemplifiera några av de resultat som kommit fram inom ett projektet som finansierats av Energimyndigheten och går under titeln: Termiska processer vid byggnadsintegrerad uppvärmning-speciellt i samband med golvvärme (STEM P2013-1), gemensamt med SBUF: Möjligheter med byggnadsintegrerad uppvärmning. Ökad inomhuskomfort med energieffektivare systemlösningar (SBUF 11228).

Projektets syfte är att skapa förståelse och att utveckla verktyg för analysen av hur byggnadsintegrerad uppvärmning fungerar samt att utveckla riktlinjer för dess utformning. Speciellt studeras golvvärme med vatten som värmebärare.

Projektet har fram tills nu varit fokuserat på att ta fram en avancerad och validerad simuleringsmodell. Med hjälp av modellen kan interaktionen mellan ingjutna rör och dess omgivning analyseras med god upplösning både i rum och tid. Vi bedömer att modellen är världsledande inom sitt område, inte minst avseende den inbyggda flexibiliteten för systemanalyser. Modellen ger förutom returtemperatur och total värmeavgivning t ex svar på i detalj för hur värme fördelas i rummet och vilken termisk komfort som uppnås. Ett viktigt exempel är hur en fönsteryta eller en ytterväggs något kallare temperatur påverkar den upplevda termiska komforten. Värmelagring och därmed uppkommen tidsfördröjning i den termiska responsen analyseras i detalj med modellen.

Rent akademiskt har projektet lett till följande publikationer:

- 1 licentiatavhandling för Henrik Karlsson, 24:e november 2006.
- 1 konferensartikel, 10th *International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition*, Peking 2007.
- 2 uppsatser för publikation i *Journal of Building Physics*, January issue 2008.
- Ytterligare 2 publikationer kommer att publiceras kopplade till två av exemplen i denna skrift.

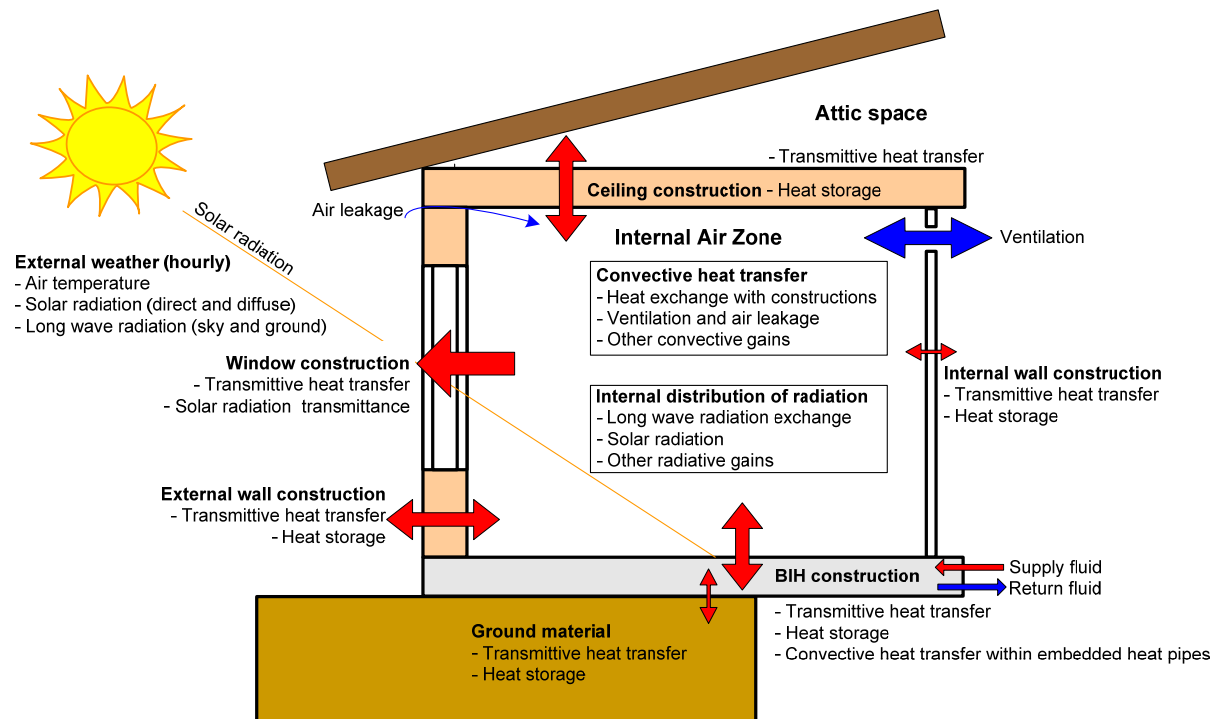
En unik modellplattform

Simuleringsmodellen har byggts på en plattform, HAM-Tools, utvecklad med hjälp av ”International Buildingphysics Toolbox in Simulink” (<http://www.ibpt.org>). Den fritt tillgängliga simuleringsplattformen har tagits fram i ett samarbete mellan Chalmers och DTU. Plattformen och dess ingående modellmoduler kan laddas ner på Internet och moduler kan tillföras, laddas upp fritt, så länge strukturen upprätthålls och en tydlig dokumentation finns tillgänglig. Olika byggnadsfysikaliska förlopp kopplade till värme-, fukt- och lufttransport samt installationstekniska lösningar kan simuleras i detalj. Vi har erfarenheter av modellarbete allt från komfort och fuktsituation i personbilar, emissioner (VOC) upptagning och spridning till rena energibalansproblem i byggnader (Sasic, Hagentoft 2005). Modellerna har validerats (Sasic 2004) för olika applikationer.

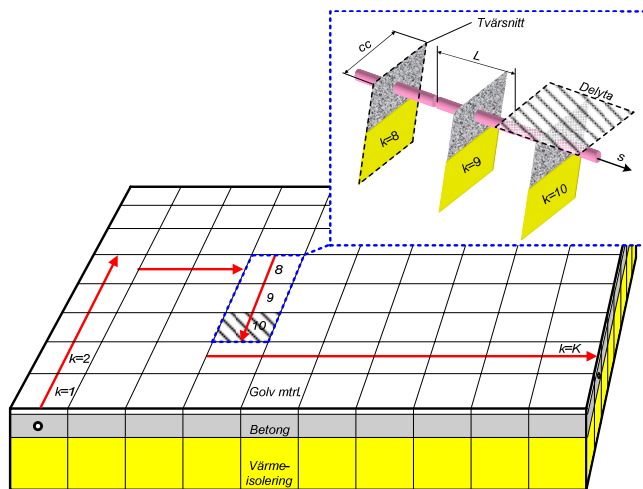
Figur 1 illustrerar de olika komponenter och processer som knyts samman för systemanalys av en byggnadskomponent, rum eller byggnad. Exemplet visar speciellt tillämpningen med golvvärme. Motsvarande simuleringsmodell exemplifieras i figur 3 där de olika komponenterna kopplas samman till ett dynamiskt system i ett grafiskt användargränssnitt. Anpassningsgraden av varje enskild komponent och hur de kopplas samman är i det närmaste oändlig, moduluppbyggnaden ger en mycket stor flexibilitet då olika byggnadskomponenter, rum eller byggnader studeras.

Speciellt för byggnadsintegrerad uppvärmning med vattenburna och ingjutna värmerör har en unik komponent utvecklats. Under simuleringen hanteras värmeväxlingen mellan det strömmande vattnet och rörens omgivande betong, se figur 2. Antalet ”golvrör” visar på vilken upplösning som används. Varje ruta växelverkar i sin tur konvektivt med rummets luft och via värmestrålning till rummets alla övriga ytor. På så sätt kan värmetillförseln till ett rum beräknas på ett unikt och detaljerat sätt. Tack vare modulsystemet kan flera rum med byggnadsintegrerad uppvärmning beräknas parallellt, studier av hela byggnaden som ett system är därmed möjlig.

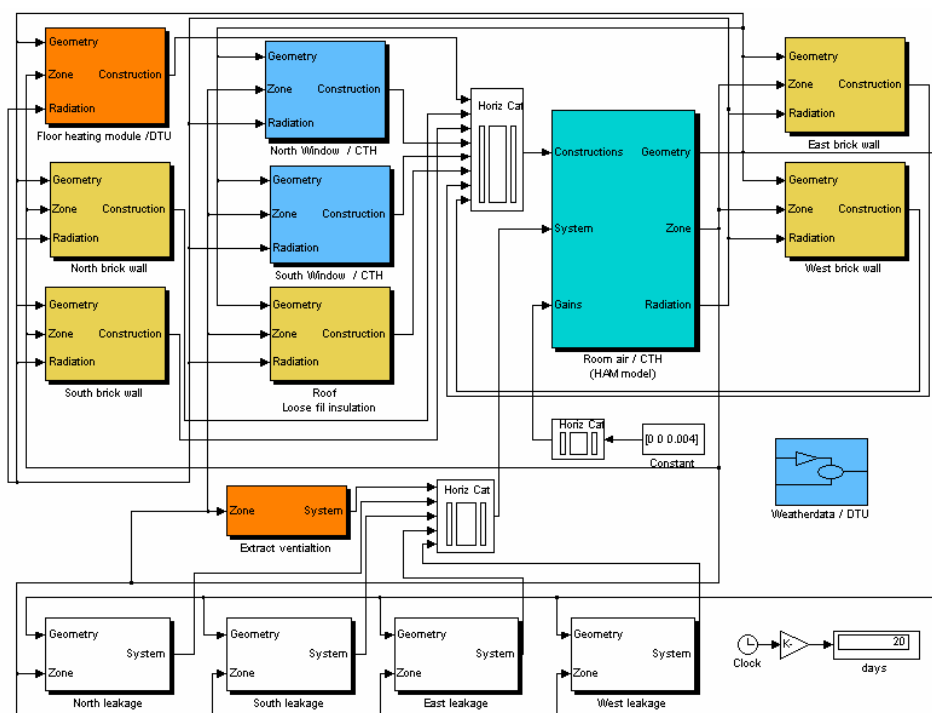
Hela simuleringsplattformen är speciellt användbar för att studera funktionen, för en byggnadskomponent, ett rum eller en hel byggnad, över tiden. De dynamiska egenskaperna, t.ex. olika byggnadsdelars förmåga att lagra värme i byggnadens stomme men även i det ingjutna värmesystemet, beaktas för varje delkomponent i modellen. Det yttre klimatet förändras även det över tiden. De tekniska installationerna i byggnaden skall i möjligaste mån klara av att kompensera för dessa variationer. Vid simulering av en byggnad kan både statistiskt, verklig eller syntetisk klimatdata inkluderas i modellen. Bland annat utomhustemperaturen, solens intensitet, lufthastigheten samt luftfuktigheten kan inkluderas i klimatdatan. Vanligtvis är används en upplösning på timnivå för klimatdatan, se figur 4 för ett exempel.



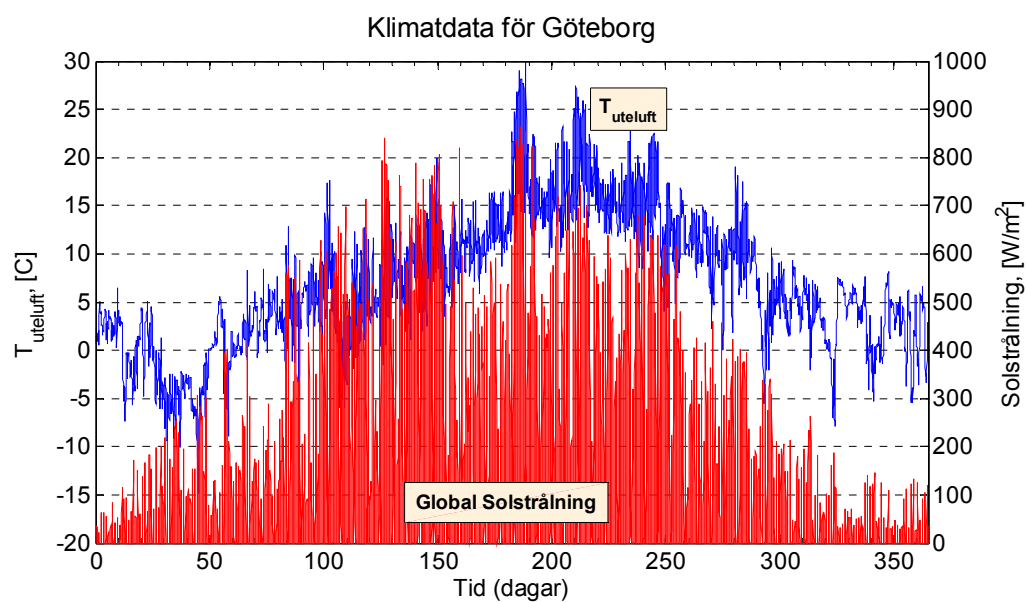
Figur 1. Systemanalys av byggnad med golvvärme.



Figur 2. Illustration över hur detaljerat värmerören kan läggas ut i golvet.



Figur 3. Exempel på HAM-Tools grafiska modulstruktur.

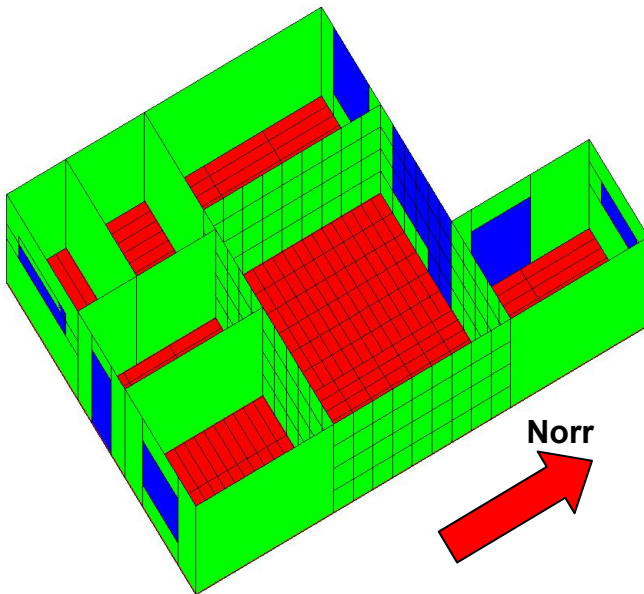


Figur 4. Årsvariationen för uteluftsens temperatur samt den globala solstrålningens intensitet mot en horisontell yta.

Tre simuleringsexempel – bostadshus med mekanisk frånluftsventilation och ingjuten golvvärme

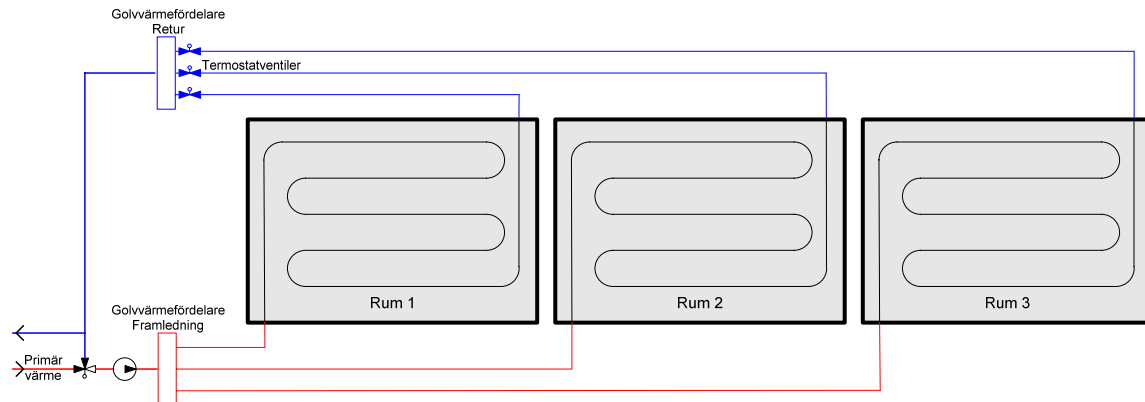
Golvvärmesystemets funktion och den termiska komforten i ett fristående enplans bostadshus har studerats med det beskrivna simuleringsverktyget. Syftet med simuleringsexemplet är att påvisa typiska frågeställningar relaterade till golvvärmesystemets funktion samt att belysa beräkningsverktygets möjligheter.

Byggnadens planlösning illustreras i Figur 5. Husets klimatskärm och installationer är dimensionerande så att den specifika energianvändningen uppfyller de krav som anges i BBR06. Byggnaden har en termiskt lätt stomme uppbyggd av träreglar, utvändig träpanel samt invändiga gipsskivor. Grundläggningen utförs med hjälp av en 100 mm tjock betongplatta på mark. I våtutrymmet används keramiska plattor som golvmaterial, i övriga rum används en 12mm träparkett. Ett mekaniskt frånluftsystem där ouppvärmad tilluft tillförs sovrummen, vardagsrummet och köket, frånluften tas ut genom badrum, serviceutrymme samt kök. Det totala luftflödet är 40 l/s, detta flöde motsvarar 0.6 luftomsättningar i timmen. Sammanfattningsvis kan sägas att den studerade byggnaden skall utgöra ett relativt tidstypiskt fristående bostadshus.



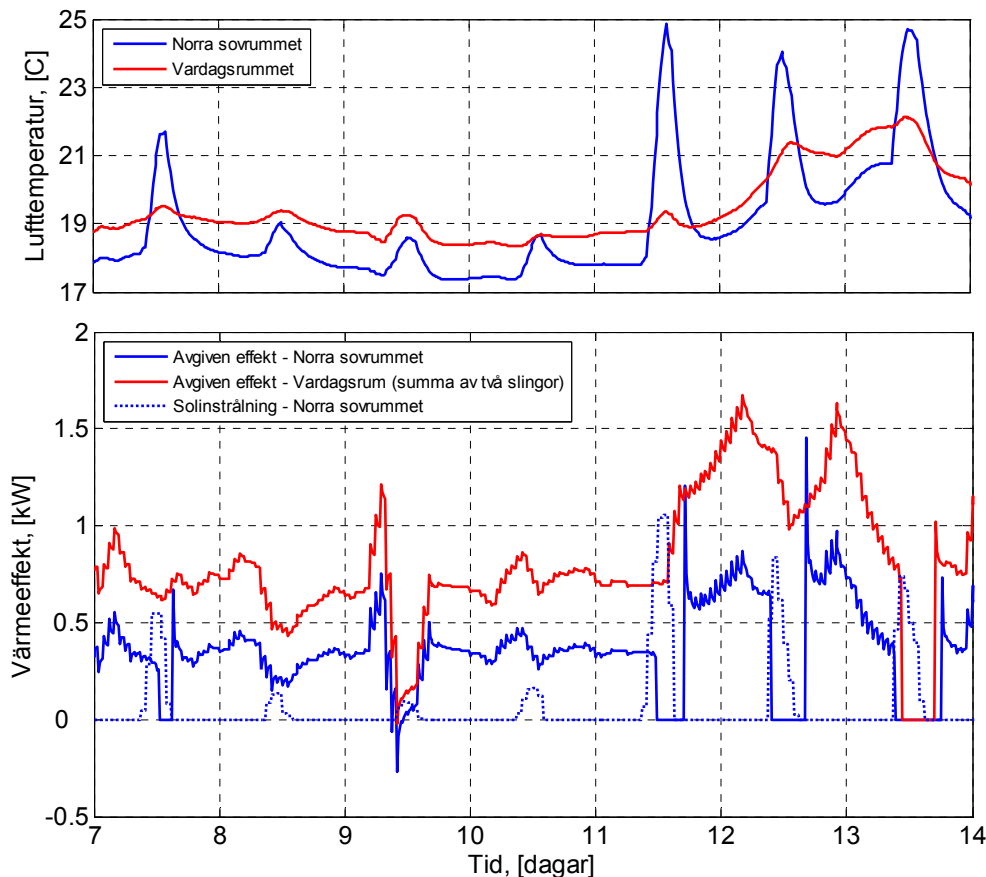
Figur 5. Trådmodell i 3D som illustrerar byggnadens geometri med tre rum och kök samt badrum och serviceutrymme. Figuren visar även samtliga delytor för golv, fönster, inner- och ytterväggar i modellen.

I betongplattan är golvvärmesystemets ingjutna värmeslingor installerade med ett konstant CC-mått mellan slingorna på 300mm. Golvvärmesystemet är uppdelat i åtta golvvärmekretsar som alla är inkopplade till en golvvärmefördelare där en gemensam framledningstemperatur pumpas in i varje individuell krets. För varje golvvärmekrets finns en termostatventil som antingen kan slå av eller på vattenflödet i respektive slinga. Termostatventilerna regleras med hjälp av lufttemperaturen i respektive rum, ett dödband med en övre och en undre lufttemperatur tillämpas för att reglera ventilens av- respektive påslag. En principskiss för golvvärmesystemet illustreras i figur 6.



Figur 6. Inkoppling av byggnadens golvvärmesystem till gemensam framledningstemperatur med rumstermostater.

Den övre delen av figur 7 visar beräknade lufttemperaturer för två av byggnadens rum då golvvärmesystemet är i drift. Under den simulerade perioden påverkar värmen från solinstrålningen, under klara och kalla dagar, avsevärt lufttemperaturen i sovrummet, se nedre del av figur 7. Under vissa perioder aktiveras rumstermostaten och slår av vattenflödet till sovrummets slinga. Den avgivna värmeeffekten från vattnet i slingorna till den omgivande betongplattan illustreras i nedre delen av figur 7.

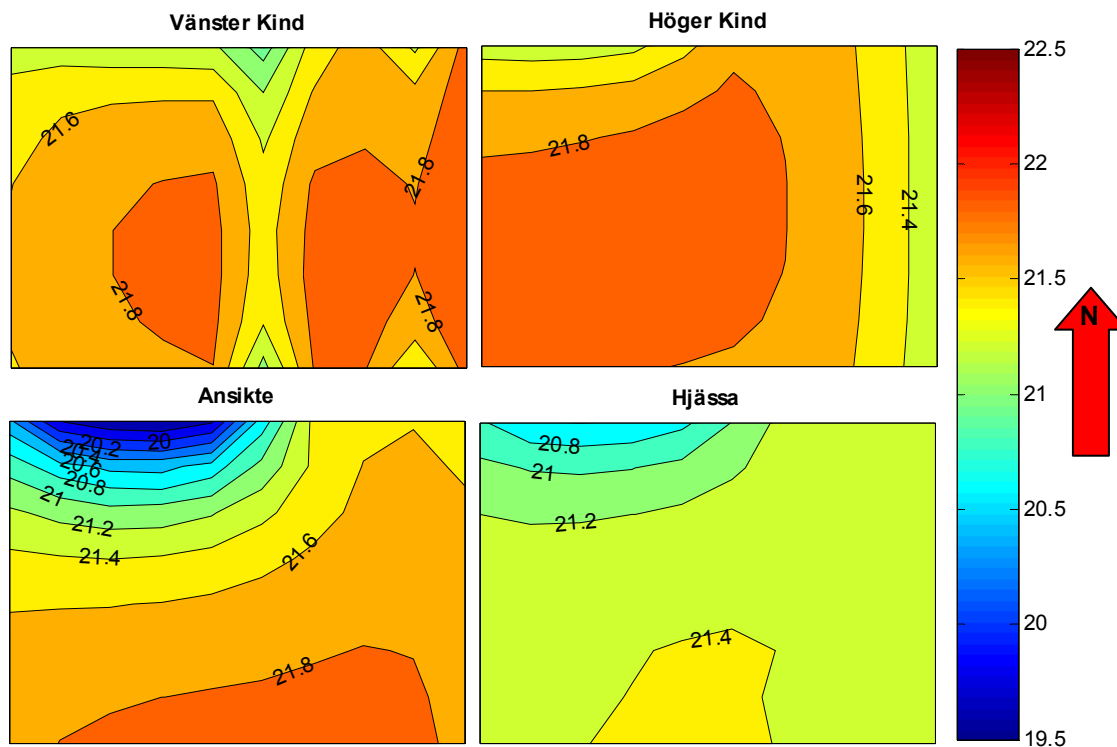


Figur 7. Beräknade lufttemperatur samt beräknade värmeeffekter till respektive golvkonstruktion i två rum under en januarivecka. Punktlinjen visar solinstrålningen i det norra sovrummet.

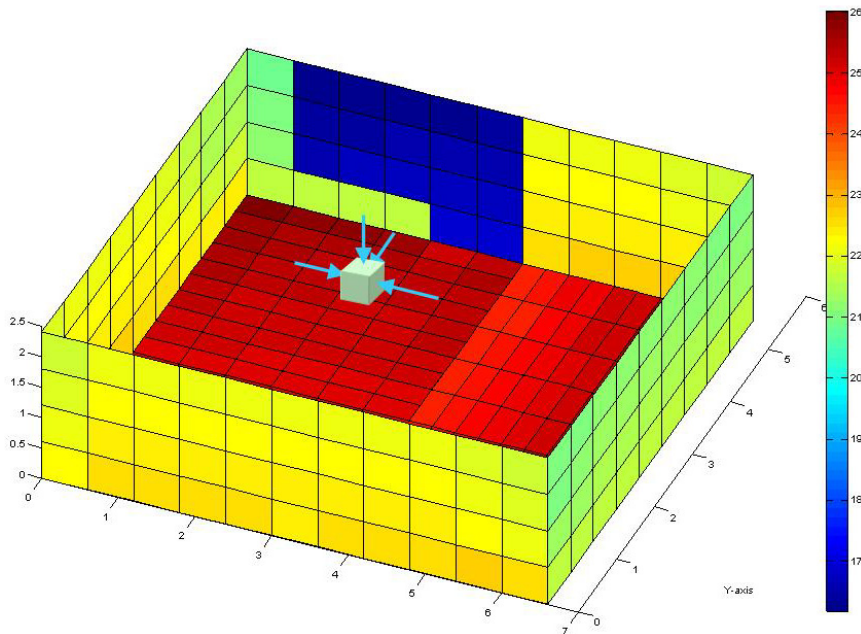
Ex 1. Termisk komfort – Operativ temperatur

Upplevelsen av termisk komfort beror av en människokroppens termiska omgivning. Kroppen växelverkar konvektivt med den omgivande luften, via värmestrålning med alla omgivande andra ytor samt genom ledning mot golvet som man är i beröring med. Med hjälp av den framtagna simuleringsmodellen kan den termiska komforten beräknas i detalj, vid känd eller antagna luftförelser. I modellen görs avancerade beräkningar av värmestrålningsutbytet som är speciellt viktigt vid byggnadsintegrerad uppvärmning. En större del av värmeavgivningen från golvet med värmerör sker just med hjälp av värmestrålning från den invändiga uppvärmda byggnadsytan, golvet i det här fallet.

I komfortmodellen beskrivs huvudets olika delar så att de i princip motsvarar formen av ett rätblock. För huvudets respektive sidor beräknas den operativa temperaturen utifrån yttemperaturfördelningen i det aktuella rummet samt luftens temperatur. Figur 8 illustrerar en ögonblicksbild av den upplevda termiska komforten i alla tänkbara positioner i vardagsrummet (rummet med fönster och en altandörr i figur 5). Den beräknade yttemperaturfördelningen visas i figur 9. Komfortberäkningar baseras på den givna yttemperaturfördelningen och lufttemperaturen. Den termiska komforten kan, om man så vill, kopplas samman med byggnadens regleringssystem i simuleringsmodellen.



Figur 8. Beräknad operativ temperatur mot kinder, ansikte och hjässa för olika positioner utmed rummets golv. Ansiktet riktas alltid mot den norra ytterväggen (figurernas övre del är riktad mot den norra väggen).



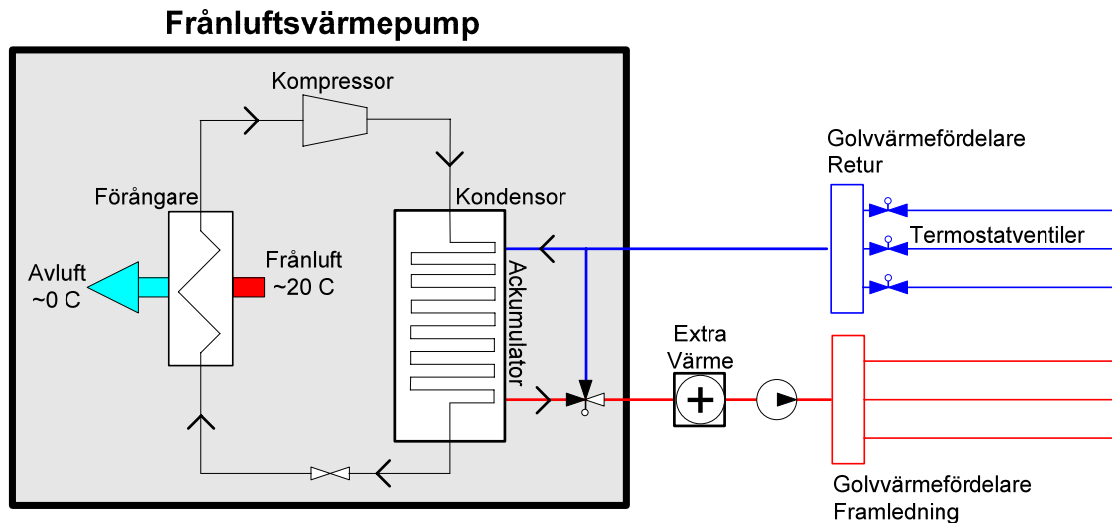
Figur 9. Ögonblicksbild av ytemperaturfördelningen för rummets golv, väggar och fönster i ett ögonblick då golvvärmesystemet är i full drift. Utomhustemperaturen är i detta fall -5.6°C medan inomhusluften är tempererad till $+20.8^{\circ}\text{C}$.

Exemplet visar att den termiska komforten kan beräknas i valfri position i ett rum. Även förändringar i komforten över tiden är möjliga att studera i detalj. Speciellt intressant är strålningsfenomen från kalla ytor i klimatskärmen t.ex. fönsterytor.

Vetenskaplig referens: (Karlsson, Hagentoft, 2005), Artikel kommer att skickas till 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Köpenhamn 2008.

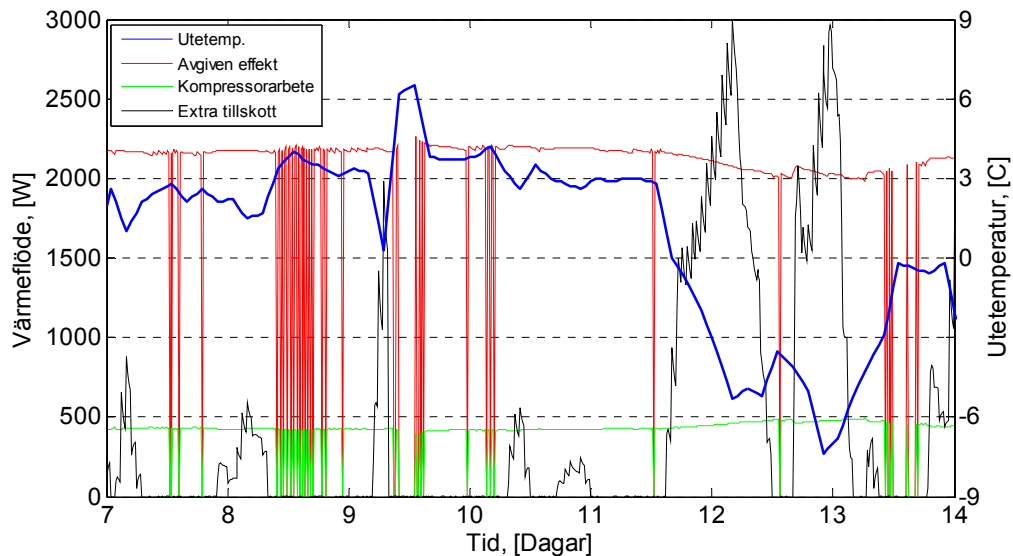
Ex 2. Frånluftsvärmepump

Det här exemplet visar vad som händer då en värmepump kopplas till frånluften. Systemet drar nytta av den energi som finns i den uppvärmda luft som lämnar byggnaden, se figur 10 nedan. Värmen nyttiggörs och höjer temperaturen som kommer i retur från golvet. Framledningstemperaturen, dvs. temperaturen på det vatten som strömmar in i golvslingorna, regleras på samma sätt som i grundfallet, vilket innebär att extra värme måste tillföras under vissa perioder för att en viss, av reglersystemet, krävd framledningstemperatur hålls till varje värmeslinga. Å andra sidan kan, under perioder med högre utetemperatur eller innetemperatur (t.ex. pga. solinstrålning), temperaturen vara så hög på vattnet efter värmepumpens värmeavgivning att inget extra värme behöver tillföras.



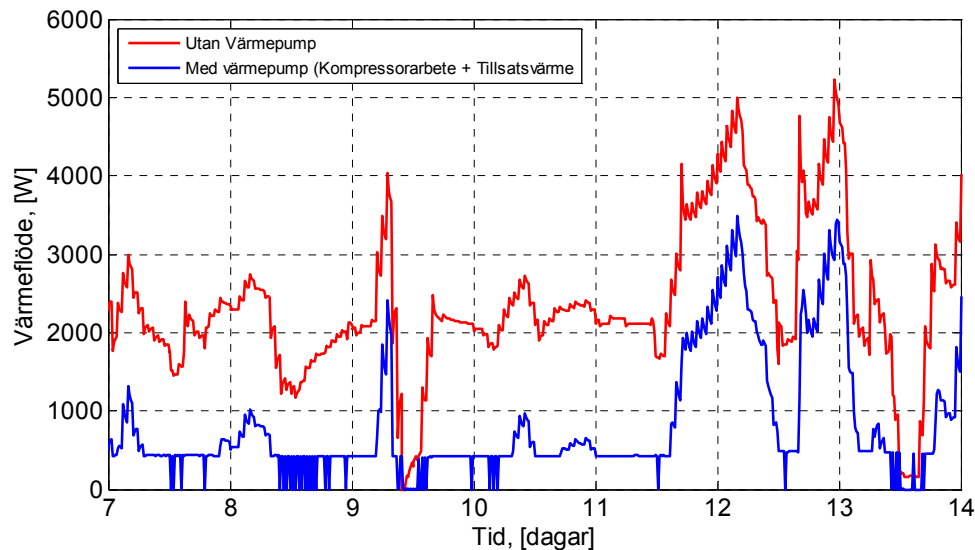
Figur 10. Principskiss för en frånluftsvärmepump kopplad till ett golvvärmesystem.

Figur 11 visar resultaten från en veckas simulering av bostadshuset. Värmepumpens värmetillskott till golvvärmesystemet samt det arbete som krävs för att driva värmepumpens kompressor redovisas. Korta behov av tillsattsvärme uppkommer i systemet då reglersystemet kallar på en varmare framledningstemperatur vilket sker då utetemperaturen faller. Den då lite svalare betongplattan, i jämförelse med framledningstemperaturen, absorberar snabbt värme från golvslingorna varpå skillnaden mellan framledning- och returtemperatur blir stor. Effektbehovet under denna period blir då stort. Simuleringen visar även värmepumpens drifttid med av- och påslag. Då värmepumpen är avslagen "slösar" byggnaden, som helhet, värme genom att värme i den tempererade frånluft går till spillo. En optimerad volym på ackumulatortanken eller genom att temporärt lagra värme i betongplattan skulle minska frekvensen av avslag.

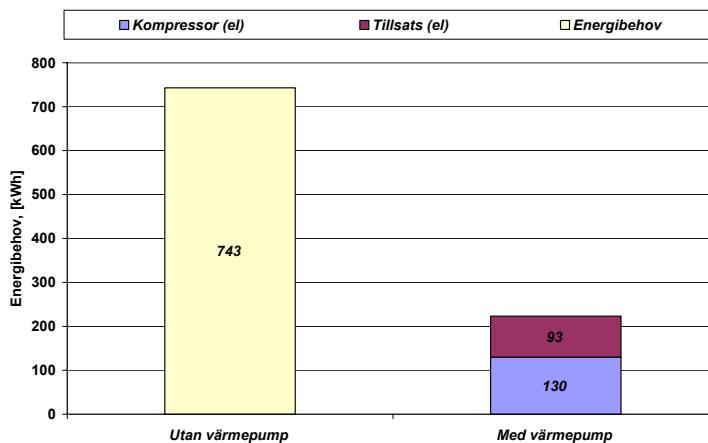


Figur 11. Exempel på värmepumpens tillskott av värme, kompressorarbete samt tillsattsvärme. Den blå linjen visar hur utomhustemperaturen varierar under perioden.

Effekt- och energibehoven för de olika fallen, med värmepumpen och utan värmepump, är redovisade i figur 12 och 13. Eftersom ingen värme återvinns ur frånluften i grundfallet erhålls en kraftig förbättring av byggnadens energibehov då värmepump används. Samtidigt är kombinationen av lågtempererad golvvärme och värmepump en effektiv kombination. Tack vare den låga framledningstemperatur erhålls ett högt förhållande mellan kompressorarbetet och värmepumpens avgivna värme. Då endast el till värmepumpens kompressor inkluderas blir det så kallade "COP-talet" omkring 5 under den simulerade perioden. Förutom el till kompressorn tillkommer el till golvvärmesystemets cirkulationspump samt till frånluftsfläkten på cirka 100W. Detta gäller för bägge fallen, med eller utan värmepump.



Figur 12. Effektbehov under en januariveckas drift av byggnaden.

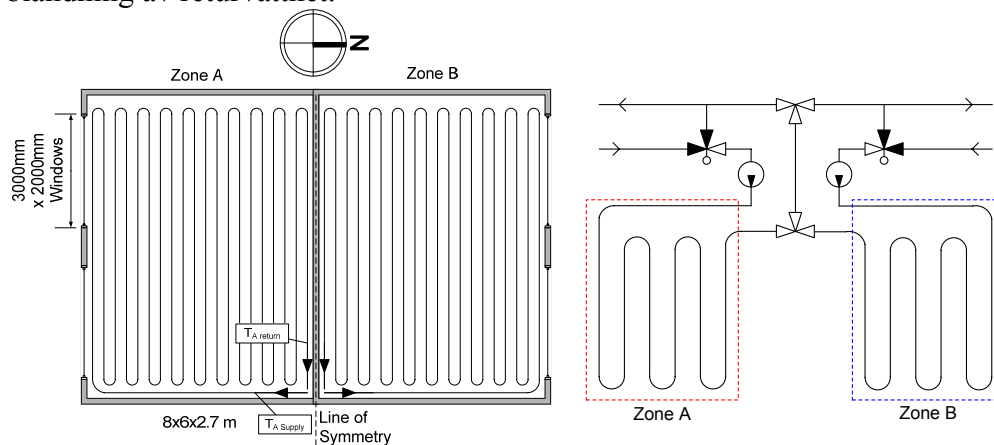


Figur 13. Energibehov under två veckors drift (i januari).

Vetenskaplig referens: Artikel kommer att skickas till 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Köpenhamn 2008.

Ex 3. Test av innovativ idé

I vissa byggnader och lokaler fördelar sig internvärme, såsom solinstrålning genom stora glasade ytor på del av byggnaden, på ett ojämnt sätt. Konsekvensen av detta kan bli att en del av byggnaden behöver värmas medan den andra måste kylas av. Verksamheterna och dess krav kan sätta hinder i vägen för att låta luftutbyte mellan delar av byggnaden reducera detta problem. En innovativ idé för att hantera detta har undersökts med simuleringsmodellen. Idén bygger på att två separata slingor läggs ut i det varmare respektive kallare rummet. För fall 1 studerades alternativet att blanda returvattnet från slingorna innan vattnet återigen pumpas ut i de två slingorna (med samma temperatur). Slingornas placering och vattenblandningsprinciperna illustreras i figur 14. Som jämförelser har simulering gjorts för fallet (fall 0) med två separata slingor utan blandning av returvattnet.

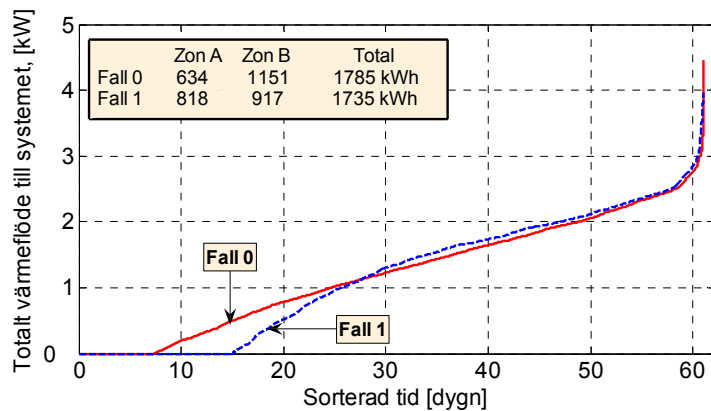


Figur 14. Planlösning och placering av de två rørslingorna för den simulerade byggnaden.

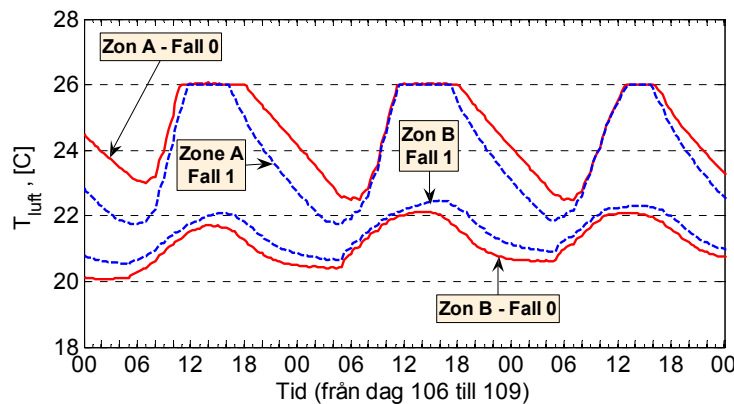
Figur 15 visar varaktighetskurvor för den beräknade samlade uppvärmningen av de två rørslingorna. Vi kan konstatera att det blir en omfördelning av värme från det varma rummet (Zon A) till det kalla (Zon B). Antalet dygn utan uppvärmningsbehov ökar från 7 till 15 dagar. Detta tvingas dock kompenseras med lite högre total tillförsel av värme vid senare tillfällen. Skillnad i värmebehov är bara 50 kWh eller 3%.

Figur 16 redovisar lufttemperaturen under tre dygn för de två fallen. Vi kan tydligt se att det kalla rummet (Zon B) blir upp till 1,6 °C varmare medan det varmare rummet blir upp till 0,7 °C kallare.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det inte finns någon större potential i att fördela värme med hjälp av golvvärmeslingorna. Den termiska kontakten mellan rummen blir inte tillräcklig.



Figur 15 Varaktighetsdiagram som visar fördelningen av det till golvvärmesystemet tillförda värmeflödet (summan av zon A och B). Den infogade texten visar den tillförda energimängden under mars och april månad.



Figur 16 Innetemperatur (luft) för de två beräkningsfallen och zonerna under tre dygn.

Vetenskaplig referens: (Karlsson, 2007)

Branschnytta och möjligheter

Med hjälp av simuleringsmodellerna kan kvalitetsmanualer, riktlinjer och tumregler utformas. Med hjälp av modellerna kan också nya och gamla systemlösningar analyseras och jämföras. Målsättningen är att ta fram verktyg för att ta fram enkla, robusta och energibeständiga systemlösningar. Härmed kan man undvika dyra tekniska lösningar som inte löser några problem utan snarare skapar nya istället.

Svensk byggindustri har stora möjligheter att ta en ledande roll i teknikutvecklingen och ta marknadsandelar inom modernt och energieffektivt byggande utnyttjande byggnadsintegrerad uppvärmning. Behovet av väl fungerande simulerings- och dimensioneringsverktyg för att säkerställa god teknisk funktion och ett bra inneklimat kan uppnås genom detta projekt.

Trots att det idag finns teknik som möjliggör en lägre energiförbrukning sker nybyggnation oftast enligt konventionella principer och med traditionella värmekällor. Genom projektet kan utvecklingen mot energieffektivare lösningar understödjas och en rad frågor rörande systemlösningar, förväntade effekt och energibehov samt uppnåbar komfort besvaras. Det gäller att skapa kommersiell trovärdighet och praktiskt förnuftiga lösningar. Med den kunskap som finns traditionellt i Sverige och med den spjutspetskompetens och vetenskaplig trovärdighet som kan utvecklas inom området byggnadsintegrerad uppvärmning ges svensk byggindustri stora möjligheter att exportera know-how och producera energieffektiv och hållbar teknologi för byggnader med hög komfort.

Forskningsbehov

Fortsättningen av projektet syftar till att i detalj studera byggnadsintegrerad uppvärmning för moderna hus, alltifrån de som byggs enligt dagens norm till lågenergihus. Syftet är att visa hur byggnaderna kan göras så energieffektiva som möjligt genom utnyttjande av golvvärme, ett systemtänkande och olika förnyelsebara energikällor. Detta ger en potential för god ekonomi och en kraftigt reducerad miljöbelastning. Det finns behov av att analysera tillämpningar för både småhus och flerfamiljshus.

Genom fortsatt forskning och modellutveckling får vi tillgång till generella simuleringsverktyg som kan användas för analys av avancerade alternativa systemlösningar. Modellplattformen som utnyttjas inkluderar kopplad värme-, fukt och lufttransport i byggnadsdelarna. Detta ger därmed också möjligheter att studera byggnadsintegrerad kyla, där fuktrelaterade frågor är av största vikt att ta hänsyn till.

Referenser

Karlsson, H. ; Hagentoft, C.-E. (2005). Modelling of Long Wave Radiation Exchange in Enclosures with Building Integrated Heating, *Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, Reykjavík, Island

Karlsson, H. (2006). *Thermal system analysis of embedded building integrated heating - Numerical model and validation of hydronic floor heating systems*. Licentiatavhandling, Chalmers University of Technology, Göteborg.

Karlsson, H. (2007). An innovative floor heating application - transfer of excess heat between two building zones. *Proceedings of the 10th International Building Performance Simulation Association Conference*, Peking 2007.

Karlsson, H. (2008). Building integrated heating: hybrid three-dimensional numerical model for thermal system analysis. Submitted to the *Journal of Building Physics*.

Karlsson, H. (2008). Empirical validation of a numerical model for building integrated heating systems. Submitted to the *Journal of Building Physics*.

Sasic Kalagasidis A. (2004). *HAM-Tools An Integrated Simulation Tool for Heat, Air and Moisture Transfer Analysis in Building Physics*. Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.

Sasic Kalagasidis A. ; Hagentoft, C.-E. (2005). Byggnadsfysikalisk dimensionering med HAM-Tools. *Väg- och Vattenbyggaren* 2005:5.
5:5.