

Undersökning av orsaker till för hög inomhustemperatur i flerbostadshus

Martin Samuelsson

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2007
Rapport TVIT--07/5013



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinavien största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Undersökning av orsaker till för hög inomhustemperatur i flerbostadshus

Martin Samuelsson

© Martin Samuelsson, 2007

ISRN LUTVDG/TVIT--07/5013--SE(60)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Denna rapport är ett resultat av ett examensarbete utfört för avdelningen för installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola och Bostadsrättsförening Kvarteret bryggeriet i Lund.

Handledare vid arbetet har varit Lars Jensen och kontakt för bostadsrättsföreningen har varit Inge Brink.

Undertecknad vill tacka de som bidragit till arbetet. Främst min handledare Lars Jensen och Inge Brink men även Stephen Burke och Jonas Linde som hjälpte till vid fältmätningar.

Lund, september 2007

Martin Samuelsson

Sammanfattning

- Titel:** Undersökning av orsaker till för hög inomhustemperatur i flerbostadshus.
- Författare:** Martin Samuelsson
- Handledare:** Lars Jensen, Installationsteknik, LTH
- Problemställning:** Kvarteret Bryggeriet har problem med för höga temperaturer inomhus. Det finns misstankar om att radiatorvattenrör i bjälklagen bidrar till ett stort värmetilskott samt att en del värme sprids mellan lägenheterna från de som önskar ovanligt höga temperaturer till de som önskar mer normala temperaturer.
- Syfte:** Att fastställa vad som är anledningen till den höga inomhustemperaturen och att fastställa hur värmen sprids i husen samt att om möjligt uppskatta hur bostadsrättsföreningens ekonomi påverkas av den höga inomhustemperaturen. Ett åtgärdsförslag ska tas fram
- Metod:** Genom studier av ritningar, mätningar och beräkningar som vägs samman ska orsakerna till den höga temperaturen fastslås.
- Slutsatser:** De båda husen har bra förutsättningar för att hålla ett bra inomhusklimat. Väggarna i husen är välisolerade och förbrukningen av värme är låg. Värmesystemet består av en värmeslinga per fasad med utomhustemperaturmätare och tillåter flera inställningar för att styra inomhustemperaturen på ett bra och exakt sätt. Problemet med den höga inomhustemperaturen har sin bakgrund i flera faktorer men två är mer betydelsefulla. Dels sprids mycket värme från de vattenrör som ligger ingjutna i bjälklaget och dels kan mycket värme spridas mellan lägenheter om temperaturskillnader finns. Lösningen ligger i att säkerställa att värmesystemet fungerar på ett korrekt sätt och i att trimma in systemet till att ge rätt temperatur. Då temperaturvariationen under mätperioderna var mycket liten trots relativt stora variationer i utomhustemperaturen bör en inomhustemperatur på rätt nivå med små variationer för alla vara möjlig att åstadkomma genom inställningar i undercentralen.
- Nyckelord:** Inomhustemperatur, inomhusklimat

Abstract

- Titel:** Examination of causes of too high temperatures in multiple residential buildings
- Athor:** Martin Samuelsson
- Tutor:** Lars Jensen, HVAC, LTH
- Problem:** In two multiple residential buildings in Lund there are problems with too high indoor temperatures. The practically uninsulated water pipes which lie in the joists and carry water to the radiators are believed to be one of the sources to the high temperature. Another source is believed to be heat spreading between the apartments.
- Purpose:** To determine the cause for the high indoor temperature and to determine how the heat spread in the buildings. If possible, an assesment of how the economy is effected should be done as well as a proposal of how the high temperature could be lowered.
- Method:** By studies of drawings, mesurements and calculations the source of the high temperature should be determined.
- Conclusion:** Both buildings has good basic conditions to achive a good indoor climate. The walls in the houses are well insulated and the consumption of heating is low. The heatsystem consists of one pipesystem per facade with outdoor temperature meters and allows several settings to control the indoor temperature in an exact way. The problem with the high temperature is caused by mainly two factors. As suspected, a large amount of heat is emitted from the pipes which lie in the joists. A lot of heat is spread between the apartments if the temperatures differs. The solution is to assure that the heatsystem functions in a proper way and to trim it down to give the desired temperature. Despite fairly large variations of the outdoor temperature the indoor temperature was fairly stabile. Therefore it should be possible to achive an exact and good temperature by changing the settings in the heatsystem.
- Key words:** Indoor temperature, indoor climate

Innehållsförteckning

1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	9
1.3 Metod	9
1.4 Avgränsningar	9
2 Teori	11
2.1 Allmänt om inomhusklimat	11
2.2 Termiskt klimat	11
2.3. Relativ fuktighet	12
3 Husens uppbyggnad och funktioner	15
3.1 Översiktlig orientering	15
3.2 Byggnadsstomme	16
3.3 Fjärrvärme och värmesystem	16
3.4 Ventilation	17
3.5 Övriga installationer	18
4. Fältmätningar och statistik	19
4.1 Temperaturmätningar utomhus för mätperioden	19
4.2 Innetemperaturmätning med loggrar	20
4.3 Temperaturmätningar i undercentralen	22
4.3.1 Framtemperatur för de fyra fasaderna	22
4.3.2 Fram och returtemperatur för fasaderna hos byggnad A	24
4.3.3 Loggning av relativ fuktighet	24
4.4 Yttemperaturmätningar med värmekamera	26
4.5 Förbrukningsstatistik	28
4.5.1 Fjärrvärmeförbrukning	28
4.5.2 Vattenförbrukning	30
4.5.3 Elförbrukning	30
5. Beräkningar	33
5.1 Värmeöverföring mellan lägenheterna	33
5.2 Värmeberäkningar på radiatorer och radiatorrör i bjäklag	36
5.2.2 Värme från radiatorvattenrör i bjäklaget	37
5.3 Värmebehovsberäkningar	41
5.3.1 Statisk värmebehovsberäkning:	41
6 Diskussion och slutsats	45
6.1 Enklare åtgärder	47
6.2 Övriga åtgärder:	47
7 Referenser	49
Bilaga 1: Temperaturloggning	50
Bilaga 2: Värmeväxlare	51
Bilaga 3: VS ritningar	52
Bilaga 4: Värmefotografier	54
Bilaga 5: Radisol vattenrör	55
Bilaga 6: Omräkningsdiagram för radiatorer	56
Bilaga 7: Effekt från radiatorer	57
Bilaga 8: Programkod	58

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Kvarteret Bryggeriet består av två flerbostadshus i centrala Lund. Byggnaderna är uppförda 1983 och är av suterängtyp med fem till sju våningar. I byggnaderna uppgår ibland, i vissa lägenheter, även under vintertid, temperaturen till 26 °C. Detta har uppmärksammats av en del av de boende, som önskar en förbättring av inomhusklimatet genom en sänkning av temperaturen.

Problemet med hög innetemperatur har tidigare lett till ett mindre omfattande projektarbete där problemet översiktligt undersöktes. I rapporten lyfts flera faktorer fram som bedöms bidra till problemen med inomhusklimatet, men störst vikt läggs vid de radiatorvattenrör som ligger så gott som oisolerade i bjälklaget och som misstänks ge upphov till ett slags golvvärme.

Utöver ”golvvärmen” var en anmärkningsvärt stor del av termostaterna på radiatorerna trasiga vilket satte radiatorerna ur funktion. Den höga inomhustemperaturen medförde att flera av lägenhetsinnehavarna ”långtidsvädrade” för att få ner värmen. I en lägenhet där innehavaren var bortrest under en lång period och där samtliga radiatorer och andra installationer, med undantag för kyl och frys, var avstängda uppmättes, trots detta, 23 °C under mars månad. Detta tyder på en betydande spridning av värme mellan lägenheterna och värmetillskott från radiatorvattenrör i golv och tak.

1.2 Syfte

Syftet med förevarande arbete är dels att fastställa orsakerna till den höga inomhustemperaturen, dels att bestämma hur värmen fördelas i byggnaderna och dels att -om möjligt- bedöma i vilken mån problemen med inomhusklimatet påverkar ekonomin i den bostadsrättsförening som äger husen. Avsikten är också att föreslå åtgärder för att komma till rätta med problemen.

1.3 Metod

Genom jämförelser av mätningar, beräkningar och statistik fastslå vad orsakerna till de höga temperaturerna är.

1.4 Avgränsningar

I rapporten kommer en översiktlig undersökning av de delar som påverkar inomhustemperaturen att behandlas. Det har nämligen framstått som viktigare för resultaten att helheten lyfts fram än att några få parametrar granskas noggrant. För att kunna gå in något djupare med beräkningar och mätningar har dessa främst genomförts på lägenhet 341.

2 Teori

2.1 Allmänt om inomhusklimat

Människor tillbringar allt mer tid inomhus och idag tillbringar många mer än 90% av sin tid inomhus. Detta medför stora krav på inomhusklimatet. Eftersom detta går att påverka i hög grad genom exempelvis installationer och smart byggnande bör moderna hus kunna hålla ett bra inomhusklimat.

Inomhusklimat brukar delas upp i fyra tekniska klimat nämligen: Lufthygien, termiskt klimat, akustiskt klimat och visuellt klimat¹. Intressantast för rapporten är det termiska klimatet. Även lufthygien är av något intresse eftersom detta påverkas av det termiska klimatet.

2.2 Termiskt klimat

Hur det termiska klimatet upplevs beror av luftens hastighet, luftens temperatur, närliggande ytors strålning och temperaturskillnader. När man talar om den operativa temperaturen är det just en sammanvägning av lufttemperatur, temperaturskillnader och strålningstemperatur man avser. I utrymmen med golvvärmesystem brukar den temperatur som normalt uppfattas som komfortabel finnas vid lägre lufttemperatur tack vare det varma golvet.

Fönster är normalt en byggnads svaga punkt med avseende på värmeisolering. De fönster som har bäst värmeisoleringsförmåga idag, med ett U-värde under $1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, motsvarar endast mineralullsisolering av tjockleken 5 cm. De fönster som finns i byggnaderna i kvarteret Bryggeriet uppskattas ha ett nästan dubbelt så högt U-värde och motsvarar således endast hälften så tjock mineralullsisolering. En stor skillnad i värmeisoleringsegenskaper mellan vägg och fönsterglas kan ge upphov till kallras och drag från fönster vilket är anledningen till att radiatorer traditionellt placeras under fönster. En annan vanlig orsak till drag är ventilation som kan skapa en känsla av drag och kyla om den håller för hög strömningshastighet och lufttemperaturen är låg.

Fönster är en svag punkt även med avseende på solinstrålning. Detta var normalt inte ett problem i äldre byggnader då de ändå var relativt dåligt isolerade men i moderna lågenergiförbrukande hus med stora fönster i söderläge finns flera exempel på att problem uppstått med övertemperaturer som resultat av solinstrålning.

Socialstyrelsen rekommenderar en operativ inomhustemperatur mellan 20 och 23 °C. Temperaturer under 18 °C eller över 24 °C på vintern och 26 °C på sommaren anses inte acceptabla. Dock räknas inte kortvariga extrema värme- eller köldtoppar med. Golvtemperaturen rekommenderas ligga mellan 20 och 26 °C och får inte ligga under 16 och inte över 27 °C. Utöver detta bör temperaturskillnaden mellan olika ytor inte

¹ Svensson Anders, "Ventilationsteknik – Del av kursmaterial för Installationsteknik FK" Lund 1995"

vara för stor och den vertikala lufttemperaturskillnaden hållas låg. För att undvika kyla från drag bör luftens medelhastighet inte överstiga 0,15 m/s. Socialstyrelsens nu nämnda rekommendationer framgår av tabellen nedan.

	Riktvärden	Rekommenderade värden
1. Operativ temperatur	Under 18 °C ¹	20–23 °C ²
2. Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C ³	
3. Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C ⁴	
4. Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3 °C
5. Strålningstemperaturskillnad Fönster – motsatt vägg Tak – golv		Ej över 10 °C
		Ej över 5 °C
6. Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s ⁵
7. Ytemperatur, golv	Under 16 °C ⁶	20–26 °C

¹ För känsliga grupper, 20 °C.

² För känsliga grupper, 22–24 °C.

³ Under sommaren, högst 26 °C.

⁴ Under sommaren, högst 28 °C.

⁵ Vid inomhustemperatur över 24 °C kan högre lufthastigheter accepteras.

⁶ För känsliga grupper, 18 °C.

Figur 1: Socialstyrelsens rekommendationer²

2.3. Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten, RF, definieras som kvoten mellan den verkliga ånghalten och mättnadsånghalten. Ånghalt brukar anges i kg vattenånga per m³ luft och RF i procent. Mättnadsånghalten avtar med en minskad temperatur, se Diagram 1.

$$RF = \frac{\text{verklig ånghalt}}{\text{mättnadsånghalt}} \quad [\%]$$

Den genomsnittliga utomhustemperaturen över dygnet ligger under de två första månaderna på året strax under 0 °C³. Den relativa fuktigheten ligger under samma period på 80-90 %. I Diagram 1 jämförs RF vid uppvärmning av nollgradig vattenmättad utomhusluft till 18 respektive 25 °C. Uppvärmning till 18 °C ger en RF på ungefär 30 % medan uppvärmning till 25 °C ger en RF på ungefär 20 %. Enligt socialstyrelsens rekommendationer ska RF inte understiga 30 % och inte överstiga 70 %. Vid RF under 20 % kan människor få besvär med hud och slemhinnor vilket kan leda till torra ögon och läppar, torr hud samt allergi- och andningsproblem. Låg relativ fuktighet påverkar material så att damm och fibrer lättare bildas. Bakterier,

² Socialstyrelsen SOSFS 2005:15(M) Allmänna råd. Temperatur Inomhus

³ Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. www.smhi.se

virus, föroreningar mm fäster vid de svävande dammpartiklarna och transporteras därmed effektivare till människan. Låg luftfuktighet försämrar även flimmerhårens förmåga att förhindra bakterier, smuts etc att nå lungorna. Ofta beror dock upplevelse av torr luft inte endast på låg RF utan även på föroreningar i luften. För material i byggnader kan för låg RF bidra till att material lättare spricker och för högt RF ge upphov till mögel eller svampväxt. Detta är dock endast vid ytterligheter.

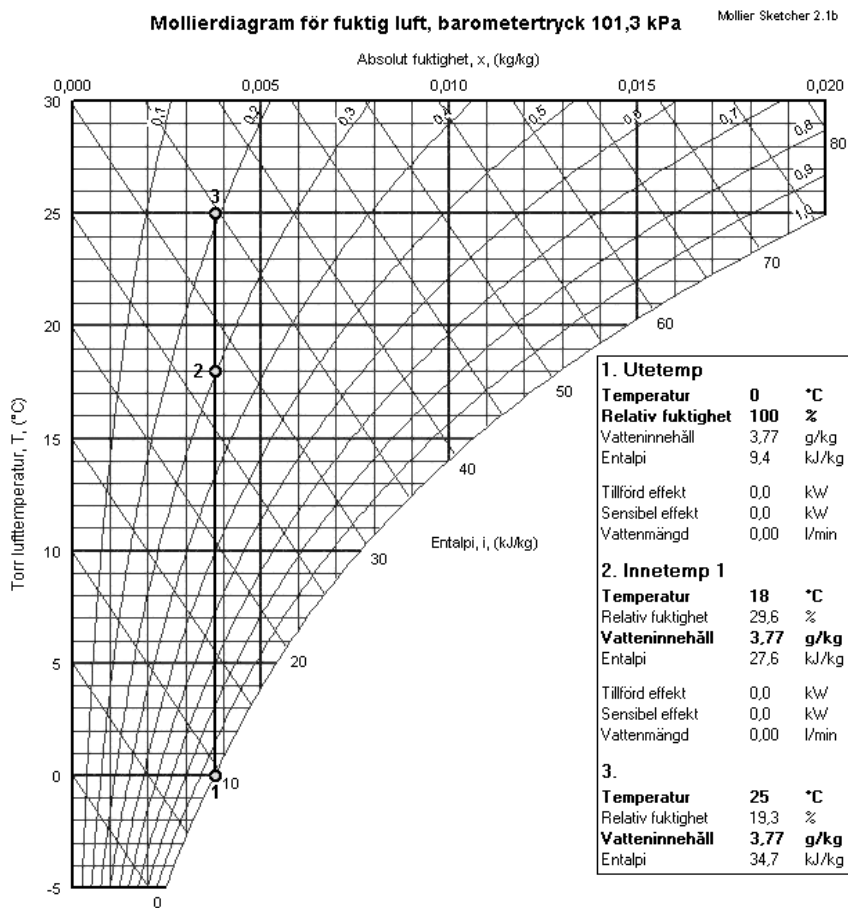


Diagram 1: Mollierdiagram och tabell

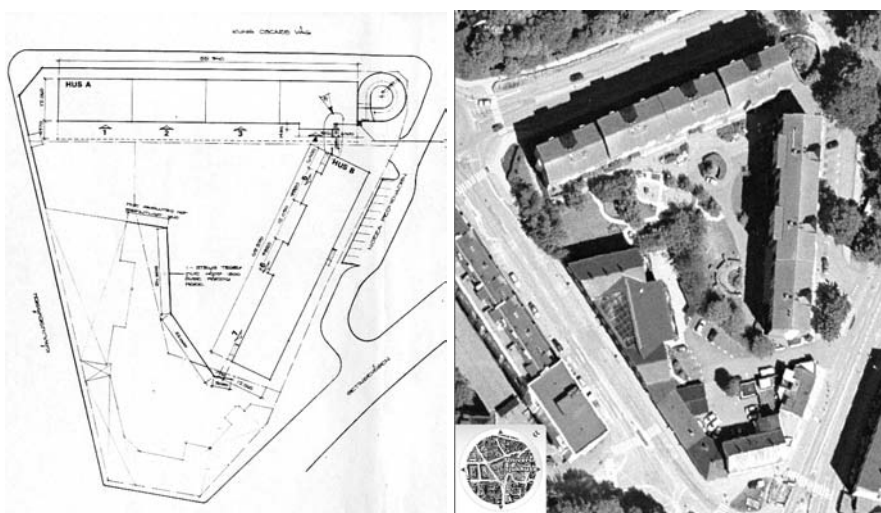
Till inomhusluften tillförs vatten från människor, matlagning, tvätt, dusch etc och förs bort av ventilation. Hur mycket detta påverkar RF inomhus kan vara svårt att uppskatta. En människa avger ca 40-50g vattenånga per timme⁴ och i normala fall kan man räkna överslagsmässigt med ett fukttillskott på 2-4 g/m³ i bostäder vilket motsvarar 0,0017-0,0033 kg vattenånga/kg luft.

⁴ Kenneth Sandin "Värme & fukt – Kompendium i byggnadsfysik"

3 Husens uppbyggnad och funktioner

3.1 Översiktlig orientering

Kvarteret Bryggeriet består av två byggnader. Den nordligaste, hus A, har fyra trappuppgångar med fem till sju våningar medan den södra, hus B, har tre trappuppgångar med sex till sju våningar. Båda husen har källare. I båda husen finns fyra olika lägenhetstyper med mellan 2 och 5 rok, se Tabell 1. Samtliga lägenheter är genomgående med undantag för de med 2 rok. Norra och östra delen av kvarteret ligger mot mycket trafikerade vägar och har därför för de tre nedre våningarna fönsterglas med extra bra akustiska egenskaper.



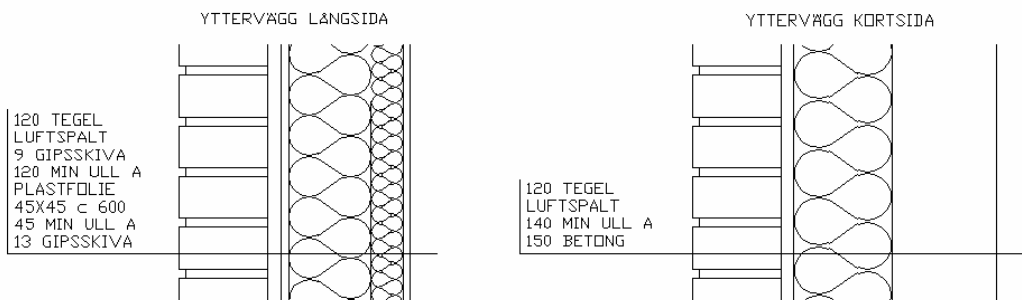
Figur 2: Kvartersöversikt

		5 rok 108m ²	4 rok 98m ²	3 rok 81m ²	2 rok 63m ²
Hus A	Trapphus 1	5	4		
	Trapphus 2	5	5		
	Trapphus 3	5	5		
	Trapphus 4			12	6
Hus B	Trapphus 5			12	6
	Trapphus 6			12	6
	Trapphus 7	5	5		
		20	19	36	18

Tabell 1: Lägenhetsfördelning

3.2 Byggnadsstomme

Byggnaderna är konstruerade med bärande tvärgående innerväggar bestående av 150 mm armerad betong och bjälklag bestående av 190 mm armerad betong. I bjälklagen ligger rör till radiatorrörssystem, ventilation, tapp- och spillvatten samt armering. Ytterväggarna består av ett ytterskal av tegel. Innanför skalet skiljer sig långsidorna och kortsidorna något åt på det sättet att kortsidorna är bärande och har färre lager än långsidorna, se Figur 3: Ytterväggar.



Figur 3: Ytterväggar

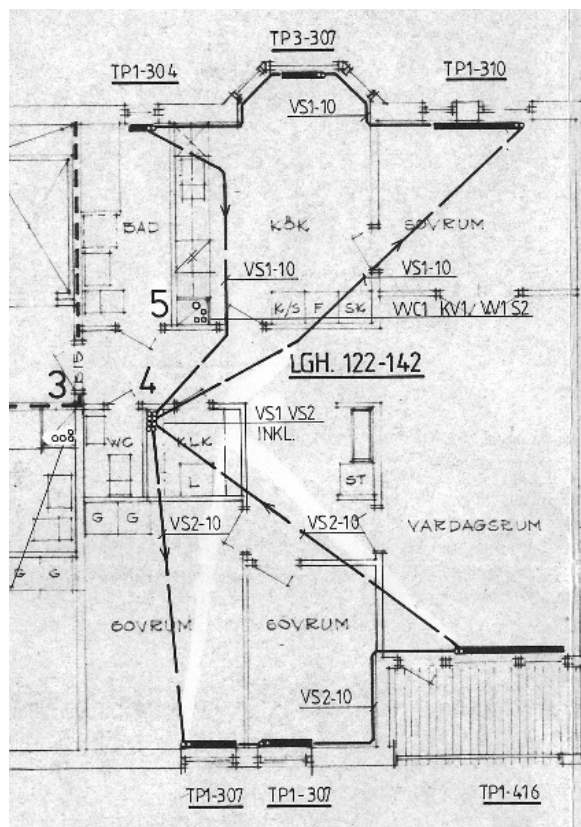
Fönstren i husen är på de nedre våningarna treglasfönster med ett tjockare glas för bättre akustiska egenskaper då husen ligger nära tungt trafikerade vägar. I avseende på värmeisolering kan alla fönstren i byggnaderna anses vara standardfönster. Försök har, utan framgång, gjorts att genom fönstertillverkaren fastställa exakt vilket fönster som är installerat. Det kan emellertid med största sannolikhet antas att fönstren är av standardmodell med ett U värde på omkring $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.3 Fjärrvärme och värmesystem

För de två husen finns en gemensam undercentral, som är belägen under norra delen av hus B. Från undercentralen värmväxlas, justeras och fördelas värmeflödet ut till radiatorerna i husen. I systemet finns fyra temperatursensorer, en per fasad och hus. Framtemperaturen kan ställas in olika för olika tidpunkter på dygnet och kan med hjälp av temperatursensorerna kompensera för olika utomhustemperaturer.

Till varje lägenhet finns två ettrörsslingor med undantag för de minsta lägenheterna som inte är genomgående och bara har en slinga. Huvudflödet ut i lägenheten styrs genom ventiler på stammen som är belägen i en garderob centralt i lägenheterna. Trimventilerna är naturligtvis inte avsedda för de boende själv att ändra på då detta skulle ändra flödet till andra lägenheter anslutna till samma stam. Från dessa går slingor i bjälklaget ut till radiatorerna. Värmeavgivningen från radiatorerna styrs genom att en termostat öppnar eller stänger radiatortillslutningen och därmed tillåter en större eller mindre andel vatten från huvudslingan att passera genom radiatortillslutningen. Huvudslingan har konstant samma flöde.

Enligt inställningsdokumentationen för värmesystemet var grundinställningen för den lägenhet som i rapporten utgör referenslägenhet (lägenhet 341) 30 l/h för VS1 (söderfasad) och 51 l/h för VS2 (norrfasad). Gavel- och topplägenheter har något större värmeflöde än övriga lägenheter. Utöver värmefördelningen till radiatorsystemet växlas värme för tappvarmvatten i undercentralen. Sekundärvärmen är dimensionerad för 80-60°C.



Figur 4: VS ritning över lägenhet 122-142

3.4 Ventilation

Ventilationssystemet i husen är ett så kallat FTX system, det vill säga ett system där frånluft värmeväxlas med tilluften. Värmeväxlare finns ovanför köksfläktarna, en per lägenhet. Tilluften tas från ett insug beläget utanför köket, se Bild 1, och frånluften sugas upp och avges från taket för att säkerställa att den inte åter sugas in i ventilationsinsuget eller dras in i lägenheterna vid vädring. För detta ändamål finns ”boosterfläktar” på taket för att underlätta utsuget av frånluft.

Värmeväxlaren, som har automatisk avfrostning, är av korsströmstyp med luftvägarna för till- och frånluft helt åtskilda. Luftflödet vid normalventilation är justerbart mellan 20- och 55 l/s. Verkningsgraden är ca 65 % vid ett flöde på 35 l/s vilket är grundinställningen för ventilationen.

Luftflödet var ursprungligen inställt på gränsen till för lågt för att fräsch inomhusluft skulle kunna uppnås. I referenslägenheten var luftflödet 37 l/s enligt inställningsdokumentationen. Detta kan omvandlas till 0,343 l/m²s vilket är marginellt under 0,35 l/m²s som är det flöde som brukar räknas som minimum.



Bild 1: Norrfasad Byggnad A, Kv Bryggeriet

Eftersom lägenheterna är försedda med värmeväxlare för luften kommer den ingående luften att kunna hålla en relativt sett hög temperatur. Detta är fördelaktigt dels då man utnyttjar den energi man redan stoppat in i byggnaden och dels för att man undviker stora temperaturskillnader mellan tilluft och innetemperatur vilket annars kan bidra till dålig inomhuskomfort. Se bilaga 2 för bruksanvisning för värmeväxlare.

3.5 Övriga installationer

Andra installationer och apparater i hemmet har en betydande inverkan på inomhusklimatet. Framst bidrar de till ett värmestillskott. Hur stort detta är kan förenklat uppskattas till samma värde som de har angiven energiförbrukning. Uppskattningsvis kan man räkna med att ett normalt hushåll har ett värmestillskott på ungefär 10-15 kWh/dygn. Som exempel kan nämnas att moderna frys och kylar förbrukar ungefär hälften så mycket energi som gamla och lågenergilampor förbrukar ungefär 20 % av motsvarande glödlampor. Man kan således i stor grad själv påverka hur värmestillskottet och elkostnaden blir genom att göra ett bra val av apparater och slå av dem när de ej används.

4. Fältmätningar och statistik

4.1 Temperaturmätningar utomhus för mätperioden

För att kunna jämföra och tolka de mätningar som genomförts i husen har även utomhustemperaturen mätts som en referenstemperatur. Mätningarna av utomhustemperaturen har gjorts på en balkong i söderläge på skuggad plats med en temperaturlogger. Olyckligtvis slutade loggern av okänd anledning att fungera en bit in i mätperioden varför inte värden för hela perioden kan redovisas. Utöver de på egen hand uppmätta temperaturvärdena har värden för dygnsmedeltemperatur, Solstrålningstimmar och globalstrålning har hämtats från SMHI.

Av de mätningar som kunde tas tillvara av den egna utomhustemperaturloggningen framgår att utomhustemperaturen under perioden 2006-03-10 till 2006-03-25 varierade mellan $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ och dygnens genomsnittstemperatur mellan ca $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se bilaga 1 för diagram över temperaturen.

Jämför man med temperaturvärdena hämtade från SMHI ser man att dygnsnittet ligger något högre vilket kan förklaras med att loggern låg på balkongen där värme från huset värmer upp något. Under dagarna med få soltimmar varierar temperaturen över dygnet betydligt mindre än under dagar med många soltimmar.

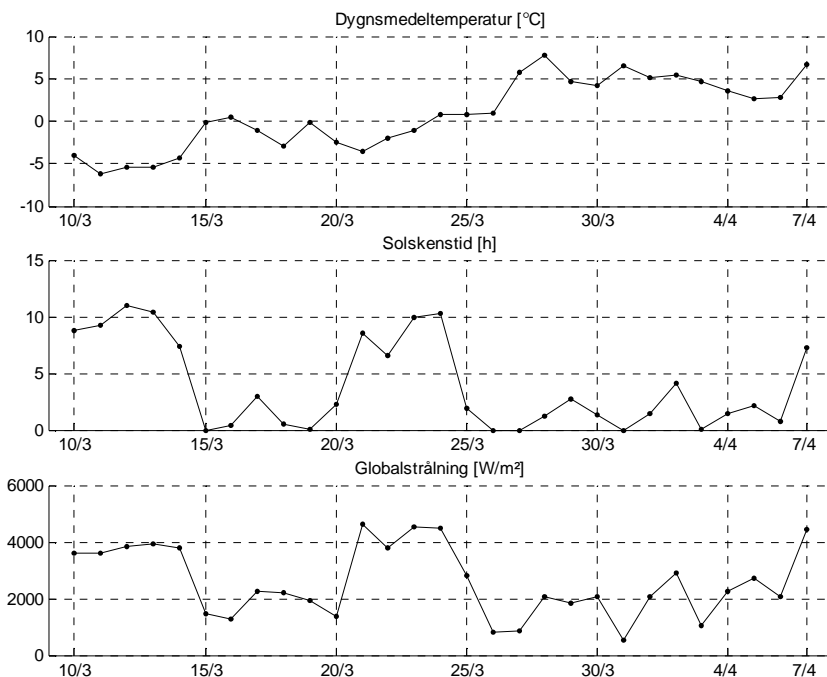
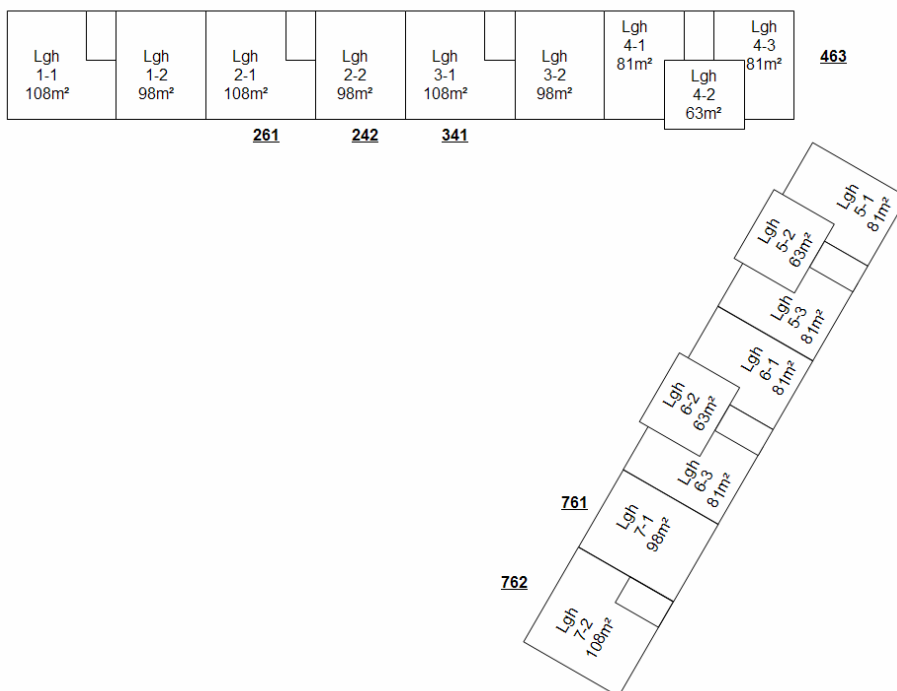


Diagram 2: Värden från SMHI

4.2 Innetemperaturmätning med loggrar

För att ta reda på temperaturläget i byggnaderna valdes sex lägenheter ut för mätningar. Urvalet gjordes med målet att få med olika lägenhetstyper på olika platser i husen för att kunna se eventuella skillnader och även för att få en så komplett bild som möjligt över temperaturläget i husen. Figur 5 beskriver var lägenheterna där mätningar genomfördes ligger. Den första siffran i lägenhetsnumret anger trappuppgång, den andra våningsnummer och den sista läget i trappuppgången.



Figur 5: Lägenhetsorientering. I lägenheter med understruket lägenhetsnummer genomfördes mätningar.

Loggrarna placerades centralt i lägenheterna på en plats där de inte var utsatta för direkt solstrålning eller drag. Loggrarna registrerade värden på temperatur och luftfuktighet var 15:e minut under perioden 2006-03-09 till 2006-04-10. För att förenkla beräkningar och presentation av mätdata redovisas endast data för perioden 2006-03-10 kl: 06.00 till 2006-04-07 kl: 05.45. Att dygnet redovisas med dygnsbrytning 06.00 beror på att det vid den tidpunkten sker en temperaturökning och genom att lägga brytningen där i diagrammen var tanken att läsare lättare skulle kunna jämföra de olika diagrammen.

Innan fältmätningarna påbörjades genomfördes en mätning där loggrarna under ett dygn fick ligga på samma plats för att se hur väl de stämde överens med varandra. Av mätvärdena plockades värden vid fem tidpunkter ut för jämförelse. Medelvärdet för serierna varierade något men när serierna justerats med detta var variationen mellan mätvärdena aldrig större än $\pm 0,06$ °C.

Diagrammen har jämförts med värde från SMHI och utetemperaturmätningen för perioden. Variationerna är dock för små för att säkert kunna påvisa vilket samband som råder, speciellt som värmesystemet kompenserar för variationer i utomhustemperaturen. Dessutom har aktiviteter inomhus, solstålning etc betydande inverkan på inomhustemperaturen. Variationen över perioden är liten. Genomsnittsvärdena för dygnen varierar inte mer än $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ för någon lägenhet under mätperioden medan det för de flesta är betydligt mindre variation. Detta måste anses bra med tanke på temperaturvariationen utomhus som dygnsvis varierade mellan -5 och $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ och över dygnet upp till $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vid studie av de kompletta temperaturloggningarna är variationen även då liten och är aldrig mer än $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ från medeltemperaturen för perioden. Att den variationen blir större beror på bland annat på den sänkning av temperaturen ut från undercentralen som sker nattetid.

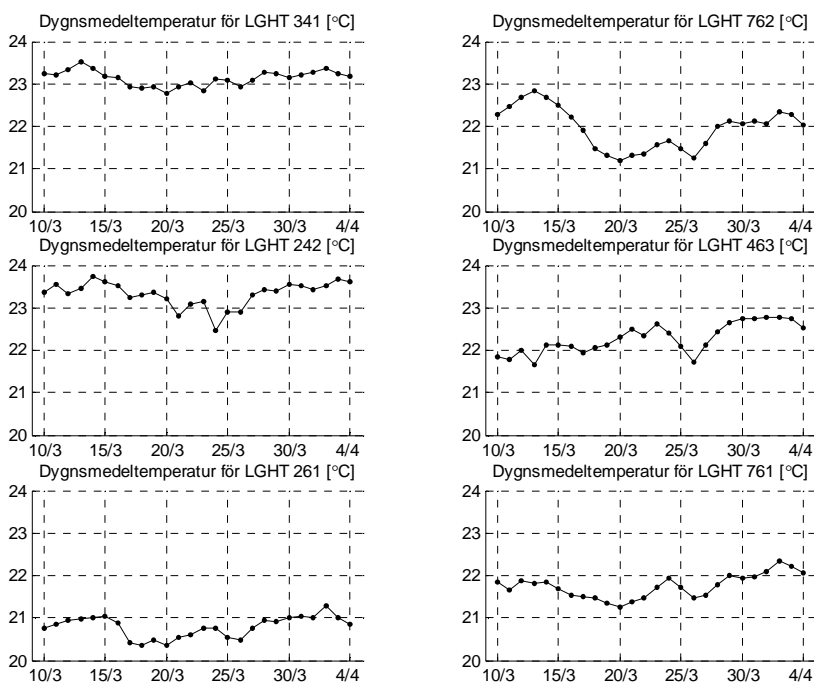


Diagram 3: Dygnsmedeltemperatur för sex olika lägenheter

Temperaturen varierade över dygnet med en genomgående lägre lufttemperatur under tidig morgon följt av en temperaturhöjning som håller sig till runt 18-tiden. Detta beror delvis på den naturliga temperaturvariation utomhus men sannolikt även på de inställningar som är gjorda i undercentralen. Framtemperaturen sänks något under natten och lägsta temperatur över dygnet uppträder på morgonen vid 07.00. En ökning av inomhustemperaturen uppträder strax efter 07.00. Detta kan förklaras delvis med den ökning av framtemperatur till radiatorerna som är inställd och som uppmätts i undercentralen, se 4.3.1 Framtemperatur för de fyra fasaderna.

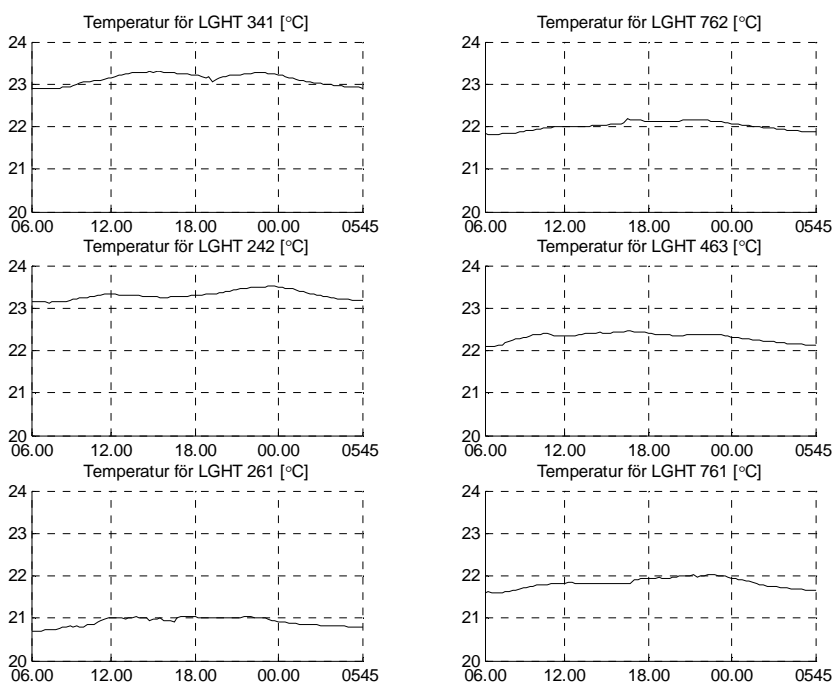


Diagram 4. Genomsnittstemperatur över dygnet

Den uppmätta temperaturen beror givetvis inte bara av värmesystemet utan påverkas även, som nämnts, av solinstrålning och utomhustemperatur. Solstrålningen bör ge en ökning i inomhustemperatur under dagen och utomhustemperaturen medföra en ökning av inomhustemperaturen under dagen och en sänkning under natten.

Temperaturen ligger för alla lägenheter inom det rekommenderade intervallet. Dock har framkommit att ansträngningar görs i vissa lägenheter för att sänka temperaturen vilket innebär att diagrammen visar en lägsta möjlig nivå för temperaturen. Detta gäller för lägenhet 341. Hur vida det gällde för övriga lägenheter har inte säkerställts.

4.3 Temperaturmätningar i undercentralen

4.3.1 Framtemperatur för de fyra fasaderna

För att se hur den faktiska temperaturen in och ut i värmesystemet såg ut genomfördes temperaturloggningar i undercentralen mellan 2006-03-16 och 2006-04-03. Under första delen av perioden, 2006-03-16 till 2006-03-27, mättes framtemperaturen för samtliga fyra fasader (norr och syd för hus A, öst och väst för hus B). Under andra delen av perioden, 2006-03-27 till 2006-04-03, mättes fram och returtemperatur för fasaderna till hus A. Vid jämförelse med utomhustemperaturen syns tydligt att framtemperaturen är högre under de kallare dagarna.

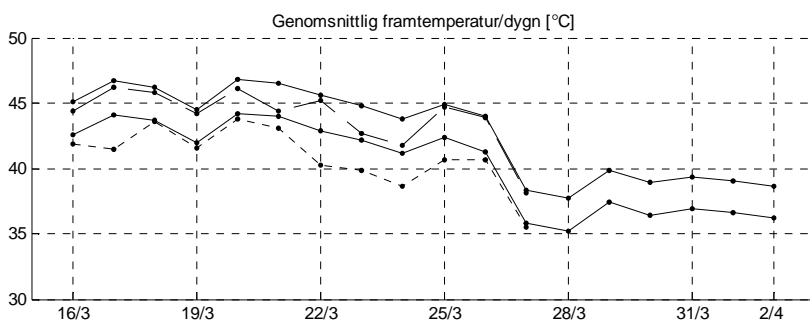


Diagram 5: Genomsnittlig framtemperatur/dygn från UC

Vid studie av den första periodens temperaturloggning syns tydligt ett mönster i temperaturfördelningen över dygnet. Den högsta uttemperaturen uppstår runt klockan 06.00 på morgonen och sjunker därefter. Då detta mönster är mycket tydligt presenteras temperaturfördelningen i en genomsnittlig dygnstemperaturkurva.

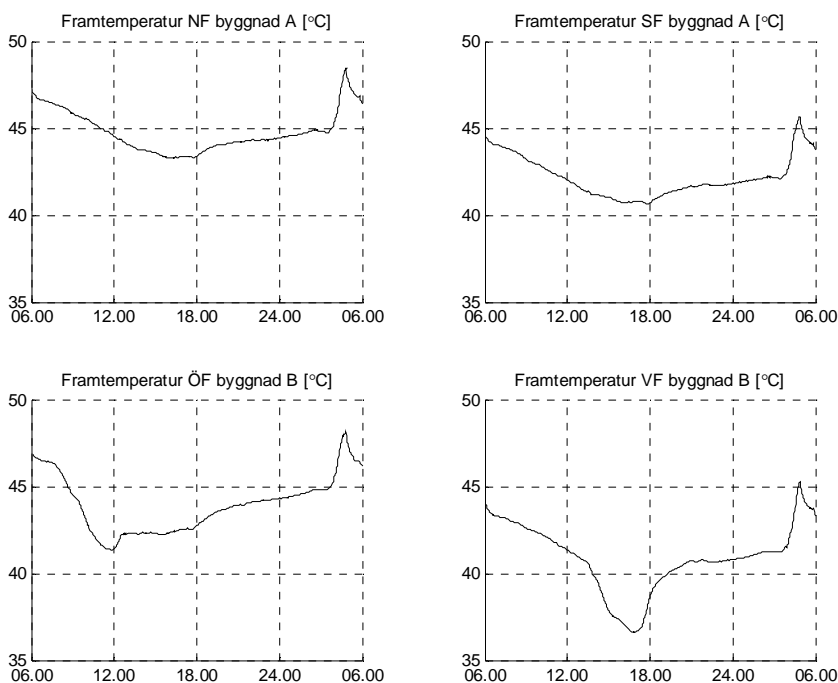


Diagram 6: Framtemperaturer från undercentral

Man ser tydligt att framtemperaturen är högre till norr- och östfasad. Om detta beror på en inställning i undercentralen eller på undercentralens temperatursensorer har inte undersökts. Det är dock rimligt att mer värme behövs till norr och östfasad än till de andra fasaderna på grund av den mindre solstrålningen till norr och östfasaderna.

4.3.2 Fram och returtemperatur för fasaderna hos byggnad A

Under andra mätperioden mättes fram och returtemperaturen för fasaderna i byggnad A. Även här var ett visst mönster tydligt och redovisas i diagram 7.

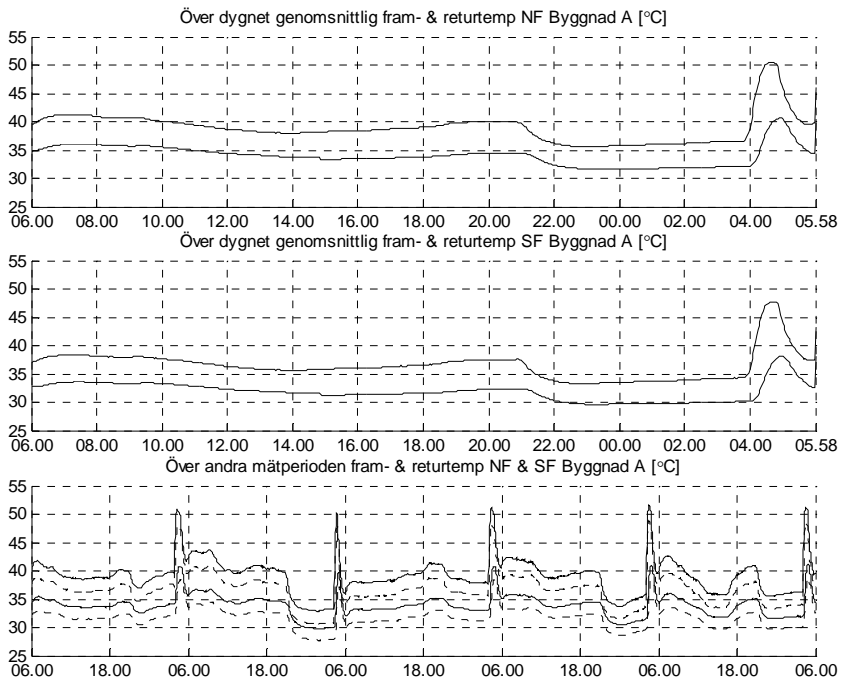


Diagram 7: Fram och returtemperatur från undercentralen för hus A.

Av mätningarna framgår att det genomgående finns en värmedifferens mellan fram och returtemperatur på cirka 5,3 °C för norrfasad och 5,0 °C grader för sydfasad. Över dygnet sker under mätperioden en sänkning av framtemperaturen vid klockan 21.00 som varar till klockan 04.00 då en betydande höjning sker under ungefär en timmes tid.

4.3.3 Loggning av relativ fuktighet

Loggerutrustningen som användes för mätning av inomhustemperaturen medgav även mätning av den relativa fuktigheten vilken därför mättes samtidigt. Värdena har korrigerats med hjälp av referensvärden mätta på samma sätt som för temperaturloggningen. Följande diagram är resultatet av dygnsmedelvärdet för lägenheterna.

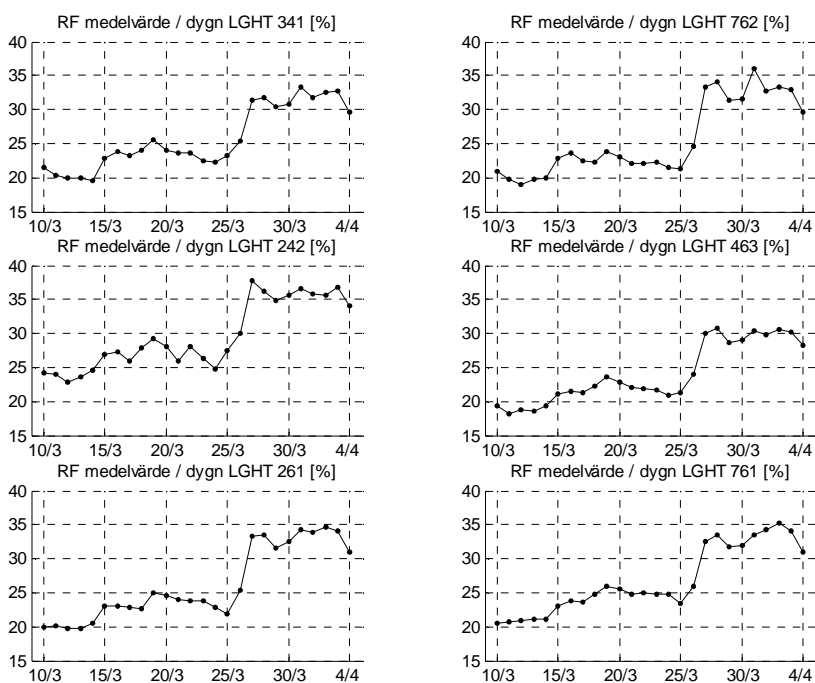


Diagram 8: Relativ fuktighet

Under de första dagarna av mätperioden ligger RF på en låg nivå för samtliga lägenheter. De första fem dagarna ligger RF under 25 % och utomhustemperaturen ligger på runt -5 °C. Dag fem till femton ligger temperaturen på ca 0 °C för att sedan öka och ligga runt +5 °C under resten av mätperioden. Den av socialstyrelsen rekommenderade RF inomhus uppfylls endast de sista tio dagarna av mätperioden. En sänkning av inomhustemperaturen med tre grader skulle medföra en ökning av RF inomhus med dryga 5 % vilket med avseende på relativ fuktighet skulle förbättra inomhusklimatet.

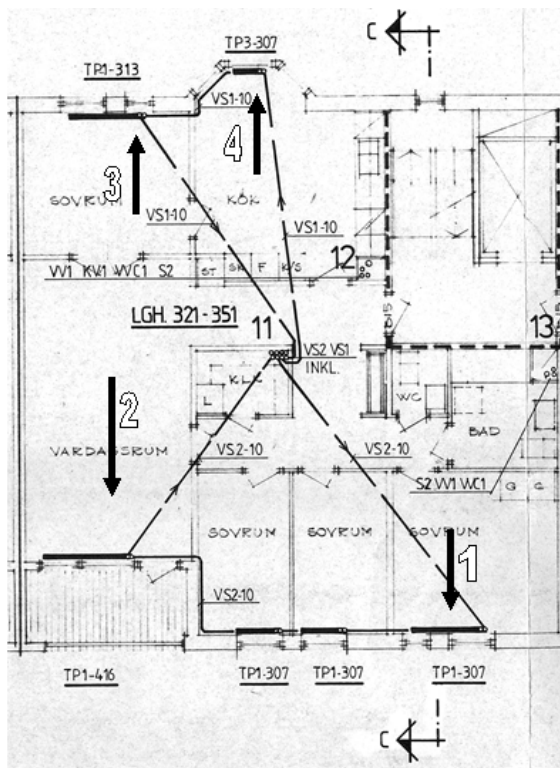
För samtliga lägenheter syns en tydlig ökning av luftfuktigheten strax efter mät dag 5 och 15. Detta torde bero på att utomhustemperaturen just då ökar vilket medför att utomhusluften kan hålla större mängd vatten vilket tydligt visar sig på inomhusmätningarna.

Över dygnet är RF genomgående något större under dagen. Detta torde bero på att uteluften är varmare och kan hålla mer fukt under dagen samt att hushållsaktiviteter under dagen bidrar till ett visst fuktillskott.

4.4 Yttertemperaturmätningar med värmekamera

Fotografering med värmekamera genomfördes för att undersöka om misstanken om värmeläckande radiatorvattenrör i bjälklagen stämde och för att få bilder som enkelt kunde visualisera värmspridningen. Fotograferingen genomfördes 2006-03-15 mellan 14.00 och 15.00 i lägenhet 341 med kamera av modell ThermaCam RF45. Analyser av bilderna genomfördes med bildanalysprogram ThermaCAM Researcher Basic 2.8 SR-1.

Av mätningar och analys med datorprogram framgår att bjälklaget håller en mycket hög temperatur vid ytterväggar där rör för radiatorsystemet är ingjutna. Värmspår av rören går även att se i bjälklagen mer centralt i lägenheterna men är där betydligt svagare. Vid de flesta radiatorer kunde temperaturer i taket på uppemot 30 °C uppmätas. En anledning till att värmspåren i golvet är mindre är sannolikt att ytmaterial i golvet, bland annat av komfortskäl, är värmeisolerande medan det i taket saknas något sådant ytmaterial. En annan kan vara att värmerören lagts rakt på armeringen innan gjutning vilket då skulle innebära att rören blev placerade i undre delen av bjälklaget. Dessutom kan konvektion påverka värmeöverföringen då den medför att värme bortförs effektivare från golv än tak och att golv därmed kommer hålla en lägre temperatur än tak.



Figur 6: Beskrivning av fotograferade platser.

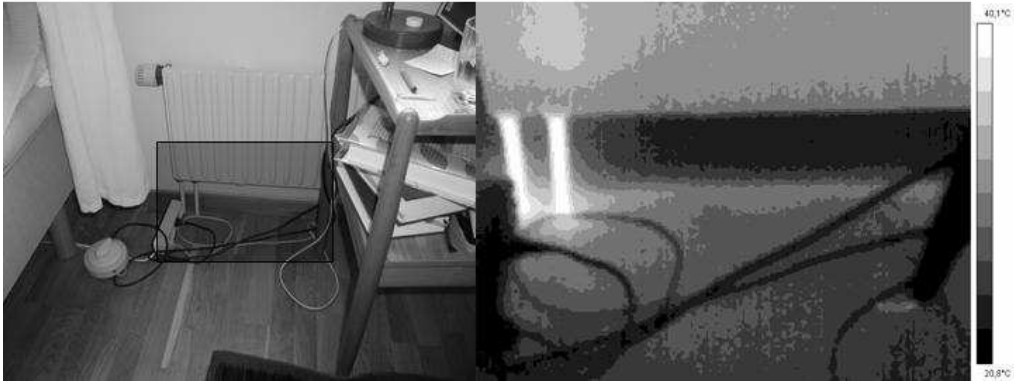


Bild 2: Värmenivåer vid punkt 1, golv, sovrum. Värmespår i bjälklaget kan observeras under radiatorn och i en vinkel ca 45 grader från radiatorn. Värmeskalan sträcker sig mellan ca 21 - 40 °C.



Bild 3: Värmenivåer vid punkt 1, tak, sovrum. Värmespår kan observeras i bjälklaget fram till vänstra kanten av fönstret där den viker in ca 45 grader mot lägenhetens centrum. Värmeskalan sträcker sig mellan ca 18 - 31°C.

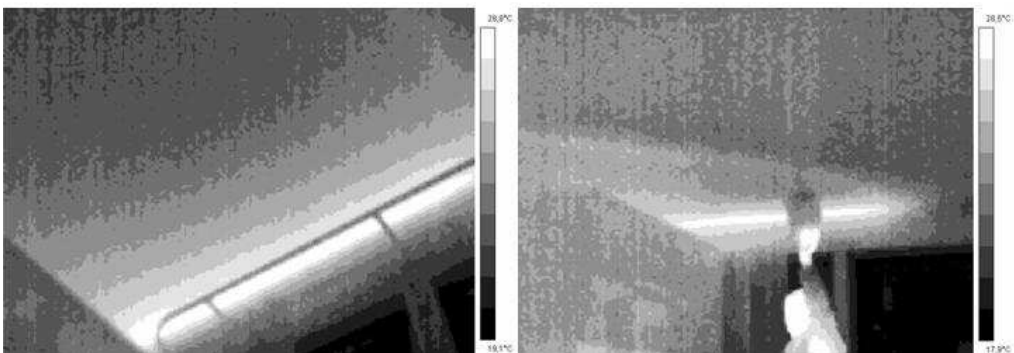


Bild 4: Värmenivåer vid punkt 2, tak, vardagsrum. Värmeskalan sträcker sig mellan ca 18 - 29 °C.

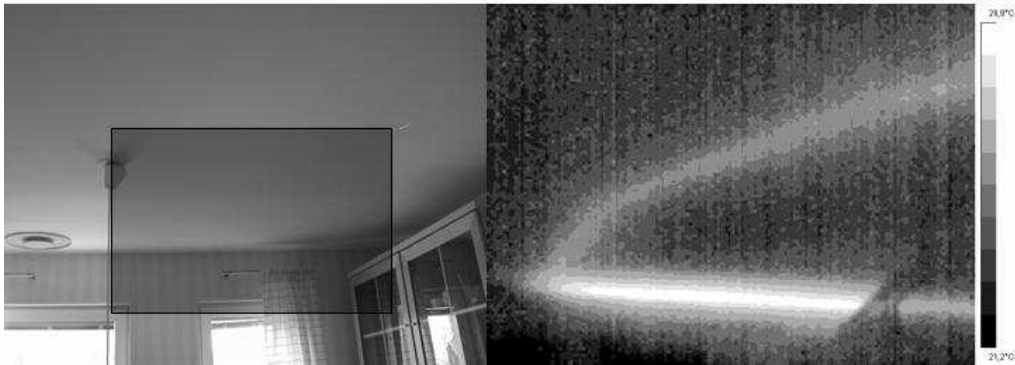


Bild 5: Värmenivåer vid punkt 3, tak, sovrum. Mycket markanta värmespår i taket. Där röret avviker från väggen håller bjälklaget en temperatur på ca 27 °C. Värmeskalan sträcker sig mellan ca 21 - 30 °C.



Bild 6: vid punkt 4, tak, kök. Värmeskalan sträcker sig mellan ca 17 - 29 °C.

4.5 Förbrukningsstatistik

4.5.1 Fjärrvärmeförbrukning

Värmeförbrukningen har varit högst runt 1986. Därefter har förbrukningen sjunkit för att stabiliseras på ungefär 115 kWh/m² boarea. Detta är ett bra värde om man jämför med SCB´s värde som genomsnittligt uppgår till 123 kWh/m² för flerbostadshus med fjärrvärmeuppvärmning uppförda 1981-1990 i Skåne.⁵

För att kunna tolka värmeförbrukningsstatistiken på ett adekvat sätt bör en referens mot utetemperaturen finnas. En sådan finns att tillgå i form av graddagar som är ett temperaturmått över en period. Genom att jämföra graddagar per år med ett referensvärde kan ett värde tas fram som är i förhållande till referensen.

För att se samband mellan graddagar och värmeförbrukning viktades graddagarna mot genomsnittliga värmeförbrukningen. På översta diagrammet är detta gjort för fjärrvärmevärdena för hela perioden. På det mittersta diagrammet är det viktat för perioden 1987-1998 då det under den perioden verkar följa antalet graddagar.

⁵ Statistiska centralbyrån. www.scb.se

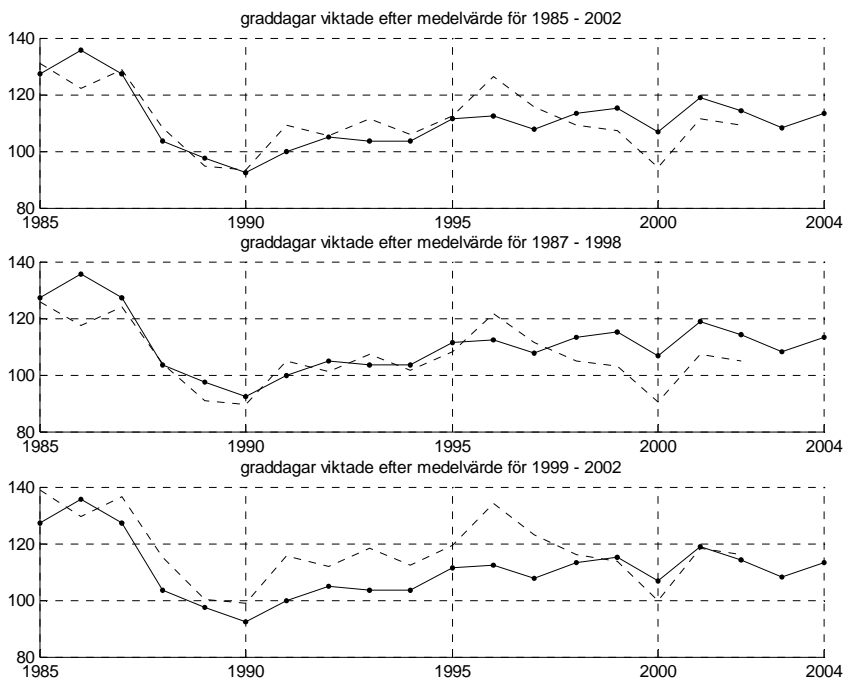


Diagram 9: Värmeförbrukning i kWh/m² och år jämfört med viktade graddagar. Heldragen linje anger värmeförbrukning och streckad linje anger referenslinje skapad med utgångspunkt från graddagar.

Värmeförbrukningen och referenskurvan avseende graddagar följs åt. Fram till 1987 bör avvikelserna bero på till exempel injusteringar. Varför kurvorna går från varandra efter 1997 har inte fastslagits. Dock verkar kurvorna följa varandra även efter det, om än med en viss differens. Kurvans utseende skulle möjligtvis kunna vara resultatet efter en omställning i undercentralen eller ändring i installationer 1996-1997.

Tappvattenförbrukningen påverkar till viss del den totala värmeförbrukningen genom att värmen även används för att värma tappvatten. Överslagsmässigt har uppskattats att 35 % av tappvattnet värms upp från 10 °C till 55 °C. Denna andel har beräknats enligt formeln nedan och plottats in i Diagram 10: Total värmeförbrukning och uppskattat uppvärmningsbehov för tappvatten.

$$P = 0,35 \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T}{1000 \cdot 3600} = 0,35 \cdot \frac{V \cdot 1000 \cdot 4200 \cdot 45}{1000 \cdot 3600} = 18,4 \cdot V$$

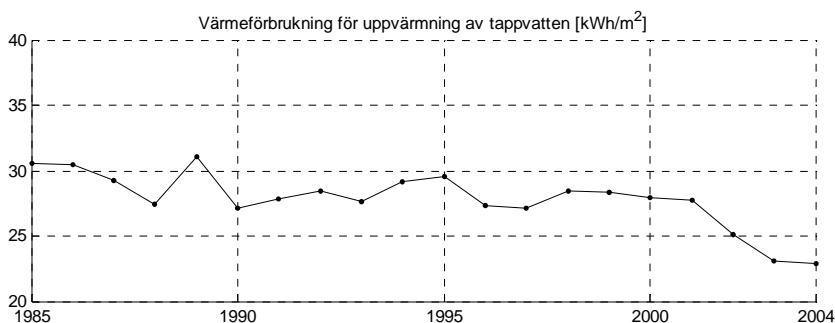


Diagram 10: Total värmeförbrukning och uppskattat uppvärmningsbehov för tappvatten.

4.5.2 Vattenförbrukning

Vattenförbrukningsnivån har legat ganska jämnt men minskat med drygt 15 % efter 2001. Detta skulle möjligtvis kunna bero på införandet av vattensparutrustning som kan reducera vattenbehovet avsevärt och således även bidra till viss besparing av värme. Skillnaden i energiförbrukning för tappvattenuppvärmning före år 2001 och efter 2003 är ca 7 kWh/m² vilket kan räknas om till sammanlagt ca 56 MWh för byggnaderna.

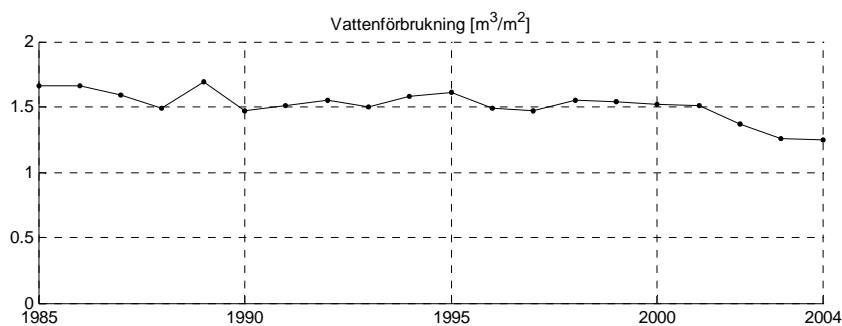


Diagram 11: Vattenförbrukning/m² boarea

4.5.3 Elförbrukning

Även elförbrukningen har minskat med tiden. Fastighetselen används för vattenpumpar, ventilation, gemensam belysning med mera. Orsaken till den minskande elkonsumtionen kan vara mindre åtgärder exempelvis kontinuerligt utbyte till energieffektivare lampor. Inga större åtgärder som påverkar elförbrukningen verkar dock vara gjorda. Den initialt högre elkonsumtionen beror sannolikt på inkörning av fläktar och pumpar.

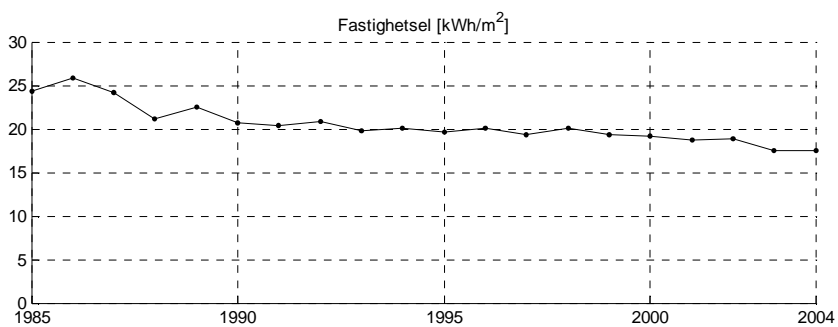


Diagram 12: Elförbrukning

5. Beräkningar

5.1 Värmeöverföring mellan lägenheterna

Mellan de lägenheter som inte håller samma temperatur kommer värme att spridas från den varmare till den kallare lägenheten. Väggarna mellan lägenheterna består av 150 mm solid betong och kommer således inte att stoppa värmeöverföring mellan lägenheterna särskilt bra. Värmeflödet genom väggarna kan beräknas som:

$$U = \frac{1}{\sum R} \quad [W / m^2 K]$$

Under förutsättningen att ytvärmemotståndet är lika stort oavsett om värmen leds in i väggen eller från väggen till luft och bortsett från eventuella ytmaterial så gäller:

$$U_{\text{väggar}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_s + \alpha_k}\right) + \frac{d_{\text{btg}}}{\lambda_{\text{btg}}} + \left(\frac{1}{\alpha_s + \alpha_k}\right)} \quad [W / m^2 K]$$

Författaren har valt att beräkna ytvärmemotståndet istället för att bara använda schablonsiffror för att få en tydligare bild över värmespridningen. Vid beräkningarna gäller följande formler:

$$\alpha_s = 4 \cdot \varepsilon_{12} \cdot \sigma_s \cdot \left(\frac{T_{\text{yta}} + T_{\text{luft}}}{2}\right)^3 \quad [W / m^2 K]$$

$$\frac{1}{\varepsilon_{12}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \quad [-]$$

$$\alpha_k = 2 \cdot |T_{\text{luft}} - T_{\text{yta}}|^{\frac{1}{4}} \quad [W / m^2 K]$$

Där

A α_s = Värmeöverföringskoefficient p g a strålning	[W/m ² K]
α_k = Värmeöverföringskoefficient p g a konvektion	[W/m ² K]
ε_1 = Emittans från yta 1	[-]
ε_2 = Absorptans av yta 2	[-]
$\sigma_s = 5,7 \cdot 10^{-8}$	[W/m ² K ⁴]
T_{yta} = Temperatur materialyta	[K]
T_{luft} = Temperatur luft	[K]
$\lambda_{\text{betong}} = 1,3$	[W/mK]

För att få fram rätt värde för värmeledningen har sambanden satts upp och beräknats genom iteration i Matlab. Vid beräkningarna förutsätts väggen vara symmetrisk. Beräkningarna är genomförda från mitten av väggen till den varmare sidan. Resultatet som redovisas i graferna anger värden för hela väggen, de framräknade värdena har alltså justerats.

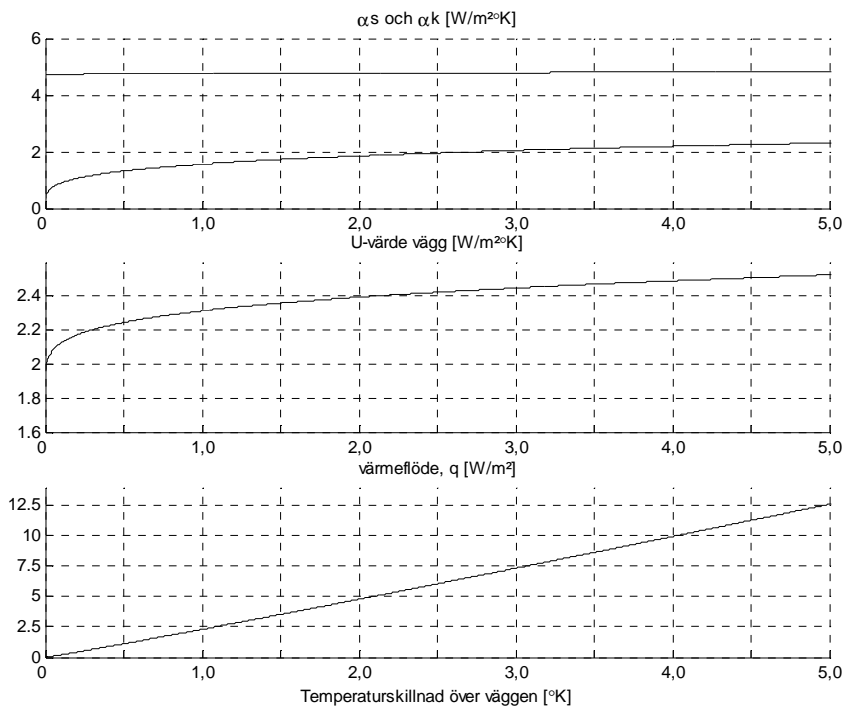


Diagram 13: Värmemotstånds- och värmeflödesberäkningar för en innervägg förutsatt att temperaturen mitt i väggen är 21 °C. I det översta diagrammet är den översta linjen α_s .

Av diagrammen ser man att temperaturskillnaderna har ganska liten betydelse för värmemotståndet. Endast för den del som beror på luftkonvektion går det att se någon betydande förändring med förändring av temperaturen. Temperaturskillnaden mellan två grannlägenheter kommer så gott som aldrig vara större än 4 °C. Inom detta intervallet ligger U-värdet på 2-2,4 W/m^2K .

Värt att kommentera är att betongens värmemotstånd är i samma storleksordning som luftövergångsmotståndet som således endast utgör en tredjedel av det beräknade värmemotståndet. Den angränsande väggytan är ungefär densamma för alla lägenheter vilket innebär att även värmeöverföringen per grad är samma och kan beräknas till ungefär:

$$P = A_{vägg} \cdot U_{vägg} = 10 \cdot 2,4 \cdot 2,3 = 55,2W / K$$

För bjälklaget mellan lägenheterna beror värmeflödet på om värmen leds uppåt eller neråt eftersom varm luft stiger och α_k kommer att vara betydligt större om golvet är varmare än luften än tvärt om.

Temperaturgradienten är den naturliga temperaturskiktningen som uppstår i ett utrymme beroende av luftens densitetsegenskaper vid olika temperaturer. Denna varierar mellan olika lokaler och beror på till exempelvis uppvärmningsystem då en lokal med golvvärme har en väldigt liten temperaturgradient. Lägenheterna i kvarteret Bryggeriet kommer sannolikt inte ha en jättestor temperaturgradient då en viss värme sprids från rören i bjälklagen. Dessutom är takhöjden inte särskilt hög vilket medför att temperaturskillnaden mellan golv och tak blir mindre än om takhöjden varit stor.

Vid fallet att lufttemperaturen ovanför bjälklaget är större än lufttemperaturen under kommer mycket liten konvektion ske och α_k kan sättas till ett värde mellan 0,3 och 0,8⁴. Då kommer följande samband gälla:

$$U_{golv} = \frac{1}{2 \cdot \left(\frac{1}{4,75 + \alpha_k} \right) + \frac{0,190}{1,3}} = 1,84 - 1,97 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°K}$$

Vid fallet att bjälklaget håller en högre temperatur än lufttemperaturen både över och under bjälklaget vilket skulle bli fallet när vattenrören värmer upp bjälklaget kommer följande samband gälla:

$$U_{golv} = \frac{1}{\left(\frac{1}{4,75 + 0,6} \right) + \frac{0,190}{1,3} + \left(\frac{1}{4,75 + 2} \right)} = 2,08 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{°K}$$

Ytmaterial är ej med i beräkningen. Olika golv har olika egenskaper, dock utgör ytmaterialet en relativt liten del av värmeledningsmotståndet, mindre än 0,1 W/m²K för ett linoleumgolv med värmemotståndstal på 0,012 m²K/W.

Vid en temperatur på exempelvis 21 °C under bjälklaget och 20 °C över, vilket är ett troligt scenario om inte exempelvis radiatorvattenrör tillför värme, kommer det att överföras uppåt 27 W/ m² dygn vilket för de minsta lägenheterna blir uppåt 1,7 kW/dygn och 2,9 kWh/dygn för de största. Värt att nämna än en gång är att temperaturgradienten kommer att medföra att det oftast sker ett visst värmeflöde vertikalt genom lägenheten. En lufttemperaturskillnad mellan två lägenheter på en grad kommer om man räknar med en temperaturgradient på 2 °C medföra en yttemperaturskillnad för bjälklaget på 3 °C.

⁴ Kenneth Sandin "Värme och fukt - Kompendium i byggnadsfysik" Lund 1996

5.2 Värmeberäkningar på radiatorer och radiatorrör i bjälklag.

Beräkningarna som genomförs grundas på de mätvärden som uppmättes under den senare delen av mätperioden. Som tidigare framgått var utomhustemperatur och framledningstemperatur olika under vad baserat på temperaturintervall kan dela in i tre olika temperaturperioder. Den första då utomhustemperaturen var -5 °C , den andra då utomhustemperaturen var 0 °C och den sista då temperaturen var $+5\text{ °C}$. Under den sista perioden mättes både fram och returtemperatur från undercentralen vilket är en viktig grund för att genomföra beräkningar på värmesystemet. Följande värden används:

Inomhustemperatur:	22 °C
Framledningstemperatur:	36 °C
Temperaturfall	5 °C

Genom formler från produktdatablad kan ett F värde beräknas. Den nominella radiatoreffekten dividerat med F blir den reella effekten som redovisas i det nedre diagrammet. Mer om beräkningar på radiatorer och F-värde finns i bilaga 6 och 7.

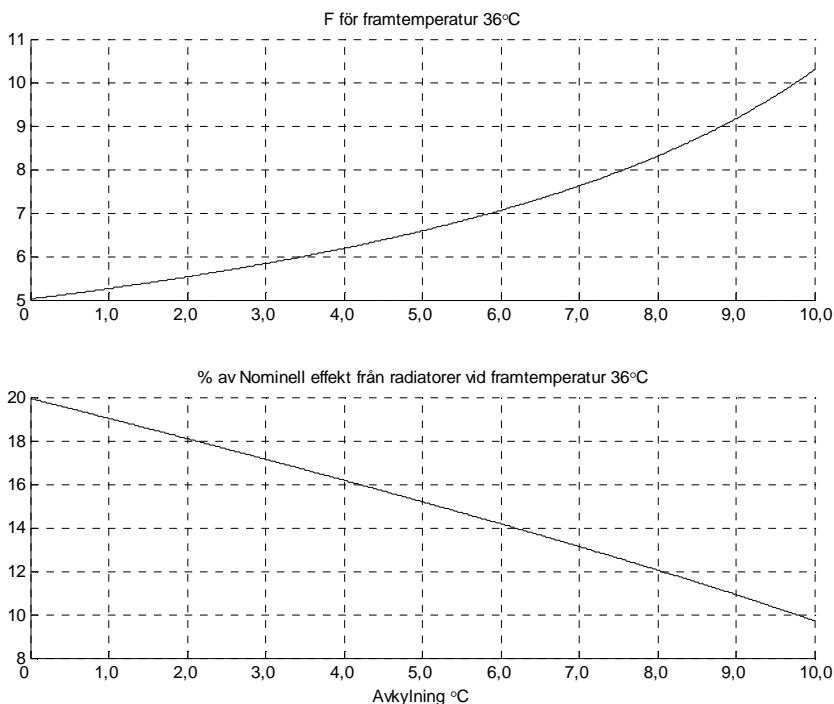


Diagram 14: F-värde och effektdiagram för radiatorer. Genom att dividera den nominella radiatoreffekten med F-värdet fås den verkliga effekten som plottas som % av den nominella effekten i det undre diagrammet.

Beräkningarna visar att radiatorerna under förutsättningarna som rådde under mätperioden max kommer att kunna ge 20 % av den nominella radiatoreffekten. Detta kommer i realiteten aldrig ske då viss avkylning alltid kommer ske i radiatorvattenrören.

Under perioden då framtemperaturen var 36 °C var dygnets genomsnittstemperatur ca +5 °C. Under ett tidigare skede av mätningarna var utomhustemperaturen -5 °C vilket medförde en framtemperatur på +45 °C. En så hög framtemperatur hade medfört en maxeffekt på ca 42 % av den nominella. Dock hade avkylningen blivit större vilket i sin tur medfört en viss reduktion på den verkliga effekten.

Beräkningar för olika lägenheter har genomförts och redovisas som bilaga 7. Här nöjer sig författaren att redovisa det som gäller för lägenhet 341 då denna kan ses som representativ för flertalet lägenheter och noggrannare mätningar utförts där.

Summa nominell radiatoreffekt: 2565 W
Summa MAX verklig effekt: 0,20*2565 = 514 W

5.2.2 Värme från radiatorvattenrör i bjälklaget

Värmeeffekt av produktdatablad

För rören som är ingjutna i bjälklagen finns produktblad som anger värmeavgivning till bjälklaget som funktion av rördiameter och temperaturskillnad mellan vatten- och rumstemperatur. Med ytterdiameter på 12 mm och temperaturskillnad på 16 °C ska rören avge en effekt på knappt 30 W/m enligt produktblad. Produktdatablad finns i Bilaga 5: Radisol vattenrör.

Värmeeffekt av vattenflöde och avkylning

Enligt dokumentation för byggnaderna var VS1 inställt på 30 l/h och VS 2 inställt på 51 l/h för lägenhet 341. Vi vet av mätningarna att det under perioden var en dT för VS1 och VS2 på ca 5 °C. Om man bortser från de förluster som sker på vägen till lägenheten skulle den avgivna effekten i lägenheten vara:

$$P_{VS2(norrfasad)} = c \cdot \rho \cdot q \cdot \Delta T = 4200 \cdot 1000 \cdot \frac{0,051}{3600} \cdot 5 = 297,5W$$

$$P_{VS1(syd fasad)} = c \cdot \rho \cdot q \cdot \Delta T = 4200 \cdot 1000 \cdot \frac{0,030}{3600} \cdot 5 = 175W$$

Summerat blir detta en effekt på nästan 475 W. I realiteten kommer effekten att ligga en del lägre då det i ledningarna kommer att ske energiförluster. I referenslägenheten finns ungefär 38 m vattenrör i bjälklaget vilket medför att effekten per meter rör blir:

$$P = \frac{475}{38} = 12,7 W / m$$

Värmeeffekt beräknat på modell med "betongisolerat" rör.

Vid situationer där värmefördelning och värmeflöde ska beräknas för ett isolerat rör kan följande formel användas.

$$m_c = \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right)}{2\pi\lambda_1} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot r_{si}} \quad [mK/W]$$
$$E = \frac{dT}{m_c} \quad [W]$$

Formeln kommer inte att ge en helt sann bild i fallet med rör i bjälklag men används här som en referens för kommande datorberäkningar. Två beräkningar genomförs. För båda är betongtjockleken 0,089 mm och ytmotståndet 9 W/m²K. Vid den andra beräkningen är ett plastlager på 1mm mellan röret och betongen medräknat vilket visar sig göra stor inverkan på resultatet.

$$m_{c1} = \frac{\ln\left(\frac{0,095}{0,006}\right)}{2\pi \cdot 1,3} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,095 \cdot 9} = 0,524 mK/W$$

$$E_1 = \frac{36 - 22}{0,524} = 26,7 W/m$$

$$m_{c2} = \frac{\ln\left(\frac{0,006}{0,005}\right)}{2\pi \cdot 0,17} + \frac{\ln\left(\frac{0,095}{0,006}\right)}{2\pi \cdot 1,3} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,095 \cdot 9} = 0,695 mK/W$$

$$E_2 = \frac{36 - 22}{0,695} = 20,1 W/m$$

Värmeeffekt beräknat med datormodell

För att få en tydligare bild av temperaturfördelningen i bjälklaget och för att teoretiskt försöka bestämma värmeflödet har datorberäkningar genomförts. Beräkningar med två framtemperaturer har genomförts då det under den första delen av perioden var en betydligt högre framtemperatur än under den sista perioden. Programkoden redovisas i Bilaga 8: Programkod. Följande förutsättningar gäller:

- Temperaturfördelningen är symmetrisk runt z och x axel. I beräkningarna nyttjas detta för att "spegla" värdena och göra beräkningarna mindre.
- Lufttemperaturen är 22 °C.
- Temperaturen i röret (hela röret antas ha samma temperatur) är 36 °C för beräkning 1 och 43 °C för beräkning 2.
- Värden på strålning och konvektion sätts till $\alpha_s + \alpha_k = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$ för ledning från varmt bjälklag till överliggande lägenhet.
- $\lambda_{\text{betong}} = 1,3 \text{ W/mK}$

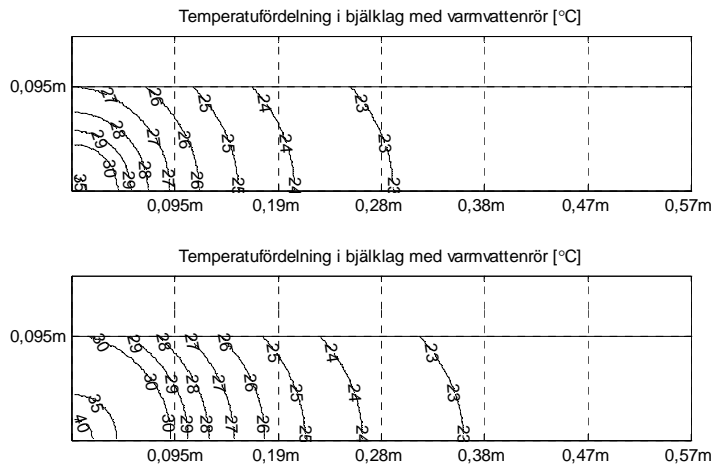


Diagram 15: Temperaturfördelning i bjälklag Den övre bilden visar beräknad temperaturfördelning med framtemperatur på 36 °C. Den undre visar temperaturfördelning med framtemperatur på 43 °C.

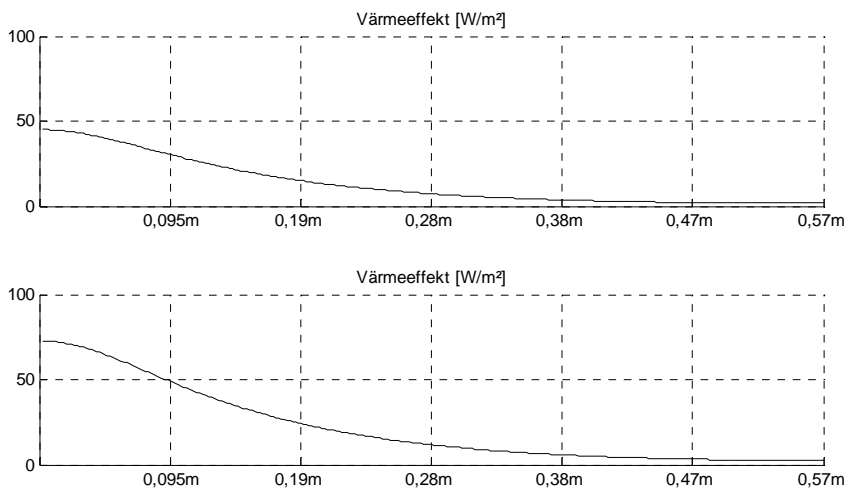


Diagram 16: Värmeeffekt ovanför rör i bjälklag. Den övre grafen visar effektfördelning med framtemperatur på 36 °C och den nedre med en framtemperatur på 43 °C.

Värmeeffekten är naturligtvis störst nära röret och avtar sedan desto längre från röret. Summan av effekten, dvs integralen, uppgår till ca 7,8 W för beräkning 1. Eftersom detta endast är effekten för halva ytan är effekten den dubbla för värmespridning uppåt dvs $2 \cdot 7,8 = 15,6$ W. Värmespridningen neråt kommer vara något mindre på grund av mindre konvektion. Beräknar man hela modellen med ett ytvärmemotstånd på 5 istället för 9 får man en effekt på 13,34 W. En minskad värmeledning neråt skulle medföra ett något större flöde uppåt. I modellen är ej medräknat värmemotstånd för golvbeläggning vilket beroende på beläggningstyp kan ha en betydelsefull inverkan. Den totala effekten vid beräkning 2 blir ca 45 W/m. Om vi

förutsätter att det finns ett lager plast mellan rör och betong som ger en lika stor isolerande effekt som vid beräkningar på det ”betongisolerade” röret skulle detta medföra en reduktion till ca 23W/m vid 36 °C framtemp.

Med de olika metoderna erhålls följande värde för värmeflödet från rören.

Värde av produktblad:	<30 W/m
Uppskattat med hjälp av flöde och vattentemperatur:	13 W/m
Uppskattat med hjälp av beräkningar på isolerat rör:	20 W/m
Uppskattat med hjälp av datorberäkning:	<23 W/m

Värdena skiljer sig ganska mycket åt beroende på vilken metod de är framtagna med. Mindre parametrar kan ha stor inverkan på beräkningarna vilket tydligt visas i att den beräknade värmeeffekten blir ungefär 25 % mindre om man räknar med en endast 1 mm tjock plastisolering. Följande osäkerheter har kunnat identifierats:

- Värden från produktdatabladet är dels otydliga och tar inte med eventuell golvbeläggning. De tar inte heller hänsyn till betongbjälklagets tjocklek vilket på grund av betongens dåliga värmeisoleringsförmåga inte bör inverka allt för mycket på resultatet. Dessutom är rumstemperaturen bestämd för produktdatabladet till 20 °C vilket är 2 °C lägre än uppskattat i beräkningarna. Detta är en betydande del då avkylningen blir 16 °C istället för 14 °C.
- Beräkningarna på avkylningen grundar sig på gamla flödesvärde. Dessa kan ha ändrats och inga nya mätningar på detta har genomförts. En ökning av flödet skulle medföra en ökning av värmeavgivningen från bjälklaget. Hur mycket av avkylningen som sker just i rören i bjälklaget i lägenheterna är svårt att uppskatta då en del avges på väg till lägenheten och i radiatorer.

Längden rör/lägenhet i bjälklag är ca 38 meter för lägenhet 341. De övriga lägenheterna har marginellt mer rörlängd i bjälklaget förutom de små lägenheterna som endast har 25 m. Om vi uppskattar värmeeffekten lågt till 15 W/m blir resultatet för lägenheten:

Total tillförd effekt från rör: $38 \cdot 15 = 570 \text{ W}$

Tidigare beräkningar på radiator effekt uppgick till knappt 500 W. Detta förutsatte att ingen värmeförlust fanns någon annan stans än över radiatorerna på samma sätt som den uppskattade effekten från rören förutsätter att ingen effektförlust finns över radiatorerna. Beräkningarna på rören medför ett antagande från författaren att de flesta radiatorer bör vara helt avslagna. I annat fall kommer ingen av de beräkningar som genomförts att stämma då en stor effekt från radiatorerna ej skulle resultera i en i närheten av lika stor reduktion av effekten beräknad från rören. Vid fältstudierna där radiatorerna kontrollerades var de allra flesta avslagna.

5.3 Värmebehovsberäkningar

5.3.1 Statisk värmebehovsberäkning:

För att veta hur stort värmebehov som teoretiskt finns för en lokal eller byggnad beräknas detta med:

$$P = (Q_{trans} + Q_{vent}) \cdot (T_{inne} - T_{ute}) - P_{gratis} \quad [W]$$

För att få en uppfattning om hur behovet är för referenslägenheten, lägenhet 341, görs följande antagande:

- Inget luftläckage finns dvs $q_{läckage} = 0$
- Grannlägenheterna håller samma temperatur som referenslägenheten dvs ingen värmeförlust sker till dom.
- Ingen värme från solinstrålning, apparater eller personer räknas med dvs. $P_{gratis} = 0$

Ventilationsförlusterna beräknas med:

$$Q_v = \rho \cdot c \cdot q_{vent} \cdot (1 - v) \cdot d + \rho \cdot c \cdot q_{läckage} \quad [W / K]$$

$\rho = 1,2$ [kg/m³] Luftens densitet

$c = 1000$ [J/kg·K] luftens värmekapacitet

$q_{vent} = 0,037$ [m³/s] Ventilationsflöde (hämtat ur dokumentation för husen)

$v = 0,65$ Verkningsgrad för värmeväxlare (hämtat ur manual för värmeväxlare)

$d = 1$ Relativ drifttid

$$Q_v = 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,037 \cdot (1 - 0,65) \cdot 1 = 15,54 W / K$$

Transmissionsförluster beräknas med:

$$Q_{trans} = \sum_i U_i \cdot A_i + Q_{köldbryggor} \quad [W / ^\circ C]$$

$$U = \frac{1}{\sum R} \quad [W / m^2 K]$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2 K / W]$$

Beräkningar genomföres i tabell och ett värmemotståndsvärde, R-värde blir 4,704 m²K/W.

Matrial	Tjocklek	lambda	R
Rse			0,04
Tegel+Luftspalt	0,12		0,200
Gipsskiva	0,009	0,1	0,090
Min.Ull(A)	0,12	0,039	3,077
Plastfolie	Försummas		0,000
Min.Ull(A)	0,045	0,039	1,154
Gipsskiva	0,013	0,1	0,130
Rsi			0,013
			4,704

Tabell 2: Värmemotståndstal för långsidevägg

Genom att ta inversen av R får man U-värdet.

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{4,704} = 0,213 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

Av ritningar kan areorna för de olika väggdelarna beräknas och därefter multipliceras i tabell med motsvarande U-värde.

Del	längd	Area	U-värde	A·U
Väggtyp Långsida Vägg	9,80	23,52	0,21	5,04
Väggtyp Långsida Vägg/fönster väggdel	5,20	5,20	0,21	1,11
Väggtyp Långsida Vägg/fönster fönsterdel	5,20	7,28	1,80	13,10
Väggtyp Balkong	3,78	9,07	0,21	1,95
Väggtyp Burstråk	2,93	7,03	1,00	7,03
				28,24

Tabell 3: Transmissionsberäkningar vägg

Det totala värmebehovet erhålles sedan genom att multiplicera med temperaturskillnaden och subtrahera för gratisvärmen. Beräkningarna genomföres här utan några värden för gratisvärme. Detta för att senare föras in i ett resonemang om värmebehovet.

$$P = (Q_{trans} + Q_{vent}) \cdot (T_{inne} - T_{ute}) - P_{gratis} = (28,24 + 15,54) * (22 - 5) = 744 \text{ W}$$

Med de givna förutsättningarna kommer det beräknade statistiska värmebehovet att vara högre än det verklig då den så kallade gratisvärmen ofta är en ansenlig del av det totala värmetillskottet. Det beräknade U-värdet kommer dessutom sannolikt att ligga för lågt då beräkningsmetoden som använts, U-värdemetoden, ej tar hänsyn till värmeledning av värmeströmning av värme.

Gratisvärmen brukar räknas i storleksordningen:⁴

$$W_{el} = 10-15\text{kWh/dygn} = 3650-5475 \text{ kWh/år}$$

$$W_{sol} = 1500-3000\text{kWh/år} = 1500-3000 \text{ kWh/år}$$

$$W_{person} = 5\text{kWh/dygn (100W/person)} = 1825 \text{ kWh/år}$$

På ett dygn skulle värmebehovet uppgå till nästan 18 kWh. Beaktar man de i beräkningarna icke införda gratisvärmvärdena, ser man att de kan stå för drygt hälften av uppvärmningsbehovet. Detta beror givetvis mycket på faktorer som varierar mycket mellan olika hushåll. Ett hushåll med ny elektronik, speciellt den som står på många timmar per dygn så som kyl/frys, energisparlampor etc, kommer kunna halvera sitt värmestillskott från detta jämfört med den med äldre elektronik. Dessutom kommer antalet personer som vistas i lägenheten och inte minst hur man avskärmar stark sol spela in mycket.

⁴ Kenneth Sandin "Värme och fukt - Kompendium i byggnadsfysik" Lund 1996

6 Diskussion och slutsats

Kvarteret Bryggeriet består av två byggnader som är väl rustade för framtiden. De är byggda med en för tiden god konstruktion avseende värme och är utrustat med ett värmesystem som möjliggör en noggrann justering av inomhustemperaturen. Det som inte är möjligt är en individuell styrning av temperaturen med mer än någon enstaka grad på grund av värmespridning mellan lägenheter och värmesystemets utformning med bland annat varmvattenrör i princip oisolerade ingjutna i bjälklaget. Detta är inget fel men något värt att tänka på då denna typ av konstruktioner medför att grannar måste komma överens om en gemensam temperatur.

Av mätningarna framgår att temperaturen inomhus varierar mycket lite över en nästan månads lång period med varierande väder. Detta beror delvis på den tunga byggnadsstommen men även på värmesystemet som man tydligt kan se kompenserar för vädervariationer.

För en specifik lägenhet är det svårt att förändra temperaturläget genom att endast ändra inställningar på radiatorerna. I projektrapporten påvisades dock att en ansenlig andel termostater på radiatorer var trasiga vilket innebär att de i flertalet fall var avstängda utan att möjlighet fanns att reglera värmetillförseln genom skruvreglaget. Orsakarna till att det är så svårt att styra in egen lägenhetstemperatur är främst två:

- Mycket värme sprids mellan lägenheterna genom väggar och bjälklag. Med ett U-värde på 2 – 2,5 W/m²K är det svårt om inte nästan omöjligt, att till exempel hålla en temperatur på 20 °C i en lägenhet om de runtliggande håller 23 °C utan att långtidsvädra. Under projektrapporten uppmättes en temperatur på 23 °C i en lägenhet där de boende var bortresta. Samtliga radiatorer var avslagna och den enda värmekällan som kunde identifieras var kyl/frys och solinstrålning. Detta vore inte möjligt om inte tillskottsvärme fanns från rören i bjälklagen eller grannlägenheter.
- Vattenrör i bjälklaget sprider mycket värme vilket påvisats både genom beräkningar och fotograferingen med värmekamera. Dessa kommer konstant innehålla varmt vatten från undercentralen och då dessa är dåligt isolerade kommer en stor andel av uppvärmningen ske genom bjälklagen. Enda möjligheten att ändra värmen från rören är att ändra på inställningarna i undercentralen eller att minska rörvärmen genom att skruva på radiatorerna på maxnivå.

Sammanvägt medför nämnda faktorer att det inte finns mycket utrymme för individuell variation av temperaturen i olika lägenheter. Eftersom temperaturvariationen över en månad är så pass liten borde det gå att trimma om systemet så att ingen befinner sig över 23 °C vid max radiatorinställning och ingen hamnar under 20 °C vid minsta radiatorinställning. En begränsning av maxtemperaturen medför dessutom att den relativa fuktigheten, RF, skulle ha en

något högre lägstanivå. Detta skulle kunna påverka inomhusklimatet något till det bättre.

De beräknade och uppmätta värdena ger upphov till följande värde på ingående parametrar för en energibalans för referenslägenheten 341.

Effekt från radiatorer:	0 W
Effekt från vattenrör i bjälklag:	500 W
Gratiseffekt från elektronik och människor:	300 W
Uppvärmningsbehov	750 W

Detta är en mycket förenklad modell där flera parametrar så som tex solinstrålning saknas. Under perioden som värdena tagits för var det dock mycket lite solpåverkan då det dels var tidig vår och dels mulet väder. Radiatorerna var avslagna i referenslägenheten men lär ändå bidra till en viss värmeeffekt.

Om lägenheten under referenslägenheten skulle hålla en temperatur på 1 °C högre skulle detta medföra en värmeöverföring på drygt 200 W mellan lägenheterna. Ett öppet fönster skulle bidra till en ganska stor värmeförlust. Med värmekameran togs bilder på fasaden som visade att en ansenlig del av fönstren var öppna med tanke på den låga utomhustemperaturen.

Av förbrukningsstatistiken framgår att byggnaderna förbrukar en ganska rimlig energimängd. Värmeförbrukningen verkar vid jämförelse följa klimatbeskrivningen i form av gradtimmar ganska bra mellan 1997 och 2004 medan kurvan efter det följet klimatet om än med en viss förskjutning. Detta tyder på en ändring i värmesystemet runt 1997 som tyvärr inte kunnat spåras i dokumentation. Ökningen av värmeförbrukningen jämfört med om den följt antalet graddagar ligger på ca 10 %.

En minskning av inomhustemperaturen med 1 °C skulle med utetemperatur 5 °C och innetemperatur 22 °C medföra en minskning av uppvärmningsbehovet med ca 10 %. Detta skulle dessutom kunna få följd effekter så som att det långtidsvädras mindre vilket skulle sänka förbrukningen ännu något.

Om misstanken att inställningar för framtemperaturen ändrats runt 1997 och denna kanske skulle kunna återställas skulle det röra sig om en minskning av energiförbrukningen med 10 %. Värmekostnaden för 2004 uppgick till ca 76 kr/m². Med en minskning av värmeförbrukningen på 10 % skulle man för referenslägenheten på 108 m² spara ungefär 800 kr/år.

Det bör finnas något beslut om vilken temperatur inomhus som gäller. En ung person behöver ofta en lägre temperatur än en äldre för att vara nöjd. Stillasittande människor som till exempelvis rullstolsbunda har även de ett behov av högre temperatur. Det skulle därmed vara en mycket dålig lösning att placera dessa brevid varandra i ett flerbostadshus eftersom den ena hela tiden ofrivilligt kommer att ta värme från sin granne.

6.1 Enklare åtgärder

- Kontrollera funktionen hos termostaterna på radiatorerna. Det visades under projektrapporten 2004 att flera var trasiga. En enkel åtgärd.
- Fläktfilter bör bytas eller rengöras regelbundet för att behålla avsedd funktion. Annars kommer ventilationen inte att utföra den funktion som den är avsedd för. Ett dåligt flöde i ventilationen kan vara en bidragande faktor till övertemperaturer inomhus.
- Främst i små lägenheter kan hemelektronik bidra till övertemperaturer och man kan förenklat säga att den energi en apparat förbrukar omvandlas till värmeenergi som värmer upp lägenheten. Ett medvetet val av hemelektronik kan bidra till både värmereducering och minskad elförbrukning.
- Fönster bör endast öppnas för att vädra kortare perioder under vinterhalvåret. Då bör värmesystem och ventilation säkerställa ett bra inomhusklimat.
- Soliga dagar kan det vara svårt att undgå övertemperaturer om man inte har effektiv solavskärmning. Bra persienner, markiser etc kan göra stor skillnad och ibland vara enda möjligheten att få ner temperaturen.

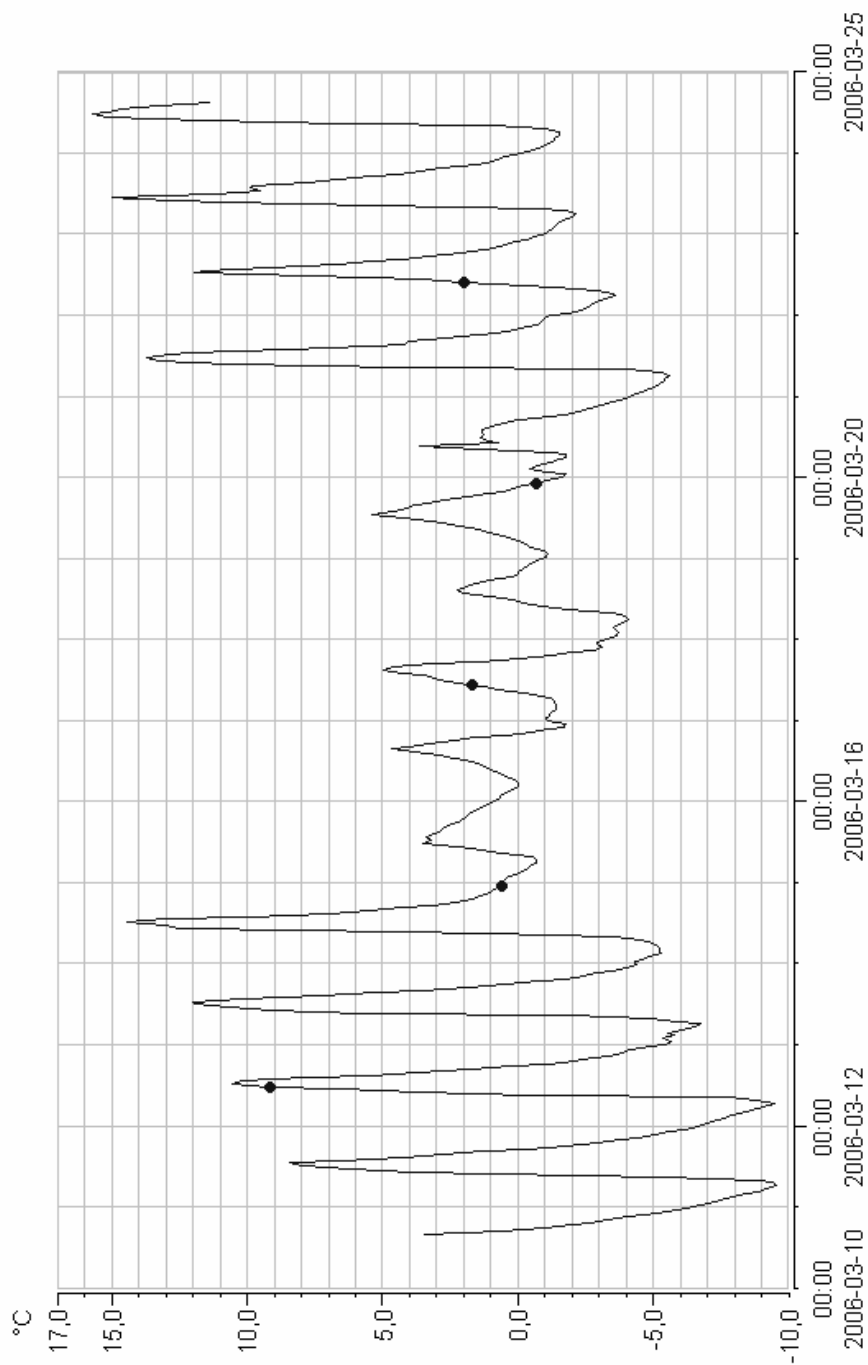
6.2 Övriga åtgärder:

- Är inte inomhustemperaturen tillfredsställande skulle en total sänkning av framtemperaturen kunna vara ett första steg. Detta förutsätter självfallet att ingen med detta får för låg inomhustemperatur. Om det skulle bli fallet måste injusteringar på stammarna genomföras för att kompensera för detta.
- Eftersom det är omöjligt att få en låg inomhustemperatur om grannarna har en hög om man inte ska öppna fönster skulle en tekniskt lätt men kanske socialt svårare åtgärd vara försöka komma överens om en temperatur som de flesta kan vara tillfreds med och gemensamt, genom bland annat inställningar, sträva efter.

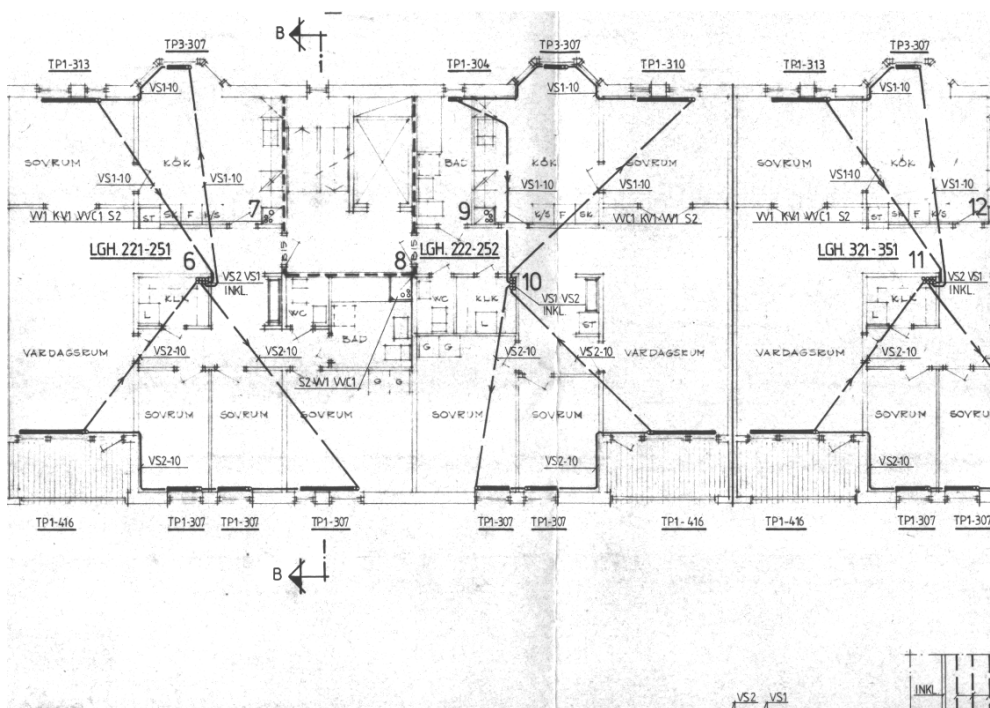
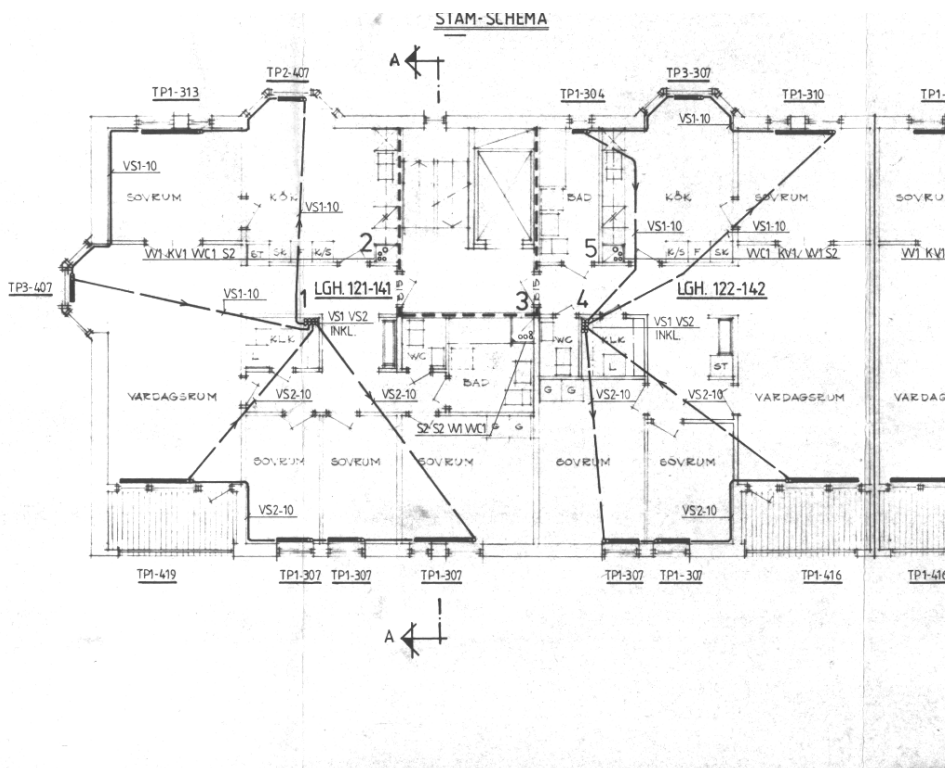
7 Referenser

- [1] Svensson Anders, "Ventilationsteknik – Del av kursmaterial för Installationsteknik FK" Lund 1995.
- [2] Socialstyrelsen SOSFS 2005:15 (M) Allmänna råd. Temperatur inomhus.
- [3] Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. www.smhi.se
- [4] Kenneth Sandin, "Värme och fukt – Kompendium i byggnadsfysik"
- [5] Statistiska centralbyrån. www.scb.se

Bilaga 1: Temperaturloggning



Bilaga 3: VS ritningar



Bilaga 4: Värmefotografier



De ljusa partierna vid fönstren visar tydligt att fönstren är öppna och att luft läcker ut. På bilden synd tydligt minst fem fönster som är öppna.

Bilaga 5: Radisol vattenrör

Radisol och Tub-e Kopparrör

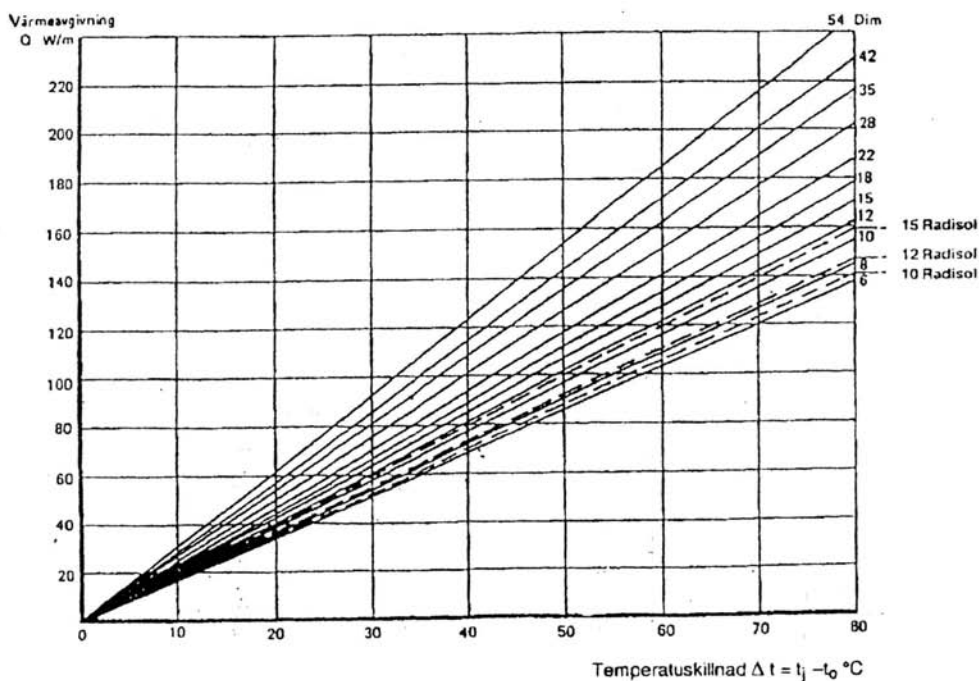
Värmeavgivning från betongingjutna Radisol och Tub-e kopparrör

k-värden refererar till $t_o = +20^\circ\text{C}$ (rumstemperatur)

Vattentemp. = t_j °C.

Beräkning enl. Rydberg – Huber, "Värmeavgivning från rör i betong eller mark"

α betong = 1,3 W/m · K (torr betong)



Outokumpu Copper Products AB

Metallverksgatan 5, Box 510, SE-721 09 Västerås, Sweden
Tel. +46 21 198000, Fax +46 21 198695, www.outokumpu.com
Business ID 556379-9534, VAT SE556379953401

2004-09-01

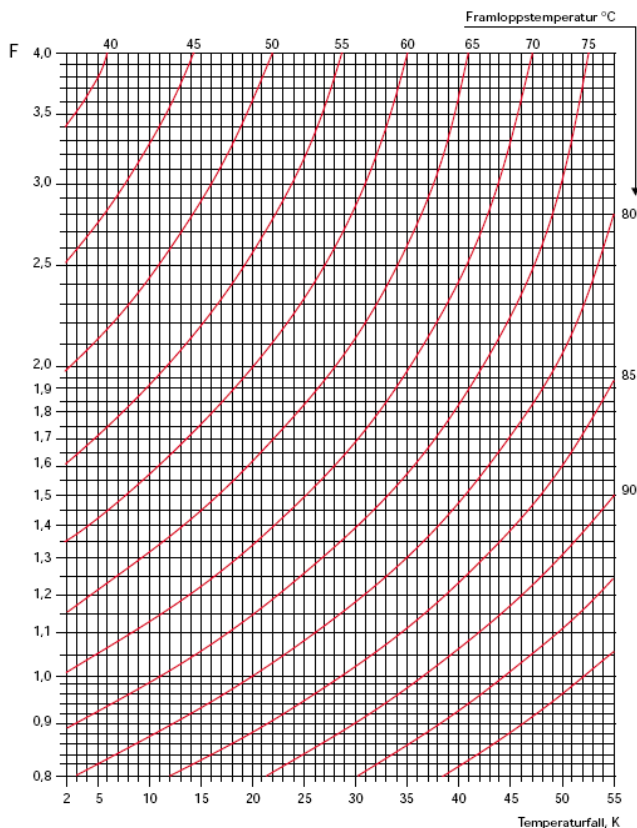
Bilaga 6: Omräkningsdiagram för radiatorer.



Omräkningsdiagram

1:85
Rev.01

Thermopanel radiatorer



THERMOPANEL

Mer än bara värme - sedan 1908

För senaste uppdaterad information och kontroll av revolversnummer se www.thermopanel.se

Nominell radiator effekt vid framloppstemperatur 80 °C och avkylning 20 °C.

Effekten kan för andra driftsfall även beräknas med:

$$F = 49,33 \cdot \log \left(\frac{T_1 - T_r}{T_2 - T_r} \right) / (T_1 - T_2)^{1,28}$$

T₁ = Framtemperatur

T₂ = Returtemperatur

T_r = Rumstemperatur

Bilaga 7: Effekt från radiatorer

LGH 121-141		LGH 122-142		LGH 221-251 & 321-351	
Modell	Effekt (W)	Modell	Effekt (W)	Modell	Effekt (W)
TP1-307	250	TP1-307	250	TP1-307	250
TP1-307	250	TP1-307	250	TP1-307	250
TP1-307	250	TP1-416	735	TP1-307	250
TP1-419	875	TP1-310	355	TP1-416	735
TP2-407	435	TP3-307	620	TP1-313	460
TP1-313	460	TP1-304	140	TP3-307	620
TP3-407	685				
Summa:	3205	Summa:	2350	Summa:	2565

LGH 222-252 & 322-352		LGH 421-461		LGH 422-462	
Modell	Effekt (W)	Modell	Effekt (W)	Modell	Effekt (W)
TP1-307	250	TP1-307	250	TP1-310	355
TP1-307	250	TP1-416	735	TP1-307	250
TP1-307	250	TP1-307	250	TP1-310	355
TP1-416	735	TP3-307	620	TP1-310	355
TP3-307	620	TP1-304	140		
TP1-313	460				
Summa:	2565	Summa:	1995	Summa:	1315

LGH 423-463	
Modell	Effekt (W)
TP1-307	250
TP1-419	875
TP2-407	435
TP1-313	460
TP3-307	620
TP1-304	140
Summa:	2780

Bilaga 8: Programkod

I:\EXJOB\Matlab\testpipezz.m
den 25 september 2007

Page 1
10:25:09

```
% program testpipez beräknar värmeförlust för rör i betongplatta
% symmetrisk placering med givna golv- och rörtemperaturer 1/4-del
% x horisontell axel åt höger med index 1-m
% y vertikal neråt axel med index 1-n
% fix temperatur utanför golvytan och inom given radie r med origo (1,n)
% kvadratisk rutnät
% temperaturvektor lagras radvis

clear;
clc;
close all;
n=48; % motsv bjälklag med 192mm eg 190mm
q=1.3; % värmeledningstal (lambda)
d=0.002; % Steglängd? Var "felaktigt?" 0,001 först
ht=9; % Ytvärmemotstånd (alphas+alphak)
Ts=22; % Lufttemperatur
Tr=43; % Varmvattentemperatur 43

%-----

figure(10); %Plotar rördiam mot energiförlust.
hold on;
axis([ 0 n 0 100 ]);
rc=[ 1:50 ]; %
Pc=(2*pi*q./log(n./rc)); %
plot(rc,Pc);
xlabel(' innerradie i mm ');
ylabel(' värmeförlust W/mK ');
title(' ytterradie 96 mm ');

%-----

for m=n*[ 1 2 4 6]
    r=6;
    Pc=(Tr-Ts)/(2*log(n/r)/(pi*q)+2/(pi*n*d*ht)); % 1/4-del
    %for r=[ 1 2 4 8 16 ]
    %m=2*n; Pc=(2*pi*q/log(n/r))/4;

    ie=0;
    nm=n*m;
    Txy=zeros(m,n,4); % x y avstånd temperatur

    for iy=1:n
        for ix=1:m
            Txy(ix,iy,1:3)=[ ix n+1-iy sqrt((ix-1)^2+(iy-n)^2) ];
        end;
    end;
    ir=find(Txy(:,:,3) < sqrt(pi*r^2/4) );
    nr=size(ir,1); % rörtemperaturer
    nmpt=n*m+nr;% gles matris för värmeledning

    for iy=1:n %iy=steg i y-led.
        ib=m*(iy-1); %rad-1*antal kolonner.
        for ix=2:m %ix=steg i x-led
            ie=ie+1;
            etab(:,ie)=[ ib+ix-1 ib+ix q ]'; %antal genomgångna rader+ plats i
            %aktuell rad.
        end;
    end;
end;
```

```
end; % +l
if iy < n
    ib=m*(iy-1);
    for ix=1:m
        ie=ie+1;
        etab(:,ie)=[ ib+ix ib+m+ix q ]';
    end; % +m
end;
end;

Qu=sparse(etab(1,:),etab(2,:),etab(3,:),nmpt,nmpt);
Q=Qu+Qu';
Qd=sparse(1:nm,1:nm,sum(Q(1:nm,1:nm)),nmpt,nmpt);
Q=Q-Qd;

% matris för fri effekt och temperaturkrav

PT=sparse([ nm+[1:nr] ],[ ir' ],ones(1,nr),nmpt,nmpt);
Q=Q+PT+PT';
Q(1:m,1:m)=Q(1:m,1:m)-d*ht*eye(m,m);
if m<10
    figure;
    spy(Qu);
    figure;
    spy(Qd);
    figure;
    spy(PT);
    figure;
    spy(Q);
end;

P=zeros(nmpt,1); % kravvektor för alla ekvationer merparten =0
P(1:m)=-d*ht*Ts; % temperaturkrav omgivning-yta
P(nm+[1:nr])=Tr; % temperaturkrav rör

T=Q\P; %typ matrisdivision Q*T=P <=>T=Q^-1*P
Py=mean(m*d*ht*(T(1:m)-Ts));
Pr=sum(T(nm+[1:nr]));
[ Py Pr ]/(m*d);

%-----
% Skapar ny fig och plottar in emperaturfördelningen för varje
% breddvariant som anges i första raden på första for-satsen.
%-----

figure;

Txy(:,:,4)=reshape(T(1:nm),m,n);
[ C h ]=contour(Txy(:,:,1),Txy(:,:,2),Txy(:,:,4),[ 20:30 35 40 45 50 ]);
clabel(C,h);
hold on;
axis([ 0 m 0 m ],'square');
plot([ 0 m ],[ n n ],'g');
title(['x ' num2str(m) ' mm y ' num2str(n) ' mm r ' num2str(r) ' mm ' ...
' P ' num2str(round(1000*Pr/(m*d))/1000) ' W/m^2 ' ...
' P/Pc ' num2str(round(1000*Pr/Pc)/1000) ' - ']);
```

```
-----  
% Skapar ny fig och plottar effekten  
-----  
  
qsum=sum((ht*.002)*(T(1:m)-Ts))      %Summerat värme flöde  
                                     % ht*cellbredd*dt=värme flöde/m  
  
figure(9);  
hold off  
title('Värmeeffekt [w/m²]')  
hold on  
grid on  
plot(500*d*ht*(T(1:m)-Ts));  
  
end  
end;  
  
-----  
% Skapar ny fig och plottar temperaturfördelningen  
-----  
  
figure(4)  
title('Temperaturfördelning i bjälklag med varmvattenrör [\circC]')  
axis([0 6*n 0 6*n])  
set(gca,'xtick',[0 n 2*n 3*n 4*n 5*n 6*n 7*n 8*n])  
set(gca,'xtickLabel',str2mat('', '0,095m', '0,19m', '0,28m', '0,38m', '0,47m', '0,57m'))  
set(gca,'ytick',[0 48])  
set(gca,'ytickLabel',str2mat('', '0,095m'))  
grid on  
  
-----  
% Skapar ny fig och plottar effekten  
-----  
  
figure(91);  
subplot(3,1,1)  
title('Värmeeffekt [W/m²]')  
hold on  
grid on  
plot(500*d*ht*(T(1:m)-Ts), 'k');  
  
axis([0 6*n 0 100])  
set(gca,'xtick',[0 n 2*n 3*n 4*n 5*n 6*n])  
set(gca,'xtickLabel',str2mat('', '0,095m', '0,19m', '0,28m', '0,38m', '0,47m', '0,57m'))  
grid on
```