

TERMOGRAFERING AV FLERBOSTADSHUS

*Kartläggning av vanliga köldbryggor i byggnader i behov av
renovering*



Linda Martinsson

Charlotte Svensson Tengberg

Claes Engström

Anders Ljungberg

juli 2014

FÖRORD

Sveriges miljonprogram står idag inför både renovering och energieffektiviseringsåtgärder. Detta mot bakgrund av såväl ett renoveringsbehov grundat i byggnadernas ålder som samhällets krav på minskad energianvändning inom byggsektorn.

Syftet med projektet har varit att utreda vilka delar av konstruktionen hos vanligt förekommande hustyper från denna tid som i praktiken har de mest betydande köldbryggorna. Studien har innefattat inventering, termografering och utvärdering av ett antal, för miljonprogrammet, representativa byggnader.

Arbetet har finansierats genom LÅGAN, SBUF, Skanska och NCC och genomförts i samarbete mellan Skanska och NCC med stöd av Per Stenberg på KIMO Instrument AB.

Styrgruppen har bestått av representanter från Skanska, NCC, PEAB, Sveriges Byggindustrier och SP.

Referensgruppen har utgjorts av FoU Väst & CIT Chalmers samt bostadsbolagen AB Alingsåshem, Bostadsbolaget, Bostads AB Poseidon & Stena Fastigheter AB.

Vi vill rikta ett varmt tack till de fastighetsägare som varit oss behjälpliga i att ta fram och bistå med byggnader och underlag för termograferingsstudien. Ett stort tack riktas också till styr- och referensgrupperna, Anna Thomsen och Josef Johnsson på Ramböll Sverige AB som agerat dialogpartners samt till Erik Stenberg på KTH och Niko Gentile på LTH för hjälp på vägen.

Projektet har genomförts under ledning av Linda Martinsson på Skanska Sverige AB.



SAMMANFATTNING

Syftet med projektet har varit att utröna vilka delar av konstruktionen hos vanligt förekommande hustyper från miljonprogramstiden som i praktiken har de mest betydande köldbryggorna. Detta för att kunna ta fram generella, praktiskt användbara och kostnadseffektiva metoder som kan åtgärda energiförluster, komfortproblem och fukt/nedsmutsning. Det är ett mycket stort antal byggnader som står inför renovering under kommande år.

Undersökningen fokuserar på flerbostadshus byggda 1965-1975. Fem hustyper om 37 hus och ca 2500 lägenheter har studerats, detta är representativa varianter på flerbostadshus från perioden 1961-1974 som ej tilläggsisolerats. En förstudie av ritningsunderlag över objekten genomförts för att identifiera troliga köldbryggor.

Objekten i undersökningen är uppbyggda som följer:

- Tre prefabricerade, två rationellt platsbyggda.
 - Två typer av betongprefab – bärande och icke bärande, med betong- eller sjöstensfasad.
 - Träregelement i pelarstomme, utfackningsvägg med träreglar eller lättbetong i bokhüllestomme.
- Detaljutformning enligt prefableverantör resp. HSBs typritningar (platsbyggt).

Objekten har termograferats under vinterhalvåret 2013-2014 med målet att finna regelmässigt återkommande köldbryggor. Det visade sig svårt att få fram bra handlingsunderlag för alla byggnader och att få säkra uppgifter om vilka entreprenörer och leverantörer som varit delaktiga för objekten.

Termograferingsresultaten har jämförts mot ritningsunderlaget. Undersökningen visar att det finns stora köldbryggor, företrädesvis i mellanbjälklagen, men även i detaljanslutningar såsom fönster och balkonger. Inte alla konstruktioner visade på den typ av köldbryggor som hade antagits vid ritningsstudien. I några av husen är ett värmerörsystem ingjutet i mellanbjälklagen, vilket gör att värmeförlusten genom köldbryggorna blir större än vad de skulle varit om rörsystemen löpt internt i byggnaderna. Detta innebär att om rörsystemen ska bytas ut och istället installeras innanför klimatskalet, så måste den termiska komforten kopplad till ytemperatur på golven beaktas.

I projektet har diskuterats vilka förutsättningar i form av bl.a. väder som krävs för att kunna genomföra en utvändigt termografering av klimatskalet i stor skala och dra slutsatser av resultaten. Projektet konkluderade att den EN-standard som finns att tillgå för termografering är alltför detaljerad för detta syfte men att samma metodik kan följas i förenklad form. En fältstudie kan ge nytta dels genom att termograferingen kan ge svar på hur konstruktionen ser ut och vilka köldbryggor som dominerar, vilket inte alltid kan utläsas ur ritningar, dels genom att utkomsten av en termografering kan ge en helhetsbild av byggnadens kondition och användas som kommunikationshjälpmedel för att diskutera åtgärder med såväl brukare som ägare. I arbetet har också ett förfarande för att genomföra en termograferingsstudie i fält tagits fram, vilket resulterade i ett förslag till riktlinjer som redovisas i rapportens bilaga 2.

Resultaten, tillämpbarheten och potentialen med termografering har presenterats i en workshop med pedagogisk genomgång av resultat med illustrerande termografibilder.

Innehåll

BAKGRUND	4
SYFTE	5
PROJEKTGENOMFÖRANDE	5
ORGANISATION	5
ARBETSGRUPP.....	5
STYRGRUPP	5
REFERENSGRUPP	5
MILJONPROGRAMMET	6
NYCKELTANKAR I PROJEKTET	6
TERMOGRAFERING	6
PÅVERKANDE FAKTORER.....	7
FÖRFARANDE	8
ANVÄNDNING AV TERMOGRAFERINGSRESULTAT.....	8
SAMMANFATTNING: ANALYS AV TERMOGRAM	11
SLUTSATSER METOD	12
KARTLÄGGNING AV FLERBOSTADSHUS	12
OBJEKT I UNDERSÖKNINGEN.....	12
OBJEKTENS REPRESENTATIVITET	13
.....	13
OBJEKT 1	15
OBJEKT 2	16
OBJEKT 4	18
OBJEKT 5	19
SAMMANFATTNING AV BETYDANDE KÖLDBRYGGOR I OBJEKTEN	20
DE KARTLAGDA BYGGNADERNAS KARAKTÄR.....	20
SLUTSATSER KARTLÄGGNING	20
SLUTSATS ETAPP 1 OCH VIDARE ARBETE	21
MÖJLIGHETER TILL FORTSATT ARBETE	21

BILAGOR

BILAGA 1 SLUTPRESENTATION SBUF 12867 TERMOGRAFERING AV FLERBOSTADSHUS

BILAGA 2 RIKTLINJER FÖR OCH DOKUMENTATION AV UTVÄNDIG TERMOGRAFERING

BAKGRUND

För att nå energibesparingsmålen i det europeiska energiprestandadirektivet EPBD¹ till år 2020 och 2050 är energieffektivisering av befintlig bebyggelse en hörnsten. Särskilt angeläget är det att finna effektiva metoder att minska energianvändningen inom den stora mängden flerbostadshus från miljonprogrammets år som idag är i behov av renovering.

Tilläggsisolering av klimatskalet är en omfattande och kostsam åtgärd som därför bör göras effektivt. Från tidigare studier och praktisk erfarenhet har setts att köldbryggor står för en stor del av transmissionsförlusterna genom klimatskalet för dessa byggnader². Köldbryggorna kan också leda till att utsatta lägenheter får ett klart högre energibehov än andra. För att komma åt denna obalans i värmeförlusterna behöver de svaga punkterna identifieras och åtgärdas specifikt. Undersökning av potentialen för högpresterande isolering i ombyggnadsprojekt³ visar att dessa dyrare material kan utnyttjas lokalt i utsatta delar av klimatskalet för att optimera tilläggsisoleringen. På så vis kan svaga punkter åtgärdas och isoleringen få en jämnare värme-prestanda utan lika stora kostnader som ifall högpresterande material skulle användas i hela byggnaden.

En optimerad tilläggsisolering med särskild fokus på köldbryggor skulle ge större effekt på energiprestandan än traditionell tilläggsisolering, som inte åtgärdar obalansen i värmeförlusterna och det förstärkta värme-flödet genom svaga punkter i byggnadsskalet. Minskade köldbryggor och jämnare fördelning av värmeförlusterna över klimatskärmen skulle även ha en positiv effekt på de komfort-, fukt- och nedsmutsningsproblem som köldbryggor i bostadshus kan leda till. Vid renovering är högpresterande grundisolering ett bra exempel på hur energieffektiviseringen även skulle kunna förbättra inomhusklimatet i lägenheterna i bottenplan, som på grund av svårigheten att isolera grunden i efterhand annars får stå för en alltför stor del av byggnadens värmeförluster⁴.

Rationella åtgärdsförslag för optimerad tilläggsisolering måste utgå från byggnaden som helhet och de i praktiken mest dominerande köldbryggorna. Detta kräver i sin tur en kartläggning av de byggnader eller byggnadstyper för vilka åtgärder diskuteras.

Tidigare har köldbryggor i flerbostadshus från modernismen och Miljonprogrammet studerats teoretiskt i fallstudier⁵. Målet med detta projekt har varit att följa upp detta med en praktisk kartläggning i större skala av vilka köldbryggor som i verkligheten har störst betydelse och skapa en kunskapsöversikt över denna del av byggnadsbeståndet. Men denna sammanställning som underlag finns förutsättningar för att generalisera och finna effektiva och kostnadseffektiva metoder för att åtgärda vanliga och betydande köldbryggor genom optimerad tilläggsisolering.

¹ EU-direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD, 2002/91/EG) och (EPBD2, 2010/21/EU)

² SBUF Rapport 11936 Berggren, Janson, Sundqvist; (2008) Energieffektivisering vid renovering av rekordårens flerbostadshus samt Eriksson & Martinsson (2011) High Performance Insulation in Energy Efficient Retrofitting, Nordiska Passivhuskonferensen 2011, Helsingfors

³ SBUF Rapport 12455, Eriksson (2012) Praktiska tillämpningar av högpresterande värmeisolering i ombyggnadsprojekt samt Eriksson & Martinsson (2011)

⁴ Martinsson & Tengberg (2012) Development of energy efficient wall for retrofitting, Nordiska Passivhuskonferensen 2012, Trondheim

⁵ se t.ex. [SBUF Rapport 11936](#)

SYFTE

Syftet med arbetet har varit att undersöka vilka delar av konstruktionen hos vanligt förekommande hustyper i miljonprogrammet som i praktiken utgör de mest betydande köldbryggorna.

PROJEKTGENOMFÖRANDE

Ett antal möjliga studieobjekt har identifierats, representativa varianter på flerbostadshus från perioden 1965-1975 som ej tilläggsisolerats. En förstudie av ritningsunderlag över objekten har genomförts för att identifiera troliga köldbryggor. Termografering av de byggnader som ingått i studien har sedan genomförts. Utkomsten av termograferingen har jämförts mot de antagna köldbryggor som identifierats i ritningsstudien. Vidare har en hjälpmall för termografering utomhus i fält tagits fram. Mallen bifogas rapporten som bilaga 2. I arbetet har också diskuterats möjligheten att genomföra en etapp 2 som en fortsättning på termograferingsstudien. I en sådan etapp 2 kan materialet som inhämtas i denna studie nyttjas som underlag för att hantera köldbryggor regelmässigt genom att ta fram standardiserade tilläggsisoleringskoncept anpassade för de olika studerade byggnadstyperna.

ORGANISATION

Fastighetsägare som varit projektet behjälpliga med studieobjekt är Alingsåshem, Bostadsbolaget, Poseidon och Stena Fastigheter. Arbetet med identifiering, termografering och analys har utförts av en arbetsgrupp enligt nedan. Därefter följer styr- och referensgrupp.

Arbetsgrupp

Linda Martinsson (projektledare), Skanska Sverige AB

Charlotte S Tengberg, Skanska Sverige AB

Claes Engström, Skanska Sverige AB

Anders Ljungberg, NCC Construction AB

Styrgrupp

Svante Wijk, energisamordnare, NCC Construction AB

Lena Schälén, tekniksamordnare Miljonhemmet, Skanska Sverige AB

Mille Karagiannis, arbetschef, Peab Sverige AB

Pär Åhman, F&U-ansvarig Sveriges Byggindustrier, Region Väst

Eva Sikander, Byggnadsfysik och innemiljö, SP

Referensgrupp

FoU Väst

Åsa Wahlström, CIT Chalmers

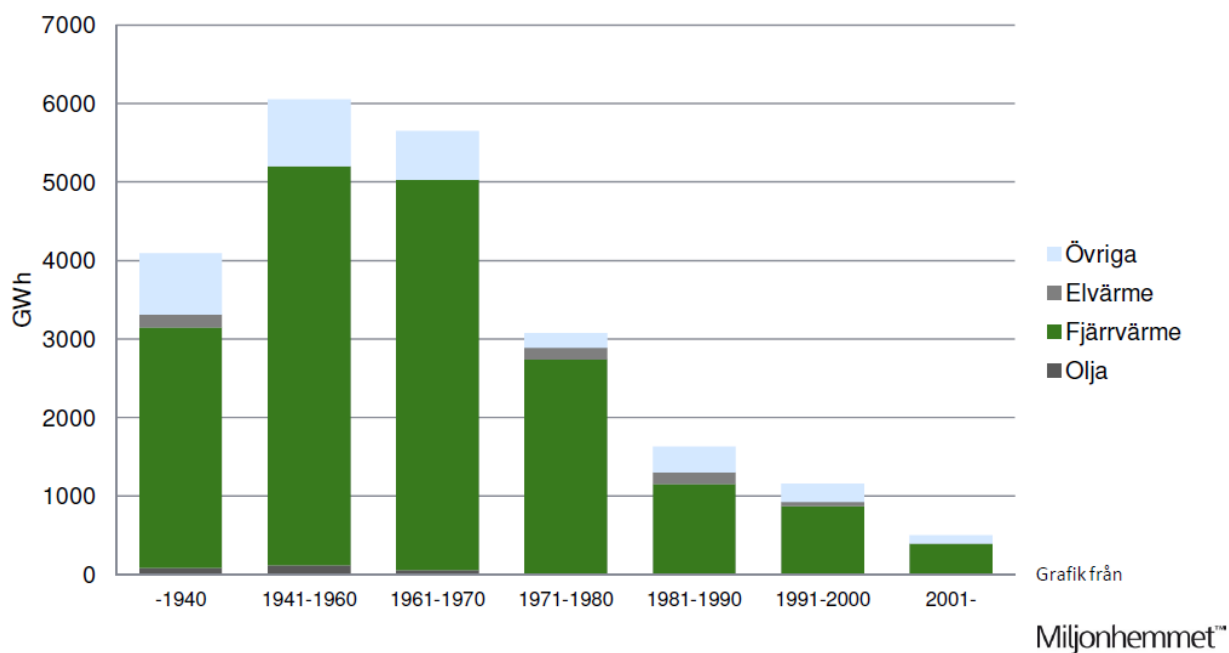
Representanter för berörda fastighetsägare: Alingsåshem, Bostadsbolaget, Poseidon och Stena Fastigheter.

NYCKELTANKAR I PROJEKTET

Flerbostadshus från miljonprogramsåren är idag i behov av renovering och energieffektivisering. Upprepade konstruktioner, i och mellan byggnader, möjliggör generella och optimerade angreppssätt vilket kan ge kostnadseffektivitet. Koldbryggor bör åtgärdas i såväl energihänseende som av komfort- och fuktskäl. Genom en kartläggning av representativa byggnader och jämförelser byggnaderna emellan kan en generalisering möjliggöras och underlag för generella åtgärder tas fram.

MILJONPROGRAMMET

Ca 35 % av Sveriges flerbostadshus härstammar från de s.k. rekordåren, 1960-1975. Av dessa hus utgörs större delen av Miljonprogrammet. Den klart vanligaste byggnadstypen i Miljonprogrammet är lamellhus, följt av punkthus, loftgångshus och övriga hustyper⁶. Byggnaderna uppfördes under en period av hög standardisering och industrialisering. Få byggnadssystem fanns men många byggare var med och uppförde byggnaderna⁷. Den stora likheten mellan de olika byggnaderna ger en god potential för generella angreppssätt vid hantering av byggnadernas fasader. Byggnaderna från modernismen och Miljonprogrammet står för den största andelen av energianvändning i flerbostadshus (se Figur 1 nedan), och det är också dessa hus som idag står inför renovering.



Figur 1: Energianvändning per energislag och byggår för svenska flerbostadshus

TERMOGRAFERING

Termografering är att med en värmekamera registrera infraröd strålning som sänds ut från t.ex. ett hus eller en människa och kunna visa detta direkt på en bildskärm. Termogrammet ger en avbild av en yta som visar en fördelning av den skenbara strålningstemperaturen. Ytemperaturen kan då bedömas från den avgivna strålningen. Kameran mäter bara infraröd strålning, inte temperatur!

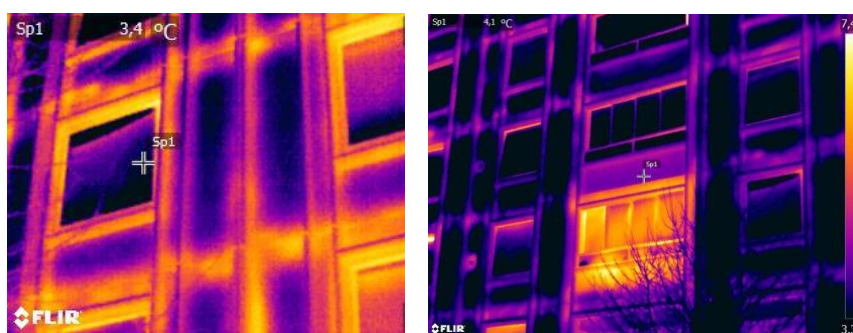
⁶ SBUF-rapport 11936 Energieffektivisering vid renovering av rekordårens flerbostadshus

⁷ Stenberg, E (red) Structural systems of the Million Program Era

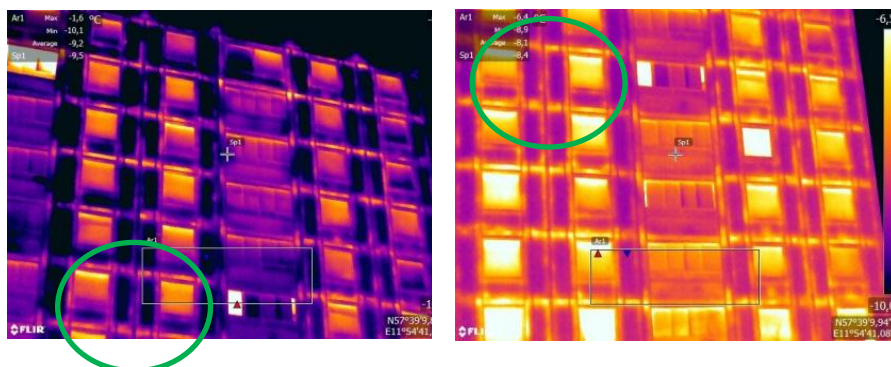
Påverkande faktorer

Termograferingsresultatet påverkas av en rad faktorer. Olika kameror anger olika temperaturer bl.a. på grund av olika detektorer, linser och olika upplösning (se exempel i Figur 2). Vidare ger en och samma kamera olika resultat beroende av kalibreringen (Figur 3). Materialet som termograferar har olika reflektans och ytstruktur vilket också påverkar utkomsten av termograferingen. Vidare påverkar en rad andra parametrar såsom värmelagring i konstruktionen, vind och luftrörelser, solljus (direkt och diffust), utomhustemperatur och relativ fuktighet, nattutstrålning m.m.

Detta sammantaget ger att den absoluta temperaturen aldrig kan fastställas med termografering. Vinkeln i vilken termogrammet tas, påverkar också utkomsten av resultatet. Ett test genomfördes under arbetet där två termogram togs på samma fasaddel (entréplan på en byggnad). Ett termogram togs från marknivå och ett termogram togs från taket på motstående byggnad. Resultatet gav att ingen större avvikelse kunde skönjas än vad som ges om samma plats används för att ta två termogram. För mer information om störningar för utvändigt termografering, se Bilaga 1.



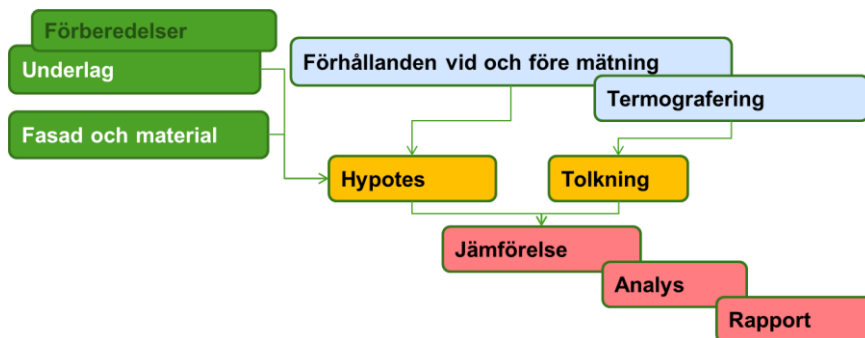
Figur 2 Samma inställning, olika kameror.



Figur 3 Samma kamera, 1 min. mellan termograferingarna.

Förfarande

Det finns riktlinjer för termografering givna i *SS-EN 13187 Byggnaders termiska egenskaper – Kvalitativ metod för lokalisering av termiska ofullkomligheter i klimatskärmen – Infraröd metod*, främst anpassad för termografering inomhus. Standarden ger ett flödesschema som följer.



Figur 4 Flödesschema för termografering enligt SS-EN 13187

Ändamålet för termograferingen måste dock styra metodvalet. SS-EN 13187 styr termograferingen så hårt att en tillämpning utomhus i fält inte är praktisk tillämpbar.

Standarden ger bl.a. att ute- och innetemperaturen ska bestämmas inom $\pm 1^\circ\text{C}$. Detta är inte möjligt då temperaturen kan variera stort mellan lägenheterna i ett flerbostadshus. Utomhustemperaturen varierar också under ett termograferingstillfälle och kan lokalt variera beroende på bl. a. väderstreck, vind, omgivning och höjd. Viktigt är dock att ha en temperaturskillnad mellan inne och ute. Denna skillnad bör vara minst 10-15 °C för att se isoleringsfel⁸. Vidare bör man inte termografera vid risk för nederbörd eller dimma. Byggnaden som termograferas bör heller inte utsättas för direkt solljus. Dessa väderförhållanden påverkar starkt utkomsten av en termografering. För detta projekts syfte krävs därför en metodik anpassad för termografering av stora byggnader utomhus.

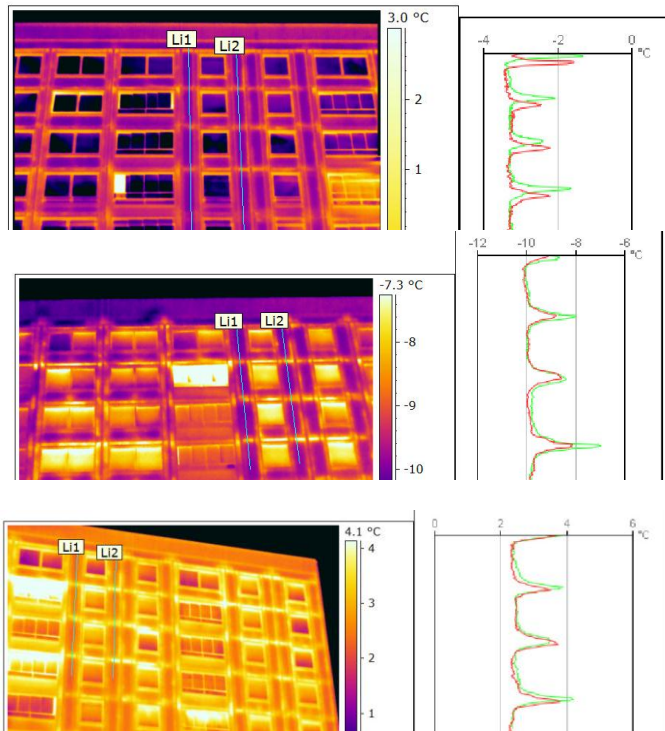
Användning av termograferingsresultat

I projektet förenklades alltså termograferingsförfarandet på grund av större osäkerheter i termografering utomhus än inomhus och då syftet är en översikt, inte en analys av detaljer eller enskilda delar.

Studien gav också att den absoluta yttemperaturen inte kan bestämmas då man trots likvärdiga förhållanden och samma inställningar på termograferingskameran kan få olika resultat.

Dock kan en relativ jämförelse inom en och samma bild kunna göras, se t.ex. Figur 5. Analysen kan alltså genomföras relativt och inte absolut, detta utan att ha stora krav på exaktheten i yttemperaturerna.

⁸ Grimnes, KH Byggtermografi En praktisk handbok

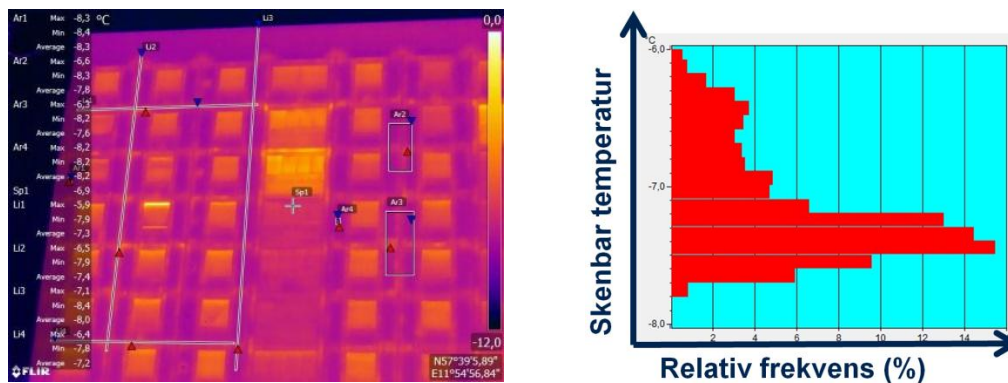


Figur 5 Termogram av samma fasad vid tre olika tillfällen. Graferna visar skenbar temperatur i lodräta linjer med återkommande toppar över mellanbjälklagen. Termogram behandlade i FLIR Tools +, FLIR Systems

Genom termograferingen kan således en bedömning av byggnadens köldbryggor i sin helhet göras. Typ och omfattning av köldbryggorna kan då bedömas och det finns möjlighet att upptäcka köldbryggor som inte har identifierats i studier av ritningsunderlag. Vidare kan andra faktorer som påverkar köldbryggornas genomslag identifieras såsom ej ritade snitt, ändringar, skador och VVS-installationer. Detta kan vara avvikelser som behöver vara direkt kopplade till ett helhetsgrepp i form av tilläggsisolering men som kan behöva åtgärdas. Dessa avvikelser identifieras genom jämförelse med övrig fasad.

Temperatursignatur

Genom förädling med olika former av mjukvara kan sedan histogram tas fram för att kontrollera en fasads *temperatursignatur*. Temperatursignaturen ger ett förhållande mellan den studerade byggdelens (t.ex. ett fasadutsnitts) skenbara temperatur och relativa frekvens. Alltså utbredningen av en viss ytemperatur över ytan. Totalt är den summerade arean av histogrammet 100 % av det valda snittet.



Figur 4 Skenbar temperatur och relativ frekvens (använd programvara: ThermoCAM Researcher Professional 2.10, FLIR Systems, 2012)

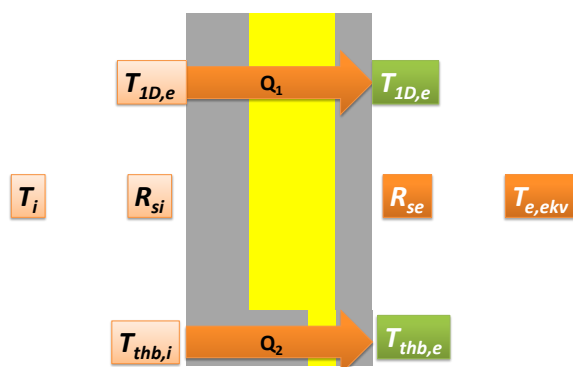
Histogrammet ger en kvantifiering av de mönster och köldbryggor ögat ser som bygger på faktiska värden, inte hur färger, skillnader eller övergångar mellan olika färger uppfattas. Histogrammet visar således en relativ fördelning av yttemperaturer i ett termogram. Histogrammet bör göras för ett representativt utsnitt på fasaden, en fördelning som anses rättvisande mellan andel yttervägg och andel mellanbjälklag. Snittet bör göras på ett återkommande område i fasaden.

Bestämning av värmeflöde

Genom att bestämma yttemperaturer skulle i förlängningen värmeflödet genom de olika konstruktionsdetaljerna kunna bestämmas och vidare U-värdet (värmeledningsförmågan för en byggdela) för olika konstruktioner samt Ψ -värdet (förstärkt värmeledning längs en linjeköldbrygga) för en byggnads köldbryggor beräknas. Således skulle även effekten av tilläggsisolering bestämmas.

Det faktum att yttemperaturerna endast är ungefärliga försvårar dessa typer av beräkningar. Istället kan en så kallad *incidensfaktor*⁹ I_{thb} beräknas. Incidensfaktorn kan beskriva förhållandet mellan köldbrygga och ostörd vägg. Ett högt värde ger att köldbryggans påverkan på konstruktionen är stor vilket ger ett större behov av åtgärder. För att beräkna incidensfaktorn bör några antaganden göras (se Figur 6):

- Stationära förhållanden
- 1D värmeflöde
- Samma yttre övergångsmotstånd
- $R_{se} = 0,04$ för hela väggen, motsvarande $r_{thb,se}$ och $r_{1D,se}$ i **Fel! Hittar inte referenskälla.** edan.
- Samma emissionstal för hela väggen
- Schablonvärden för inverkan av nattutstrålning (klart väder)



Figur 6 Värmeflöde Q_1 genom yttervägg och Q_2 genom köldbrygga.

⁹ Asdrubali et al, / Applied Energy 97 (2012) 365-373

$$I_{thb} = \frac{Q_{thb}}{Q_{1D}} = \frac{\frac{1}{r_{thb,es}} \times A_{thb} \times (T_{thb,es} - T_{e,skv})}{\frac{1}{r_{1D,es}} \times A_{1D} \times (T_{1D,es} - T_{e,skv})} = \frac{A_{thb} \times (T_{thb,es} - T_{e,skv})}{A_{1D} \times (T_{1D,es} - T_{e,skv})}$$

Figur 7 Incidensfaktorn

Sammanfattning: Analys av termogram

Bedömning kan göras visuellt i jämförelse med ritningsunderlaget.

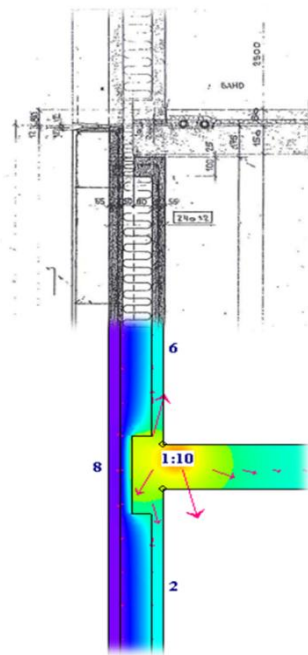
- Vad är karaktären för byggnaden som helhet?
 - Vilka köldbryggor framträder som betydande?
- Identifiering av typbyggnad?

Termograferingsresultatet bör kvantifieras genom

- Relativa skillnader i temperatur samt
 - Kontroll av Histogram
- Identifiering av typbyggnad?

Beräkning av incidensfaktor kan genomföras men värmeflöden och U-värden kan inte beräknas.

I ett vidare arbete kan analys av detaljer som identifierats ha en stor påverkan på värmeflödet genomföras genom modellering i ett FDM-program (Finit DifferensMetod) som HEAT2. I detta arbete kan termogrammen utgöra underlag som referens eller facit.



Figur 8 Modellering av köldbrygga i HEAT2 (HEAT2 8.0.3.0.A. Blocon, 2011)

Slutsatser metod

- SS-EN 13187 är alltför detaljerad för översikt av stora strukturer
- Vid byggsystem med stor upprepning: dokumentera typbild för kontroll av histogram, använd reflektor reflektorbild (se standard) samt detaljer på referens och avvikelse.
- Väderpåverkan betydande, men relativ. Viktiga krav: ej nederbörd eller dimma, ej direkt sol, temperaturskillnad ute-inne $\geq 10-15^{\circ}\text{C}$
- Utrustningen påverkar, men relativt. Vinkelpåverkan försumbar.

För analysen: **Många osäkerheter – kan tala relativt, ej absolut!**

- Visuell översikt visar byggnadens karaktär, men ej nivåerna
- Kvantifiering av översikt möjlig, visar relativa nivåer
- Numerisk bestämning ej möjlig på grund av för många osäkerheter
- Vidare teoretisk analys möjlig för praktiskt betydande köldbryggor

KARTLÄGGNING AV FLERBOSTADSHUS

I dialog med ett antal fastighetsägare identifierades fem områden med byggnader representativa för Miljonprogrammet, där samtliga byggnader och fasader termograferades. Nedan presenteras resultatet av termograferingarna. Resultatet av termograferingen redovisas för de olika objekten med termogram från respektive objektstudie och korta kommentarer av resultaten. Som kan ses i genomgången av representativiteten har en god andel av Miljonprogrammets byggnadstyper täckts in.

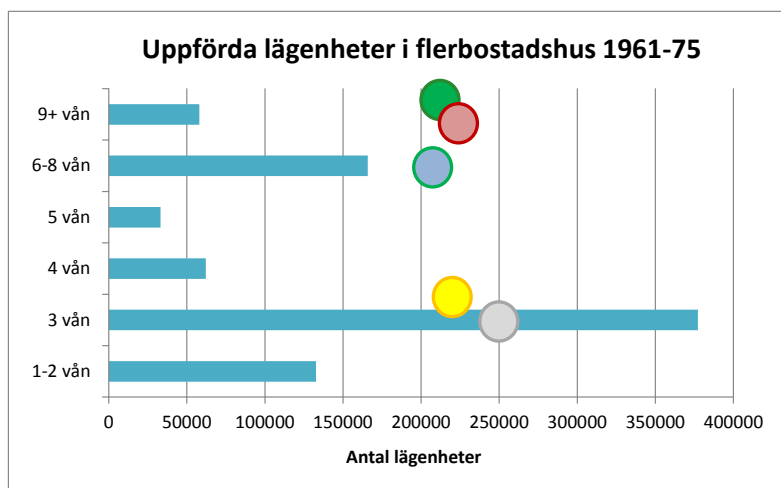
Objekt i undersökningen

- 5 hustyper, 37 hus, c:a 2500 lägenheter
- Byggår 1961-1974.
 - Två typer av betongprefab – bärande och icke bärande, med betong- eller sjöstensfasad.
 - Träregelement i pelarstomme, utfackningsvägg med träreglar eller lättbetong i bokhyllstomme.
- Träregelement i pelarstomme, utfackningsvägg med träreglar eller lättbetong i bokhyllstomme.
- Detaljutformning enligt prefableverantör resp. HSB:s typritningar (platsbyggt).

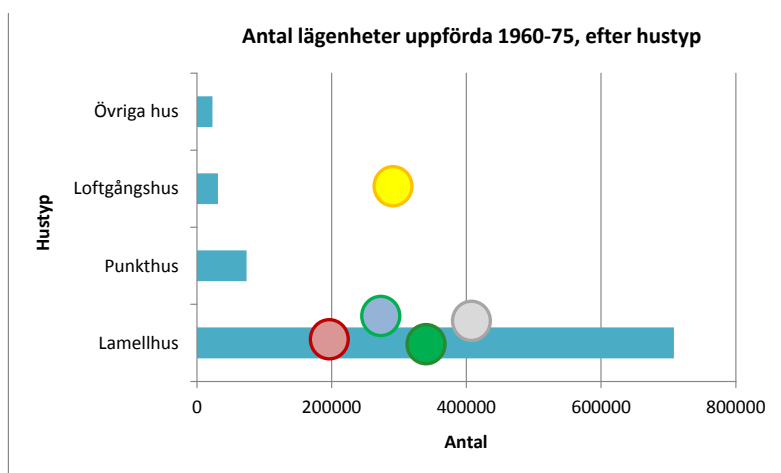
Objektens representativitet

De olikfärgade cirkarna nedan används som beteckning för de fem olika objekten i kommande diagram (Figur 9 - **Fel! Hittar inte referensälla.**).

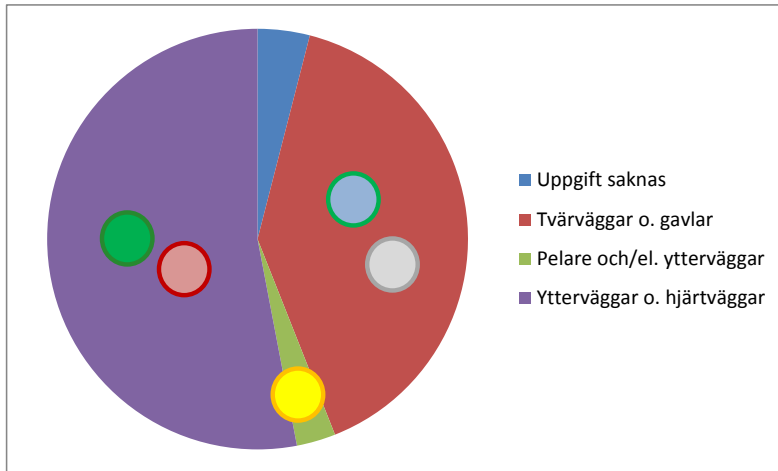
1. 12 vån lamellhus, bärande ytter- och hjärtväggar, prefabricerade sandwichelement, betongfasad
2. 3 vån, loftgångshus, bärande pelare och bjälklag i betong, yttervägg av träregelement, skiva/plåtfasad
3. 13 vån, lamellhus, bärande tvärväggar och gavlar, prefabricerade sandwich-element, sjöstensfasad/ putsade gavlar
4. 7 vån, lamellhus, bärande tvärväggar (platsgjutna), platsbyggda lättbetongväggar, tegelfasad
5. 3 vån, lamellhus, bärande tvärväggar och gavlar (platsgjutna), platsbyggda träregelväggar, tegelfasad



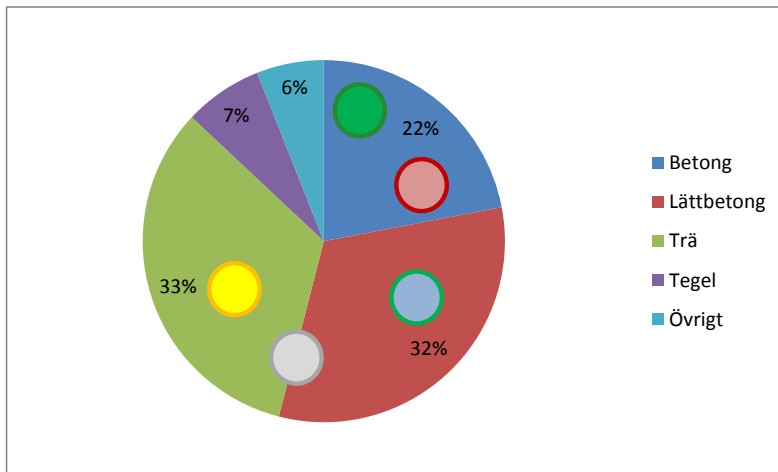
Figur 9 Boverket: Uppförda lägenheter i flerbostadshus 1961-75, fördelat på antal våningar per hus. Ur Janson, Berggren, Sundqvist (2008)



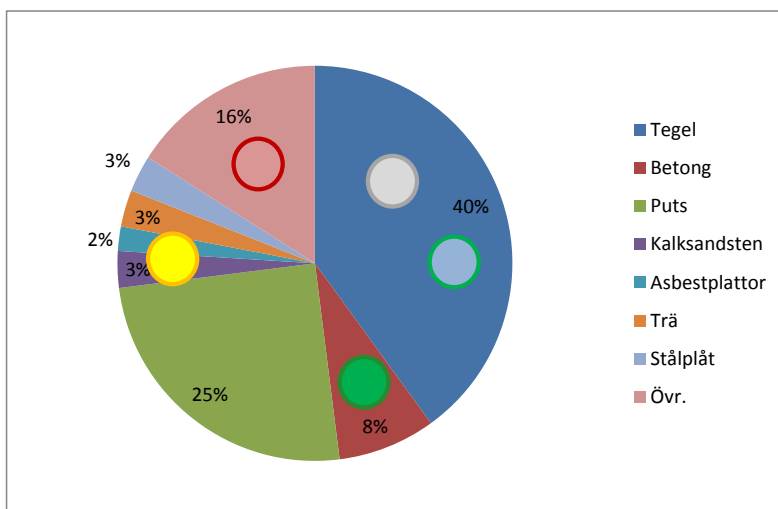
Figur 10 Boverket: Uppförda lägenheter i flerbostadshus 1961-75, fördelat på typ av byggnad. Ur Janson, Berggren, Sundqvist (2008)



Figur 11 SCB Låneobjektstatistik. Flerbostadshus byggda 1963-75 fördelade efter stomsystem. Ur Janson, Berggren, Sundqvist (2008)



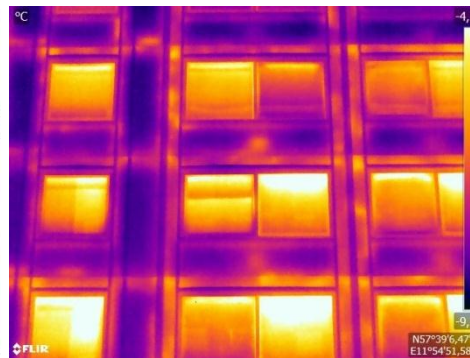
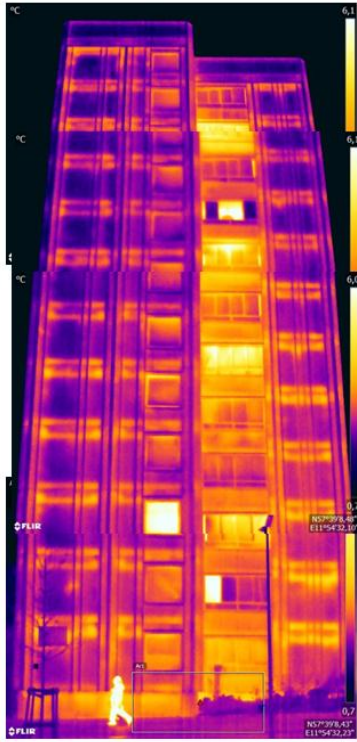
Figur 12 SCB Låneobjektstatistik. Flerbostadshus byggda 1963-75 fördelade efter stomme i ytterväggens långsida. Ur Janson, Berggren, Sundqvist (2008)



Figur 13 SCB Låneobjektstatistik. Huvudsakligt fasadmateriäl, flerbostadshus byggda 1963-75. Ur Janson, Berggren, Sundqvist (2008)

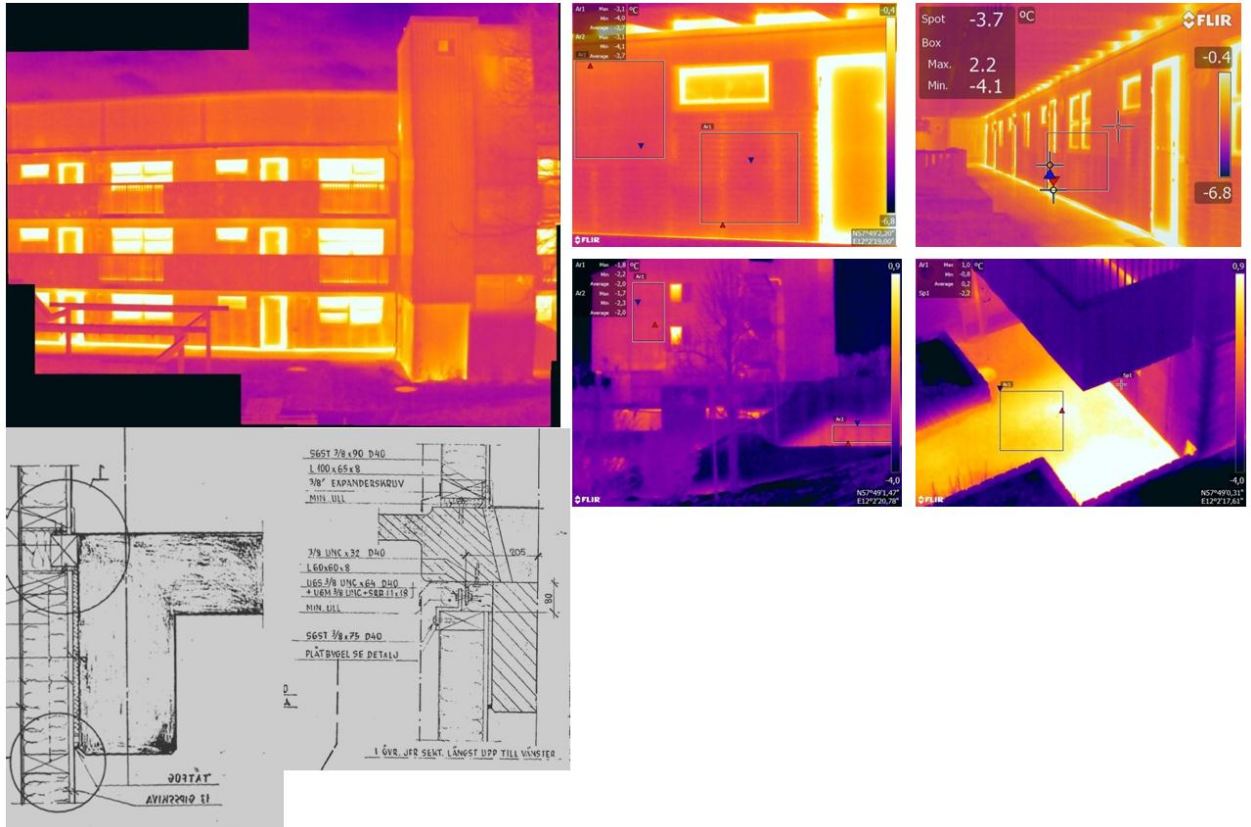
Objekt 1

Mest betydande är köldbryggan i mellanbjälklagen, förstärkt av värmeledningar som löper i bjälklagskanten. Kraftiga köldbryggor ses också i sockeln samt vid fönsterinfästningar och skarvar. Ursparing för f.d. tilluftskanaler märks i fasad på långsida.



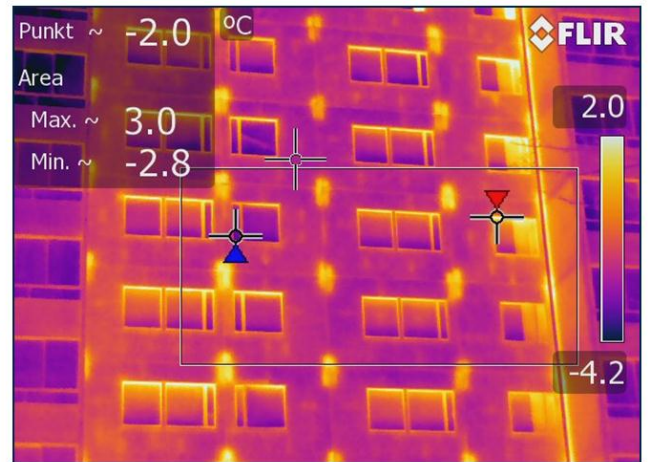
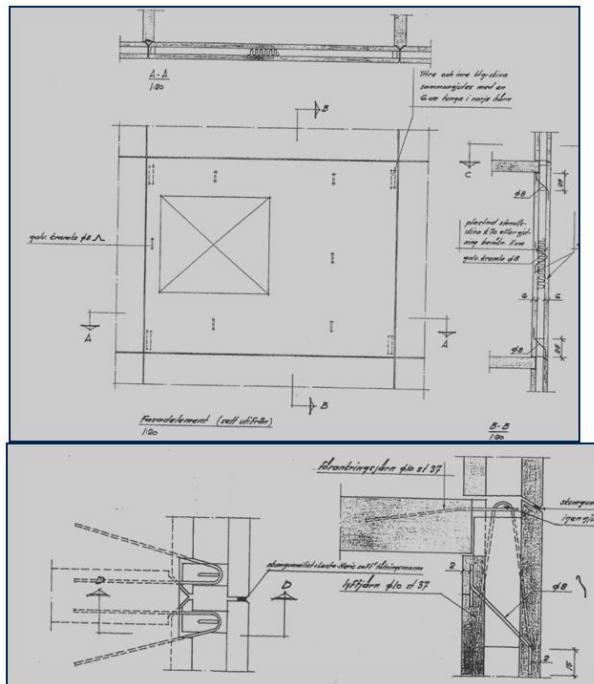
Objekt 2

Här finns en svårighet i att bedöma helheten då plåtfasader och ståldörrar stör termograferingen. Köldbryggor ses framför allt vid loftgångar och vid källarvägg, men bjälklagskanterna är skymda. Vissa genomgående infästningar syns.



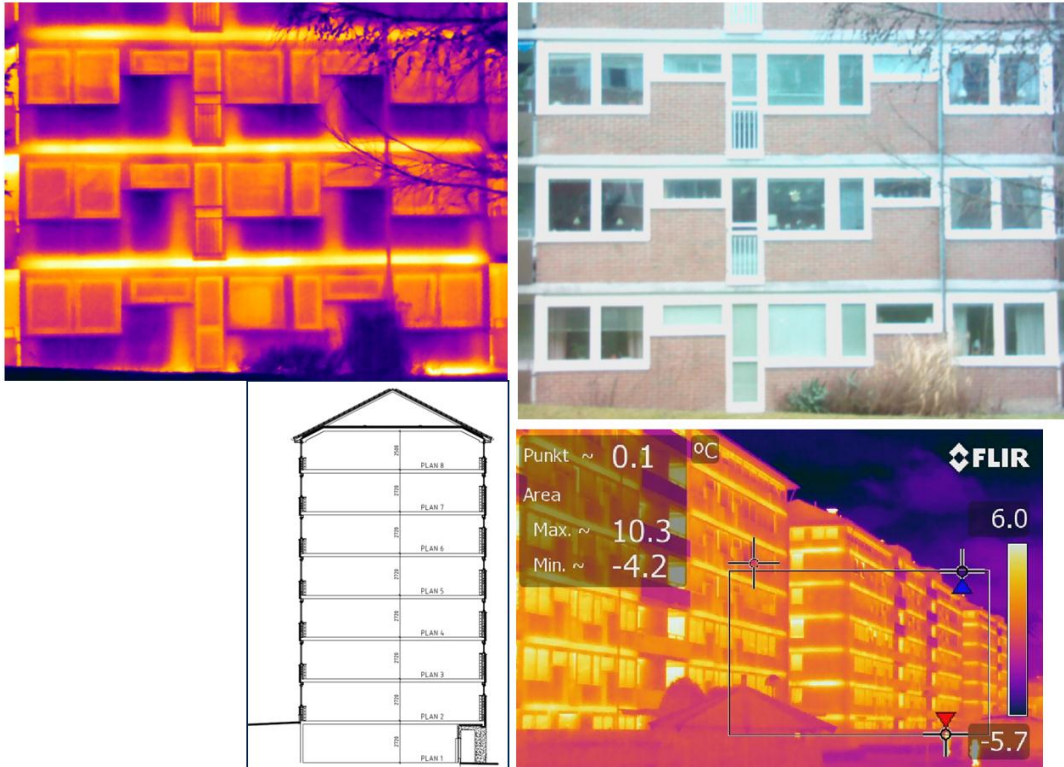
Objekt 3

Punktköldbryggor primärt i fasadinfästning av väggelement. Punktköldbryggorna kan ses i konstruktionsritningarna och i lokalt sänkt invändig ytemperatur.



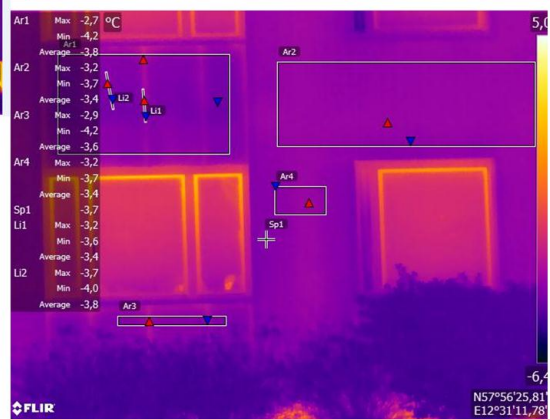
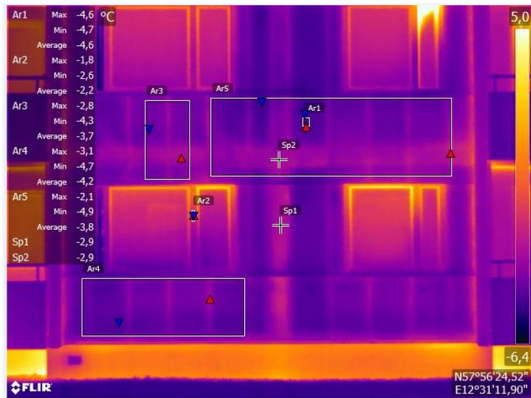
Objekt 4

Här ses kraftiga värmeförluster i bjälklagskanterna som går ut i fasadliv, samt i del av yttervägg. Byggnaderna värms med radiatorer kopplade till ett ettrörssystem ingjutet i mellanbjälklagen för att kompensera för värmeförlusten invändigt, därav det stora genomslaget.



Objekt 5

Byggnaderna har framträdande köldbryggor i bjälklagskanter, bärande tvärväggars kanter och sockel. I yttervägg med träregelvägg och skivfasad syns träreglarna tydligt, men genomsnittlig yttemperatur och köldbryggornas genomslag är ungefär desamma oavsett typ av utfackningsvägg (träregel- eller lättbetongstomme) och fasad (i huvudsak tegel, lokalt skivfasad).



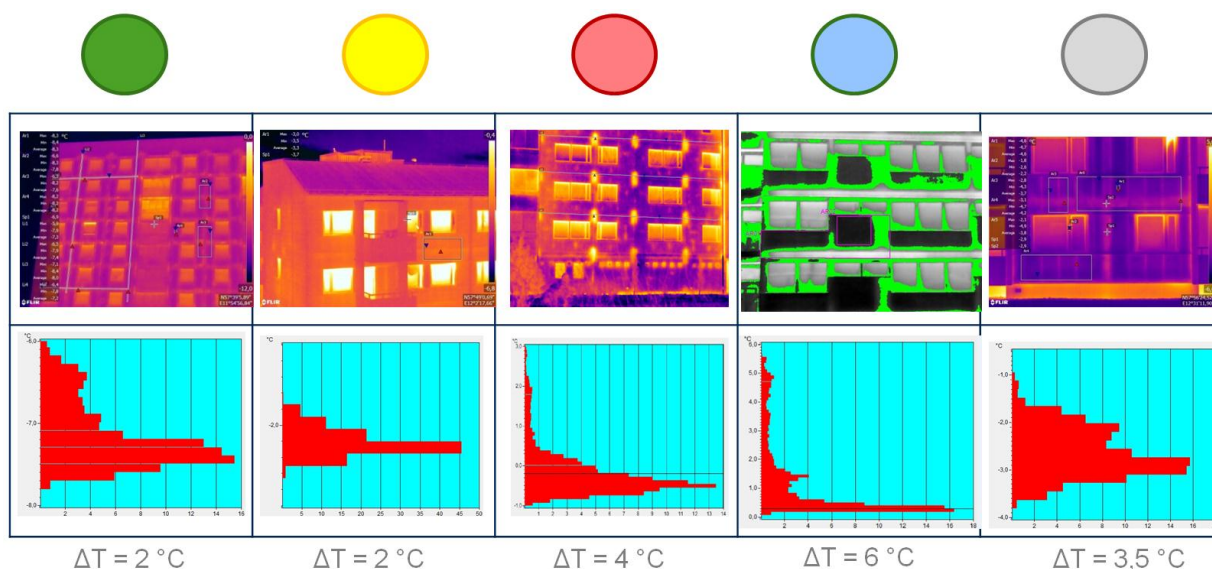
Sammanfattning av betydande köldbryggor i objekten

- Bjälklagskant (med/utan förstärkning från värmerör)
- Bärande tvärväggars anslutning mot yttervägg
- Balkonger/loftgångar
- Sockel (liten omfattning)
- Uppvärmd källare
- Fönsteranslutningar (stor omfattning)
- Detaljer: Elementinfästningar, ursparingar

Det är en stor skillnad i mängden köldbryggor och vilka som dominerar värmeläcket beroende på byggsystem, ytterväggens infästning, ev större oisolerade konstruktioner samt placering av värmesystem.

De kartlagda byggnadernas karaktär

Temperatursignaturen kan användas för att styrka vilka åtgärder som kan bli aktuella. För byggnader med få, avgränsade och dominanta köldbryggor kan riktade insatser vara mer intressant än för dem med jämnt fördelat värmeläckage eller många små köldbryggor. Observera att värme även sprids i 2D i fasaderna.



Figur 14 Temperatursignaturer för de undersökta objekten. Programvara: ThermaCAM Researcher professional 2.10 (FLIR Systems, 2012)

Summering av kartläggningen

En upprepning i de olika byggsystemens köldbryggor har kunnat identifieras. Alla byggnadstyper har kraftiga inslag av köldbryggor, men det skiljer i vilka som är stora i omfattning och/eller genomslag och total påverkan. Ytterväggens infästning i stommen avgörande för systemtypen. Vidare har konstaterats att ingjutna värmeledningar ger förstärkta värmeförluster. Slutsatser är svåra att dra för byggnader med ventilerade fasader eller plåtfasader.

SLUTSATSER OCH VIDARE ARBETE

Kartläggningen av representativa miljonprogramsbyggnader visar att betydande köldbryggor är

- Bjälklagskanter (ev. förstärkta av värmeledningar), tvärväggskanter.
- Balkonger och loftgångar.
- Sockel och källarkonstruktioner.
- Fönsteranslutning.
- Olika typer av infästningar.

Några andra slutsatser är:

- Termografering utifrån av stora byggnader fungerar, men en grövre metod krävs än vid termografering inifrån.
- Absolut temperaturbestämning fungerar inte – relativ jämförelse kan göras.
- Undersökningen täcker inte in alla byggsystem från perioden men resultaten kan ses som fallstudier av fem representativa byggnader från Miljonprogrammet.
- Byggnaders karaktär skiljer avsevärt beroende på byggsystem. Detta kan beskrivas visuellt i termogram eller kvantitativt med temperatursignatur.
- Nyttan med termograferingen har varit att ge en snabb helhetsbild och förståelse för byggnadstypernas prestanda – en mer fullständig bild än vid ritningsgranskning.
- Resultatet kan användas som underlag för åtgärdsdiskussion och/eller vidare analys av upptäckta svagheter i specifika konstruktioner. De undersökta byggsystemen kan användas som typexempel för liknande konstruktioner, och ny termografering kan göras i andra fall.
- Värmerör ingjutna i bjälklagskant både förstärker värmeförlusten och motverkar komfortproblemen som köldbryggan i anslutningen orsakar – viktigt att beakta om VVS-systemet eller väggen ska förändras.

MÖJLIGHETER TILL FORTSATT ARBETE

En fortsättning med att ta fram åtgärdsförslag för renovering kräver en teoretisk ansats:

- Är riktade insatser för avgränsade, betydande köldbryggor effektivt?
 - Anpassad tilläggsisolering? Effekt av "utsmetningen" i 2D i fasaden?
 - Åtgärdsförslag och effekter av ändrad förläggning av VVS-system?
- Värmeförluster kan inte beräknas/värderas från termogram
 - Termograferingen visar vilka köldbryggor som i praktiken är värda att studera. Ψ -värden kan beräknas för dessa i t.ex. HEAT.
 - För att undersöka vilka effekter på energianvändningen olika renoveringsåtgärder kan ha krävs att byggnaden som helhet modelleras i ett energiberäknings-program, t.ex. IDA, där olika åtgärder kan simuleras
 - Vissa åtgärder, t.ex. att flytta ingjutna värmerör till utanpåliggande lägen och hur detta påverkar transmissionsförlusterna, kan idag inte modelleras i IDA. Program-varuleverantören (Equa) är dock intresserade av att titta vidare på detta om intresse finns i branschen

Nyttan av tilläggsisolering i renovering är till syvende och sist beroende av fastighetsägarens och byggnadens förutsättningar, om det går att räkna hem renoveringen som helhet i en LCC-modell. Resultatet av en ev. Etapp 2 blir i så fall indata till dessa modeller.

REFERENSLISTA

A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings, Applied Energy 97 365-373 Asdrubali et al (2012)

Byggtermografi En praktisk handbok, Grimnes (2011)

Development of energy efficient wall for retrofitting, Martinsson & Tengberg (2012)

Energieffektivisering vid renovering av rekordårens flerbostadshus Janson, Berggren & Sundqvist (2008)

Energistatistik för flerbostadshus 2006. Sveriges officiella statistik statistiska meddelanden EN16 SM 0702, Statistiska centralbyrån. (2007)

EU-direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD, 2002/91/EG) och (EPBD2, 2010/21/EU)

Flerbostadshusens förnyelse – behov och förutsättningar 2002/03. ISBN 91-7147-797-7. Underlagsrapport från Boverket, Boverket (2003)

High Performance Insulation in Energy Efficient Retrofitting, Eriksson & Martinsson (2011)

Praktiska tillämpningar av högpresterande värmeisolering i ombyggnadsprojekt SBUF Rapport 12455, Eriksson (2012)

Structural systems of the Million Program Era, Stenberg (red) (2013)

Så byggdes husen 1880-2000: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år, Björk, Kallstenius, Reppen (2013)

Tack till

SBUF och Lågan

För ekonomiskt stöd i projektet

Fastighetsägarna som ställt upp med objekt, ritningar och arbete

Styr- och referensgrupperna

FoU Väst

Samt

Per Stenberg, KIMO

Anna Thomsen, Ramböll

Josef Johnsson, Ramböll

Erik Stenberg, KTH

Niko Gentile, LTH

För allt stöd och intressanta diskussioner längst vägen