

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Anders Persson

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/5029



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens 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 golvvärmesystem, 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.

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Anders Persson

© Anders Persson
ISRN LUTVDG/TVIT--11/5029--SE(127)

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

Sammanfattning

- Titel:** Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset, Malmö
- Författare:** Anders Persson
- Handledare:** Bill Herneheim, Ramböll & Mats Dahlblom, LTH
- Examinator:** Birgitta Nordquist
- Syfte:** Syftet är att kontrollera de energiberäkningar som är gjorda på Rambölls nya kontor i Malmö och jämföra modellerna med verkligheten för att på så sätt se om det tidigare beräknade resultatet på 44 kWh/m², år stämmer.
- Metod:** Byggnadens energianvändning kommer att simuleras i två olika datorprogram där VIP energy används för att få ett lätt jämförbar resultat då samma program användes vid beräkningen som gjordes när byggnaden projekterades. För en mer djupgående analys används IDA ICE som tillåter en mer detaljerad styrning av modellen. Som grund för simuleringarna ligger den verkliga byggnaden som undersöks med mätningar över luftflöden och temperaturer, granskning av bygghandlingar samt en okulär besiktning.
- Slutsatser:** Då båda de nya analyserna visar samstämmiga resultat runt 55 kWh/m², år måste slutsatsen bli att byggnaden inte kan anses vara så pass energisnål som tidigare har beräknats. Men trots detta är Ramböllhuset fortfarande en byggnad som måste uppfattas som energieffektiv då den ligger långt under BBR:s krav på 100 kWh/m², år även då inget extra tillägg görs för ökat ventilationsbehov.
- Nyckelord:** Energianvändning, Kontorshus, Utvärdering, Vip Energy IDA ICE.

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Abstract

- Title:** Evaluation of energyusage in Rambölls officebuilding in Malmö
- Author:** Anders Persson
- Mentor:** Bill Herneheim, Ramböll & Mats Dahlblom, LTH
- Examiner:** Birgitta Nordquist
- Aim:** In 2009 when Ramböll decided to build a new office they made a calculation of the buildings energyusage. The result of the analysis was 44 kWh/m², year. In this study a comparison between the old calculation and the real building will be made to see if the calculated result was accurate.
- Approach:** The energyusage will be simulated in two different computerprograms. The program Vip energy is used to get i easy comparable model to the old calculation, which was also done in VIP energy. For a deeper and more accurate study IDA ICE is used because it allows a more detailed steering of the input to the model. All input in the model are made to describe the real building that will be analyzed thru measurements over airflows and temperatures, a study over the blueprints and a visual inspection.
- Conclusion:** The result of the two simulations shows consistent results about 55 kWh/m², year. Even thou the new simulations raises the usage with 11 kWh/m², year the building must be considered as a low energy building because its well below the Swedish energynorm of 100 kWh/m², year even when no extra add-ons are made to meet the extra need for ventilation.
- Keywords:** Energyusage, office building, Evaluation, Vip Energy, IDA ICE.

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Förord

Denna studie är ett examensarbete som omfattar 30 hp genomfört vid avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Ramböll.

Examensarbetet har genomförts mellan januari och juni 2011.

Jag vill tacka mina två handledare Bill Herneheim på Ramböll och Mats Dahlblom på avdelningen för installationsteknik, LTH.

Jag vill också tacka:

Personalen på Ramböll i Malmö för ett trevligt mottagande och framförallt personalen på VVS avdelningen som varigt behjälpliga med diskussioner om installationssystem och dylikt. Ett särskilt tack riktas till Marika Andersson vars kunskap om energiberäkningar underlättat arbetet vid flera tillfällen. Utöver folk på Ramböll utgår ett tack till Niklas Smith på Lindinvent som utan att tveka gav mig full tillgång till deras Webbserver vilket besparade mig arbetet att utföra egna mätningar av byggnaden. Och även Johan Stein på avdelningen för byggnadsfysik vid LTH för lånet av värmekameran.

Lund Maj 2011

Anders Persson

Abstract

Innehållsförteckning

1	Inledning	11
1.1	Syfte och mål	11
1.2	Metod	11
1.3	Avgränsningar	12
2	Bakgrund	13
2.1	Historik	13
2.1.1	Energianvändning i bostäder och lokaler	13
2.1.2	Byggreglernas inverkan på Energianvändningen	14
2.2	Nuvarande byggregler	17
2.3	Energibalans	18
2.3.1	Faktorer som påverkar energibalansen	18
3	Byggnadsbeskrivning	21
3.1	Klimatskalet	21
3.1.1	Golvkonstruktioner	22
3.1.2	Väggar	22
3.1.3	Tak	23
3.1.4	Fönster	24
3.1.5	Dörrar	25
3.2	Installationer	25
3.2.1	Tilluft	25
3.2.2	Frånluft	27
3.2.3	Ventilation i Lägenheter	27
3.2.4	Värme och kylsystem	27
3.2.5	Tappvatten	28
3.2.6	Belysning	29
4	Mätningar	31
4.1	Mätningar av temperatur och luftflöde	31
4.1.1	Tilluftslöden	31
4.1.2	Kanaltemperatur	36
4.1.3	Rumstemperatur	39
4.2	Mätning med värmekamera	42
6	Beräkningar	49
6.1	Beräkningsverktyg	49
6.1.1	HEAT 2	49
6.1.2	Parasol	49
6.1.3	VIP Energy	50
6.1.4	IDA ICE	52
6.2	Beräkning av indata till energibalansberäkningar	53
6.2.1	Köldbryggor	53
6.2.2	Solavskärmning	56
6.2.3	Sedumbeläggning	59
6.3	Energisimuleringar	63
6.3.1	VIP Energy	63
6.3.2	IDA ICE	72
7	Resultat och Analys	83
8	Slutsats	89
	Referenser	91

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

1 Inledning

På grund av klimatförändringar och bristande tillgång till fossila bränslen har utvecklingen kommit till ett läge där energieffektivitet i allt större grad efterfrågas. Denna efterfrågan gäller även för byggsektorn där produkter som passivhus och plusenergihus har blivit erkända begrepp inom bostadsmarknaden. När det gäller kontorsbyggnader har det inte gått lika lätt då helt andra krav ställs på byggnaden i form av ventilation och kyla till följd av alla människor och utrustning som finns installerad.

Som ett steg i rätt riktning byggdes Rambölls nya kontor i västra hamnen Malmö 2009. Enligt dem själva ska byggnaden vara den energieffektivaste kontorsbyggnaden i Sverige.

1.1 Syfte och mål

Arbetets huvudsyfte är att kontrollera de energiberäkningar som är gjorda på Rambölls nya kontor i Malmö och jämföra modellerna med verkligheten för att på så sätt se om resultatet stämmer. Ett sekundärt syfte är att få en inblick i hur olika system samverkar så att en energieffektiv byggnad åstadkoms samtidigt som inneklimatet inte blir lidande.

1.2 Metod

Eftersom inflyttning i byggnaden skedde ett halvår innan detta arbete inleddes är det inte möjligt att kontrollera själva energiförbrukningen mot faktiskt uppmätta värden. På grund av att det de första månaderna sker en intrimning av systemen vilket gör att byggnaden inte uppför sig optimalt. Det är även viktigt att ha data från ett par år för att kunna skydda sig mot skillnader i utomhusklimatet.

Istället kommer indata till den beräkningsmodell som modellerats upp i datorprogrammet VIP energy när byggnaden projekterades jämföras med byggnadens verkliga utfall. Parametrar som undersöks är bland annat klimatskalet, ventilationssystemet, värme och kylsystem samt intern belastning. Undersökningen görs genom mätningar samt studier av ritningar och en okulär besiktning av byggnaden.

Beräkningsmodellen från VIP energy kommer sedan modifieras efter de skillnader som identifierats. Det resultat som fås kommer således fortfarande att vara teoretiskt men det bör stämma bättre med verkligheten. Denna beräkning kommer främst användas som en direkt jämförelse mot de gjorda beräkningarna. För det slutgiltiga värdet på energianvändningen kommer programmet IDA ICE att användas då det tillåter en mycket mer detaljerad styrning av invändiga system.

1.3 Avgränsningar

Eftersom studien görs under perioden januari till april så kommer sommaren inte att vara representerad. Detta gör att kylsystemet och solskydden inte kommer testas i praktiken. Dessa kommer därför att simuleras via datorer.

Då byggnaden befinner sig i intrimningskedet kommer värden gällande temperaturer i värme och kylsystemen att tas från bygghandlingarna då det är meningen att systemen ska hålla dessa temperaturer när intrimningen är slutförd. Eventuella avvikelser kommer istället att diskuteras separat.

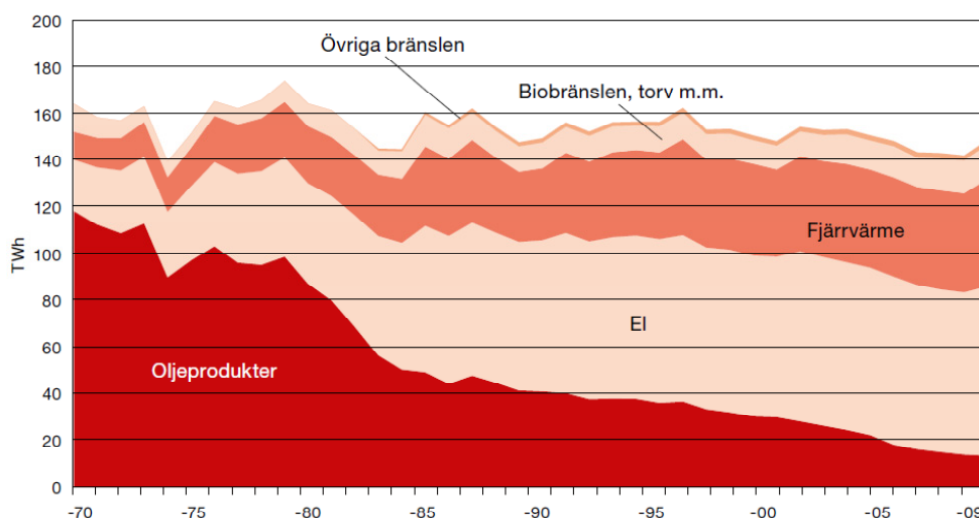
I beräkningsmodellerna kommer en hel del avgränsningar att göras. Dessa kommer att redovisas närmare i kapitel 5. Beräkningar.

2 Bakgrund

2.1 Historik

2.1.1 Energianvändning i bostäder och lokaler.

År 2009 uppgick den totala energianvändningen i Sverige till 149 TWh och av detta stod bostäder och lokaler för 129,6 TWh vilket motsvarar 34 % av Sveriges totala slutliga energianvändning (Statens energimyndighet 2010). Då 2009 var ett ovanligt varmt år, närmare bestämt 6°C varmare än ett normalår, normalårskorrigeras energianvändningen till 153 TWh för hela sektorn. Vilket är ungefär samma användning som funnits i Sverige sedan 1970. Den slutgiltiga användningen tillsammans med vilka energibärare som har använts visas i Figur 2.1.

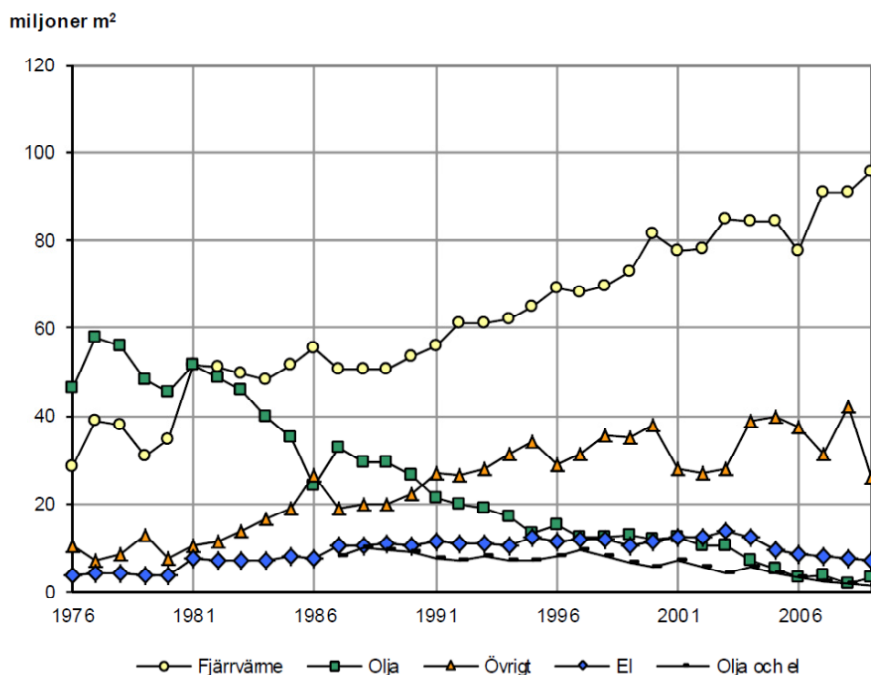


Figur 2.1 Slutlig energianvändning inom sektorn bostäder och service 1970-2009. Källa: Statens energimyndighet (2010)

Som ett komplement till statistiken över den totala slutliga användningen bör vägas in att antalet bostäder ökat med ungefär 40 % sedan 70 talet och även lokalarean har ökat kraftigt. För att kunna behålla lika stor total förbrukning måste det således till en rejäl effektivisering. Som synes i Figur 2.1 har det inte bara skett en effektivisering utan även en övergång mellan olika energikällor. Denna övergång hänger till stor del ihop med energibärarnas olika prisnivåer över tid. Där ökade oljepriser på 70- och 80 talet samtidigt som kärnkraftsutbyggnaden höll nere elpriserna haft kraftigast inverkan (Formas 2005). Som följd av omställningen från eldning med olja i egen panna till fjärrvärme och el har också en gratis statistisk reduktion i byggnadens energi-användning uppnåtts genom att omvandlingsförlusterna kommer att räknas till produktionen i kraft- och värmeverk istället för det enskilda hushållet. På grund av detta samt att kärnkraftsförlusterna nu mer räknas in i den totala energianvändningen har Sveriges totala energitillförsel ökat från 457 TWh till 624 TWh mellan 1970-2003 medan den slutliga energianvändningen varit nästan oförändrad (Formas 2005). En annan stor orsak till den minskade användningen är att det har installerats fler och fler värmepumpar. Vilket reducerar elanvändningen då en värmepump drar ungefär en

tredjedel så mycket elenergi som den levererar värme. Tilläggsisolering och lufttätning av äldre byggnader är andra faktorer som har reducerat energianvändningen.

I Figur 2.2 redovisas uppvärmd lokalarea fördelad efter uppvärmningssätt. Det går tydligt att utläsa att även här har oljan mist sin dominerande ställning men här framförallt till fjärrvärmens istället för elanvändning.



Figur 2.2 Lokalarea fördelad efter uppvärmningssätt åren 1976-2009.

Källa: Statens energimyndighet 2011

Från början av 90-talet har elanvändningen i lokaler och bostäder hållit en konstant nivå runt 70 TWh normalårskorrigerat. En stor del av detta härrör från driften som används i lokaler där en ökning har skett från 8 TWh år 1970 till drygt 30 TWh år 2008 (Statens energimyndighet 2010). Det visade sig vid en studie som gjordes under 2005 att det framförallt var belysning och fläktar som bidrog till användningen. En anledning till den ökande användningen av driftel kan vara ökade krav på inneklimat där ökade luftflöden och längre drifttider ökar användningen.

2.1.2 Byggreglernas inverkan på Energianvändningen.

Efter att världen drabbades av den första oljekrisen 1973 stod det klart att något måste göras åt västvärldens beroende av olja. För att klara att bryta beroendet satsades det dels på att införa en omställning till andra energikällor men det tillkom även satsningar för att minska energianvändningen överlag. Till följd av detta byggdes kärnkraften och fjärrvärmens ut i Sverige samtidigt som direkta krav kopplade till energianvändningen för första gången ställdes då Svensk Bygg Norm75 infördes. De nya kraven innebar en kraftig markering mot vad som ansågs vara acceptabelt då specifika U-värdeskrav ställdes upp för olika byggnadsdelar. Tidigare hade enbart

Bakgrund

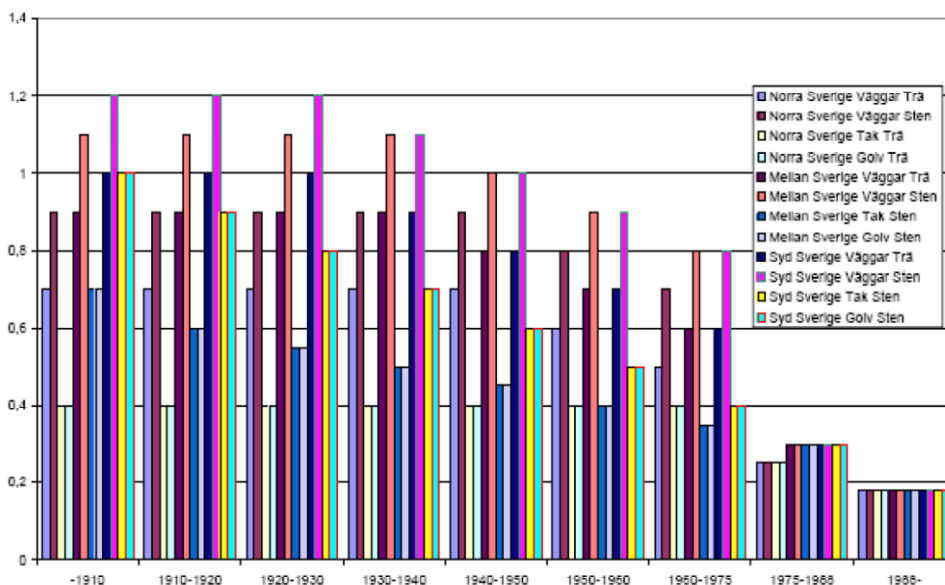
krav på byggnaden ställts ur ren komfortsynpunkt då t.ex. tvåglasfönster skulle användas för att minska kallrasen. De krav som ställdes kan ses i Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Krav på U-värden för södra Sverige. Källa SBN 75

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)
Vägg som gränisar mot uteluft	0,3
Tak	0,2
Platta på mark	0,3
Fönster (karm+båge)	2,0

1988 kom boverket ut med en ny föreskrift nämligen Boverkets Nybyggnadsregler NR 88 där byggnadens värmeenergiebehov var i fokus. Till skillnad från SBN 75 ställdes inte längre krav på specifika U-värden för olika byggnadsdelar utan istället angavs kravet på värmeisolering som ett medelvärde över hela byggnaden. Det ställdes även krav på byggnadens lufttäthet som inte fick överstiga 0,8 l/s, m² för bostäder och 1,6 l/s, m² för lokaler vid en tryckskillnad på 50 Pa. Ett sista krav som ställdes var att byggnaden skulle förses med värmeåtervinning av frånluften om byggnaden i huvudsak (> 50 %) värms med icke förnyelsebar energi (Irminger Street 2008).

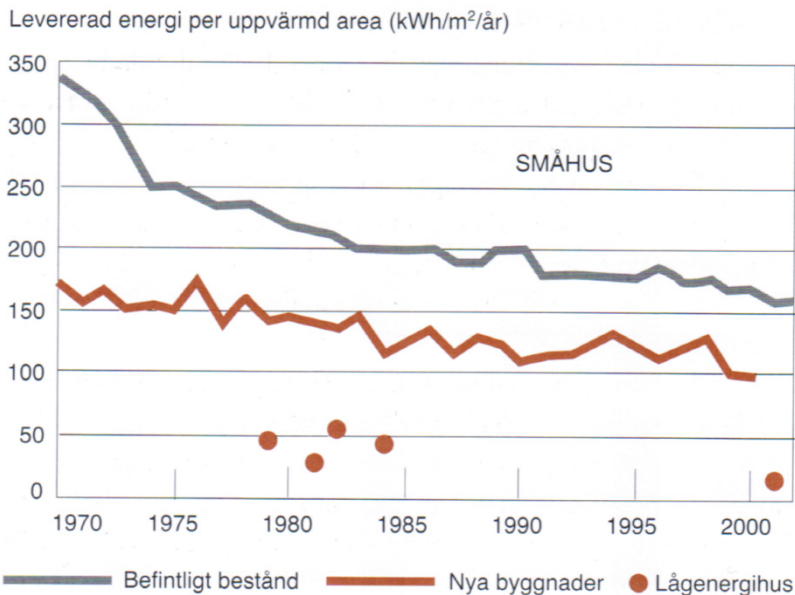
För att uppfylla kraven som angavs i NR 88 krävdes det antingen att alla tre kraven var uppfyllda eller att omfördelningsberäkningar på ett referenshus visade att byggnaden fullgjorde kravet på U-medel vid en energibalansberäkning. Detta innebar att det var fritt fram att till exempel byta ut en viss mängd isolering mot att byggnaden gjordes tätare. I Figur 2.3 kan U-värdet på hus byggda i Sverige under olika perioder beskådas. Det är framförallt tydligt att införandet av SBN 75 hade en önskad effekt men en förbättring skedde även efter att NR88 kom ut.



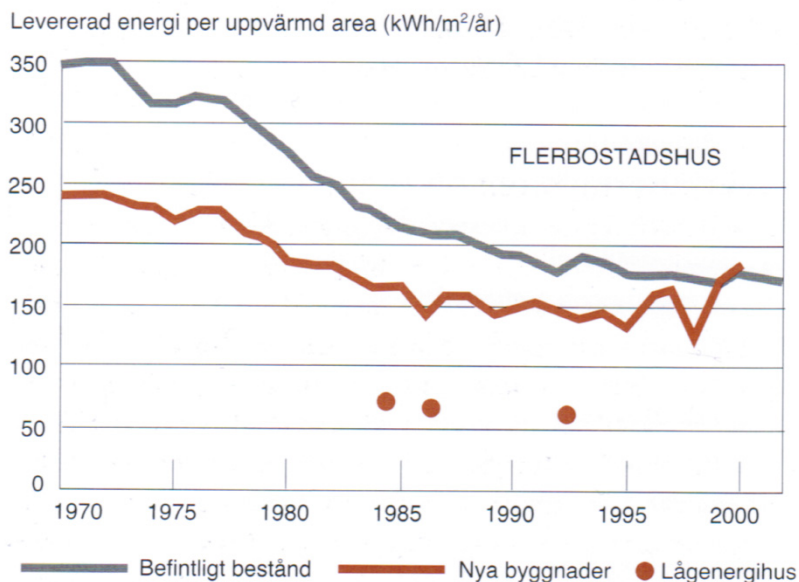
Figur 2.3 Spridning på U-värden för väggar golv och tak för olika regioner och tids epoker. Källa: Irminger Street 2008

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Efter att NR 88 kommit ut hamnade energieffektiviseringen i lite av ett stiltje då hus kom att byggas efter kraven men ingen egentlig förbättring skedde. I Figur 2.4 och Figur 2.5 visas energiförbrukningen per m² för småhus respektive flerbostadshus. I dessa figurer är det framförallt tydligt att utvecklingen stannade av lite efter att byggreglerna fastslogs 1988. Under perioden kom det trots detta att byggas ett flertal så kallade passivhus som visade att det var möjligt att bygga bostäder med riktigt låg energianvändning. Några av dessa byggnader är också inritade i diagrammen.



Figur 2.4 Levererad energi till småhus. Källa: Formas 2005



Figur 2.5 Levererad energi till flerbostadshus. källa Formas 2005

2.2 Nuvarande byggregler

I den senaste utgåvan av BBR 2008 så bedöms energianvändandet lite annorlunda mot hur det har gjorts tidigare nämligen genom krav på byggnadens specifika energianvändning. Vilket definieras som:

$$\frac{\text{Byggnadens energianvändning } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{år}}\right)}{\text{Golvarean } A_{\text{Temp}} (\text{m}^2)}$$

Andra definitioner som anges i BBR:

A_{Temp} : Den area i en byggnad som är avsedd att värmas upp till minst 10°C. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt inräknas. Area för garage inom byggnaden, i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, räknas inte in.

Byggnadens energianvändning: Benämns ofta som köpt energi och är den mängd energi som vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till byggnaden för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi.

Byggnadens fastighetsenergi: Den del av fastighetselen som används till byggnadens behov och där apparater finns i anslutning till byggnaden. Här ingår fast belysning i allmänna utrymmen och driftutrymmen. Dessutom ingår energin som används i värmekablar, pumpar, fläktar, motorer, styr- och övervakningsutrustning och dylikt.

Klimatzon I, II och III: Klimatzon ett innefattar Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län. Zon två innefattar Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län. Medan Zon tre tar allt i söder närmare bestämt Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län.

BBR innehåller både krav på bostäder och lokaler. I detta arbete redovisas enbart lokalkraven eftersom enbart kontorsbyggnader kommer att behandlas. Kraven för lokaler som har annat uppvärmningssätt än elvärme kan ses i Tabell 2.2.

Tabell 2.2 Kraven i BBR gällande energianvändning i lokalbyggnader.

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika Energianvändning [kWh per m² A-temp och år]	140	120	100
+ tillägg¹	110(qmedel-0,35)	90(qmedel-0,35)	70(qmedel-0,35)
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m² K]	0,70	0,70	0,70

¹ då uteluftsflödet av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s, m² i temperaturreglerade utrymmen. Där qmedel är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 [l/s, m²].

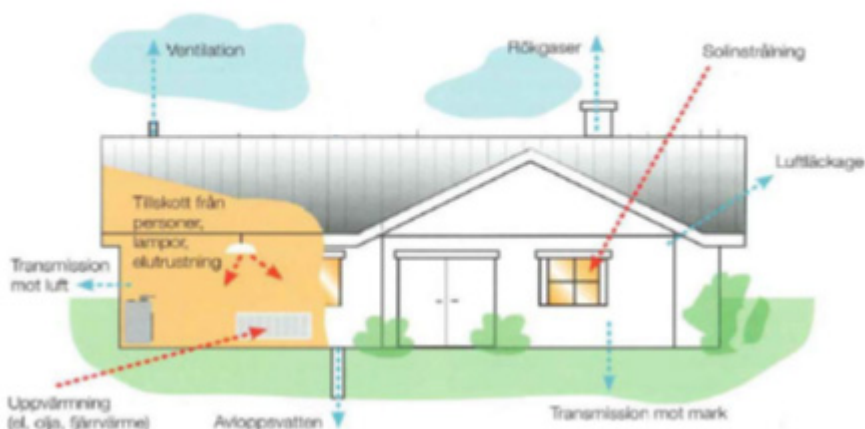
Förutom dessa krav finns även krav angående verifiering av energianvändningen senast två år efter färdigställandet vilket ställer krav på energiberäkningen vilken inte bör avvika för mycket från den verkliga driften.

2.3 Energibalans

För att kunna undersöka en byggnads energibehov på teoretisk nivå krävs det att antaganden görs av energin som tillförs och används i en byggnad. Detta görs vanligen i en energibalansberäkning där både tillförd och avgiven energi balanseras mot varandra ungefär som på en balansvåg. För att byggnadens inomhustemperatur ska kunna hållas konstant krävs det då att jämvikt uppstår, vilket medför att summan av in- och utflödena måste vara noll. Normalt sätt ges en tolerans på rumstemperaturen genom att ett övre och ett undre gränsvärde ges. Vilka gränser som sätts upp beror på vilken verksamhet som bedrivs i byggnaden.

Då dessa beräkningar lätt blir väldigt komplexa till följd av att ett flertal faktorer fluktuerar över tiden både vad gäller tillförd och avgiven energi används med fördel olika datorprogram för att göra beräkningarna. I Figur 2.6 går det att se exempel över faktorer som påverkar energibalansen

Energibalans



Figur 2.6 Tillförd och avgiven energi i en byggnad. Källa: Energi och Byggnadsdesign LTH 2011 b.

2.3.1 Faktorer som påverkar energibalansen

Transmissionsförluster

Med transmissionsförluster menas den energi som avges genom byggnadens klimatskal, alltså dess tak, väggar och golv samt fönster och dörrar. Transmissionsförlusterna uppstår till följd av temperaturskillnader på in- och utsidan av byggnaden. Då in- och utsidan försöker hamna i termisk jämvikt kommer den varma sidan att

Bakgrund

sträva efter att avge energi till den kalla genom värmeledning, konvektion och strålning. Hur stor transmissionsförlusten blir beror alltså på de ingående materialens motstånd mot just värmeledning, konvektion och strålning.

Köldbryggor

Med köldbryggor menas specifika detaljer på en byggnad där transmissionsförlusterna är högre än resterande delar. En köldbrygga förekommer till exempel vid infästningar av fönster eller där ett bjälklag ansluter till en yttervägg. En köldbrygga behöver inte bara leda till ökade transmissionsförluster utan den kan även ge upphov till komfort- och fuktproblem då lokala delar på fasaden kan få kraftigt sänkta yttemperaturer.

Ventilationsförluster

All luft som ventileras ut från en byggnad innehåller energi som går förlorad. Byggnader där ökade krav ställs på ventilationen av hygieniska skäl medför därför en ökande energiförlust. För att motverka delar av ventilationsförlusterna kan värmeväxlare installeras där så mycket som 80-85 % av energi i frånluften överförs till tilluften.

Luftläckage

Med luftläckage menas den ofrivilliga ventilation som sker i byggnader där luft helt enkelt passerar in och ut genom klimatskalet.

Tappvarmvatten

Behovet av tappvatten kan variera väldigt mycket för olika verksamheter där t.ex. ett kontor har väldigt låg förbrukning medan ett tvätteri använder större mängder. I Figur 2.6 representeras tappvarmvattenförlusterna av avloppsvatten. En annan benämning som kan förekomma är spillvattenförluster.

Driftel

Till driftel räknas den el som används för att upprätthålla byggnadens funktion. Saker som räknas in är el till pumpar, fläktar, hissar samt belysning i trappuppgångar.

Verksamhetsel

Verksamhetsel är den el som beror på brukarnas vanor. Hit räknas t.ex. el till datorer köksutrustning och arbetsplatsbelysning. Verksamhetsenergi ingår inte i kraven på högsta energianvändning från BBR.

Rökgaser

När någon typ av förbränning sker i en byggnad, exempelvis pelletsförbränning i lokal värmepanna, kommer en del av värmeenergin från pannan att gå förlorat i form av uppvärmning av de rökgaser som ventileras bort via skorstenen.

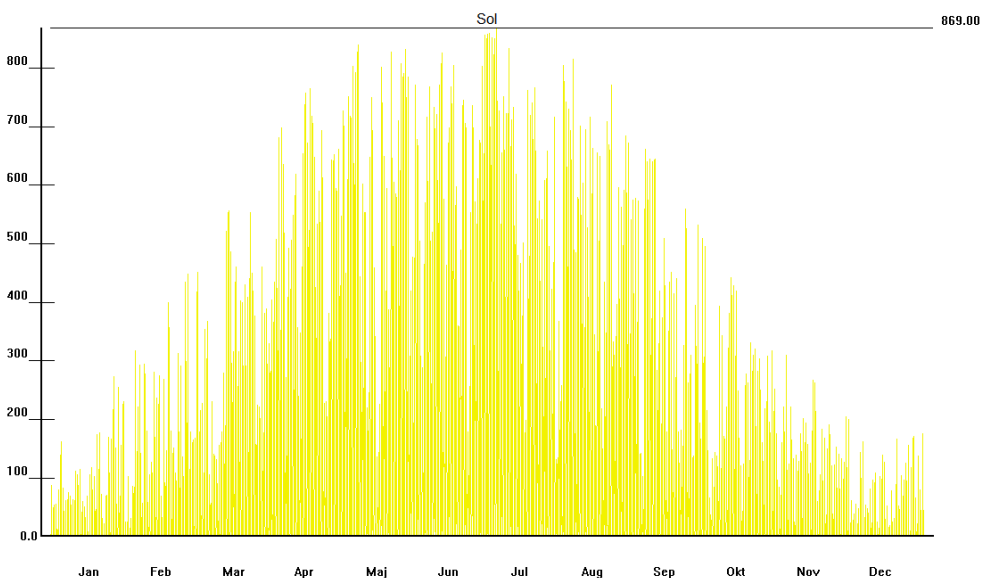
Värme och kylsystem

Den huvudsakliga tillförseln av energi till byggnaden kommer allt som oftast från någon typ av värmesystem. Själva värmesystemet består i sin tur av två delar. En primärkrets där energin produceras exempelvis, fjärrvärme, värmepump eller oljepanna. Energin överförs sedan till ett sekundärsystem, vilket oftast är ett vattenburet system med antingen radiatorer, konvektorer eller golvvärme.

På sommaren uppstår ibland ett behov av att kyla byggnader vilket sker på liknande sätt som uppvärmning men energi avges istället för att tillföras byggnaden.

Solenergi

Då solens strålning träffar en byggnad kommer den att bidra till uppvärmningen av byggnaden. Framförallt byggnader med stora fönstereareor mot söder får ett ökat tillskott av energi då glaspartierna släpper in en del av strålningen till rummet. Då solstrålningen är som störst under sommaren när kylbehov istället för värmebehov föreligger i byggnaden kan inte den extra energin som kommer från solen alltid anses vara till nytta. I Figur 2.7 visas hur solens strålningsintensitet kan variera över året.



Figur 2.7 Solens strålningsintensitet över året (W/m^2) Källa: VIP Energy

Värme från personer och utrustning

Alla personer avger en viss mängd värme, hur stor mängd värme som avges beror till största del på vilken aktivitet som personen i fråga sysslar med, där en vuxen person i vila avger ca 85 W medan en person som håller på med kontorsarbete avger ca 100 W (Fanger P.O 2005).

Den utrustning och belysning som finns installerad i en byggnad kommer att avge värme till byggnaden, exempelvis avger en dator ca 125W (Boverket 2011).

3 Byggnadsbeskrivning

Ramböllhuset är ett femvåningshus beläget i Västra Hamnen, Malmö. De fyra nedersta våningarna används som kontorsbyggnad av Ramböll medan det översta planet rymmer 7 lägenheter samt ett fläktrum. För mer detaljerad utformning av de olika planen se Bilaga 1.

Huset stod klart för inflyttning i juli 2010. Eftersom huset var så pass nytt var vissa inbyggda system fortfarande under intrimning när denna studie genomfördes.



Figur 3.1 Ramböllhuset sett ifrån sydost

3.1 Klimatskalet

Huset är byggt med platta på mark och en tung stomme med sandwichelement av betong. Taket är till största del ett platt tak med sedumväxter, vilket var ett krav från kommunen då andelen gröna ytor i omgivningen skulle bevaras.

3.1.1 Golvkonstruktioner

Som tidigare nämnts är markbjälklaget av typ platta på mark med underliggande isolering. Som dräneringsskikt används makadam. Marken under består mestadels av fyllnadsmaterial. Materialen kan ses till höger i Figur 3.2.

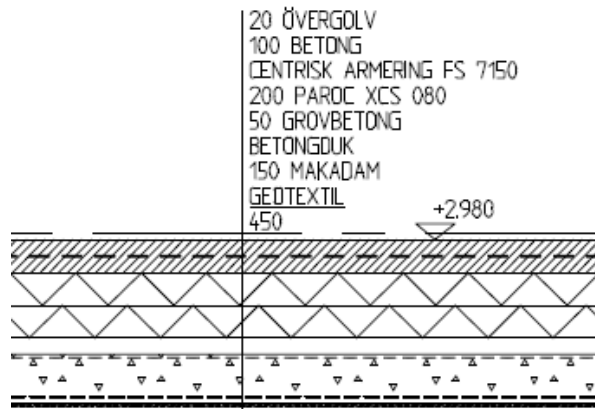
Beräknat U-värde.

0-1m 0,155 W/m²K

1-6m 0,113 W/m²K

> 6m 0,101 W/m²K

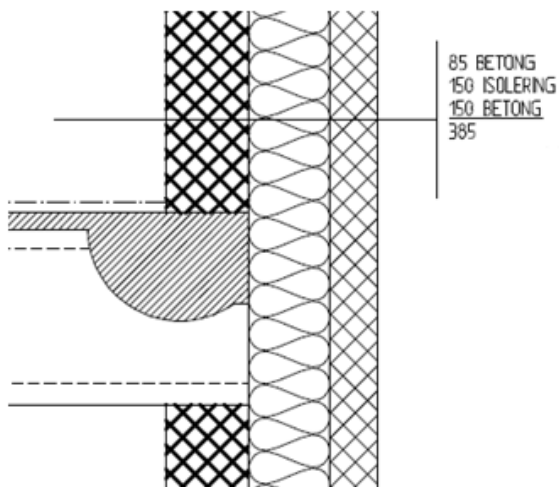
För en tydligare genomgång av U-värdesberäkningen och ingående material hänvisas till bilaga 3.



Figur 3.2 Sektionsskiss över golvkonstruktionen

3.1.2 Väggar

Ytterväggen till kontorsdelen består av ett sandwichelement av betong med mellanliggande mineralullsisolering. På utsidan av konstruktionen används en fasadplåt av typ Alucobond vilket är ett sandwichmaterial med två aluminiumplåtar som innesluter en kärna av plast.



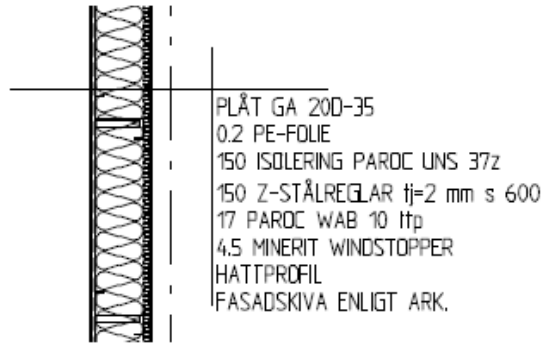
Figur 3.3 Sektionsskiss över väggkonstruktionen

Konstruktionen kan ses i Figur 3.3 och U-värde har beräknats till 0,212 W/m²K.

Det uppnås två extra fördelar tack vare att det finns ett bärande betongskikt på insidan av isoleringen. Dels tar det upp de naturliga temperaturvariationerna och jämnar ut dem över tid. Och dels så minimeras köldbryggor vid anslutning av bjälklag, fönster och liknande då inte isoleringsskiktet behöver brytas.

På det översta våningsplanet består väggen mot fläktrummet av samma konstruktion som kontorsväggarna medan bostäderna har en enklare utfackningsvägg med isolering mellan ytskikt av plåt. Bostadsväggen kan ses i Figur 3.4.

U-värde för denna vägg är $0,229 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 3.4 Sektionsskiss över väggkonstruktionen

3.1.3 Tak

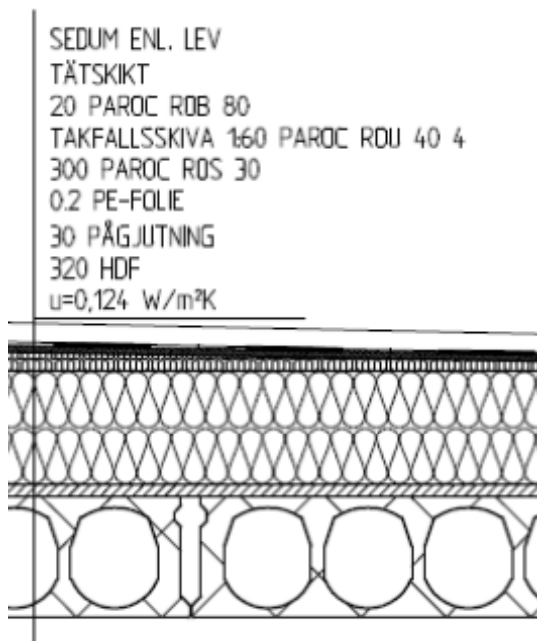
På byggnaden finns det tre olika takkonstruktioner, det huvudsakliga sedumtaket, ett terrasstak på plan 3 och 4 samt ett tak med aningen mindre isolering till bostäderna. Samtliga tak är av typen platta tak. De är alltså inte byggda med något fall förutom det som behövs för vattenavrinning, för Ramböllhuset är takfallet 1:60. De olika takens uppbyggnad kan ses i figur 3.5–3.7.

U-värdena är som följer:

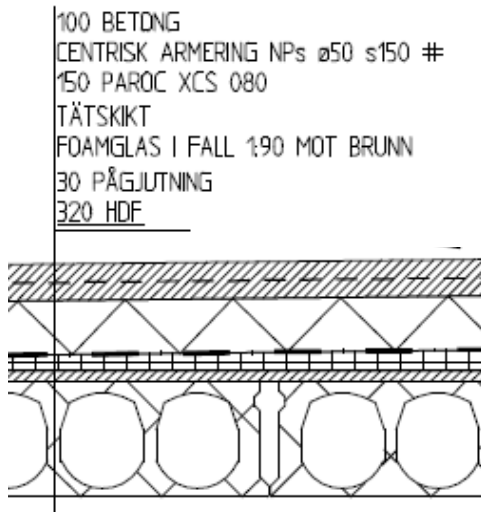
Terrasstak $0,210 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sedumtak $0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tak på bostad $0,204 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figur 3.5 Sektionsskiss över sedumtaket



Figur 3.6 Sektionsskiss över terrasstaket

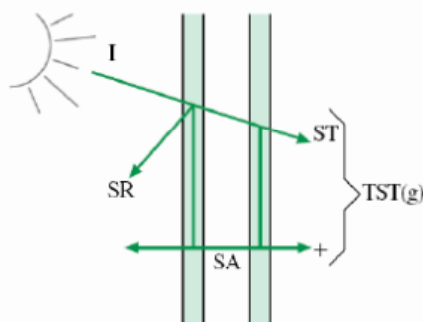


Figur 3.7 Sektionsritning över bostadstaket

3.1.4 Fönster

På byggnaden används två olika typer av fönsterglas beroende på vilken solbelastning de utsätts för. På norrsidan används ett energisparglas av typen Planitherm Ultra medan det på övriga fasader används ett solskyddsglas av typ SGG Cool-lite SKN 165B; båda fönstertyperna tillverkas av Emmaboda glas. Egenskaper för glasen återfinns i Tabell 3.1.

När strålning träffar ett genomskinligt material såsom glas kommer en del att absorberas, en del reflekteras, medan resten av strålningen kommer att transmittas genom glaset. Parametern som beskriver den direkt transmitterade andelen (t) vilket är kvoten mellan den transmitterade strålningen och den infällande solstrålningen. En annan faktor som används är solfaktorn (g) som är summan av den direkt transmitterade strålningen och energin som indirekt tillförs rummet genom värmeöverföring från fönster och solskyddsmaterial som har absorberat solstrålning. En schematisk skiss över hur strålning mot ett fönster delas upp kan ses i Figur 3.8. Här anger SR den reflekterade strålningen, SA den absorberande strålningen och ST den Transmitterande strålningen.



$$I = SR + SA + ST = 100\%$$

Figur 3.8 Förenklad beskrivning av ingående komponenter i värmebalansen för en solbelyst glasruta. Källa: Irmingers street 2008

Tabell 3.1 Egenskaper för olika glastyper

	SGG CLIMAPLUS ULTRA N	SGG COOL-LITE SKN 165B
U-värde	1,3 W/m ² K	1,4 W/m ² K
Primär transmission (t-värde)	0,53	0,30
Solfaktor SF (g-värde)	0,63	0,33

Indata för ingående glas hämtade från (Emmabodaglas 2011)

Mellan de vanliga fönstertyorna finns även så kallade blindfönster som består av ett mörkt glas som inte går att se igenom. Bakom glaset finns cellplastisolering vilket ger ett U-värde på 1,3 W/m²K.

Hur stora fönsterareorna är på de olika väggpartierna redovisas i bilaga 2.

På samtliga fasader utom norr finns ett automatiskt solskydd av typ yttre lameller. I beräkningskapitlet görs en studie av hur dessa interagerar med de installerade glaset.

3.1.5 Dörrar

Ytterdörrarna är glasdörrar med samma typ av glas som solskyddsfönstren. Men av förklarliga skäl förses inte dörrarna med något solskydd. Egenskaperna blir således samma som för solskyddsglasen men karmandelen ändras från 5 % till 10 %. Precis som för fönstren så redovisas vilka areor som upptas av dörrar i bilaga 2.

3.2 Installationer

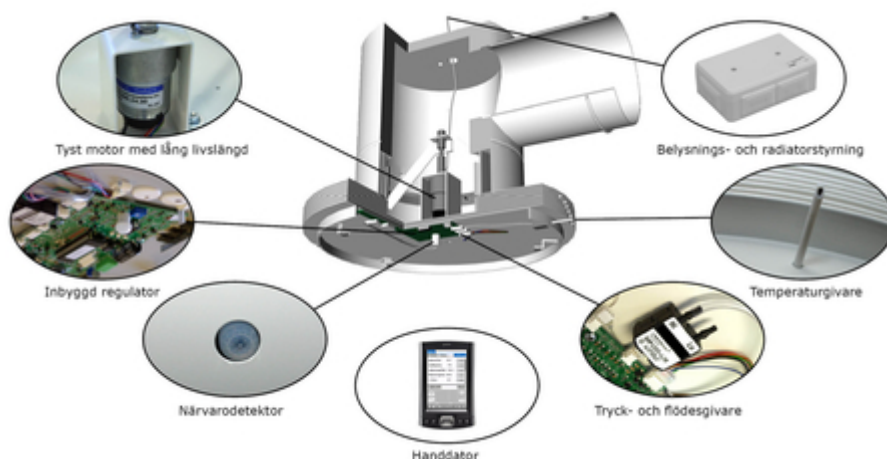
För att nå en låg energiåtgång i huset är alla installationer styrda efter byggnadens behov. På så sätt står inget igång och drar el i onödan. För att styra byggnaden används ett DUC-system vilket är ett elektroniskt styrsystem för fastighetsautomation. Där DUC är en förkortning för Data Under Central. Systemet utgår från givare belägna i tilluftsdonen, mätvärden från givarna ligger sedan till grund för styrningen av värme/kylsystemen, luftflöden samt belysning.

Mer om hur de olika delarna styrs går att läsa under respektive underkapitel. I Bilaga 5 visas en schematisk bild över ventilationssystemet.

3.2.1 Tilluft

Uppbyggnad

Byggnaden är försedd med intelligenta tilluftsdon av typen IDCC (Intelligent Diffuser for Climate Control) från Lindinvent. Det smarta med donet är att det sitter givare som kontinuerligt mäter luftflöden, kanaltryck, närvaro samt temperaturer både i kanalen och i rummet. Utifrån ärvärdena kan sedan styrningen av donet optimeras för att erhålla optimalt tryck, temperatur och luftflöde. Detta kan göras för varje don. Vid flödesreglering hos donen anpassas spalhöjden för att ge en större/mindre utblåsningsarea. På så sätt erhålls en konstant kastlängd oavsett flöde. Detta ger i sin tur att problem med höga ljudnivåer och drag inte uppstår (Lindinvent 2011). Själva donet och dess komponenter går att se i Figur 3.9.



Figur 3.9 Tilluftsdon med tillhörande komponenter. Källa (Lindinvent 2011)

Styrningen görs via en CMA vilket är en central styrenhet. I CMA:n finns förprogrammerade börvärden för temperaturer och tryck. För att kunna hålla börvärdena anpassas flödet i varje don separat utifrån just det donets ärvärde. Börvärdena kan vara antingen konstanta eller funktioner av rumstemperaturen alternativt uteluftstemperaturen. Önskas ett annat börvärde under vissa tider kan detta ändras via en DUC som har överordnad prioritet. Detta görs t.ex. vid fallet nattkyla då en givare talar om att utetemperaturen är lägre än temperaturen på rumsluften. Samtidigt som en signal ändrar offsetvärdet som är kopplat till rumsluftens börvärde stängs värme/kylbatteri och värmeväxlare av för att på så sätt uppnå en gratis kylning av byggnaden. Det är alltså inte själva börvärdet som ändras utan hur stor differens från börvärdet som är acceptabel.

Den centrala styrenheten skickar vidare de uppmätta ärvärdena till en webbserver där de loggas och åskådliggörs på ett överskådligt sätt. Från webbservern går det också att ändra systemets börvärden. På så sätt är det enkelt att övervaka systemet och göra nödvändiga injusteringar utan att åka till byggnaden.

Inställningar

Ventilationen styrs både med avseende på närvaro och med avseende på temperatur, vilket fungerar enligt följande. Om varken någon närvaro eller förhöjda temperaturer finns i zonen går ventilationen på ett grundflöde, vilket är 0,35 l/s och m² alternativt 4 l/arbetsplats för kontorslandskapen. Om närvaro detekteras ökas flödena med 7 l/s. Detta då varje don är avsett för en arbetsplats alltså en person. Om det därutöver är övertemperaturer i rummet kommer flödena att öka ytterligare för att kunna tillföra mer underkyld luft. Om det är närvarostyrt eller temperaturstyrt beror således på vilket som kräver störst flöde, där det som behöver mest luft är dimensionerande för tillfället.

Temperaturen på tilluften tillåts variera mellan 15-17 grader, där det lägsta värdet används om det registreras något kylbehov i byggnaden. Vid de fall där inget

kylbehov registreras tillåts temperaturen stiga för att inte kyla ner rummen i onödan. Att inte temperaturen tillåts stiga till mer än 17°C beror på att luften måste vara underkyld då naturlig konvektion ska uppstå vid donplacering i tak.

Ett krav som är ställt då temperaturen tillåts stiga är att det sker enbart med hjälp av värmeväxlaren. Ingen köpt energi får alltså tillföras för att höja temperaturen över 15°C. För att klara av att hålla konstant temperatur används förutom den roterande värmeväxlaren ett vätskebatteri som kan stå för både värme och kyla. Vid normala utomhustemperaturer i Malmö finns egentligen inget behov av ett värmebatteri men vid extremfall är det bra med ett backuppsystem.

För optimering av energiförbrukningen registreras erforderligt tryck för tilluft och frånluft kontinuerligt. Varvtalet på fläkten anpassas sedan så att korrekt tryck uppstår i kanalen.

3.2.2 Frånluft

Frånluften består både av ett CAV- (Constant Air Volym) och ett VAV-system (Variable Air Volyme). CAV-systemet är installerat på toaletter, serverrum, förråd och pentryn och det totala luftflödet är 480 l/s. I kontor används VAV som balanseras mot tilluftsflödena för att uppnå efterfrågade tryck i byggnaden. Både CAV och VAV drivs med samma aggregat, där ett spjäll på CAV-kanalen ser till att konstant tryck hålls oavsett trycknivåer i huvudfläkten.

3.2.3 Ventilation i Lägenheter

Varje lägenhet förses med till- och frånluft från ett eget luftbehandlingsaggregat. Styrningen är av typen CAV som tillför 23 l/s och bortför 25 l/s. Luftbehandlingsaggregatet innehåller en roterande värmeväxlare och ett elvärmningsbatteri. Och precis som för kontorsdelen används inte värmebatteriet förrän tillufttemperaturen riskerar att hamna under 15°C.

3.2.4 Värme och kylsystem

De klimatkrav som är uppsatta för byggandens inommiljö går att se i Tabell 3.2. De temperaturer som anges som t_b innebär att värdet får överskridas maximalt 80 timmar per år.

Tabell 3.2 Temperaturkrav

Inomhustemperatur, kontor	+26°C t_b
Inomhustemperatur, konferensrum	+24°C t_b
Inomhustemperatur ska alltid hållas över	21°C

Det första steget i att klara temperaturkraven är att tilluftens värms/kyls efter behov. Hur detta fungerar går att läsa under avsnitt 3.2.1 tilluft.

Om inte uppvärmningen av tilluften räcker används dels konvektorer och dels radiatorer. Konvektoreorna används på plan 1 i konferensrum och i loungedelen dit även entrén räknas. Dessutom används de i bostäderna. I övriga delar används radiatorer.

I de utrymmen där extra kyla behövs finns det tre olika system installerade. I serverrummet där mycket kyla behövs används en klimatanläggning. I el/telecentralerna är fläktluftkylare installerade och för konferensrummen samt loungen på plan 1 tas värmen om hand av kasettluftkylare.

Samtliga kyl och värmesystem tar sin energi från en primärkrets av fjärrvärme respektive fjärrkyla. Temperaturerna som de olika kyl- och värmesystemen använder sig av kan ses i Tabell 3.3 och Tabell 3.4.

Tabell 3.3 Temperaturer i värmesystemet vid dimensionerande utomhustemperatur.

Fjärrvärme, Primär	95/38°C
Värmebatterier	55/30°C
Radiatorer	55/35°C
Konvektorer	55/35°C

Tabell 3.4 Temperaturer i kylsystemet vid dimensionerande utomhustemperatur.

Primär, fjärrkyla	7/16°C
Kylbatterier aggregat	10/18°C
Fläktluftkylare	12/17°C
Kasettluftkylare	10/14°C
Klimataggregat	12/29°C

Den 23 mars gjordes ett besök i undercentralen för att ta reda på vilka temperaturer som systemet arbetar vid i verkligheten. Besöket sker alltså vid en tidpunkt som ligger en bra bit ifrån dimensionerande utomhustemperatur för såväl värme som kyla vilket också visade sig på de olika temperaturerna. Sekundärvärmen arbetade vid 38/25 och kylan vid 12/30 +. På returtemperaturen för kylan antas termometern vara trasig då den visade sitt absoluta maximum långt över den förtryckta skalan trots att inte rören kändes varma. De verkliga temperaturerna på värmesystemet ligger alltså en bit under dimensionerande värden, vilket har sin förklaring i att systemet för närvarande inte arbetar på sitt maximum. Inte heller kylanläggningen arbetar för fullt då det inte belastas av särskilt stora värmelaster. På det stora hela ses besöket i undercentralen som en bekräftelse på att systemen fungerar som det var tänkt.

3.2.5 Tappvatten

Varmvattnet värms med fjärrvärme dels för att tappas direkt och dels som en cirkulationsslinga (VVC) för att minska tiden innan varmt vatten dyker upp i kranen. Kallvattnet tas direkt från kommunens ledning. Temperaturer i systemet kan ses i Tabell 3.5.

Tabell 3.5 Temperaturer för tappvatten

Primär, fjärrvärme	60/22°C
Kallvatten	7-16°C
Varmvatten	55°C
Varmvattencirkulation	50°C

Under besöket i undercentralen bekräftades temperaturerna på tappvattnet.

3.2.6 Belysning

Belysningen tänds gruppvis via impulsknappar. Om ingen närvaro detekteras i rummet under inställd tid släcks belysningen. Det går även att släcka manuellt via impulsknappen. För att ytterligare spara på energi har illuminansen minskats från 500 lux, vilket är normalt för kontor, till 300 lux. Illuminansen är ett mått på hur mycket ljusflöde som träffar en given area (lm/m^2).

4 Mätningar

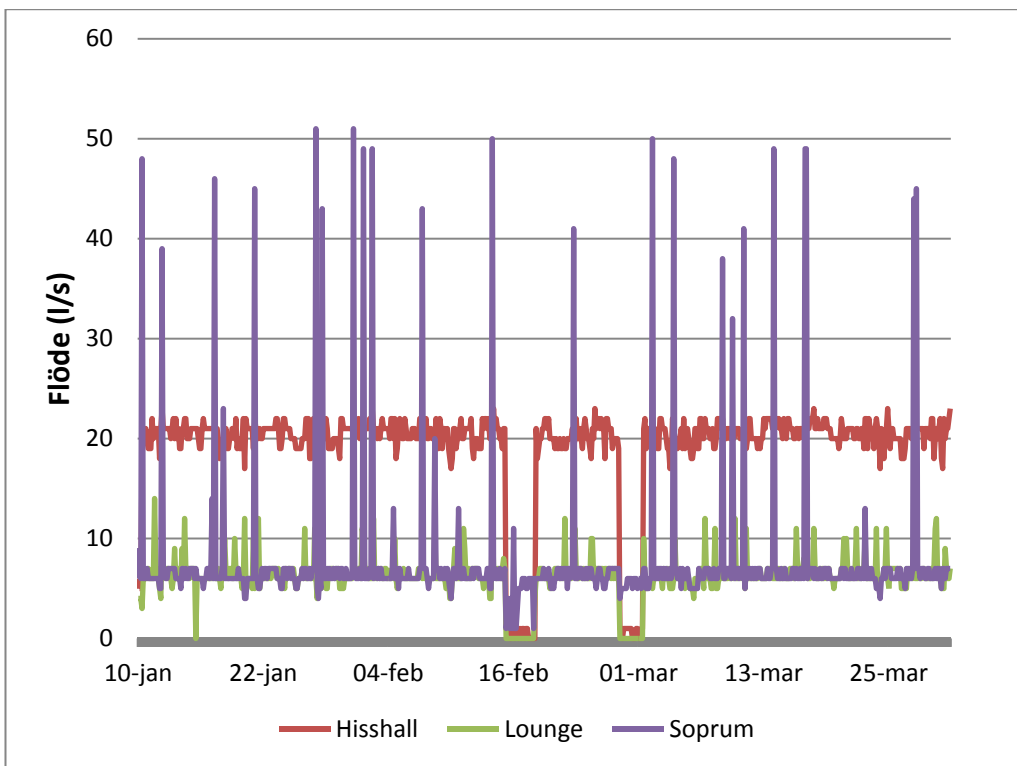
4.1 Mätningar av temperatur och luftflöde

Byggnaden är försedd med ett VAV-system där varje tilluftsdon styrs individuellt beroende på temperaturer och närvaro. I varje don finns därför mätutrustning som registrerar såväl rumstemperatur, tilluftstemperatur, luftflöde som tryck. Tack vare detta behövdes inga egna mätningar i denna studie. Tidsperioden som utvärderades var från den 10 jan, då folk kom tillbaka från jul- och nyårsfirande fram till och med den siste mars. Tyvärr kunde inga studier göras under kyla-säsongen, vilket medför att förbrukningen sommartid enbart kommer att simuleras genom datormodeller. Anledningen att mätningarna inte startades tidigare är att det råder större osäkerhet nära uppstarten av systemen. Vilket beror på att det sker en intrimning av systemen som egentligen pågår hela det första året, men det mesta görs i början.

Under studien har sammanlagt 29 olika don valts ut för att få tillförlitlig mätdata över hela byggnaden och dess olika utrymmen. De utvalda donens placering går att utläsa i bilaga 1 Planlösning och placering av mätutrustning. På våningsplan 5 görs inga mätningar då detta plan består av bostäder och fläktrum vilka har andra typer av tilluftssystem utan inbyggda givare.

4.1.1 Tilluftsflöden

Då mätserierna för de olika donen var väldigt lika varandra kommer ett urval av donen att redovisas. Urvalet är gjort så att varje typ av utrymme är representerat på varje våningsplan. Resultaten från mätningarna av flöden går att se i figur 4.1–4.4. I figurerna anges luftflödet för ett specifikt don. För utrymmen där mer än ett don är installerat måste därför siffrorna räknas om mot antalet kvadratmeter de täcker in.



Figur 4.1 Tilluftsflöde för Hisshall, Lounge och Soprum

I Figur 4.1 studeras luftflöden för hisshallen, loungen och soprummet vilka alla är belägna på bottenplan.

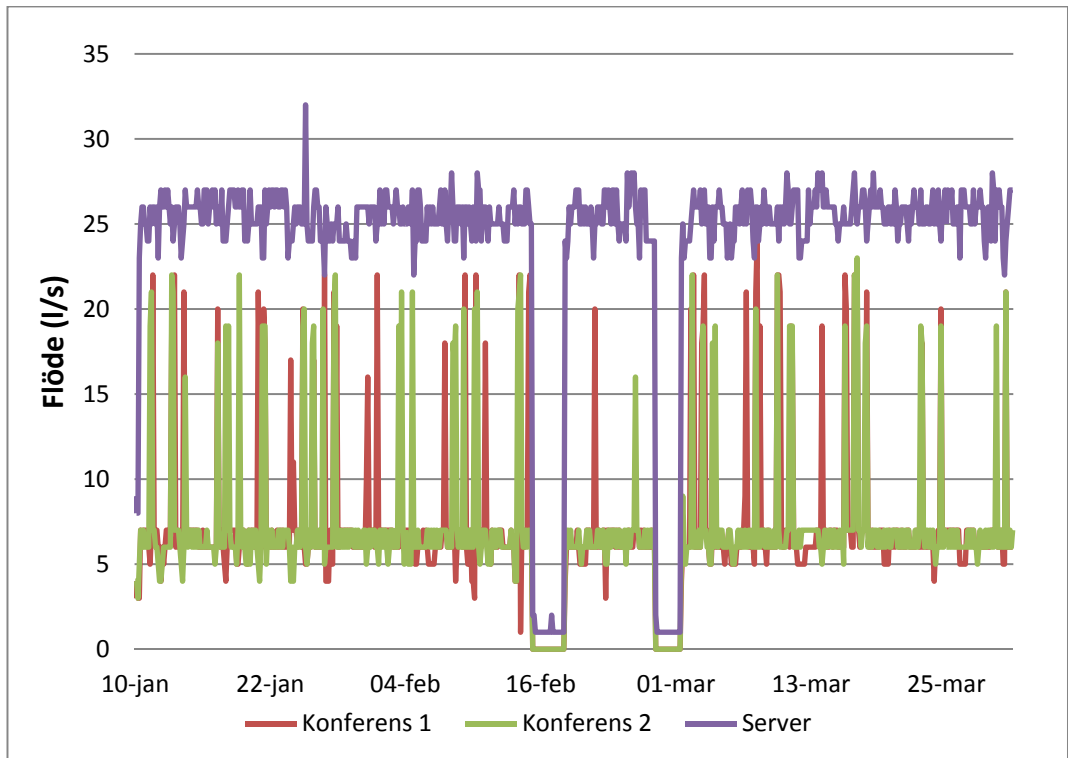
I soprummet finns enbart ett aggregat installerat vilket gör att flödena i figuren är utrymmets totala flöde. Det går tydligt att utläsa att det finns ett grundflöde runt 7 l/s som sedan utökas rejält under korta perioder. Detta beteende stämmer väl överens med hur det borde vara enligt den tekniska beskrivningen där det är angivet att utöver grundflödet skall luft flödet utökas upp till 60 l/s då närvaro detekteras i utrymmet. Per kvadratmeter innebär detta 0,25 l/s, m² respektive 2,14 l/s, m².

När det gäller hisshallen så anses donet täcka en area av 36 m² och från figuren kan det ses att flödet ligger och pendlar runt 20 l/s. Vilket tillsammans ger ett luftflöde för hisshallen på 0,56 l/s, m² som får antas vara ett grundflöde då inget kylbehov har funnits under mätperioden. Vid tiden runt den 16 feb och den 1 mars indikeras inget flöde vilket har att göra med att det var temporärt driftstopp för fläktaggregatet under dessa tider. Detta kommer kunna ses för samtliga utrymmen utom för soprummet som är anslutet till ett eget aggregat.

Även för loungen går det att utläsa ett grundflöde som utökas vid vissa tidpunkter. Topparna här sammanfaller med tidpunkter för lunch och fikapauser då en ökad närvaro ger höjda internvärmelaster som behöver tas om hand. Grundflödet från grafen ligger runt 7 l/s och donets influensarea är ungefär 20 m² vilket medför ett grundflöde på 0,35 l/s, m² vilket stämmer bra med föreskrifterna. Maximalt luftflöde hamnar enligt figuren på 0,65 l/s, m² vilket inte kan anses vara något maxflöde då kylbehoven måste förväntas vara kraftigare under sommarmånaderna. Dessutom finns

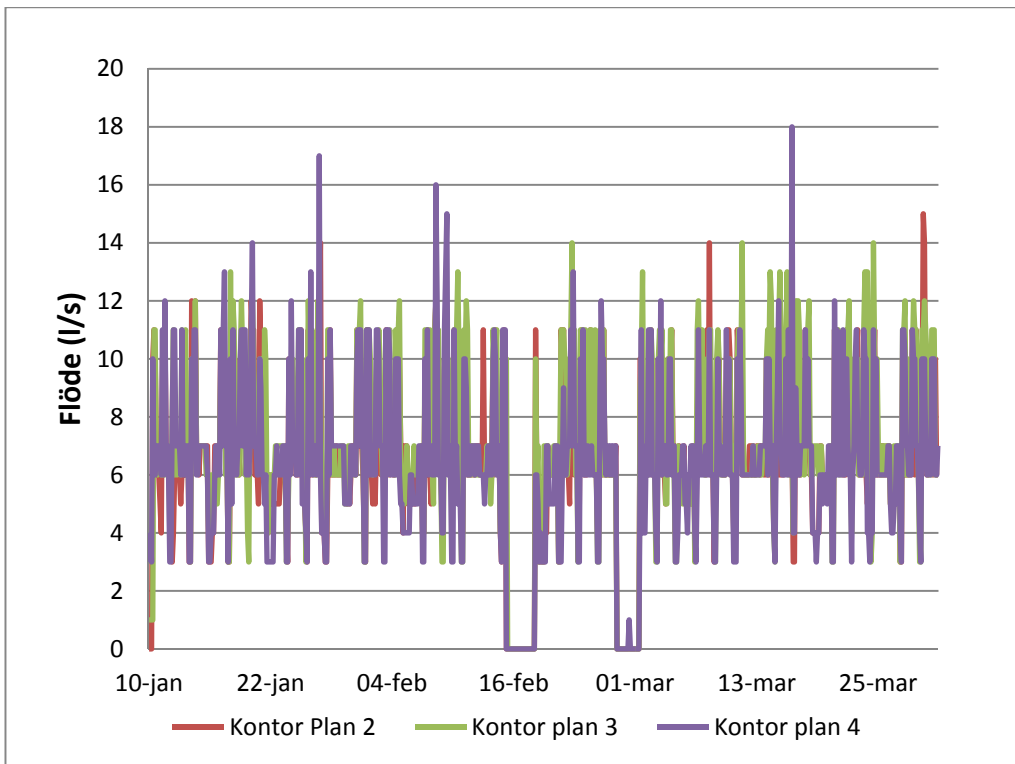
Mätningar

det en kylanläggning installerad som ska ta hand om större delen av övertemperaturerna .



Figur 4.2 Tilluftsflöden för Konferensrum och Serverutrymme

Flöden för konferensrum och serverutrymmen på bottenplanet redovisas i Figur 4.2. Mätutrustningen för konferensrummen är belägna i varsitt av de två stora konferensrummen på plan 1. Som synes i diagrammet ser flödesprofilerna väldigt lika ut. Där grundflödet ligger runt 6 l/s, don medan topparna ligger mellan 20-23 l/s, don. Relateras detta till antal kvadratmeter fås ett grundflöde på ca 0,2 l/s, m² vilket är en aning lågt då grundflödet bör ligga på minst 0,35 l/s, m². Att mätningarna visar ett så pass lågt flöde kan ha att göra med att aggregaten som är belägna i rummet blåser in olika stora mängder luft samt att både flödes- och areamätning kan innehålla ett visst fel. Största flödet hamnar runt 0,9 l/s, m² vilket precis som för loungeutrymmet inte kan anses vara något maxflöde då värmelasterna inte har varit extrema. I serverutrymmet finns enbart ett don placerat och enligt diagrammet pendlar flödet runt 25 l/s per kvadratmeter medför detta ett flöde på ca 1 l/s, m².

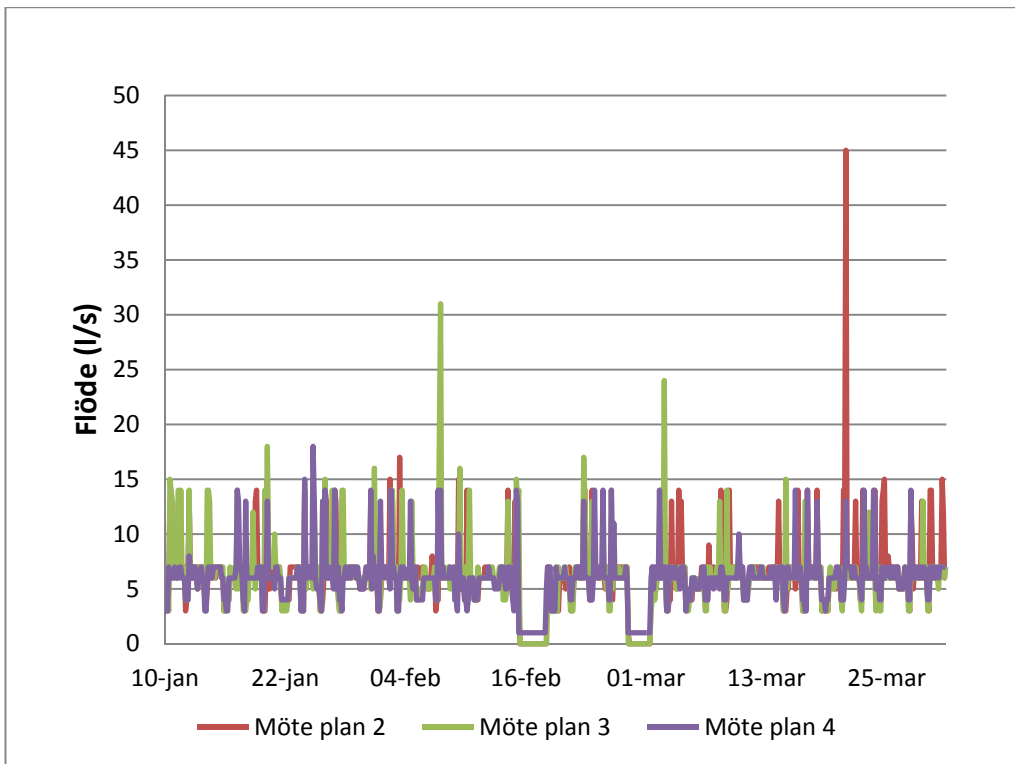


Figur 4.3 Tilluftsflöden för Kontorsutrymmen

För kontorsutrymme täcker varje don en yta på 10 m^2 . Som synes i Figur 4.3 är luftflödena extremt lika oberoende av vilken våning som undersöktes. Samma beteende kunde urskiljas oavsett vilket don i lokalen som undersöktes, under pågående mätningar spelar det alltså ingen större roll om kontoret var beläget vid söder- eller norrfasaden. Detta har med största sannolikhet att göra med att undersökningen gjordes under vintern och början av våren då utomhustemperaturen är låg och solen inte belyser fasaden med lika stor intensitet som på sommaren. Om mätningarna istället hade utförts en sommarmånad borde rum med fasader åt söder redovisa ett större luftflöde än övriga fasader då ett utökad kylbehov borde föreligga.

Genom avläsning i diagrammet går det att se att flödet vid de flesta tillfällena ligger runt 7 l/s vilket stämmer överens med det flöde som bör finnas när närvaro detekteras under donet. När ingen närvaro eller kylbehov föreligger sänks flödet ner till ca 3 l/s vilket ger ett grundflöde på $0,3 \text{ l/s, m}^2$ vilket också det stämmer bra med kraven på grundflöde om $0,35 \text{ l/s, m}^2$. När det däremot finns ett kylbehov ökar flödena, vilket även det sker enligt beskrivningen.

Mätningar



Figur 4.4 Tilluftsflöden för mötesrum

För mötesrummen som kan ses i Figur 4.4, har flödeskurvorna ett liknande utseende mot kurvorna för konferensrummen, vilket är logiskt då användandet av rummen är liknande. Skillnaden är att inget separat system för att kyla luften finns installerat i mötesrummen, vilket medför ett större behov av underkyld luft för att sänka temperaturen. Detta förklarar varför det vid några tillfällen är extrema toppar på flödeskurvorna. Annars kan vi även här se att det finns ett lägsta värde runt 3 l/s samt en nivå runt 7 l/s. Förklaringen för detta är precis som för kontorsutrymmena att det finns ett grundflöde då ingen närvarar samt ett annat grundflöde vid närvaro. Per kvadratmeter medför det ca 0,3 l/s, m² utan närvaro och 0,7 l/s, m² med närvaro.

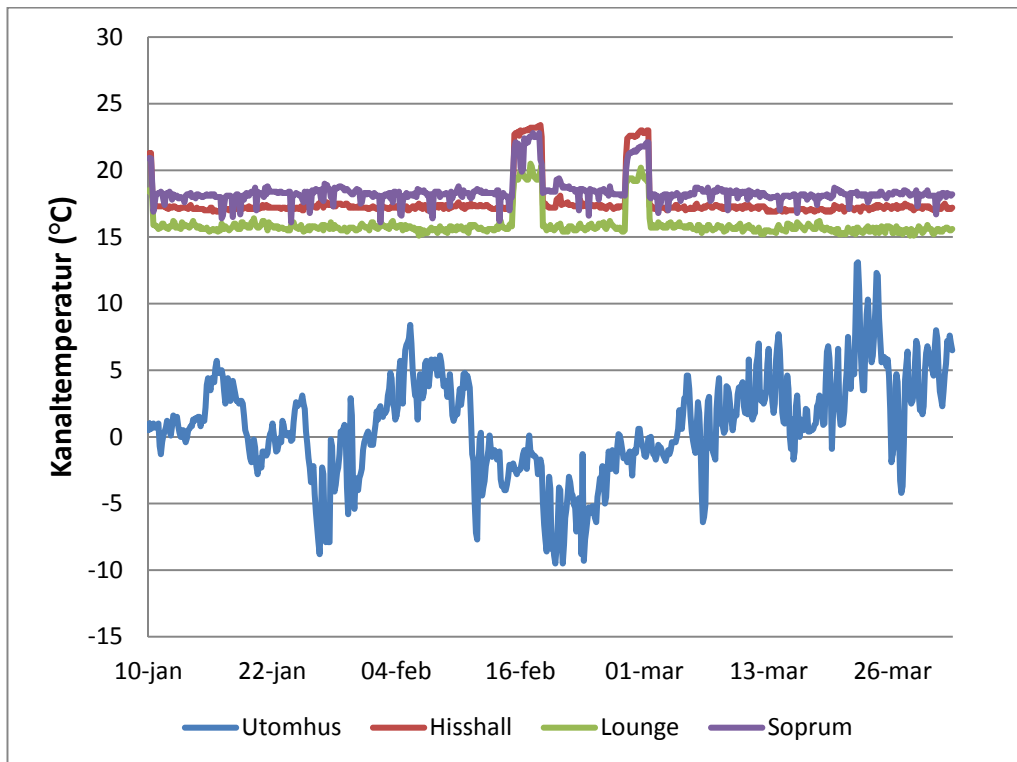
En sammanställning av flödena redovisas i Tabell 4.1

Tabell 4.1 Sammanställning av uppmätta flöden per rumstyp

Lokaltyp	Grundflöde (l/s, m ²)	Närvaroflöde (l/s, m ²)
Soprum	0,25	2,14
Serverrum	1	
Hisshall	0,56	0,56
Lounge	0,35	0,65
Konferensrum	0,21	0,9
Mötesrum	0,3	0,7
Kontor	0,3	0,7

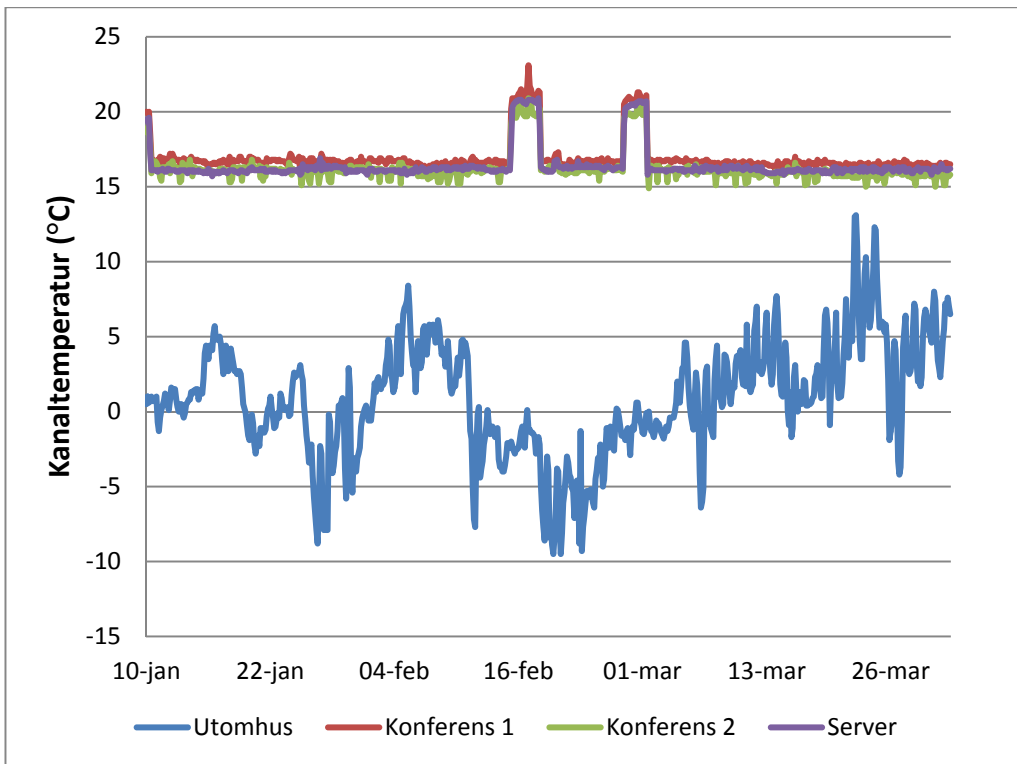
4.1.2 Kanaltemperatur

Donen som redovisas gällande kanaltemperatur är samma urval som vid flödesmätningarna och de redovisas efter samma system i figur 4.5–4.8 nedan. Från figurerna går det att utläsa att tillufttemperaturen håller sig väldigt konstant över mätperioden. Lokala skillnader visar på temperaturer mellan 15–18°C där den högre är för soprummet. Om soprummet räknas bort är den högsta temperaturen istället 17°C. Då det är luft från samma källa som förs ut i hela byggnaden härrör eventuella skillnader i temperatur på tilluften enbart från förluster från kanalerna. Dessa förluster bör inte ge såpass stora skillnader som 2°. Felet antas istället ligga i att mätutrustningen inte är helt perfekt kalibrerad vilket kunde bekräftas då två intilliggande don undersöktes och de uppvisade temperaturskillnader på 1° trots att luften enbart färdats en drygt 5m längre sträcka. Till följd av detta anses tillufttemperaturen vara konstant runt 16°C i hela byggnaden utom för soprummet som har ett eget aggregat. Temperaturen för detta utrymme sägs istället ligga konstant kring 18 grader även om temperaturen kan ses minska emellanåt vilket antagligen sker i samband med att luftflödena ökas vid närvaro i lokalen. Även från dessa mätningar är det tydligt att aggregaten var stoppade vid två tillfällen.

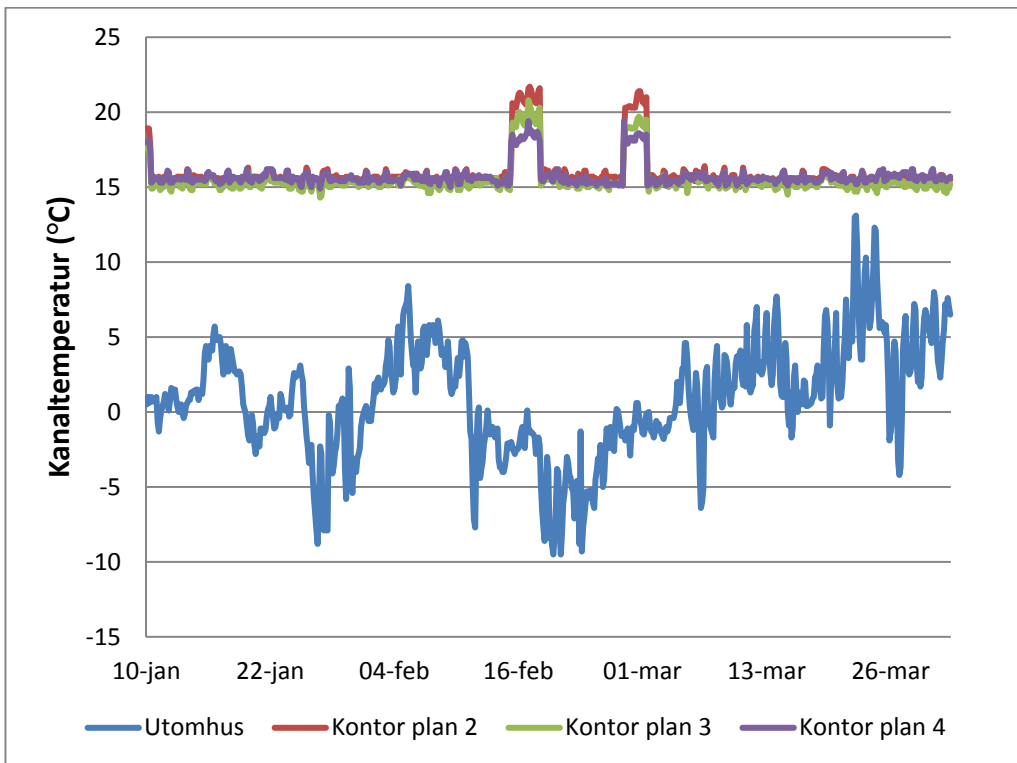


Figur 4.5 Kanaltemperatur för hisshall, lounge och soprum samt utomhustemp

Mätningar

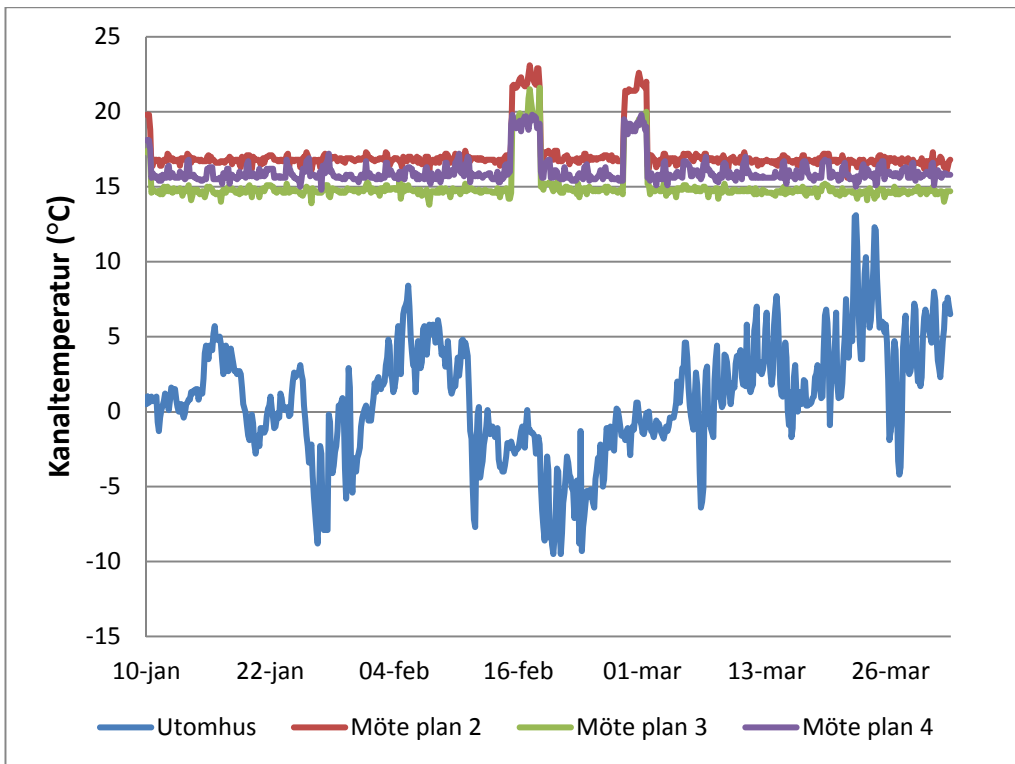


Figur 4.6 Kanaltemperatur för konferensrum och server samt utomhustemp



Figur 4.7 Kanaltemperatur för kontorslokaler samt utomhustemp

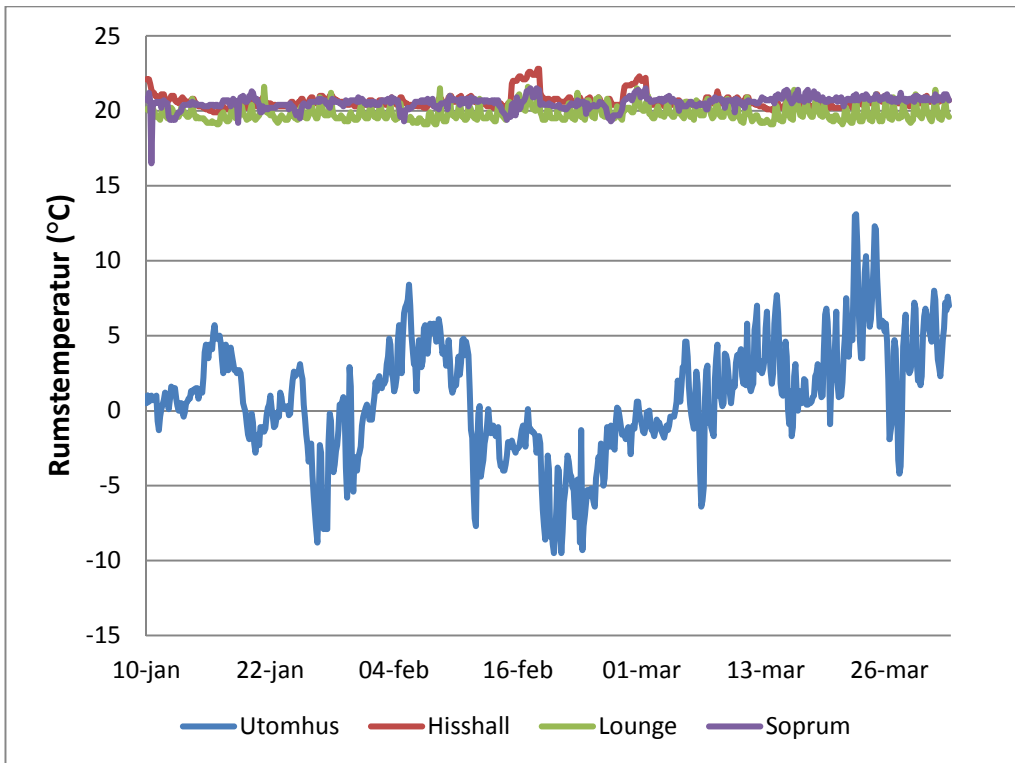
Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö



Figur 4.8 Kanaltemperatur för mötesrum samt Utomhustemp

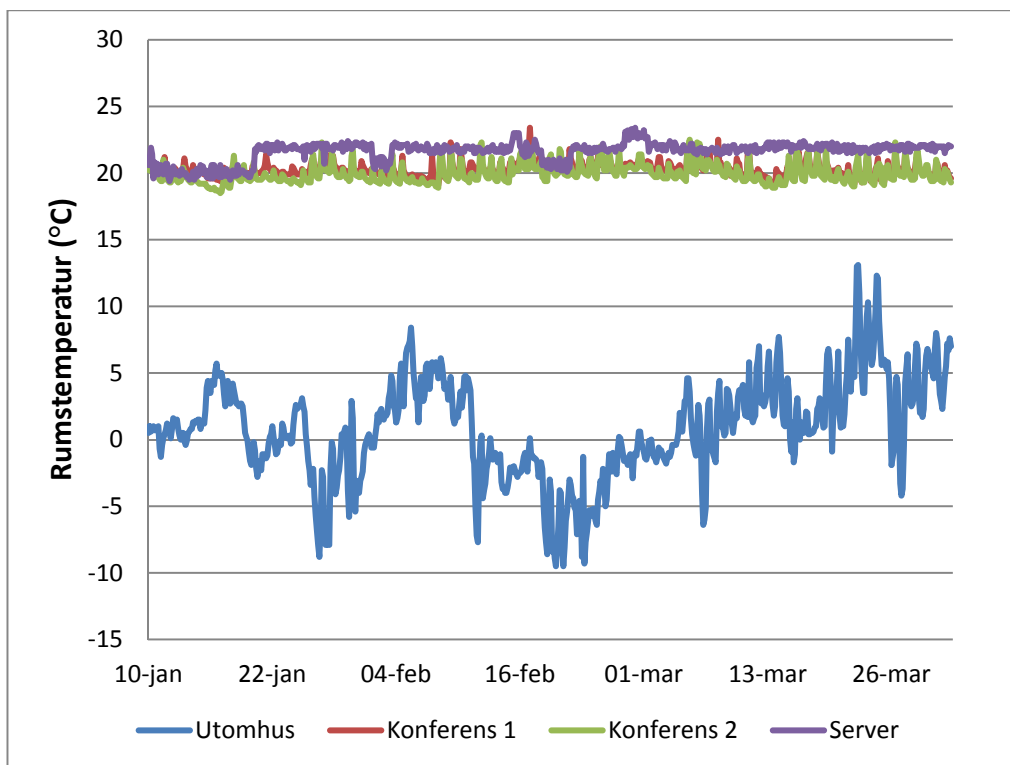
4.1.3 Rumstemperatur

Precis som för tilluftsflöde och kanaltemperatur redovisas enbart ett urval av mätningarna. Mätdata redovisas i figur 4.9–4.12 där även utomhustemperaturen ingår.



Figur 4.9 Rumstemperatur för Hisshall, Lounge och Soprum samt Utomhustemp

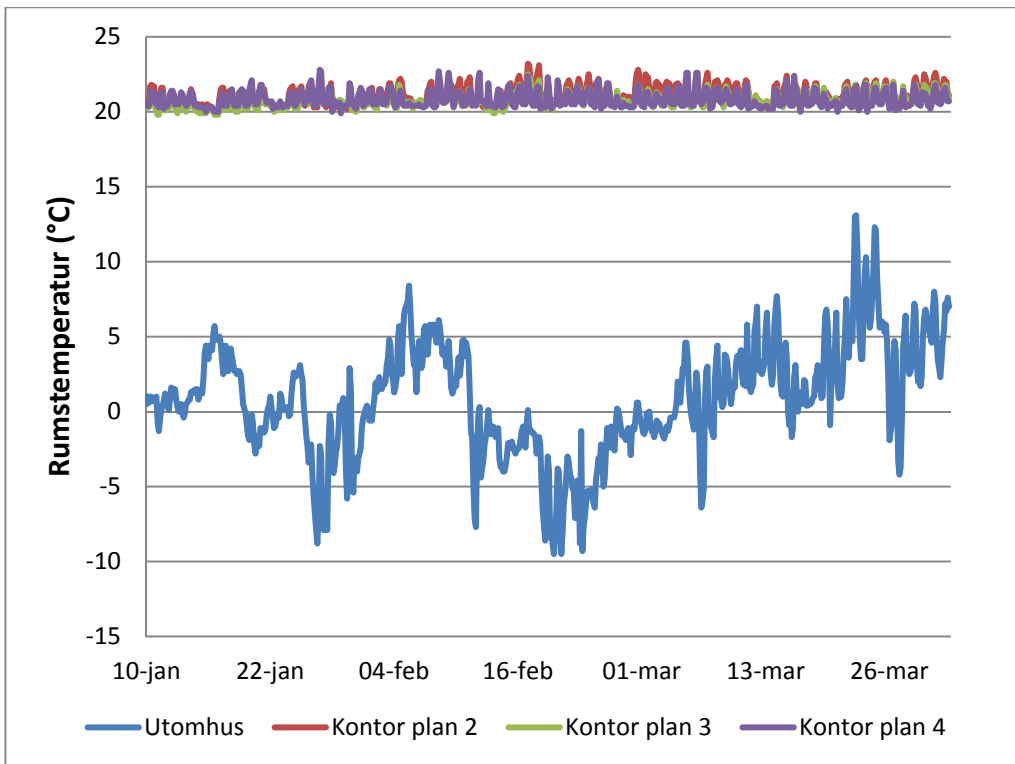
I Figur 4.9 visas temperaturen på rumsluften för hisshall, lounge och soprum. I diagrammet går det att avläsa att temperaturen för alla tre utrymmen ligger runt 20°C men att den för framförallt loungeavdelningen ligger ner mot 19°C. Då temperaturkraven för byggnaden anger att temperaturen inte får understiga 21°C är de uppmätta temperaturerna inte acceptabla. Eftersom temperaturerna aldrig är i närheten av den övre temperaturgränsen på 26°C går det inte att se att något särskilt kylbehov skulle ha funnits under den uppmätta perioden. De förhöjda flödena från tidigare diagram indikerar således snarare att donen känner av närvaro i rummen än att mer underkyld luft behövs för att kyla rummen.



Figur 4.10 Rumstemperatur för Konferensrum och Server samt Utomhustemp

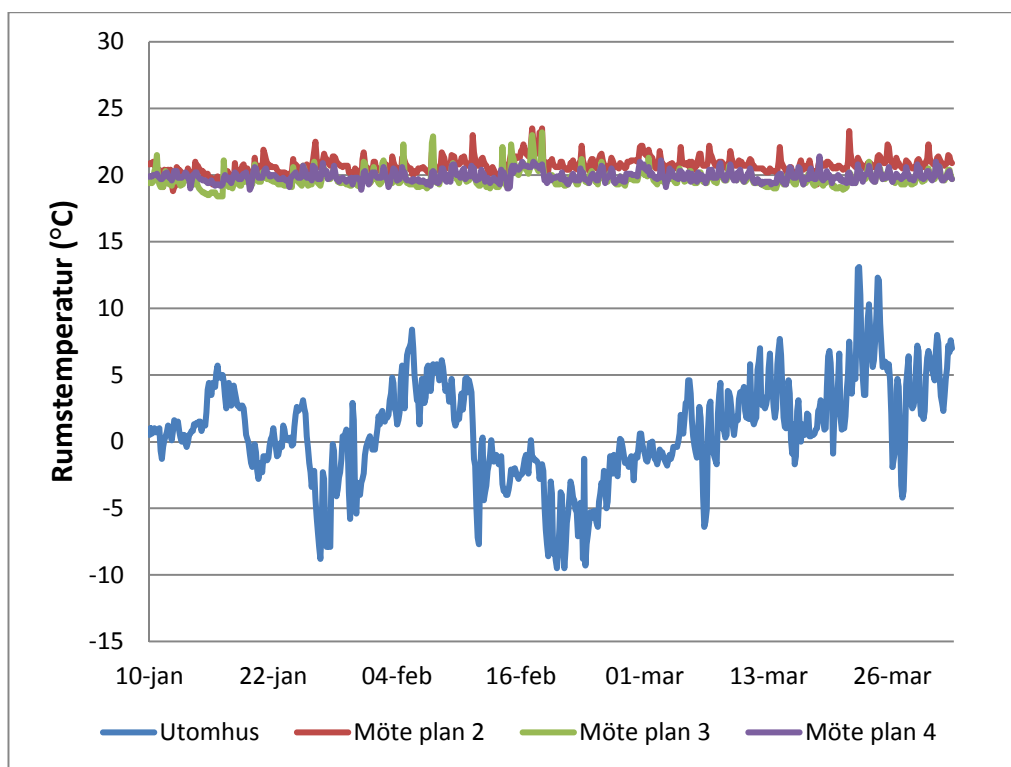
I konferensrummen som tillsammans med serverrummet redovisas i Figur 4.10 ligger temperaturen ner mot 19°C men stiger upp mot 24°C vid något tillfälle. Temperaturskillnaderna som anges här stämmer väl överens med flödesökningarna som kunde ses i Figur 4.2. Då temperaturkraven säger att det ska vara lägre än 24°C är det inte heller här troligt att de förhöjda flödena kommer enbart av att temperaturen är hög utan snarare på grund av en ökad närvaro i lokalen. Att temperaturen även här ligger på 19°C får anses som ett inställningsfel då det är lägre än lägsta tillåtna temperatur. I Serverrummet ligger temperaturen runt 22-23°C alltså något högre än övriga utrymme vilket är helt naturligt då det finns en betydligt större intern värmebelastning i detta utrymme.

Mätningar



Figur 4.11 Rumstemperatur för Kontorslokaler samt Utomhustemp

I kontorslokalerna som redovisas i Figur 4.11 ligger inte temperaturen riktigt lika lågt som den gör i tidigare studerade utrymmen men den ligger trots det även här under minsta tillåtna värde på 21°C. I kurvan går det också att se att temperaturen fluktuerar relativt kraftigt men att de inte passerar 24°C vid något tillfälle. Klimatkraven för utrymmena anger i sin tur att temperaturen inte får överstiga 26°C, vilket innebär att det inte borde föreligga något behov av att kyla. Detta är i sig en aning konstigt då flödena från figur 4.3 tydligt indikerar ett kylbehov då flödestopparna inte enbart kan ha att göra med närvaro. Anledningen är att Lindindvent som sköter styrningen har programmerat systemet att inte tillåta temperaturer över 24°C under vinterhalvåret för att inte få för stora skillnader mellan olika delar av byggnaden.



Figur 4.12 Rumstemperatur för Mötesrum samt Utomhustemp

I Figur 4.12 visas statistiken tillhörande rumstemperaturen för mötesrummen. Precis som överallt annars är temperaturen för låg i dessa utrymnen. Det går också att se toppar upp mot 24°C vilket är max enligt temperaturkraven för denna typ av utrymme. Det är därför troligt att kylsystemet har varit aktivt vilket även bekräftas av flödesmätningen.

Tabell 4.2 Uppmätta lufttemperatur i olika rumstyper

Lokaltyp	Mintemp (°C)	maxtemp (°C)
Soprum	20	21
Serverrum	21	24
Hisshall	20	21
Lounge	19	21
Konferensrum	20	24
Mötesrum	19	24
Kontor	20	23

4.2 Mätning med värmekamera

Som ett steg i att försöka lokalisera eventuella köldbryggor i klimatskalet gjordes en mätning med IR-kamera. Mätningen gjordes på utsidan av byggnaden av den anledningen att det inomhus fanns för många okända faktorer som stör resultaten. De lokaliserade köldbryggorna undersöktes senare närmare med beräkningar i HEAT 2. Mer om detta går att läsa under kap 5. Beräkningar.

Mätningar

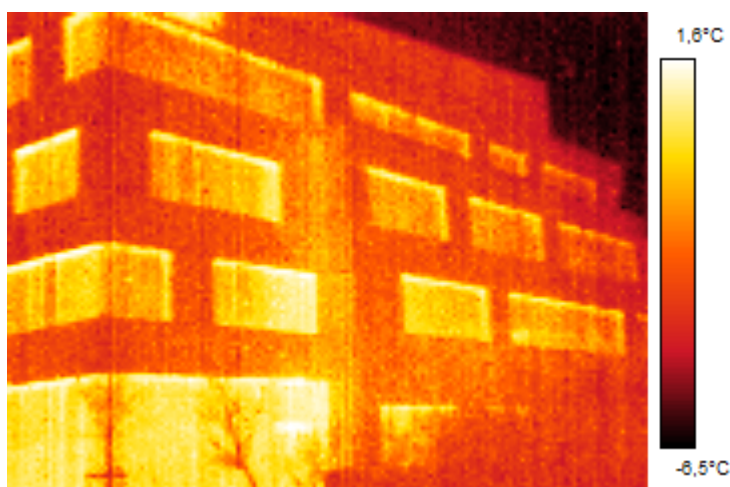
Mätningar genomfördes den 1 februari 2011. Hela dagen var grådaskig vilket medför att byggnaden inte utsattes för någon direkt solstrålning som skulle värmt upp fasaden. Temperaturen utomhus låg strax under noll grader.

Efter kontrollmätning på fasader mot olika väderstreck togs ett beslut att göra mätningar under eftermiddagen då inga skillnader förekom mellan olika fasader, solstrålningen var alltså ingen påverkande faktor. På eftermiddagen var byggnaden fortfarande bemannad och hade så varit under en längre tid. Detta medför att temperaturerna var så konstanta som möjligt under mättillfället. Det som däremot inte var positivt var att det förekom en hel del kastvindar som kan ge en viss osäkerhet i resultaten.

Vid mätning med infraröd strålning är det viktigt att ha koll på vilken emissionsfaktor den uppmätta ytan har. Emissionsfaktorn är ett mått på hur mycket värmestrålning en yta ger ifrån sig vid en viss temperatur i förhållande till en perfekt svart kropp. Emissionsfaktorn varierar mellan noll och ett där ett motsvarar en svart kropp. Det som avgör hur mycket en kropp strålar ut är dels dess färg och dels hur mycket den reflekterar, ett ljust reflekterande material har låga emissionsfaktorer medan mörka matta ytor har höga.

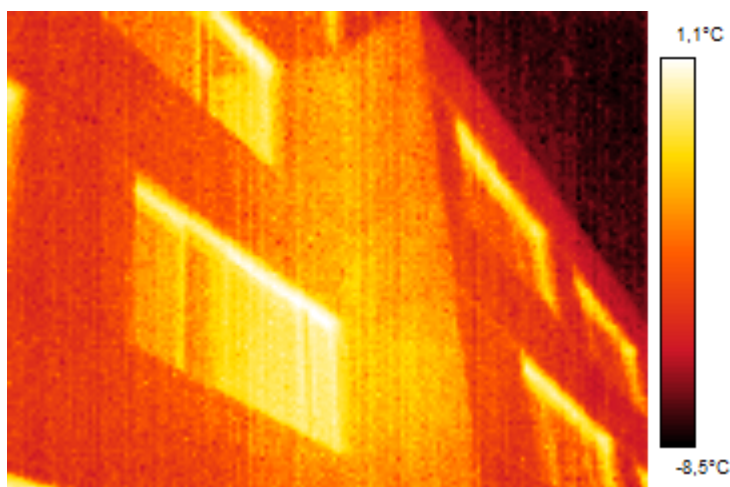
För att ta reda på vilken emissionsfaktor som gäller för fasadmaterialet på Ramböllhuset görs en kalibrering med hjälp av IR-kameran. Detta gjordes genom att en svart tejpbit fästes på fasaden. När tejpens och fasadytan hamnat i termisk jämvikt gjordes en mätning på tejpens med emissionsfaktorn inställd på 0,97 vilket ska motsvara tejpens enligt manualen för värmekameran (Flir systems 2006). En mätning utfördes sedan på fasaden som då ska hålla samma temperatur som tejpbiten. Emissionsfaktorn anpassades tills temperaturen stämde. Den framtagna emissionsfaktorn kan sedan användas vid samtliga mätningar på materialet. För fasadskivorna på Ramböll blev emissionsfaktorn 0,82.

Den första köldbrygga är i form av ett inbyggt hörn på byggnaden. Detta är geometrisk köldbrygga som är omöjlig att skydda sig mot då det uppstår en större area på insidan av väggen än på utsidan. Detta ger att värmeflödet per areaenhet blir annorlunda för in och utsidan.



Figur 4.13 IR-bild över ett hörn på Ramböllhuset

På den inzoomade bilden, Figur 4.14, syns det att temperaturerna är någon grad högre precis i skarven än runt om. Det som däremot inte syns är var bjälklagen är lokaliserade vilket visar på en väldigt bra lösning med isoleringen av dessa.



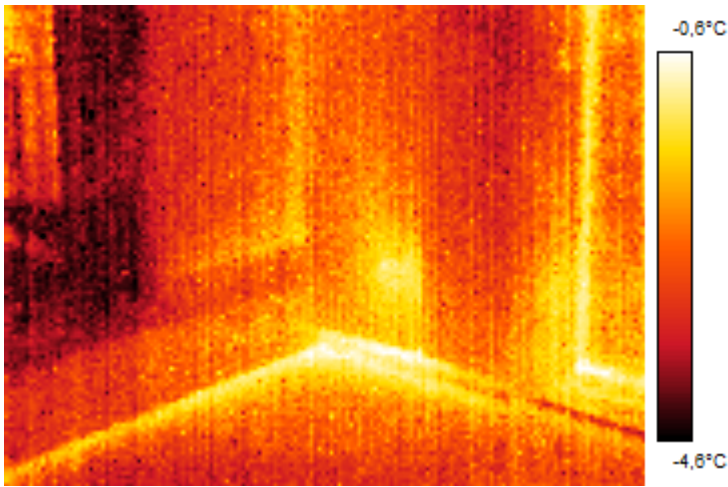
Figur 4.14 IR-bild över hörn på Ramböllhuset

Samma mönster går att se på samtliga hörn på byggnaden. För de utgående hörnen är det dock svårare att analysera det med värmekamera då det istället blir en stor yttre area mot en liten inre area. Den värme som transporteras genom väggen kommer att spridas ut över en större yta och ge ett mindre värmeflöde jämfört med insidan. Detta leder framförallt till att insidan kyls ner snarare än att utsidan värms upp. Det blir således inga tydliga resultat med värmekameran då mätningen görs från utsidan.

Uppe på terrassstaket finns det fem olika köldbryggor. Tre av dem där terrassbjälklaget ansluter till olika delar av ytterväggen och två av dem där planet ovanför sticker ut och bildar ett tak över en del av terrassen. Figur 4.15 visar anslutningen mellan terrassbjälklaget och två ytterväggar. Den delen som visas i figuren är den köldbrygga som gav störst utslag med värmekameran. Detta beror till stor del på att det är tre olika byggnadsdelar som ansluter i en och samma punkt. Denna typ av köldbryggor är

Mätningar

inte särskilt farliga när det kommer till helheten då de enbart är belägna i en punkt till skillnad från linjeköldbryggor som har ett lägre värmefflöde men de kan sträcka sig över flera meter. I Figur 4.16 visas samma anslutning tagen med vanlig kamera.



Figur 4.15 IR-bild över anslutning mellan takterrass och yttervägg



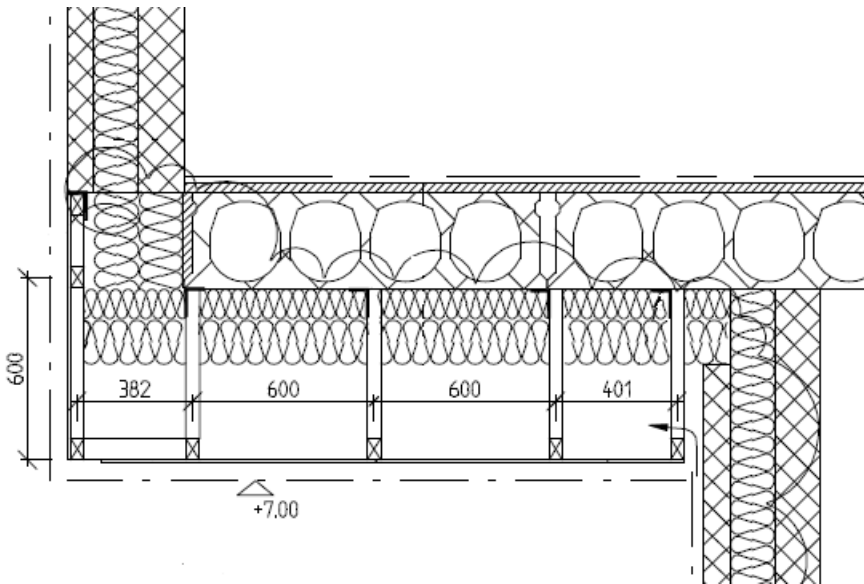
Figur 4.16 Anslutning mellan takterrass och yttervägg

Övriga köldbryggor på terrassen är ej analyserade med värmekameran utan de redovisas enbart som teoretiska beräkningar.

På plan 2-4 skjuter byggnaden ut en bit utanför entréplanet. Denna köldbrygga blir en aning svår att få en tydlig bild av med hjälp av värmekameran beroende på att en 300 mm uteluftsventilerad luftspalt är inbyggd mellan isoleringen och fasadmaterialet. Dessutom är belysning installerad i fasadskivorna vilken ger en uppvärmande effekt som inte härrör från transmission genom klimatskalet. En bild av den utskjutande delen visas i Figur 4.17 och en ritningsdetalj över köldbryggan går att se i Figur 4.18.



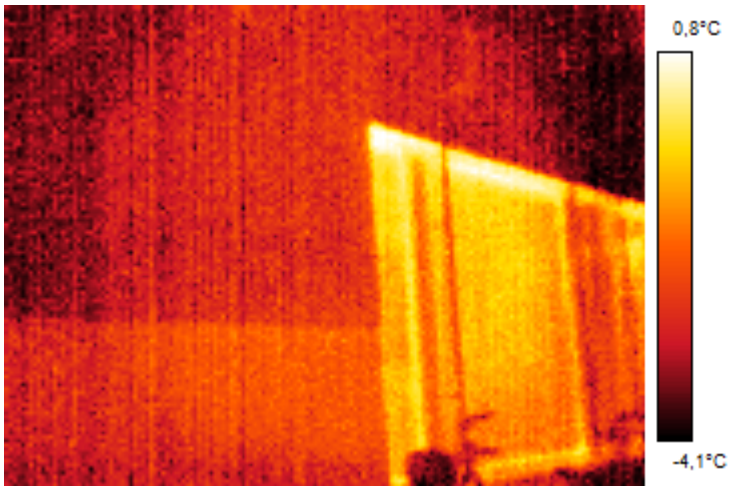
Figur 4.17 Utskjutande del av byggnaden



Figur 4.18 Detaljritning över köldbrygga på utskjutande del på plan 2

På plan 1 finns ett parti närmast marken där fasadbeklädnaden inte går hela vägen ner till marken. I Figur 4.19 går det tydligt att se skillnader mellan de två materialen. Detta kan även bero på att kameran är inställd för fasadskivorna och det kan därför visa lite fel temperatur när en mätning görs på betong. Andra möjliga förklaringar är att det finns en luftspalt bakom fasadskivorna som medför att beklädnaden kommer i jämvikt med uteluftstemperaturen medan värmeläckaget transporteras bort i luftspalten. Denna köldbrygga kommer ej att studeras närmare.

Mätningar



Figur 4.19 IR-bild över fasgräns mellan olika fasadmaterial

5 Beräkningar

5.1 Beräkningsverktyg

5.1.1 HEAT 2

HEAT 2 är ett simuleringsverktyg utvecklat av *Lund Group for Computational Building Physics* och det används för att simulera 2-dimensionella värmeflöden i statiska och dynamiska förlopp. Tillsammans med HEAT 3 som används för tredimensionell modulering används programmet av över 1000 konsulter och 100 universitet världen över (Buildingphysics 2011). I programmet modelleras en detalj upp med hjälp av en preprocessor, detta görs genom att rektanglar ritas upp så att de efterliknar detaljen som ska analyseras. Varje rektangel kan sedan ges materialspecifika egenskaper gällande värmeledning och värmekapacitet. Programmet delar sedan in modellen i ett rektangulärt rutnät där varje ruta beräknas separat. Indelningen sker automatiskt men om ett mer finmaskigt nät eftersträvas går det att ändra. För att en beräkning ska kunna göras krävs det att temperaturerna på minst två av ränderna specificeras som indata. Bestämningen kan ske som statiska värden eller följa en kurva i ett dynamiskt fall. Efter beräkningen kan temperaturerna, flödena samt ingående material studeras närmare. Nedan följer några exempel på vad HEAT kan användas till.

- Generella värmeledningsproblem
- Beräkningar av köldbryggor
- Beräkningar av U-värde
- Uppskatta yttemperaturer
- Beräkningar av värmeförluster genom grunden från ett hus
- Optimering av isoleringsdesign
- Analys av golvvärmesystem
- Analys av fönsterkarmar

HEAT-verktygen har genomgått olika tester för att validera beräkningsresultatet och som följd har programmet erhållit ISO certifiering enligt EN ISO 10211 och EN ISO 10077-2 (Buildingphysics 2011).

5.1.2 Parasol

Parasol har utvecklats på avdelningen för Energi och Byggnadsdesign vid Lunds Tekniska Högskola. Tanken med programmet är att det på ett enkelt och snabbt sätt ska gå att studera hur olika fönster och solskydd påverkar energianvändningen och inneklimatet. Detta görs genom att ett rektangulärt rum byggs upp och simuleras. Indata för själva rummet är väldigt begränsad då enbart geometri och U-värde på väggarna kan anges. Rummet förses med ett fönster och här är parametrarna betydligt mer ingående då fönster antingen kan väljas ur en produktkatalog eller byggas upp på egen hand med ingående skikt och luftspalter. Även karmarnas egenskaper och utseende går att variera. Viktiga parametrar för fönstren är den primära och totala soltransmittansen som betecknas t respektive g . För förtydligande av t - och g -faktorn se avsnitt 3.1.4 Fönster. Fönstret kan också förses med solskydd i form av såväl

invändigt som mellanliggande eller utvändigt. Och precis som för fönstren kan ingångsdata kombineras ganska fritt av användaren.

Beräkningar kan sedan göras både med avseende på soltransmission och energibalans. I fallet för soltransmission görs en simulering över hur väl solskyddet och fönsterglaset fungerar ihop. Det som beräknas är g- och t-värden för den aktiva kombinationen av solskydd och fönsterpaket samt det enskilda fönsterpaketet. Hur bra det aktiva solskyddet fungerar anges med kvoten g-system/g-fönsterpaket.

Vid en energibalanssimulering krävs ett antal extra indataparametrar gällande börvärdestemperaturer, internvärme och ventilationsflöden med eventuell värmeväxling. Programmet beräknar sedan solinstrålning, max effektbehov för värme och kyla, månatligt och årsvis värme- och kylbehov samt varaktighetsdiagram för lufttemperatur och operativ temperatur i rummet. Beräkningarna i programmet utförs enligt Europeisk standard ISO 15099 (Energi och Byggnadsdesign LTH 2011a)

5.1.3 VIP Energy

VIP Energy utvecklas av det svenska företaget Strusoft som under 25 års tid har arbetat med mjukvaruutveckling åt byggnadsindustrin. Tillsammans med FEM-Design och WIN-Static får VIP Energy räknas som deras flaggskepp. Programmet används för att beräkna en byggnads totala energibalans. Detta görs genom dynamiska beräkningar på en fysikalisk datormodell. Vid beräkningen kan klimatdata från hela världen användas. I simuleringen beräknas behovet för såväl värme som kyla och hänsyn tas bland annat till värmelagring, luftinfiltration, solenergi, transmissionsförluster genom luft och mark, värmepumpar och golvvärme (Strusoft 2011).

Beräkningsmodellen och resultaten har blivit validerade av International Energy Agency Building Energy Simulation Test and diagnostic method (IEA BESTEST).

Hantering av simuleringar görs genom att indata bestäms i ett antal olika indataflikar. Exempel på flikar är klimatdata, byggnad och installationssystem. I Figur 5.1 nedan visas ett exempel hur det kan se ut i byggnadsfliken.

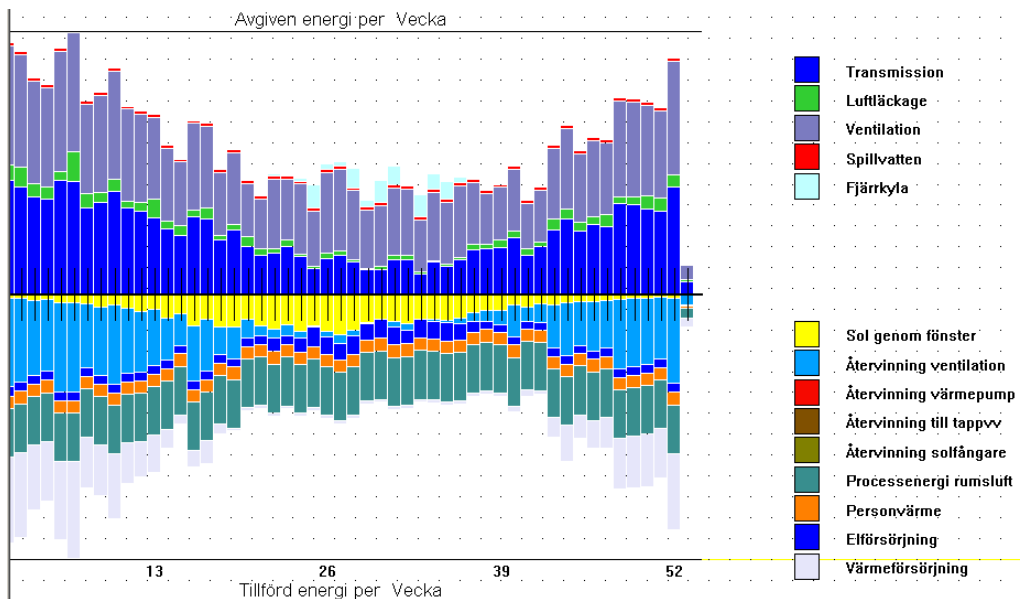
Beräkningar

The screenshot shows the 'Byggnad' software interface. At the top, there are input fields for 'Byggnadsbenämning' (ppm hamnen), 'Benämning för byggdeltyp' (PPM 0-1 m), 'Orientering' (PPM 0-1 m), 'Mängd (Area) Längd(m) Antal' (80.5), 'Angränsande-temp [°C]' (0), 'Lägsta nivå [m]' (0), 'Högsta nivå [m]' (0), 'Värmesikt Andel av effektbehov %' (0), 'U-värde inkl. mark Delta-U [W/m².K]' (0.160), 'Läckföde q50 [l/s.m²]' (0.00), and 'Ps-värde W/m.K' (0.00). Below these are buttons for 'OK', 'Avbryt', 'Lägg till', 'Ändra', 'Ta bort', 'Infoga', 'Rotera', 'Medsojs', and 'Motsols'. A table lists building components with their area, orientation, and various energy-related values. Below the table are 'Kataloger för byggdeltyp' (Fönster / Dörrar / Ventilator, Väggar / Bjälklag, 2-Dim Byggdelar, 3-Dim Byggdelar), 'Markegenskaper' (Silt, icke dränerad sand, grus, morän vlt 2,3), and 'Dataimport VipArea'.

Byggnadsbenämning	Benämning för byggdeltyp	Orientering	Mängd (Area) Längd(m) Antal	Angränsande-temp [°C]	Lägsta nivå [m]	Högsta nivå [m]	Värmesikt Andel av effektbehov %	U-värde inkl. mark Delta-U [W/m².K]	Läckföde q50 [l/s.m²]	Ps-värde W/m.K
mark	ppm hamnen	PPM 0-1 m	80.5m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.160	0.00	0.00
mark	ppm hamnen	PPM 1-5 m	334.0m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.133	0.00	0.00
mark	ppm hamnen	PPM >6 m	178.0m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.125	0.00	0.00
vägg söder	yttervägg hamnen	SÖDER	343.4m²	0.0	3.0	0.0	0.00	0.256	0.40	0.00
vägg väster	yttervägg hamnen	VÄSTER	269.6m²	0.0	3.0	0.0	0.00	0.256	0.40	0.00
vägg norr	yttervägg hamnen	NÖRR	402.1m²	0.0	3.0	0.0	0.00	0.256	0.40	0.00
vägg öster	yttervägg hamnen	ÖSTER	354.9m²	0.0	3.0	0.0	0.00	0.256	0.40	0.00
vägg burspråk	yttervägg hamnen	NÖRR	32.2m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.256	0.40	0.00
terrass	tak terrass hamnen	TAK	184.4m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.227	0.40	0.00
loggia	tak loggia hamnen	TAK	65.5m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.204	0.40	0.00
sedum	tak sedum hamnen	TAK	500.7m²	0.0	0.0	0.0	0.00	0.135	0.40	0.00
fönster	glas hamnen solskydd	SÖDER	185.4m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
fönster	glas hamnen solskydd	VÄSTER	177.0m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
fönster	glas hamnen norr sol	NÖRR	180.8m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
fönster	glas hamnen solskydd	ÖSTER	199.4m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
blindfönster	blindfönster hamnen	SÖDER	6.2m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
blindfönster	blindfönster hamnen	VÄSTER	10.4m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00
blindfönster	blindfönster hamnen	NÖRR	18.8m²	0.7	3.1	0.00	1.400	0.40	0.40	0.00

Figur 5.1 Inställningsalternativ för byggnaden i VIP energy

När all indata är inprogrammerad görs en beräkning som för de flesta byggnader enbart tar några sekunder. I resultaten fås sedan specificerad energianvändning från olika system. Det går även att få ut byggnadens totala energianvändning och en direkt jämförelse mot BBR-kraven. Ett exempel på hur resultatet presenteras ges i Figur 5.2.



Figur 5.2 Diagram över energibalansen i VIP energy

Fördelarna med VIP är framförallt att det är extremt enkelt att arbeta med och att det går snabbt att mata in såväl indata som att utföra beräkningar. Resultaten har också visats sig stämma väl överens med verkligheten även om inte modellen byggs upp i detalj. En fara med programmet är att det på ytan verkar extremt enkelt att utföra en beräkning, men det gäller att veta vilken betydelse olika indata har då små ändringar kan leda till stora fel. Det krävs således kunskap om byggnadsfysik och

installationsteknik för att kunna beskriva byggnaden på ett korrekt sätt och framförallt för att kunna kontrollera om resultaten är rimliga.

5.1.4 IDA ICE

IDA ICE (Indoor Climate and Energy) kom ut i sin första version 1998. Då utvecklades det av Brisdata, vilka numera är omdöpta till EQUA. Utvecklingen finansierades delvis med statliga medel men även av en intressentgrupp bestående av omkring 30 olika konsultföretag i Sverige (EQUA, 2002).

IDA ICE är ett energiberäkningsprogram för simulering av energianvändningen och inneklimatet i byggnader. Programmet är ett dynamiskt energisimuleringsprogram som på ett detaljerat sätt tar hänsyn till värme och ventilationssystem, genom simulering av dessa. Programmet används av förvaltare, konstruktörer, VVS-projektörer, tillverkare och forskare.

Användargränssnittet är uppdelat i tre nivåer med olika stöd och frihet för användaren. I IDA Room, som är den enklaste nivån, fyller användaren i indata i ett eller flera formulär som presenteras i sekvens. Därefter kan en simulering göras direkt för en zon eller så kan filen flyttas över till nästa nivå, standardnivån. Här kan användaren i större utsträckning forma sin egen byggnad med mer än en zon. Utifrån geometri, material, regulatorinställningar, belastning osv. Det är fortfarande meningen att en person utan omfattande simuleringskunskap ska kunna använda sig av standardläget.

På alla nivåer i IDA ICE beskrivs de matematiska modellerna med ekvationer i ett formellt språk, Neutral Model Format (NMF). Det är dock först på den avancerade nivån som användaren själv arbetar direkt med modellerna vilket gör det möjligt att med en del kunskap skraddarsy en modell direkt efter behovet i det egna projektet.

I IDA ICE finns en 3D-modellerare, speciellt avsedd för byggsimulering. Med denna kan byggnader direkt beskrivas för tidiga studier på skisstadiet och i senare skeden importera färdiga 3D modeller från CAD-systemet via IFC-standard. Material och konstruktioner kan antingen importeras från CAD-modellen eller hämtas från IDAs databas där även egna material kan skapas. Modellen kompletteras med värmelaster, VVS-system, reglerstrategier och klimatdata och kan därefter simuleras under olika perioder.

Vid simulering kan två olika modeller användas. Klimatmodellen som är en högt detaljerad fysisk modell av byggnaden och dess komponenter. Fördelen är att klimatmodellen ger möjlighet att beräkna exempelvis operativtemperatur och komfortindex för olika positioner i modellen. Energimodellen är en matematiskt enklare modell som räknar med traditionell noggrannhet dvs. med en genomsnittlig strålningstemperatur, vilket ger kortare beräkningstider.

Efter att en simulering gjorts presenteras resultaten som diagram och rapporter. Användaren väljer själv vilka resultat som anses vara väsentliga och vill få fram. På avancerad nivå kan användaren dessutom själv välja att logga valfria parametrar som då redovisas efter simuleringen. I denna studie används detta t.ex. för att bestämma hur sedumtaket skulle simuleras genom att ytemperaturen på takbeläggningen

Beräkningar

loggades och jämfördes mot uppmätta värden från tidigare studier som gjorts på byggnader försedda med sedumtak.

Den stora fördelen med IDA är att alla beräkningar utförs helt öppet och koden redovisas i programmet. Den kritiska användaren kan således själv validera alla beräkningar och dessutom logga alla enskilda parametrar som används för att se hur de uppför sig under simuleringen. Den stora nackdelen är att det kräver en stor kunskap om installationssystem och för komplexa byggnader kan det ta långt tid att både bygga upp modellen och utföra beräkningen.

Som jämförelse mot VIP så är IDA ICE ett program med betydligt mer frihet för användaren och byggnaden kan simuleras mer i detalj, men på grund av den extra arbetsbelastningen med modellbyggande är ändå VIP Energy det mest använda programmet för energisimuleringar. I de tidigare beräkningarna som har gjorts på Ramböllhuset har IDA använts för att simulera luftflöden och kylbehov. Dessa värden har sedan använts i en VIP beräkning där energianvändningen har beräknats.

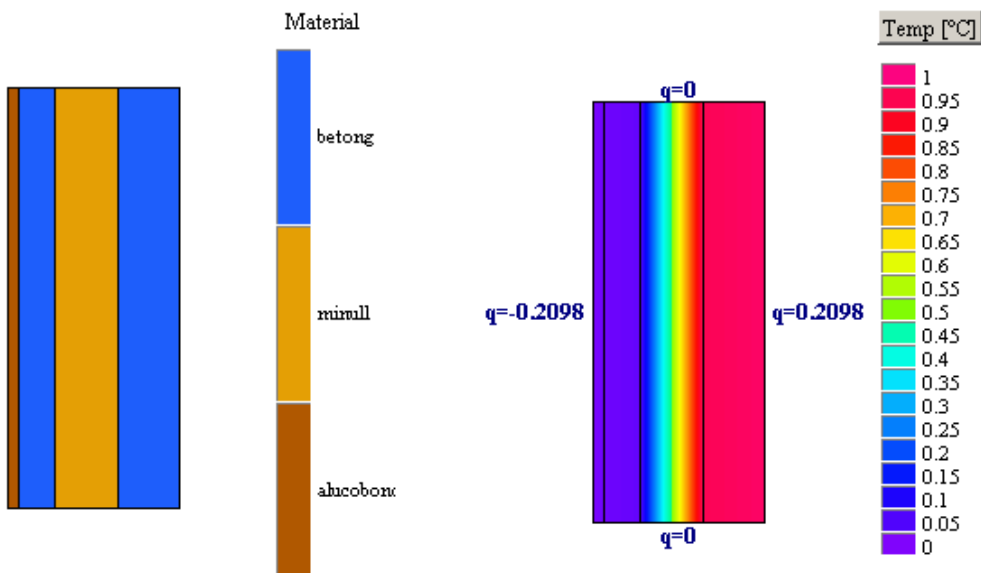
5.2 Indata till energibalansberäkningar

5.2.1 Köldbryggor

De köldbryggor som har lokaliserats med hjälp av värmekameran modelleras upp i datorprogrammet HEAT 2 för att beräkna vilket tillskott på transmissionsförlusten som köldbryggan ger upphov till.

HEAT-beräkningar görs genom att ingående byggnadsdelar analyseras dels för sig och dels sammansatta. Resultaten jämförs sedan för att se hur mycket mer energi som går ut genom den sammansatta byggnadsdelen jämfört med de separata byggnadsdelarna. För att närmare beskriva hur analysen går till kommer förfarandet att beskrivas i detalj för ett av byggnadens hörn. För övriga köldbryggor redovisas endast resultat medan själva analysen går att följa i bilaga 4.

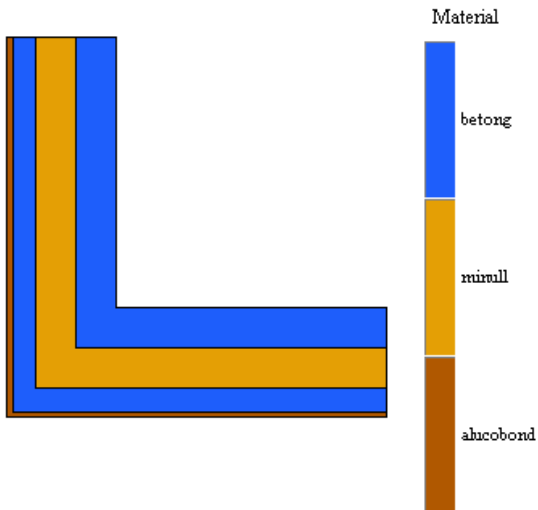
Det som studeras är en hörnanslutning mellan två ytterväggar. Först byggs själva väggen upp utan någon som helst anslutning och flödet genom väggen analyseras då temperaturskillnaden är satt till 1°C för att få flödet i enheten W/mK, detta kan ses i Figur 5.3.



Figur 5.3 Materialuppbyggnad och värme flöde genom yttervägg

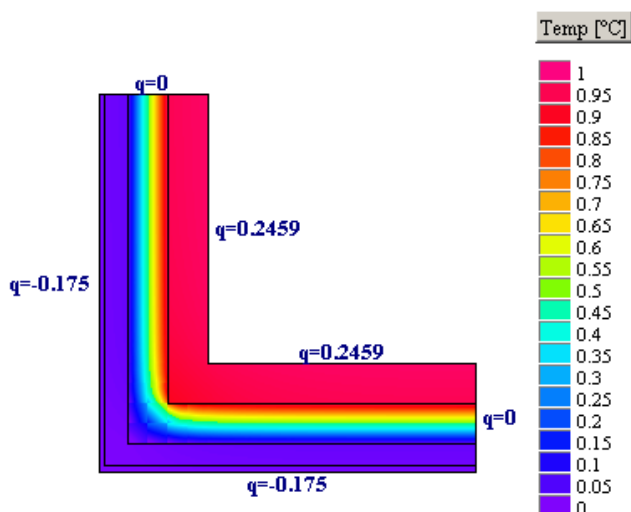
Sedan sätts två partier av ytterväggen samman till ett hörn. Viktigt är nu att se till att den invändiga arean på de sammansatta väggarna är lika stor som den var för två delar av väggen utan sammankoppling.

Det sammansatta hörnet och flödena igenom det kan ses i Figur 5.4 och Figur 5.5.



Figur 5.4 Materialuppbyggnad hörnanslutning

Beräkningar



Figur 5.5 Temperaturprofil för hörnanslutning

Resultaten från de båda analyserna jämförs genom att subtrahera flödet som gick genom insidan av väggdelarna var för sig från flödet på insidan av den sammansatta delen. Flödesskillnaden som fås är således flödet som går genom köldbryggan. Detta går att se i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Flöden genom hörnanslutning

Byggnadsdel	Vägg (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2459	0,2459	0,4918
Individuellt	0,2098	0,2098	0,4198
Flödesskillnad			0,0720

De resterande köldbryggorna analyseras på samma sätt. Resultaten från analysen kan ses i Tabell 5.2 medan bilder över flöden och material återfinns i bilaga 4.

Tabell 5.2 Sammanställning över köldbryggor

Köldbrygga	Värmefflöde (W/mK)	Längd (m)	Värmefflöde (W/K)
Ytterhörn	0,0720	140	10,08
Innerhörn	0,0546	40	2,184
Utstående del på plan 2	0,1526	16	2,442
Tak/Kontorsvägg	0,1460	210	30,66
Bostadsvägg/Tak	0,0171	23	0,393
Tak/Bostadsvägg	0,0600	55	3,300
Takterrass			
Del 1	0,5560	26	14,46
Del 2	0,4433	14	6,206
Del 3	0,0570	14	0,798
Del 4	0,0293	22	0,645
Del 5 Betong	0,3212	8	2,570
Del 5 Mineralull	0,1767	16	2,827

Gemensamt för alla köldbryggorna är att det är linjeköldbryggor som sträcker sig över ett större område. På byggnaden går det att hitta enstaka punktköldbryggor som har ett enskilt större värmefflöde men då det enbart sker i en punkt kommer det inte att göra någon märkbar skillnad på den totala transmissionsförlusten. En linjeköldbrygga som inte har analyserats är hörnanslutningen mellan ytterväggarna på bostäderna. Detta på grund av att det enbart rör sig om ett våningsplan och det enbart är två av hörnen som är anslutningar av bostadsväggar. En annan faktor som ligger bakom beslutet är att det inte finns någon detaljritning som visar exakt hur hörnet är uppbyggt vilket skulle göra en modellering extremt osäker.

5.2.2 Solavskärmning

Fasaderna åt öster, söder och väster är försedda med ett externt solskydd av lamelltyp. Solskyddet styrs automatiskt beroende på solintensitet och de vinklas beroende på solhöjd. Vid minusgrader riskerar solskydden att frysa fast vilket medför att de då inte används oavsett solintensitet.

För att få korrekta inställningsvärden för kombinationen glas plus solskydd görs en studie i Parasol där två fall simuleras. I fall ett antas vinkeln på lamellerna vara 60°, här testas söderfasaden för sig och öster/väster för sig. Simuleringarna antas gälla för förhållandena på södersidan under våren och hösten medan de alltid gäller för öst/väst fasaden. Det andra fallet representerar sommaren på södersidan och här antas lamellerna ställas i 45°:s lutning. Inga specifika simuleringar görs gällande vintertid då solintensiteten inte är tillräckligt stark för att solskyddet ska användas.

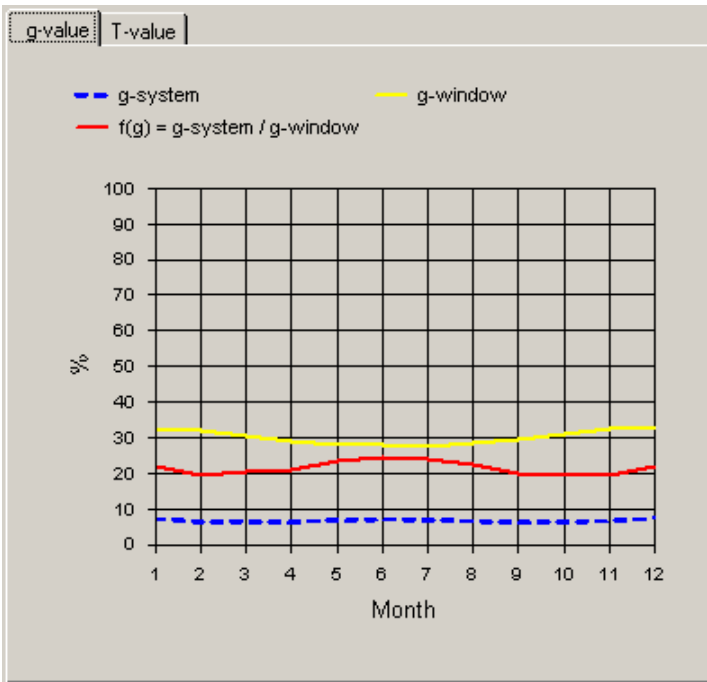
I figur 5.6–5.11 ses resultaten från simuleringarna där g- och t värde redovisas var för sig. Den gula linjen i figurerna visar fönstrets egenskaper medan den blå visar fönstrets och solskyddets totala egenskaper. Den röda linjen visar som en faktor hur mycket bättre glasets g- och t-värde blir om det kombineras med solskyddet. Glasets värde multiplicerat med faktorn blir således det totala värdet. Vid beräkningar i IDA och VIP är det värdet på dessa faktorer som ställs in för solskyddet. Resultaten från Parasol har förenklats och sammanställts i Tabell 5.3.

Tabell 5.3 Resultat för g- och t-värde

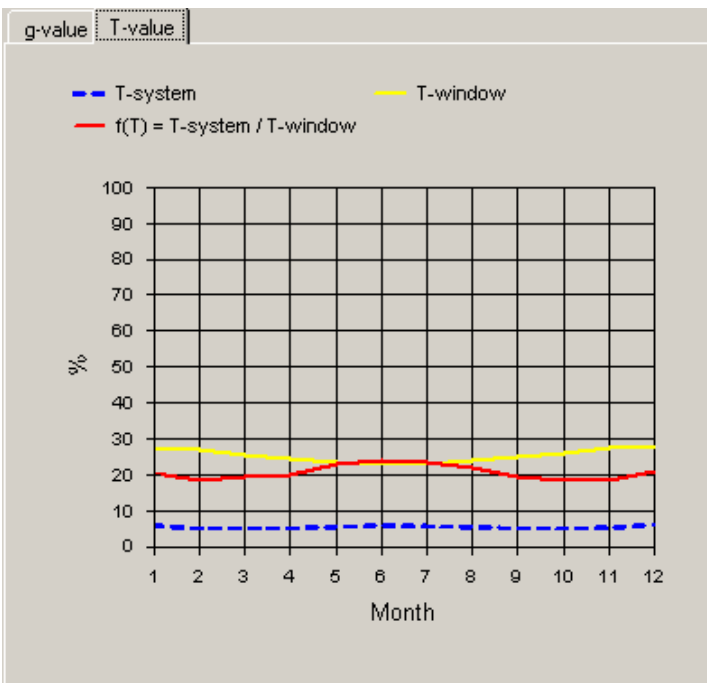
Fasad	Faktor g-värde	Faktor t-värde
Öst/väst	0,23	0,22
Söder (vår/höst)	0,2	0,2
Söder Sommer	0,33	0,32

Då efterföljande simuleringar enbart tillåter att ett värde anges för simuleringen kommer värdet för södersidan vägas samman till ett värde. Antagandet görs att solskyddet är nere 2 månader under hösten respektive våren och 4 månader på sommaren. Viktningen blir således medelvärdet mellan 0,2 och 0,33 för g-värdet, vilket är 0,265 medan t-värdet blir 0,26.

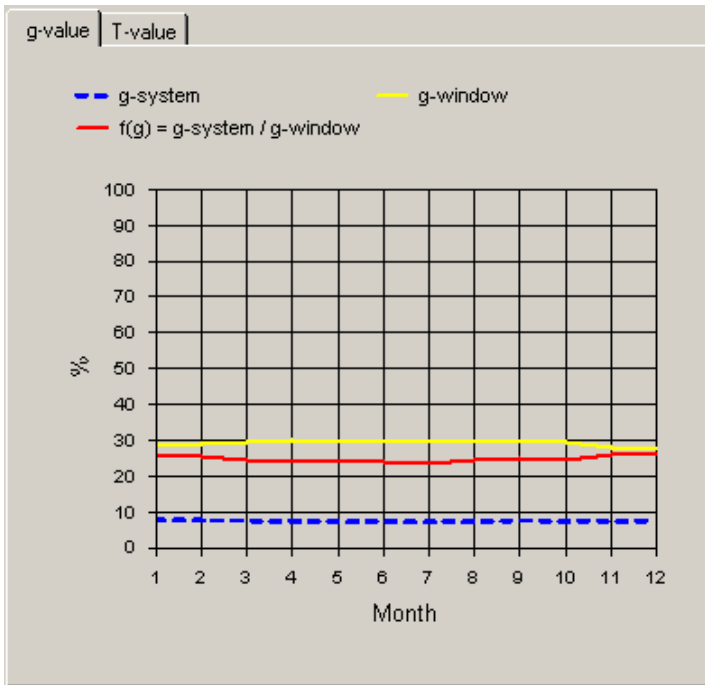
Beräkningar



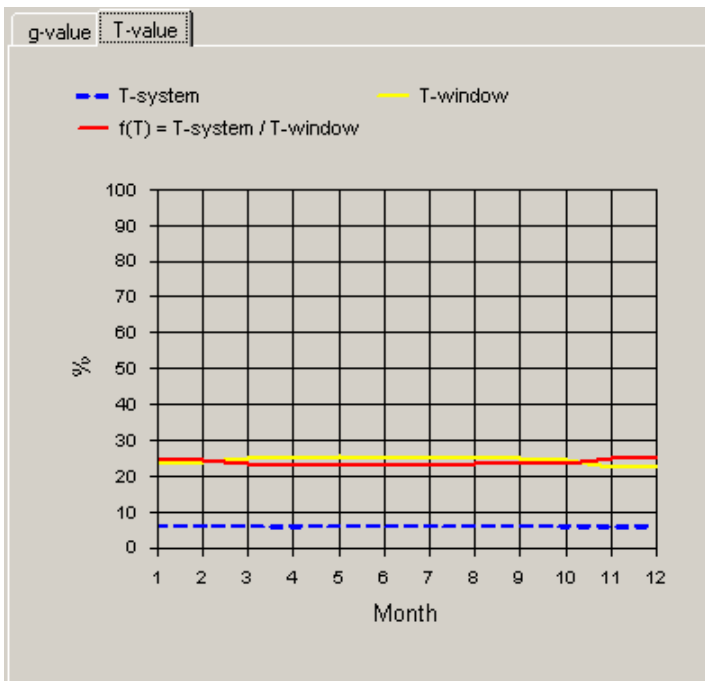
Figur 5.6 Simuleringar för g-värde på södersidan med 60° lutning på lamellerna



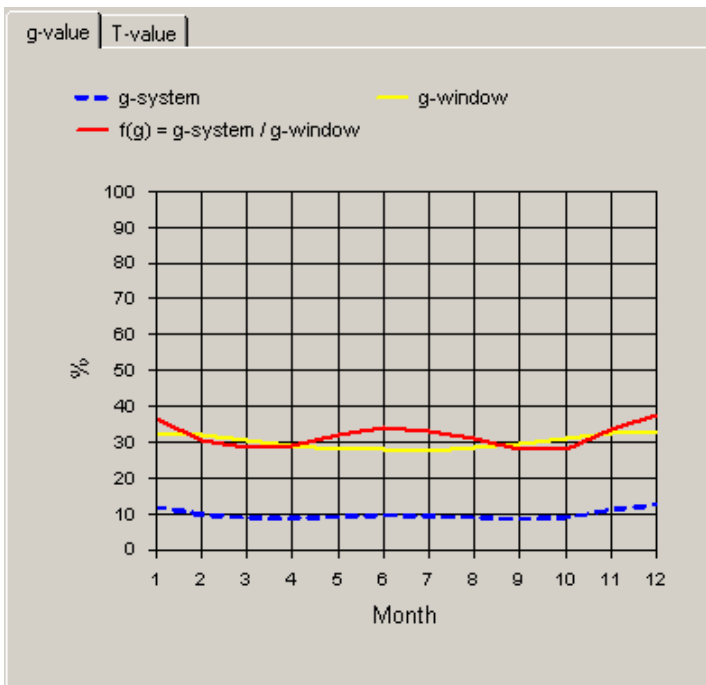
Figur 5.7 Simuleringar för T-värde på södersidan med 60° lutning på lamellerna



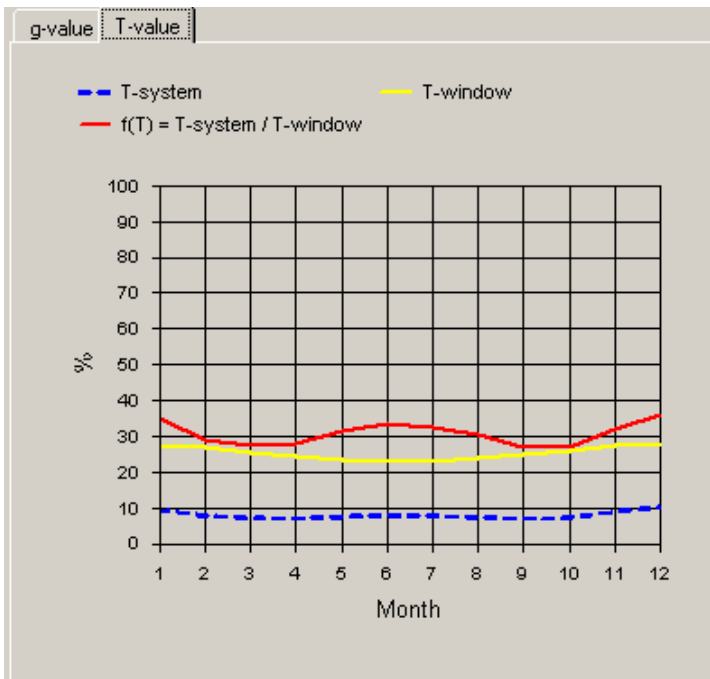
Figur 5.8 Simuleringar för g-värde på öst/västfasad med 60° lutning på lamellerna



Figur 5.9 Simuleringar för T-värde på öst/västfasad med 60° lutning på lamellerna



Figur 5.10 Simuleringar för g-värde på södersidan med 45° lutning på lamellerna

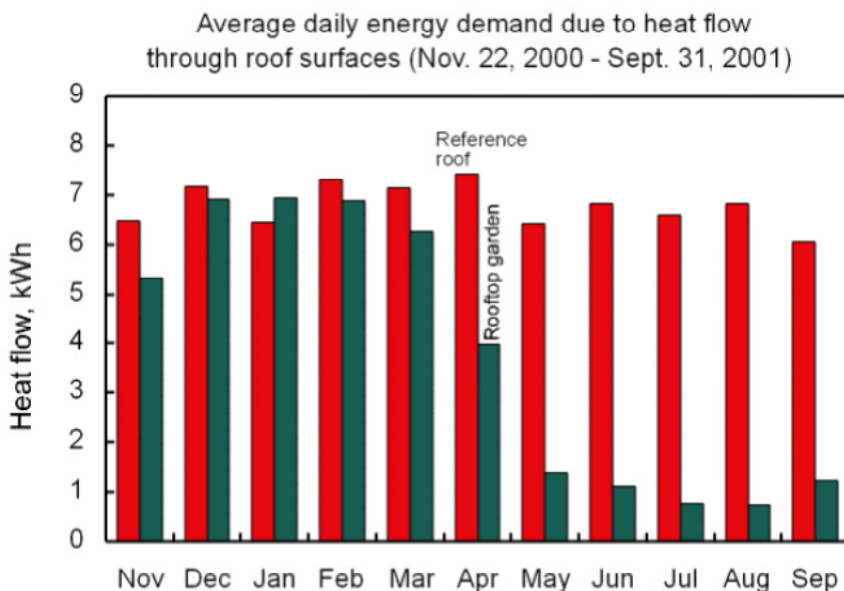


Figur 5.11 Simuleringar för T-värde på södersidan med 45° lutning på lamellerna

5.2.3 Sedumbeläggning

Även om valet med sedumtak härstammar från krav från kommunen på andelen gröngjorda ytor kan fördelarna som de gröna taken ger upphov till utnyttjas. Den största fördelen med ett sedumtak är att det fördröjer dagvattnet och på så sätt jämnas

höga flöden ut över tiden. Denna fördel kommer inte behandlas djupare i detta arbete då den inte har någon direkt inverkan på byggnadens energianvändning. Det som däremot har en betydande inverkan är dess effekt att jämna ut takets ytemperatur under framförallt sommaren tack vare ökad isolering, växternas förmåga att avge vatten via evaporation och deras skuggbildande egenskaper. (Liu 2002). På vintern ger taket en ökad isolering men denna försvinner nästan helt då jordlagret fryser. Och efter att taket täcks av snö sker ingen märkbar energibesparing jämfört med en vanlig takbeläggning (Liu 2002). En studie gjordes i Kanada år 2001 där ett sedumtak jämfördes med en takbeläggning av papp. Figuren nedan visar resultaten från den studie där det dagliga energibehovet till följd av transmission genom taket redovisas.

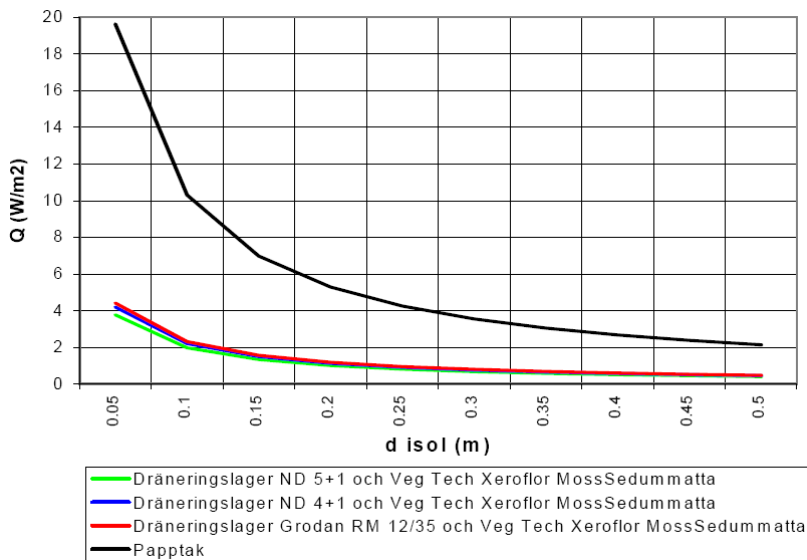


Figur 5.12 Transmissionsförluster genom ett grönt tak respektive ett tak med pappbeläggning. Källa (Liu 2002)

Som synes i bilden är det framförallt på sommaren som det gröna taket har effekt på energibehovet.

År 2003 utfördes ett examensarbete vid Chalmers, där det bland annat undersöktes hur stor värmetransporten in genom taket är beroende på isoleringstjockleken. Resultat för detta ses i Figur 5.13. Det är tydligt att samtliga gröna tak presterade likvärdigt medan referenstaket låg på en lägre nivå. Energibesparingen med ett grönt tak är väldigt beroende av vilken isolertjocklek som finns under skiktet. I fallet Rambölls kontor är isolertjockleken 320 mm vilket enligt Figur 5.13 ger ett värmefflöde som är ca 3 W/m^2 lägre för ett tak med sedumbeläggning jämfört med referenstaket. Det som gör den minskade energitransporten är framförallt att ytemperaturen på taket sänks från ca 70 till 35°C (Lundstedt Jens och Karlsson Pär 2003).

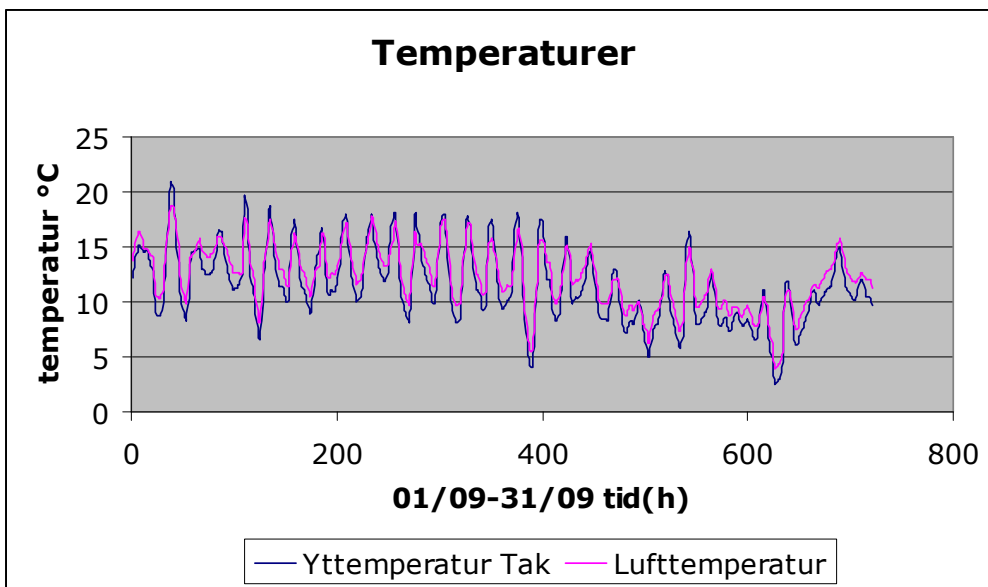
Beräkningar



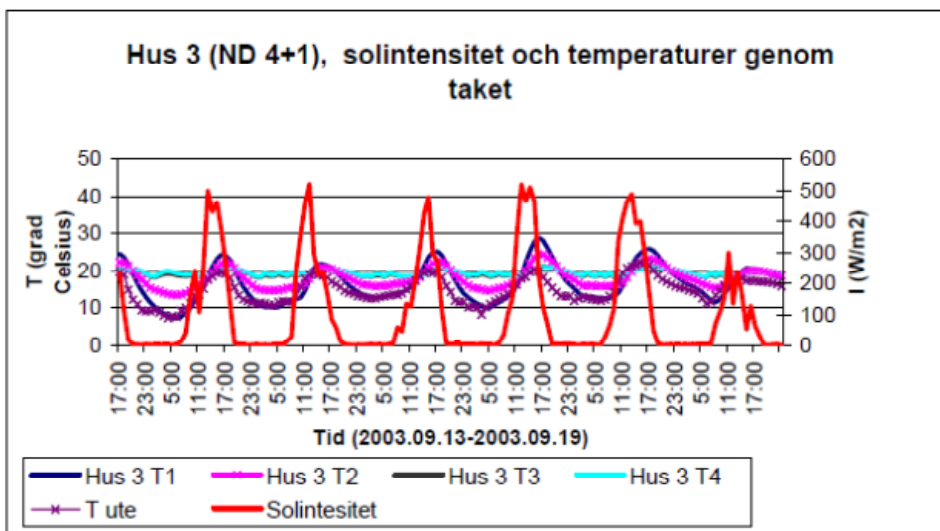
Figur 5.13 Intransport av värme vid olika tjock isolering. Källa (Lundstedt Jens och Karlsson Pär 2003)

För att simulera dessa värden i IDA ICE och VIP Energy ändrades reflektionsfaktorn på taket, vilket medför att taket inte påverkas lika mycket av solstrålningen och yttemperaturen blir därigenom lägre. För att få med skillnaden som den extra isoleringen ger ersätt sedumskiktet med ett lager sand med samma tjocklek. Det kommer inte att ge ett helt korrekt värde då ingen hänsyn tas till fuktnivån i skiktet men det felet bedöms så litet att det inte göra någon märkbar skillnad i slutändan.

För att ta reda på vilken reflektionsfaktor som gav önskat resultat gjordes en test-simulering i IDA av en byggnad bestående av ett rum med samma sedumtak som används på Ramböllhuset. Vid simuleringen loggades variabeln som beskrev yttemperaturen över tiden för olika reflektionsfaktorer. Resultaten jämfördes sedan med resultaten från Karlson och Lundstedts studie. I studien har ett antal testhus belagts med sedumtak och försetts med temperaturgivare på olika nivåer i konstruktionen. En mätning gjordes under perioden 13/9 till 19/9 2003. För att uppnå en jämförbar studie kommer hela september månad att simuleras för att på så sett ge ett extra skydd mot toppar och dalar i uteklimatet. Den reflektionsfaktor som var mest likt resultatet var 0.9 och resultaten från den simuleringen kan ses i Figur 5.14. Resultaten från Karlson och Lundstedts studie kan ses i Figur 5.15 och det är linje Hus 3 T1 som beskriver yttemperaturen.



Figur 5.14 Temperaturer från testsimulering i IDA ICE



Figur 5.15 Temperaturer i testhus med sedumtak under 6 dygn. Hus 3T1 beskriver yttemperaturen. Källa (Lundstedt Jens och Karlsson Pär 2003)

Vid en snabb anblick på bilderna ser det ut som att IDA beräkningen fluktuerar mycket mer än de uppmätta värdena. Men då IDA simuleringen avser en hel månad blir grafen mer ihoptryckt vilket förklarar skillnaden i utseende. Undersöks enbart temperaturerna går det att se att det i båda fallen är en tydlig koppling mellan lufttemperatur och yttemperatur. För de uppmätta värdena förekommer något högre temperaturer men det gäller både yt- och lufttemperaturna. På det stora hela bedöms simuleringen ge en överensstämmande bild med verkligheten.

5.3 Energisimuleringar

5.3.1 VIP Energy

5.3.1.1 Tidigare beräkning

I juni 2009 gjordes beräkningen som ligger till grund för den uppskattade energianvändningen för byggnaden. Simuleringen utfördes i VIP Energy och den bestod av en zonberäkning med sammanlagt 5 zoner. Zonerna representerar två olika fläktrum, entrén, kontorsdelen och bostäderna. Där kontorsdelen omfattar utrymmen som pentryn, hisshall, förråd och konferensrum. Vid simuleringen användes en klimatfil tillhörande Malmö.

Byggnadsdelar

Samtliga byggnadsdelar som har använts i simuleringen byggdes upp med hjälp av VIP Energys egen byggdelskatalog där olika material sattes samman. U-värdet för konstruktionsdelen beräknades sedan automatiskt av programmet. Hörnen på byggnaden har även de byggts upp i VIP och lagts in som Köldbryggor. De olika byggnadsdelarna och dess egenskaper går att se i Tabell 5.4.

Tabell 5.4 byggnadsdelar och dess egenskaper

Byggnadsdel	U-värde (W/m ² K)	Otätthetsfaktor q50 (l/s, m ²)
Yttervägg	0,256	0,4
Vägg fläktrum	0,227	0,4
Tak sedum	0,135	0,4
Tak terrass	0,227	0,4
Tak loggia	0,204	0,4
Tak Fläktrum	0,227	0,4
Tak penthouse	0,101	0,4
Platta på mark 0-1 m	0,160	0,4
Platta på mark 1-6 m	0,133	0,4
Platta på mark > 6 m	0,125	0,4
Köldbryggor	(W/mK)	
Innerhörn	0,049	0,4
Ytterhörn	0,129	0,4

I beräkningen användes tre olika typer av fönster, ett med solskyddsglas som även förses med extern solskydd i form av lameller, ett isolerglas samt ett blindfönster. Isolerglasen används mot norr medan solskyddsglasen finns åt övriga väderstreck. Blindfönster finns på samtliga fasader. Indata för fönstren presenteras i Tabell 5.5 och solskydden redovisas i Tabell 5.6.

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Tabell 5.5 Fönstertyper med tillhörande egenskaper

Fönstertyp	Glasandel (%)	U-värde (W/m ² K)	g-värde	t-värde
Solskyddsglas	95	1,4	0,32	0,3
Isolerglas	95	1,4	0,63	0,53
Blindfönster	0	1,4	0,63	0,53

Tabell 5.6 Solskyddets egenskaper

Solskydd	Reduktion av g	Reduktion av t	Högsta Vindhastighet (m/s)	Gräns effekt (W/m ²)
Lammeller	0,90	0,99	20	

Interna Värmelaster

I VIP Energy ges internlasterna med avseende på verksamhetsenergi, fastighetsenergi, personvärme och tappvarmvatten. Vilka indata som använts i den tidigare beräkningen visas i Tabell 5.7-5.14.

Tabell 5.7 Internlaster för kontorszonen

Driftfall	Verksamhetsenergi rumsluft (W/m ²)	Verksamhetsenergi extern (W/m ²)	Fastighetsenergi rumsluft (W/m ²)	Fastighetsenergi extern (W/m ²)	Personvärme (W/m ²)	Tappvarmvatten (W/m ²)
Kontor dag vinter	13	3	0	0	4	1
Kontor dag sommar	1	1	0	0	0	0
Kontor natt	13	1	0	0	4	1

Tabell 5.8 Drifttider för kontorszonen

Driftfall	Veckodagar	Dagnummer	Tid
Kontor dag sommar	Mån-Fre	122-274	8-17
Kontor natt	Mån-Fre	1-365	0-8
Kontor natt	Mån-Fre	1-365	17-24
Kontor dag vinter	Mån-Fre	1-121	8-17
Kontor dag vinter	Mån-Fre	275-365	8-17
Kontor natt	Lör-Sön	1-365	0-24

Beräkningar

Tabell 5.9 Internlaster för zonerna Fläktrum1 och Fläktrum2

Driftfall	Verksamhetsenergi rumsluft (W/m ²)	Verksamhetsenergi extern (W/m ²)	Fastighetsenergi rumsluft (W/m ²)	Fastighetsenergi extern (W/m ²)	Personvärme (W/m ²)	Tappvarmvatten (W/m ²)
Fläktrum1	0	0	0,5	0,5	0	
Fläktrum2	1	0	0	0	0	0

Tabell 5.10 Drifttider för zonerna Fläktrum1 och Fläktrum2

Driftfall	Veckodagar	Dagnummer	Tid
Fläktrum 1	Mån-sön	1-365	0-24
Fläktrum 2	Mån-sön	1-365	0-24

Tabell 5.11 Internlaster för Entrézon

Driftfall	Verksamhetsenergi rumsluft (W/m ²)	Verksamhetsenergi extern (W/m ²)	Fastighetsenergi rumsluft (W/m ²)	Fastighetsenergi extern (W/m ²)	Personvärme (W/m ²)	Tappvarmvatten (W/m ²)
Entré dag vinter	6	3	0	0	4	1
Entré dag sommar	1	0	0	0	0	0
Entré natt	6	3	0	0	4	1

Tabell 5.12 Drifttider för Entrézon

Driftfall	Veckodagar	Dagnummer	Tid
Entré dag sommar	Mån-Fre	122-274	8-17
Entré natt	Mån-Fre	1-365	0-8
Entré att	Mån-Fre	1-365	17-24
Entré dag vinter	Mån-Fre	1-121	8-17
Entré dag vinter	Mån-Fre	275-365	8-17
Entré natt	Lör-Sön	1-365	0-24

Tabell 5.13 Internlaster för Bostadszonen

Driftfall	Verksamhetsenergi rumsluft (W/m ²)	Verksamhetsenergi extern (W/m ²)	Fastighetsenergi rumsluft (W/m ²)	Fastighetsenergi extern (W/m ²)	Personvärme (W/m ²)	Tappvarmvatten (W/m ²)
Bostad	200	1	0	0	1	2,05

Tabell 5.14 Driftfall för Bostadszonen

Driftfall	Veckodagar	Dagnummer	Tid
Bostad	Mån-sön	1-365	0-24

Ventilation

Ventilationen ges dels som ett grundflöde och dels som ett forcerat flöde då byggnaden behöver kylas ner. Indata för de olika aggregaten kan ses i Tabell 5.15 medan flöden kan avläsas i Tabell 5.16. Då samma aggregat förser alla utrymmen utom bostäderna med luft så är de olika fläktrycken för tilluften antagligen ett misstag. Felet har ingen extrem betydelse i slutändan då driftelen enbart ökar med 0,5 kWh/m², år om det högre värdet används i samtliga fyra zoner.

Tabell 5.15 Indata för ventilationsaggregat för olika zoner

Aggregat	Tilluft Fläktryck (Pa)	Tilluft Verkn.gr (%)	Frånluft Fläktryck (Pa)	Frånluft Verkn.gr (%)	Verkn.gr Återvinning (%)	Lägsta tillufts temp (°C)
kontor	680	67	540	63	77	15
Fläktrum1	860	67	540	63	77	15
Fläktrum2	860	67	540	63	77	15
Entré	680	67	540	63	77	15
Bostad	100	60	100	60	80	16

Tabell 5.16 Luftflöden i de olika zonerna

Zon	Grundflöde (l/s)	Forcerat flöde (l/s)
kontor	1425 Mån-Fre 1250 Lör-Sön	7988
Fläktrum1	175	-
Fläktrum2	50	-
Entré	185 Mån-Fre dagtid 170 Mån-Fre Natt 130 Lör-Sön	924
Bostad	200	-

Värmesystem

I kontorsdelen och Entrén tillåts temperaturen att variera mellan 21-23°C på vintern och mellan 21-24°C på sommaren. Under nätterna tillåts temperaturen att variera mellan 19-25°C. I fläktrummen är temperaturkraven en aning mildare där temperaturgränserna är satta på 18-25°C för Fläktrum 1 medan det för fläktrum 2 är 15-27°C som gäller. I bostäderna där ingen aktiv kylning finns tillåts temperaturen ligga mellan 22-29°C. skulle temperaturen stiga över detta registreras det som passiv kylning vilket är samma sak som att ett fönster öppnas för att vädra byggnaden.

Vid beräkning av erforderlig värmeenergi beräknar VIP Energy hur stor effekt som behövs för att klara temperaturkraven. Effekten räknas sedan om till W/m² utan att någon hänsyn tas till primärkretsens verkningsgrad. För Ramböllhuset spelar detta ingen roll då fjärrvärme har ca 100 % verkningsgrad. Vissa typer av värmesystem går att simulera mer exakt i VIP däribland värmepumpar och solvärme.

5.3.1.2 Ny beräkning

Den nya VIP-beräkningen är gjord helt från grunden för att inte riskera att fastna i gamla antaganden från den tidigare beräkningen. Byggnaden delas här in i 8 olika zoner för att bättre kunna detaljstyra indata för att återspegla verkligheten. De olika zonerna listas nedan.

1. Kontor
2. Möte
3. Hisshall
4. Teknik
5. Soprum
6. Bostad
7. Lounge
8. Konferens

Anledningen till att exempelvis mötesrum och konferensrum är olika zoner trots att de har väldigt lika användningsområden är att det i konferensrummen finns kylmaskiner installerade medan mötesrummen endast kyls via ventilationssystemet. Zonen teknik innehåller fläktrum, undercentral samt el/telerum och serverhall. Dessa rum klumpas samman då det är utrymmen utan någon egentlig närvaro men en hög internbelastning från installerade apparater. Ett litet fel som följer med förenklingen med en teknikzon är att ett utrymme som serverhallen som har en extremt stor intern belastning, som medför kylbehov, kommer spridas ut över en större area vilket kommer att ge lägre temperaturer och mindre kylbehov. Utrymmen som förråd, WC och små pentryn i anslutning till kontorslandskapen har inkluderats i kontorszonen för att inte göra simuleringsmodellen onödigt komplicerad.

Byggnadsdelar

Samtliga zoner är uppbyggda från en grundfil där bland annat alla olika byggnadsdelar har lagts in. Alla delar har byggts upp genom VIP Energys materialdatabas men U-värdet har modifierats för att stämma med de tidigare beräknade U-värdena som kan hittas i bilaga 3. Köldbryggorna har lagts in enligt de beräkningar som gjorts med HEAT 2. En förenkling som görs är att samtliga köldbryggor sägs belasta Kontorszonen som är den största zonen. Detta kommer inte att ge någon större skillnad på slutresultatet då transmissionsförlusterna totalt sett blir snarlika medan det har en viss betydelse för hur mycket energi olika zoner drar. De olika byggnadsdelarna kan ses i Tabell 5.17

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Tabell 5.17 Sammanställd indata beträffande byggnadsdelar

byggdel	U-värde (W/m ² K)	Otätthetsfaktor q50 (l/s, m ²)
Yttervägg	0,212	0,4
Yttervägg bostad	0,229	0,4
Tak sedum	0,104	0,4
Tak terrass	0,202	0,4
Tak bostad	0,204	0,4
Utstickande golv plan 2	0,125	0,4
Platta på mark 0-1 m	0,143	0,4
Platta på mark 1-6 m	0,115	0,4
Platta på mark > 6 m	0,107	0,4
Köldbryggor	(W/mK)	
Ytterhörn	0,07201	0
Innerhörn	0,0546	0
Utstående del på plan 2	0,1526	0
Tak / Kontorsvägg	0,1460	0
Bostadsvägg / Tak	0,0171	0
Tak / Bostadsvägg	0,0600	0
Takterass		0
Del 1	0,556	0
Del 2	0,4433	0
Del 3	0,057	0
Del 4	0,0293	0
Del 5 Betong	0,3212	0
Del 5 Minull	0,1767	0

Fönsterindatan matas in enligt tillverkarnas uppgifter för fönstren medan solskydden ges värden efter beräkningarna som gjorts med Parasol. Indata redovisas nedan. Då solskydden i VIP anger hur mycket strålningen genom fönstret reduceras i procent så räknas den tidigare framräknade faktorn om genom att ta 1 minus faktorvärdet.

Tabell 5.18 Indata för fönster

Fönstertyp	Glasandel (%)	U-värde (W/m ² K)	g-värde	t-värde
Solskyddsglas	95	1,4	0,33	0,3
Isolerglas	95	1,3	0,63	0,53
Blindfönster	0	1,3	0	0

Beräkningar

Tabell 5.19 Indata för solskydd

Solskydd	Reduktion av g (%)	Reduktion av t (%)	Högsta Vindhastighet (l/s)	Gräns effekt (W/m ²)
Söder	74	73	20	250
Öster/väster	77	78	20	250

Interna Värmelaster

Belysningen anges i byggnadsbeskrivningen till 300 lux. Värde gäller primärt för allmänbelysningen i kontorslandskapen men antas här gälla för hela byggnaden. Från tillverkaren fås att belysningen levererar 86 lm/W. Antalet W/m² blir då 300/86 = 3,49. I soprum och teknikutrymmen antas ingen belysning då den är släckt under större delen av dygnet.

När det gäller värmen som kommer från personerna har antagande gjorts över hur många människor som vistas i varje zon samt hur stor andel som är närvarande samtidigt. Personerna antas ge ifrån sig vars 100 W. Antaganden för olika zoner samt slutgiltigt beräknat värde i W/m² som förs in i modellen kan ses i Tabell 5.20.

Tabell 5.20 Personlaster

Zon	Area (m ²)	Antal Personer	Närvaro	Avgiven värme (W/pers)	Effekt (W)	Personlast (W/m ²)
Bostad	203	7	0,80	100	560	2,76
Hisshall	397	0		100	0	0,00
Konferens	116	30	0,50	100	1500	12,93
Kontor	2890	115	0,70	100	8050	2,79
Lounge	335	57	0,70	100	3990	11,91
Möte	325	70	0,50	100	3500	10,77
Soprum	27,8	0	0,00	100	0	0,00
Teknik	280	0	0,00	100	0	0,00

Den värmelast från utrustning som finns i lokalen har beräknats liknande personlasterna vilket redovisas i Tabell 5.21, där avgiven värme från apparater är hämtad från Boverkets skrift Indata till energiberäkningar för kontor och småhus (Boverket 2011). Av den värme som utsöndras antas sedan 70 % gå till rumsluften medan 30 % försvinner externt (Boverket 2011).

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Tabell 5.21 Internvärme från utrustning

Zon	Area (m2)	Antal	Använd andegrad	Avgiven värme/ apparat (W)	Total effekt (W)	Utrust ningslast (W/m ²)
Bostad	203	7	0,10	5720	4004	19,72
Hisshall	397	0	0,00	0	0	0,00
Konferens	116	2	0,50	125	125	1,08
Kontor (kopiering)	2890	7	1,00	560	3920	1,36
Kontor (datorer)	2890	200	0,70	125	17500	6,06
Kontor (total)						7,42
Lounge	335	57	0,70	20	798	2,38
Möte	325	5	0,50	125	313	0,96
Soprum	27,8	0	0,00	100	0	0,00
Teknik	280	115	1,00	17	1955	6,98

Ventilation

I byggnaden finns tre olika typer av fläktaggregat, ett för bostäderna, ett för soprummet och ett för övriga utrymmen. Vilka inställningar som gavs respektive aggregat går att se nedan. Samtliga indata till aggregaten är hämtade ur dimensioneringshandlingarna för respektive aggregat.

Tabell 5.22 Inställningar för fläktaggregat

Aggregat	Tilluft Fläktryck (Pa)	Tilluft Verkn.gr (%)	Frånluft Fläktryck (Pa)	Frånluft Verkn.gr (%)	Verkn.gr Återvinning (%)
Kontor	742	76	603	76	77
Bostad	119	100	119	100	77
Soprum	75	100	100	100	77

Precis som för den tidigare gjorda beräkningen ställs ventilationsflödena in dels som ett grundflöde och dels som ett forcerat flöde vid kylbehov. Värdena för grundflödena är anpassade efter de mätningar som har gjorts. Medan det forcerade flödet ges ett mer teoretiskt maxvärde baserat på tilluftfläktarnas kapacitet. Temperaturen på tilluften tillåts variera mellan 15 och 17°C

Beräkningar

Tabell 5.23 Ventilationsflöden för olika zoner

Zon	Grundflöde (l/s,m ²)	Forcerat flöde (l/s,m ²)
Bostad	0,35 Mån-Fre 6-18 0,6 övrig tid	-
Hisshall	0,56 Tilluft 0,6 Frånluft	4
Konferens	0,35	4
Kontor	0,5 Mån-Fre kl 6-18 0,35 Övrig tid	4
Lounge	0,35	4
Möte	0,35	4
Soprum	0,5 Tilluft 2 Frånluft	-
Teknik	0,35	4

I tabellen ovan gäller värdena både tilluft och frånluft om annat inte anges separat. I det fall där frånluften är större än tilluften utjämnas luftnivåerna med överluft från andra zoner.

Värme och kyla

Trots att uppmätta värden på rumstemperaturen ligger konsekvent ner mot 19-20°C anges lägsta temperaturen till 21°C, enligt bygghandlingarna, eftersom de låga temperaturerna inte är acceptabelt och de bör således rättas till. Maxgränserna anges även de efter bygghandlingarna, där 26°C tillåts i öppna utrymmen som kontor och lounge medan 24°C gäller för möte och konferensrum. För bostäder, teknikutrymmen och soprum anges något mildare krav. En total sammanställning över temperaturerna kan ses i Tabell 5.24

Tabell 5.24 Temperaturkrav i olika zoner

Zon	Temperaturintervall (°C)
Bostad	21-27
Hisshall	21-26
Konferens	21-24
Kontor	21-26
Lounge	21-26
Möte	21-24
Soprum	15-26
Teknik	18-26

För att kyla byggnaderna används kylaggregat i zonerna möte, konferens och lounge. Samtliga av dessa aggregat ges en kylfaktor på 2 vilket innebär att kylmaskinen drar dubbelt så mycket energi som den levererar kyla. I bostäderna finns inget kylsystem installerat över huvud taget vilket anges som passiv kyla vilket är en omskrivning för att öppna ett fönster och vädra bostaden då temperaturkraven överstigs.

5.3.2 IDA ICE

5.3.2.1 Tidigare beräkning

Vid projekteringen av huset gjordes ett flertal IDA-modeller, men ingen av dessa modeller var egentligen avsedd att beräkna energianvändningen utan istället användes de för att ta fram kyl och ventilationsbehov. De flesta av dessa modeller består av denna anledning enbart av en zon som motsvarar det rum där kylbehovet skulle beräknas. I en av beräkningarna har en simulering gjorts där medelluftflödena i lokalen har beräknats. För att göra detta har en något mer utförlig modell med ett flertal zoner i olika plan byggts upp. I denna modell har det istället gjorts bristfälliga inställningar angående klimatskal och värme/kylsystem vilket gör att det inte heller här är lönt att kontrollera vilken energianvändning modellen skulle ha beräknat.

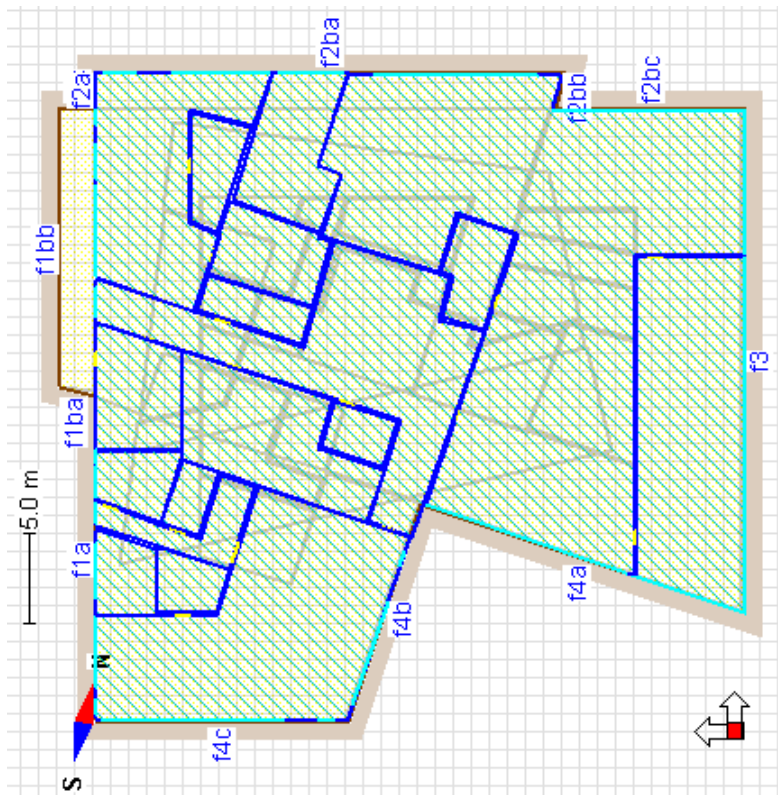
5.3.2.2 Ny beräkning

På grund av begränsningarna som fanns i tidigare gjorda modeller har allting byggts om från grunden förutom den tidigare husformen som har behållits. Modellen har delats in i zoner beroende på läge i byggnaden samt vilka inställningar som gäller för respektive område angående temperaturkrav, styrning av luftflöden och vilket kylsystem som används. Zonindelningen kan ses i figur 5.16–5.23, där också verklig rumsindelning åskådliggörs. I de områden där zoner angränsar varandra har öppningar lagts in. Allt som oftast representerar öppningarna en dörr som anges antingen som stängd eller öppen beroende på typ av zon. I vissa fall t.ex. där de stora kontorszonerna möter varandra på plan 2-4 har hela väggen simulerats som en öppning som luft kan passera igenom.

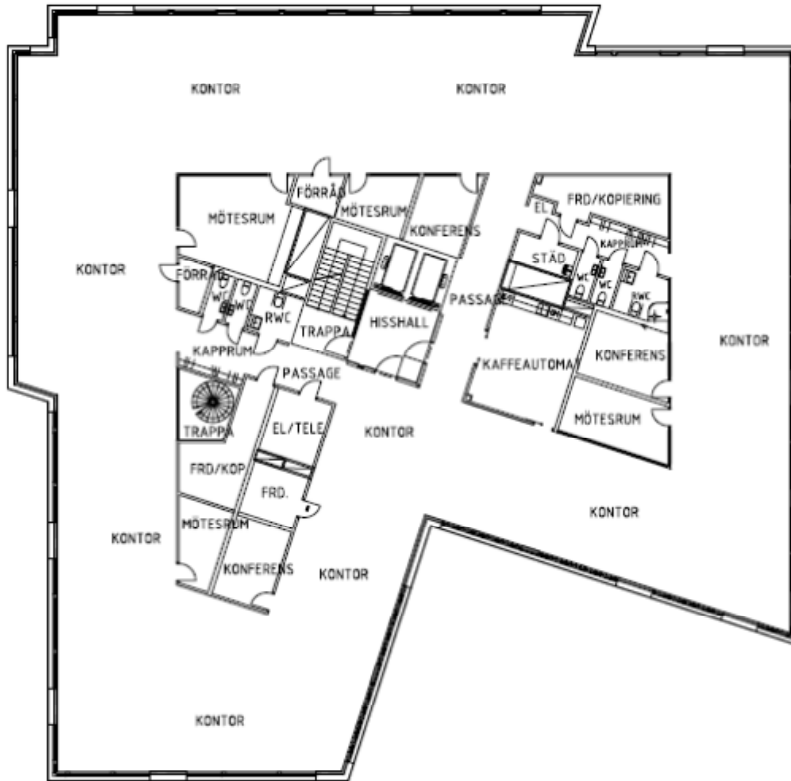
Beräkningar



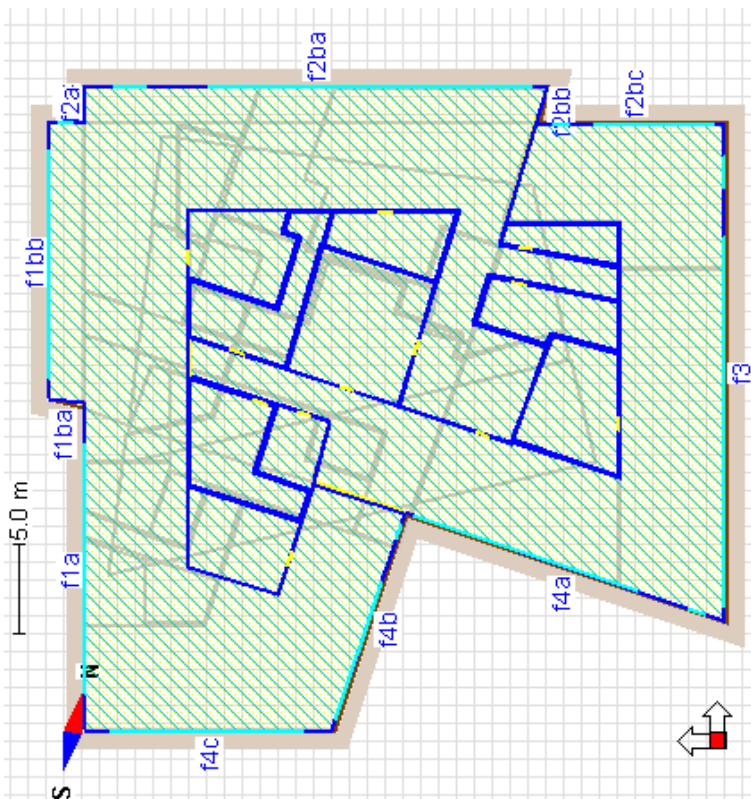
Figur 5.16 Rumsindelning plan 1.



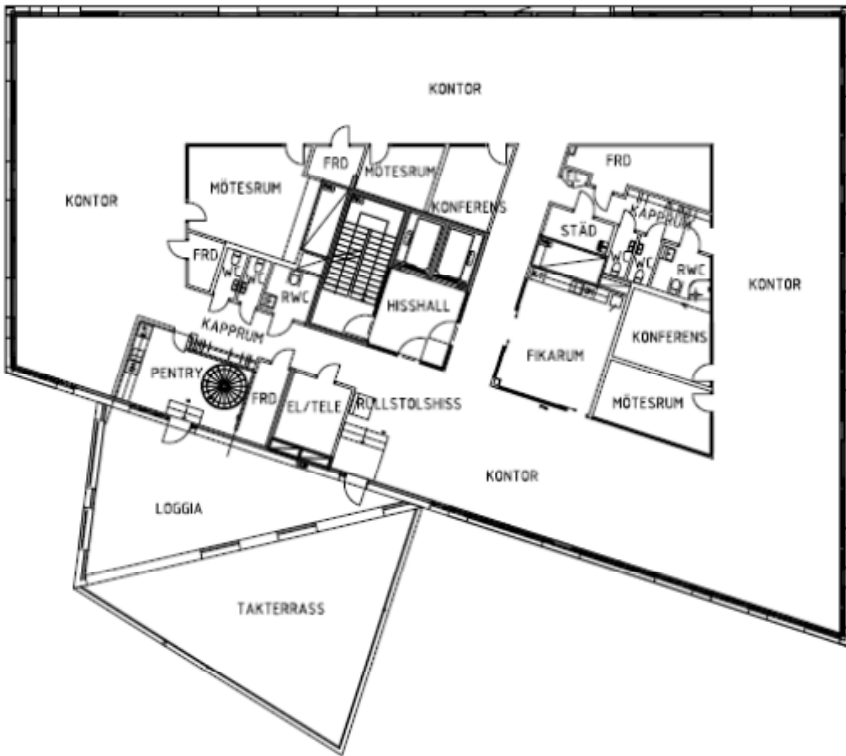
Figur 5.17 Zonindelning vid IDA modellering plan 1.



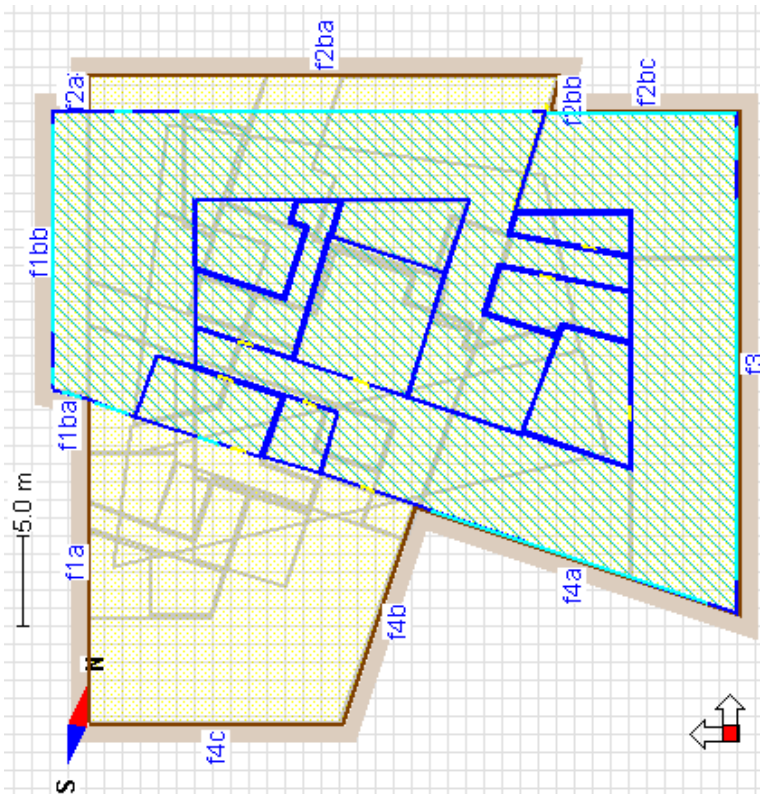
Figur 5.18 Rumsindelning plan 2 och 3.



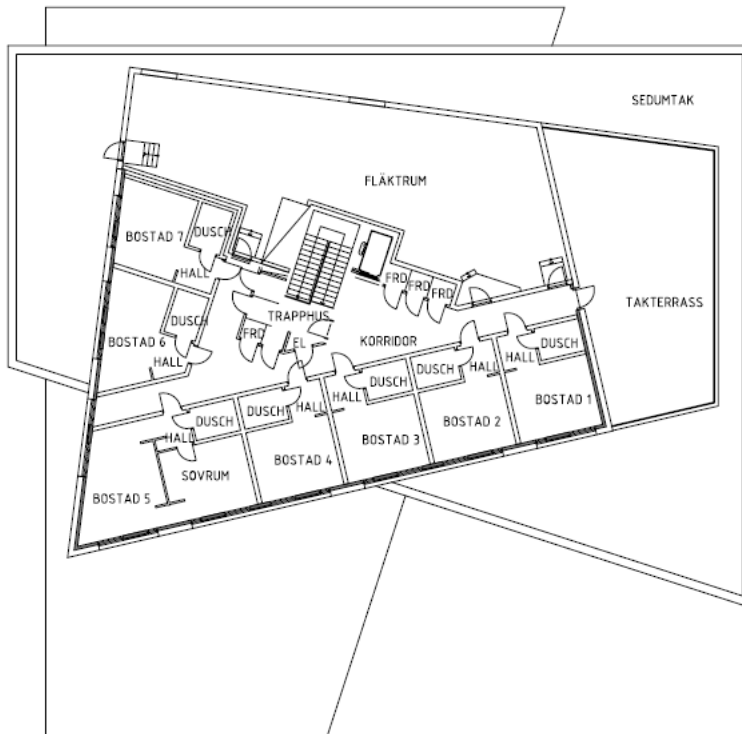
Figur 5.19 Zonindelning vid IDA modellering plan 2 och 3.



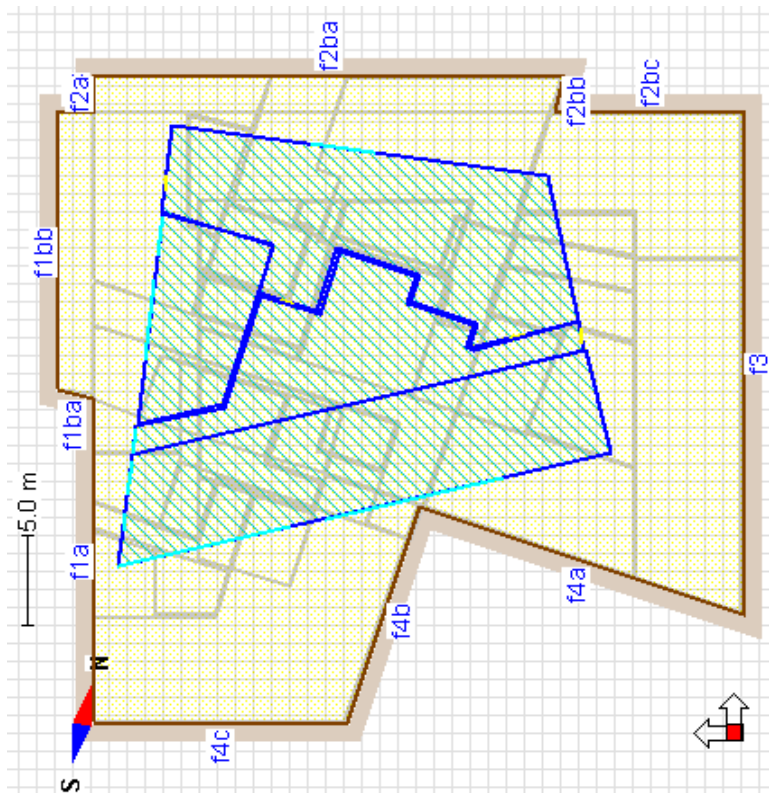
Figur 5.20 Rumsindelning plan 4.



Figur 5.21 Zonindelning vid IDA modellering plan 4.



Figur 5.22 Rumsindelning Plan 5



Figur 5.23 Zonindelning vid IDA modellering plan 5.

Beräkningar

För att förse zonerna med ventilation används två centrala fläktaggregat, ett som tillhör kontorsdelen och ett som tillhör bostäderna plus soprummet. Detta stämmer väl överens med verkligheten där samtliga bostäder och soprum har enskilda aggregat medan två större samverkande aggregat serverar kontorsbyggnaden. Aggregaten som används i modellen är av typ ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) standard vilket ger tillgång till en mer detaljerad styrning av batterivärmeväxlaren till tilluften. I verkligheten används enbart ett batteri som har kopplats för att klara både värme och kyla. Detta kommer att delas upp i modellen och styras som två separata batterier av den enkla anledningen att IDA ICE inte tillåter kombinerade. Huvudinställningarna som använts för de båda luftbehandlingsaggregaten kan ses i Tabell 5.25.

Tabell 5.25 Indata för luftbehandlingsaggregaten

	Luftbehandlingsaggregat Kontorsdel	Luftbehandlingsaggregat Bostadsdel
Temperatur verkningsgrad värmewäxlare	77 %	77 %
Verkningsgrad Tilluftsfläkt	67 %	67 %
Verkningsgrad Frånluftsfläkt	63 %	63 %
Externt kanaltryckfall Tilluft	681 Pa	75 Pa
Externt kanaltryckfall Frånluft	603 Pa	75 Pa

Styrningen av tilluften kan ske på tre olika sätt i IDA, antingen genom att temperaturen hålls konstant eller via schemastyring med avseende på antingen utomhustemperatur eller tid. Då det inte går att kombinera tids- och temperaturstyrningen anses alternativet med konstant temperatur stämma bäst med verkligheten. Detta beroende på att det finns krav på att ingen energi får köpas för att höja temperaturen över 15°C. En sådan höjning får istället ske enbart med hjälp av värmewäxlaren. I IDA är det omöjligt att ge ett sådant krav då styrningen sker enbart i avseende på tid eller temperatur. Modellen skulle således inte bry sig om ifall energin kom från värmewäxlaren eller värmebatteriet. Enligt gjorda mätningar går det också att se att tilluftstemperaturen är i stort sett konstant under hela mätperioden.

Vid simuleringen ges temperaturen ett värde på 15°C vilket ger 16°C efter en grads höjning i fläktsystemet. Effekten på värme och kylbatteriet sätts orimligt högt för att programmet själv ska kunna bestämma erforderligt värde.

Primärvärmekretsen består av fjärrvärme för hela byggnaden och det kommer därför att simuleras med en primärpanna som används av samtliga zoner. Samma sak gäller för fjärrkylan. Huvudinställningarna för primärpannan visas i Tabell 5.26.

Inställningarna för värme och kyleffekt ges ett extremt högt värde för att programmet på egen hand ska kunna beräkna vilken effekt som behöver användas vid olika tidpunkter.

Tabell 5.26 Indata för Primärsystemet för värme och kyla

Värmeeffekt	999999 W
Kyleffekt	999999 W
Temperatur värmevatten	55°C
Temperatur kylvatten till luftbehandlingsaggregat	7°C
Temperatur kylvatten till zoner	10°C

Klimatkrav

I modellen tas enbart hänsyn till temperaturer i zonerna när det gäller inneklimatekraven. Detta görs genom tre olika styrningar. För konferens och mötesrummen tillåts temperaturer mellan 21 och 24°C, i server och el/telecentraler är spannet 21-23°C medan det i övriga utrymmen tillåts temperaturer upp till 26°C. lägsta temperatur är fortfarande 21°C. I soprummet är kravet på 26°C mer av akademisk karaktär då det inte finns något kylsystem installerat i dessa zoner. Att det inte krävs kyla i soprummet beror på att det inte används till matavfall. Temperaturerna visas sammanställt i Tabell 5.27.

Tabell 5.27 Indata gällande klimatkrav

Typ av zon	Temperaturkrav
Konferens	21-24°C
Server	21-23°C
Kontor	21-26°C

Värme och Kyla

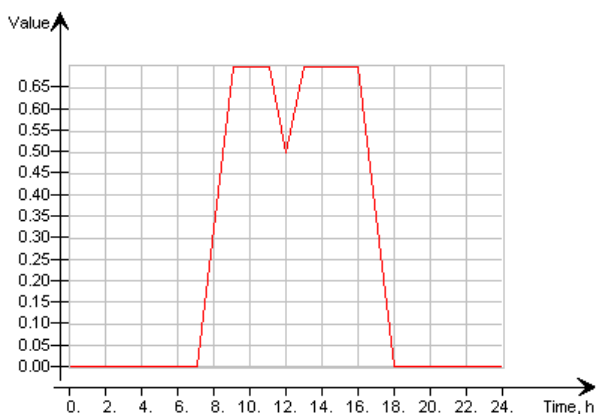
Värmesystemet som används har förenklats genom att radiatorer och konvektorer simuleras på samma sätt vilket går att göra då de använder sig av samma vätsketemperaturer. Vid placeringen i zonerna kommer zoner med fönsterpartier att ges en radiator. Denna enda radiator ges sedan så pass hög effekt att den kan tillgodose hela zonens värmebehov. Förenklingen med en radiator per zon görs för att hålla nere antalet beräkningar som utförs vid simulering. Det medför dock att resultat angående inneklimate och operativ temperatur blir felaktiga vilket inte gör något för en ren energistudie. Samma förenkling görs för de zoner som använder någon form av rumskyla. Kylaggregaten ställs däremot in olika enligt de beskrivningar som ges under avsnitt 3.2.4 Värme och kylsystem. Indata skrivs om något då de temperaturer som anges i IDA beskriver systemet lite annorlunda. Istället för att beskriva ingångstemperatur och returtemperatur så anges skillnaden i temperatur mellan medeltemperaturen på luften och inloppstemperaturen till aggregatet vid full effekt samt temperaturstegringen som sker i aggregatet. Medeltemperaturen på luften antas vara 22 grader i samtliga zoner. Vilka indata som gäller för olika zontyper återfinns i Tabell 5.28. Precis som tidigare ges effekterna ett kraftigt övertvärde.

Tabell 5.28 Inställningar på sekundärsystemet för värme och kyla

Typ av zon	Värme	Kyla (differens/stegring)
Konferens plan 1	55/35°C	12/4°C
Server	-	10/17°C
El/Tele	-	10/5°C
Lounge plan 1	55/35°C	12/4°C
Kontor och övriga zoner med fönster	55/35°C	-
Bostäder	55/35°C	-

Utrustning

Alla personer som befinner sig i byggnaden kommer att avge värme till byggnaden. I modellen antas varje persons aktivitet motsvara 1,2 met, vilket motsvarar stillasittande arbete. Clo-värdet sätts till 0,5 på sommarhalvåret, vilket motsvarar sommarklädsel medan värdet under vintermånaderna sätts till 0,9, som motsvarar långbyxor och tröja (Fanger, 1995). Hur många personer som befinner sig i ett visst utrymme kommer att bestämmas av ett maxvärde som sedan varierar genom en schemastyrd faktor. Schemat som styr kontoret kan ses i Figur 5.24.



Figur 5.24 Schema gällande närvaro i kontorsutrymmen

Schemat i figuren gäller under arbetsveckorna. Det kombineras med ett schema som gäller för helgen och ett som gäller under juni månad för att täcka in minskad belastning under semestern. Hur olika lokaler belastas och schemastyrs redovisas i Tabell 5.29.

Tabell 5.29 Personlaster för olika zoner

Typ av Zon	Maxbelastning (antal pers.)	Schemastyrning
Konferens och mötesrum		1,0 mellan 09-11 och 14-16, Övrig tid 0
<i>stort rum plan 1</i>	30	Halv belastningsgrad under juni
<i>övriga</i>	5	
Kontorsutrymme		0,7 mellan 09-11.30 och 12.30-16 Stegrande från 0-0,7 6-9
<i>Plan 1</i>	15+4	Tvärtom från 16-18
<i>Plan 2-3</i>	26+30	Övrig tid 0
<i>Plan 4</i>	20+20	Halv belastningsgrad under juni
Fikarum		0,5 mellan 09.30-10, 11.30-12 och 12.30-13
<i>Stort utrymme plan 1</i>	50	0,75 mellan 12-12.30
<i>Litet utrymme plan 1</i>	7	0,3 mellan 14.30-15
<i>Plan 5</i>	5	Övrig tid noll
Bostad	5+2	1,0 mellan 00-07 och 18-24 Övrig tid 0
Övriga utrymmen	0	-

När det gäller belysningen är utgångspunkten att illuminansen är 300 lux överallt i byggnaden vilket inte är helt sant då vissa kontorsplatser har extrainsatt belysning. För bostäderna borde också ett högre värde vara rimligt. För att ge indata till IDA måste antalet lux räknas om till W och antal lm/W. Omräkningen är ganska enkel då lux anger lm/m^2 . Antalet lm/W fås från tillverkaren av belysningen här görs förenklingen att all belysning är av samma typ nämligen UT1871/314 HFW tillverkad av ETAP vilket är den belysning som används i de stora öppna ytorna som kontorslandskapen och loungeutrymmet. Från produktdatabladet (ETAP 2011) fås att en armatur ger 3600 lumen och den drar 42W, vilket avrundat ger 86 lm/W . Detta värde visade sig ge ett matematiskt fel i IDA där 82 lm/W är den övre gränsen för vad programmet klarar av. 82 anses ligga tillräckligt nära verkligheten och det värdet kommer att användas vid simuleringen. Efter lite omskrivning fås det att antalet W/m^2 blir $300/82=3,66$. Belysningen kommer att styras efter samma schema som styr personbelastningen då belysningen är närvarokänslig.

Avgiven värme från utrustning har hämtats ifrån boverkets skrift Indata for energiberäkning i kontor och småhus (boverket 2011). De värden som används kan ses i Tabell 5.30.

Beräkningar

Tabell 5.30 Avgiven värme från installerad utrustning

Utrustning	Avgiven värme
Server och el/teleutrustning	17 W/ Användare
Kontorsdator	125 W
Kopieringsmaskin	400 W
Utrustning för fikarum	20 W/ Användare

All utrustning utom kopieringsmaskinen ges samma schema för styrning som personbelastningen. Kopieringsmaskinen antas vara igång dygnet runt. Utrustningen i serverutrymme el/telecentraler och fikarum relateras till hur många användare aktuellt utrymme har.

Klimatskal

Alla utvändiga ytor är uppbyggda efter samma förenklingar som gjordes vid U-värdesberäkningarna som går att se i bilaga 3. Då varje zon endast kan ges en typ av takkonstruktion så har de olika typernas area anpassats efter zonindelningen. Köldbryggorna läggs in i IDA via ett särskilt formulär som kan ses i Figur 5.25.

Thermal bridge type	Quality	W/K value	Unit
External wall / Internal slab	None	0	W/K/(m joint)
External wall / Internal wall	Good	0	W/K/(m joint)
External wall / External wall	Good	0	W/K/(m joint)
External windows perimeter	Good	0	W/K/(m perim)
External doors perimeter	Good	0	W/K/(m perim)
Roof / External walls	Good	0	W/K/(m joint)
External slab / External walls	Good	0	W/K/(m joint)
Balcony floor / External walls	Good	0	W/K/(m joint)
External walls	None	0.0277	W/K/(m2 external wall)

Figur 5.25 Indataflik för köldbryggor i IDA ICE

Då inte samtliga typer av köldbryggor som har observerats finns med i formuläret räknas istället samtliga köldbryggor om till ett värmefflöde. Detta flöde relateras sedan till arean för samtliga ytterväggar. Tillskottet per m² yttervägg visar sig bli 0,0277 W/K.

Fönsterareorna ges efter den faktiska fönsterarean för ytterväggsdel i aktuell zon. De totala areorna för olika vägg partier återfinns i bilaga 2. Precis som för radiatorer kommer flera mindre fönster att slås ihop till ett stort för att undvika onödiga beräkningar. Varje väggdel kan ändå få två fönster då det förekommer både vanliga fönster och blindfönster. De vanliga fönstren ges värden enligt Tabell 3.1 under avsnitt 3.1.4 Fönster. För blindfönsterna ges U-värde 1,3 medan g- och t-värde sätts nära noll då noll inte tillåts i den matematiska modellen.

Solskyddet får värde enligt de beräkningar som gjorts i avsnitt 5.2.2 Solavskärmning. Värden som gäller för fönster och solskydd specificeras i Tabell 5.31 nedan.

Tabell 5.31 Inställningar för fönster och solskydd

Fönstertyp	U-värde (W/m²K)	g-värde	t-värde
Cool lite	1,4	0,33	0,3
Planitherm	1,3	0,63	0,53
Blindfönster	1,3	0,02	0,01
Solskydd söder	-	0,265	0,26
Solskydd väster/öster	-	0,23	0,22

Karmen runt fönsterna antas vara 5 % av fönsterarean och ha ett U-värde på 1,5 W/m²K.

6 Resultat och Analys

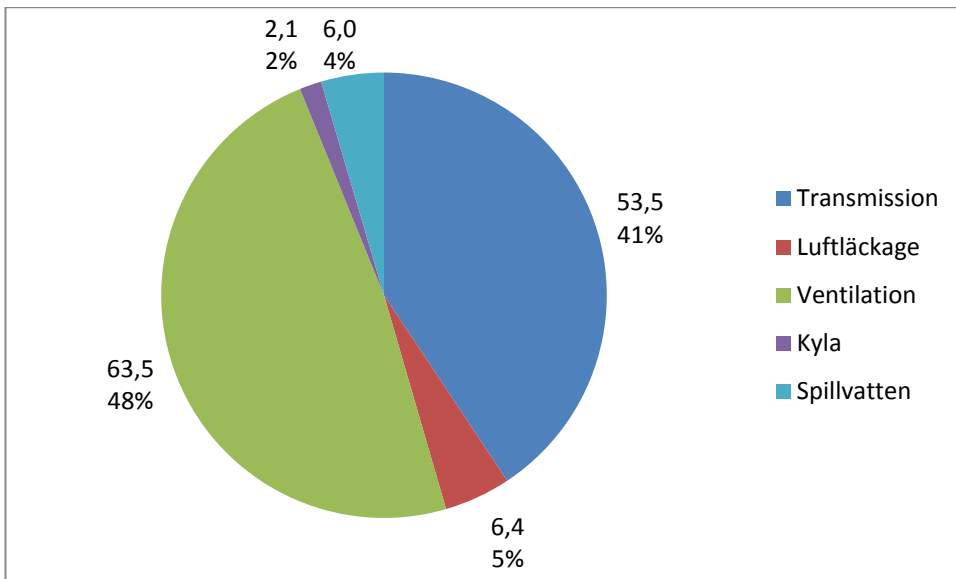
De slutliga resultaten från samtliga simuleringar redovisas i Tabell 6.1 nedan. Det som kan ses direkt är att de båda nya beräkningarna i stort bekräftar varandra med väldigt små skillnader, vilket de bör göra då de är baserade på exakt samma indata. De skillnader som finns beror till stor del på hur de båda programmen IDA ICE och VIP Energy utför beräkningarna. Det finns även en del förenklingar i de båda analyserna som skiljer dem åt, helt beroende på hur indata ges till programmen. Jämförs istället de nya beräkningarna mot den tidigare syns betydligt större skillnader där den totala energianvändningen per m² A-temp har höjts med ca 10 kWh/m², vilket är en rejäl höjning med ca 23 % då den tidigare siffran var ca 44 kWh/m².

Tabell 6.1 Sammanställning över resultat från tidigare och nya energibalansberäkningar

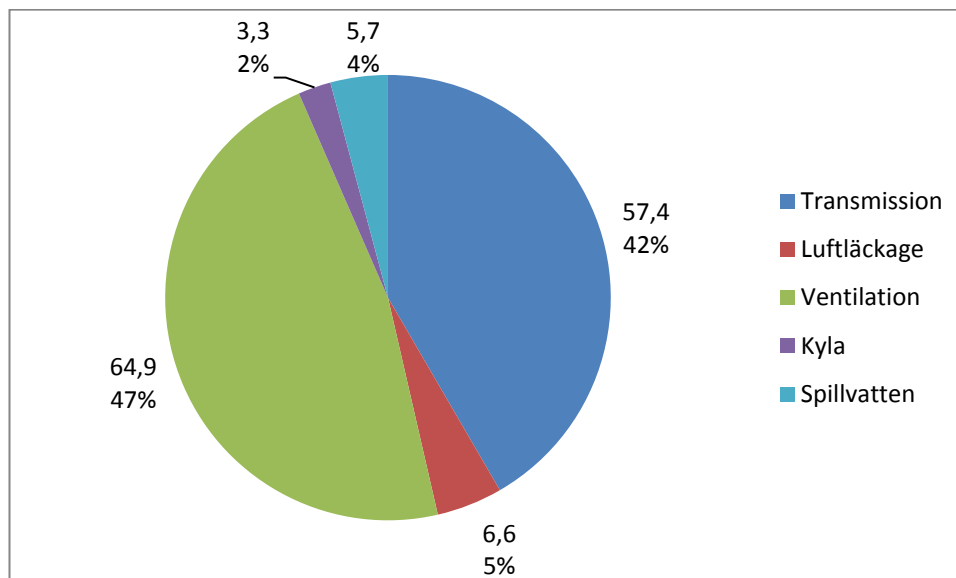
	VIP Energy Tidigare beräkning	VIP Energy Ny beräkning	IDA ICE Ny beräkning
Värmeförsörjning	28,9	34,1	35,4
El-fläktar och pumpar	8,3	6,6	8,6
El-fastighet	0,4	5	4,3
Summa driftenergi	8,7	12,2	12,9
El till kylmaskin	0	0,6	-
Fjärrkyla	2,1	2,4	3,1
Summa kylenergi	2,1	3,0	3,1
Tillägg VVC	4	4	4
Köpt energi	43,7	53,3	55,4

Det som slår en när tabellen ovan studeras är att de 10 kWh/m² som användningen har höjts är utspridd över samtliga olika delområden utom tillägg för varmvattencirkulation, men detta är ett manuellt tillägg som inte har något med själva simuleringen att göra. Att höjningen är så pass utspridd som den är över tillförd värme borde innebära att byggnaden i den gamla simuleringen inte har lika stora energiförluster som de nya. I Figur 6.1 och Figur 6.2 visas avgiven energi från de båda VIP beräkningarna. I IDA presenteras avgiven energi för respektive zon vilket gör att den inte är lämplig för en direkt jämförelse mellan de olika simuleringarna.

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö



Figur 6.1 Avgiven energi i gammal VIP-beräkning



Figur 6.2 Avgiven energi i ny VIP-beräkning

Från diagrammen syns det att i princip samtliga system i byggnaden har försämrats i den nya simuleringen, undantaget spillvatten. Totalt avges ca 6 kWh/m² mer energi i den nya analysen än i den äldre, där transmissionsdelen står för ca 4 av dessa. Den uppenbara anledningen till skillnaden på 4 kWh/m² är att det enbart finns två köldbryggor inräknade i den gamla analysen. Görs en undersökning av byggnadens medel U-värde fås att den gamla beräkningen har ett värde på 0,450 medan den nya har 0,424 (värdena är beräknade av VIP Energy). Det visar sig alltså att U-värdet är bättre i den nya analysen vilket innebär att köldbryggorna inte kan förklara skillnaden. En annan skillnad som kan spela roll för transmissionsförlusterna är att förhållandet mellan golvarean och omslutningsarean som var 0,87 i den gamla

Resultat och Analys

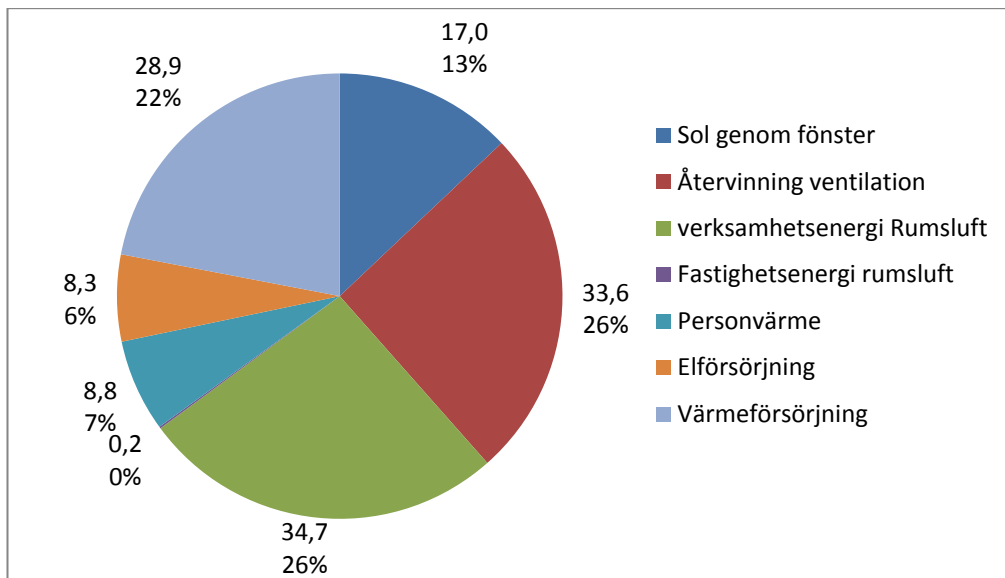
simuleringen mot 0,935 i den nya. Detta innebär att om de gamla transmissionsförlusterna beräknas om efter det nya förhållandet fås istället:

$$\frac{53,5}{0,87} \cdot 0,935 = 57,5 \text{ kWh/m}^2$$

Det nya värdet är således nästan exakt lika stort som transmissionsförlusterna för den nya beräkningen. Även om insidan av byggnaden har ändrats sedan den tidigare analysen gjordes då framförallt två fläktrum har slagits ihop till ett. Är det inte troligt att några större förändringar har skett med byggnadens utformning. Troligtvis har den istället att göra med förenklingar kring utstickande delar samt mätfel både från min sida och från den person som ansvarat för tidigare mätning.

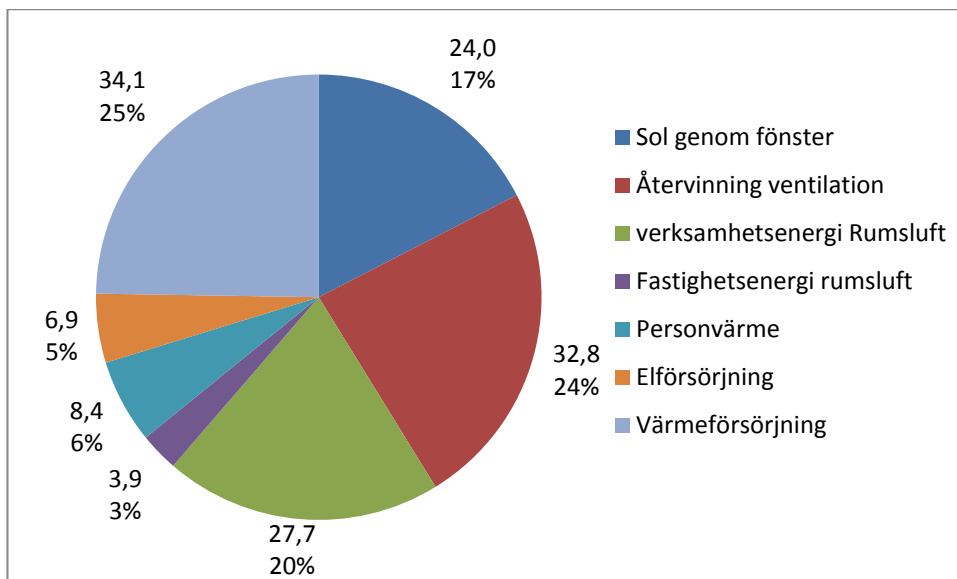
Då skillnaden för avgiven energi enbart var 6 kWh/m² av en total skillnad på 10 kWh/m² kan enbart delar av förklaringen ligga här. Istället måste en del av förklaringen ligga på den tillförda energin som visas i

Figur 6.3 och Figur 6.4 för de båda simuleringarna i VIP Energy. Då den tillförda energin måste vara lika stor som den avgivna för att energibalansen ska gå ihop är även här den totala skillnaden mellan simuleringarna ca 6 kWh/m². Det som gör att det ändå kan bli större skillnad mellan analyserna är vilka inbördes förhållande som finns mellan olika energislag där t.ex. solvärme och värme från personer blir så kallad gratisvärme för byggnaden.



Figur 6.3 Tillförd energi i gammal VIP-beräkning

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö



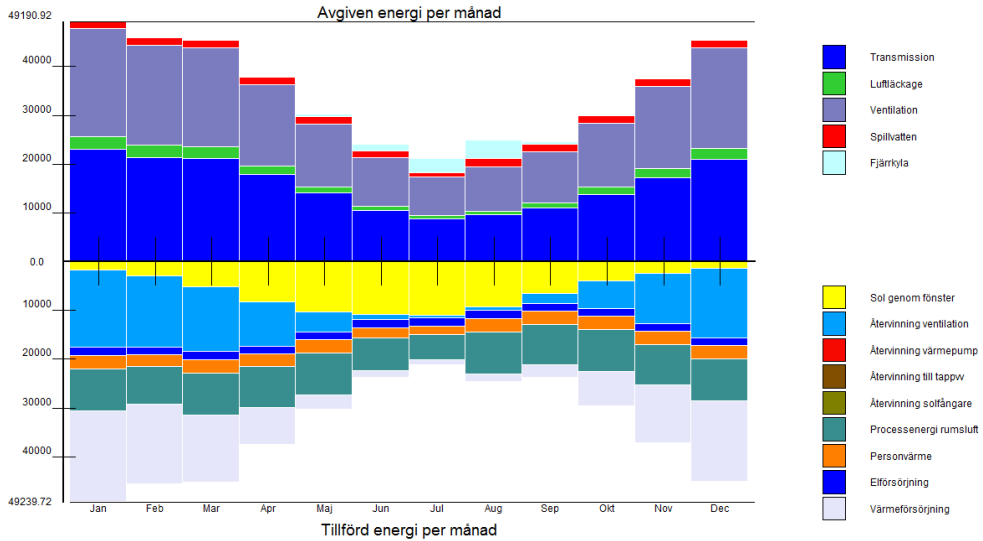
Figur 6.4 Tillförd energi i ny VIP-beräkning

Läggs summan av den ej köpta energin (solvärme, återvinning, verksamhetsenergi och personvärme) samman för de båda analyserna visas det att den gamla beräkningen har 1,2 kWh mer ”gratis energi” per m² än den nya beräkningen. 1,2 kWh låter väldigt lite men då det totala behovet av tillförd energi var lägre blir det en stor procentuell skillnad där gratisenergin för den gamla beräkningen stod för 72 % av den totala användningen medan den stod för 67 % i den nya, detta trots att solvärmens har höjts med 7 kWh/m² i den senare beräkningen. Denna höjning är en direkt följd av de överskattande värdena som angavs på solskydden i den tidigare analysen där den primära solstrålningen togs bort helt (99 %) och den totala med 90 %. Istället har den äldre analysen en kraftigt förhöjd verksamhetsenergi i förhållande till den nya samtidigt som fastighetsenergin är obefintlig. Det är därför troligt att en del av den energi som har lagts till som verksamhetsenergi egentligen borde ha tillförts fastighetsenergin. I BBR anges det att till fastighetsenergi hör belysning i allmänna utrymmen och driftsutrymmen. Dessutom ingår energi som används i värmekablar, motorer, styr- och övervakningsutrustning och dylikt. Även el för drift av fläktar och pumpar tillhör fastighetsenergin men här redovisas dessa separat som elförsörjning. En annan orsak kan vara skillnader angående antaganden rörande den utrustning som finns installerad i byggnaden. Då ingen kunskap finns om vad antaganden är baserade på i den tidigare analysen är det svårt att avgöra om de är direkt felaktiga eller ej. Detta då även avgiven effekt från utrustning i den nya beräkningen är just antaganden som mycket väl kan visa sig vara fel. Det skulle också kunna tänkas att antagandet om hur många personer som vistas i lokalen är felaktigt, vilket också skulle ge en skillnad i antalet datorer, skrivare mm. Men då värmen från personer är så pass lika för de två beräkningarna utesluts detta.

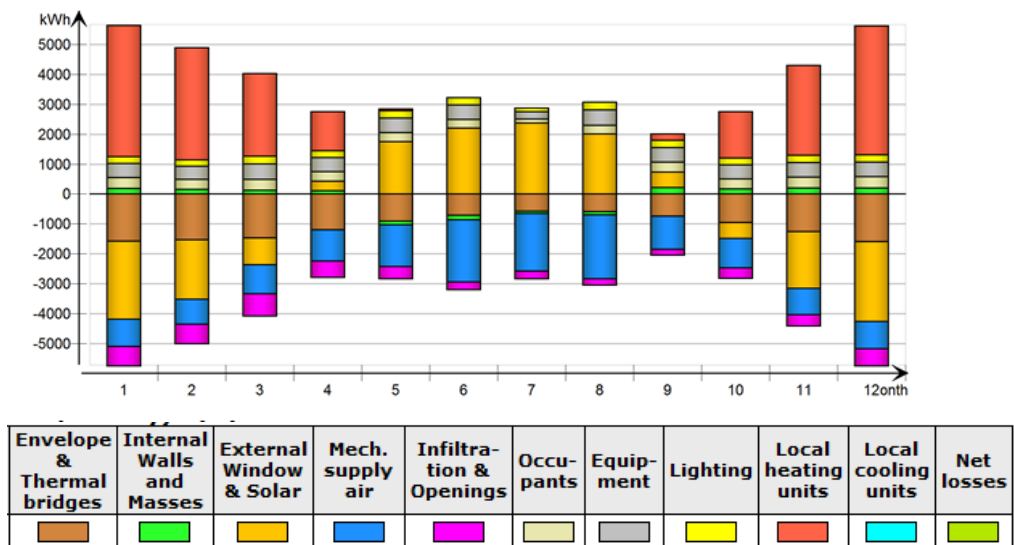
Skillnaderna mellan köpt energi på de två VIP- analyserna märks framförallt på värmeförsörjningen som är betydligt lägre i den äldre beräkningen vilket är en direkt följd av att en större del av värmebehovet förses genom gratisenergi.

Resultat och Analys

För att kunna göra en något noggrannare jämförelse mellan VIP-beräkningen och IDA-analysen än resultaten i Tabell 6.1 presenteras tillförd och avgiven energi i Figur 6.5 och Figur 6.6. I figuren som visar resultaten för VIP-beräkningen visas avgiven energi ovan noll-axeln och tillförd energi under medan det i figuren från IDA är tvärtom.



Figur 6.5 Tillförd och avgiven energi för kontorszonen i den nya VIP-beräkningen



Figur 6.6 Tillförd och avgiven energi för kontorszon på 3-våningen i IDA

Då resultaten från IDA-analysen endast är en del av kontorslandskapen är värdena aningen osäkra då andra förluster kan förekomma i andra delar av byggnaden. En annan sak som kan förvirra är att det i figuren som visar IDA-resultaten ges ett kombinerat värde för fönster och instrålning sol, vilket medför att värdet blir positivt

på sommaren då mycket solvärme kommer in men negativt på vintern då fönstren är den svagaste delen i klimatskalet.

För den avgivna energin kan liknande beteende urskiljas för transmissionsförluster och luftläckage medan ventilationen skiljer sig ganska kraftigt åt mellan de båda analyserna, där den minskar under de varma månaderna för VIP-beräkningen medan det tvärtemot ökar under sommaren i IDA-beräkningen. Vilket som egentligen är mest rimligt är svårt att svara på då det och ena sidan är mindre temperaturskillnad mellan tilluften och uteluften vilket ger lägre förluster, och andra sidan kommer luftflödena att öka då temperaturen i lokalen stiger vilket ger ökande förluster. Då fjärrkylan redovisas separat i Figur 6.5 medan den ingår i ventilationsenergin i Figur 6.6 förklaras en del av skillnaden.

När det kommer till den tillförda energin finns en skillnad i att inte återvunnen värme i ventilationssystemet är redovisad i Figur 6.6. Det går också att se en skillnad då gratisvärmerna i form av personer och utrustning ger en större andel i VIP-analysen än i IDA-analysen. Utöver detta kan samma beteende skådas i båda analyserna nämligen att värmen naturligt minskar mot sommaren samtidigt som solstrålningen ökar.

7 Slutsats och Diskussion

Då båda de nya analyserna visar samstämmiga resultat runt 55 kWh/m^2 , år måste slutsatsen bli att byggnaden inte kan förväntas vara så pass energisnål som tidigare har beräknats. Men trots detta är Ramböllhuset fortfarande en byggnad som måste uppfattas som energieffektiv då den ligger långt under BBRs krav även utan extra tillägg för utökade ventilationsbehov på 100 kWh/m^2 , år.

Den mest anmärkningsvärda skillnaden mellan den äldre beräkningen och de nyare är att driftenergin är betydligt högre i de två nya analyserna. I den äldre har istället driftenergin räknats in som verksamhetsenergi vilket i sin tur inte ingår i energianvändningen enligt BBR:s beräkningssätt. Som följd av detta uppnås en definitionsmässig sänkning av den köpta energin i den äldre analysen.

Det är viktigt att ha i åtanke att de nya resultaten i högsta grad är osäkra då de är ett teoretiskt värde som till stor del är ett resultat av förenklingar och gjorda antaganden. De skillnader som framförallt uppstår mellan verkligheten och modellerna är förenklingar som gäller för styrningen av fläktsystem och internbelastning. Till stor del beror förenklingarna på att programmet styrs med ett bestämt schema medan verkligheten kan se olika ut varje dag. Det blir således inte automatiskt ett mer korrekt resultat bara för att mätningarna utförs med större noggrannhet, då de olika parametrarna ändå inte går att överföra i detalj till datorsimuleringarna. I fallet Ramböllhuset sker ventilationsstyrningen av ett komplext system för att få till så låg energiförbrukning som möjligt. Styrningen går inte att efterlikna i datorprogrammen där det t.ex. inte går att specificera att värmebatteriet tillsammans med värmeväxlaren används för att höja tilluften upp till 15°C medan all ytterligare höjning enbart får ske genom värmeväxling. Genom begränsningarna har en del system som ger en lägre förbrukning bortsetts ifrån vilket bör ge ett visst utfall i slutändan. Alla förenkling som har gjorts är givetvis inte negativa. T.ex. finns det en viss suboptimering inbyggt i tilluftssystemet till följd av att tilluftstemperaturen sänks ner till 15°C om något enstaka tilluftsdon indikerar ett kylbehov. Således kommer onödigt kall luft att tillföras alla andra utrymmen som vid samma period har ett värmebehov och en situation där byggnaden kyls och värms samtidigt uppstår. I de uppbyggda modellerna undviks suboptimeringar av denna typ.

Då det finns förenklingar som både underskattar och överskattar byggnadens energianvändning kan ingen enkel slutsats dras om resultatet i verkligheten borde ligga något högre eller lägre. Resultaten bör därför läsas med försiktighet då ett par kilowattimmar plus eller minus är att förvänta.

Referenser

Tryckta Källor

Fanger, P. O (1995). *DANVAK*. Technical University of Denmark, Köpenhamn, Danmark

Flir systems (2006), *User's manualThermaCAM E45*

Formas (2005),*energy OCH BEBYGGELSE teknik och politik*, Edita Västerås

Liu Karen (2002), *Energy efficiency and environmental benefits of rooftop gardens*, National resource council Canada

Lundstedt Jens och Karlsson Pär (2003), *Ett grönt taks förmåga att påverka värmetransmission genom en takkonstruktion*, Chalmers Tekniska Högskola Göteborg,

Petersson Bengt Åke (2007) *Tillämpad byggnadsfysik*, Scangraphic, Danmark

Elektroniska Källor

Alucobond (2011), *Design & detail compendium*,

Hämtad den 7 Februari 2011

Från http://www.alucobond.com/download_alucobond1.html

Boverket (2011) *Indata för energiberäkningar i kontor och småhus*,

Hämtad den 10 mars 2011

Från <http://www.boverket.se/Om-Boverket/Webbokhandel/Publikationer/2008/Indata-for-energiberakningar-i-kontor-och-smahus/>

Buildingphysics (2011) *HEAT2 - Heat transfer in two dimensions*

Hämtad den 22 Februari 2011

Från <http://www.buildingphysics.com/index-filer/heat2.htm>

Emmabodaglas (2011) *Våra vanligaste glaslösningar och SGG COOL-LITE produktblad*

Hämtade den 17 mars 2011

Från <http://www.emmaboda.sggs.com/Emmaboda/Vara%20glas/Isolerglas/Start.asp>

Och http://www.emmaboda.sggs.com/Emmaboda/Vara%20glas/Isolerglas/Solskyddsglas/SGG_COOL-LITE_SKN.asp

Energi och Byggnadsdesign LTH (2011a) *Parasol, kort intruduktion*

Hämtad den 21 februari 2011

Från <http://www.ebd.lth.se/program/parasol/>

Energi och Byggnadsdesign LTH (2011b) *Energianvändning i byggnader. Energibalans, Föreläsning 081121*

Hämtad den 1maj 2011

Från http://www.ebd.lth.se/utbildning/foerelaesning_a2_energi_i_byggnader/

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

EQUA.(2002) *IDA klimat och energi 3.0*

Hämtad den 22 februari 2011

Från <http://www.equa.se/ice/sve.html>

ETAP (2011) *produktbeskrivning UT1871/314HFW*,

Hämtad den 24 mars 2011

Från <http://www.etaplighting.com/products/productdetail.aspx?code=UT1871/314HFW&l=sv>

Lindinvent (2011), *Produktbeskrivning TTD – Taktilluftsdon*

Hämtad den 14 februari 2011

Från

http://www.lindinvent.se/fileadmin/user_upload/produkter/tilluftsdon/TTD/TTD_PB41.pdf

Paroc (2011) *Lambda-värde från respective produktdatablad.*

Från <http://www.paroc.se/channels/se/>

Statens Energimyndighet (2010) *Energiläget 2010*, CM Gruppen AB, Stockholm

Hämtad den 24 april 2011

Från www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet (2011) *Energistatistik för lokaler 2009*, ES 2011:03

Hämtad den 24 april 2011

Från www.energimyndigheten.se

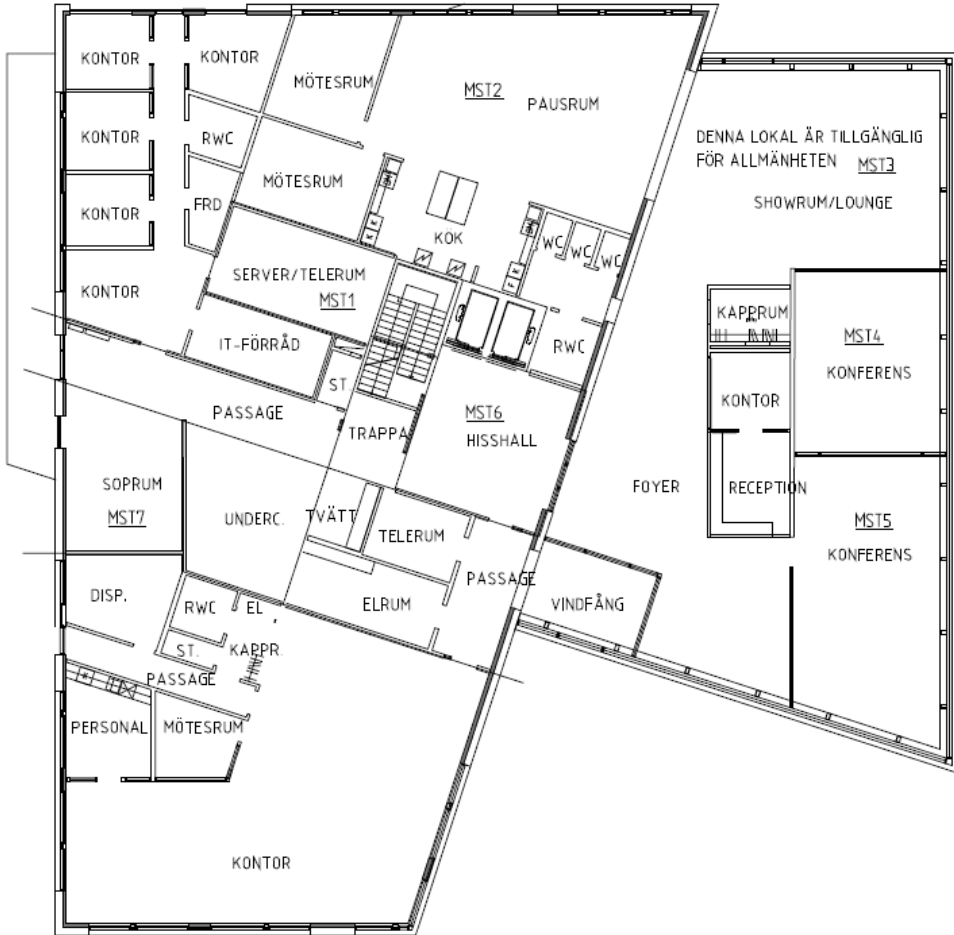
Strusoft (2011) *VIP Energy*

Hämtad den 22 februari 2011

Från <http://www.strusoft.com/index.php/sv/produkter/vip-energy>

Bilaga 1 Planlösning samt Placering av mätutrustning

Plan 1



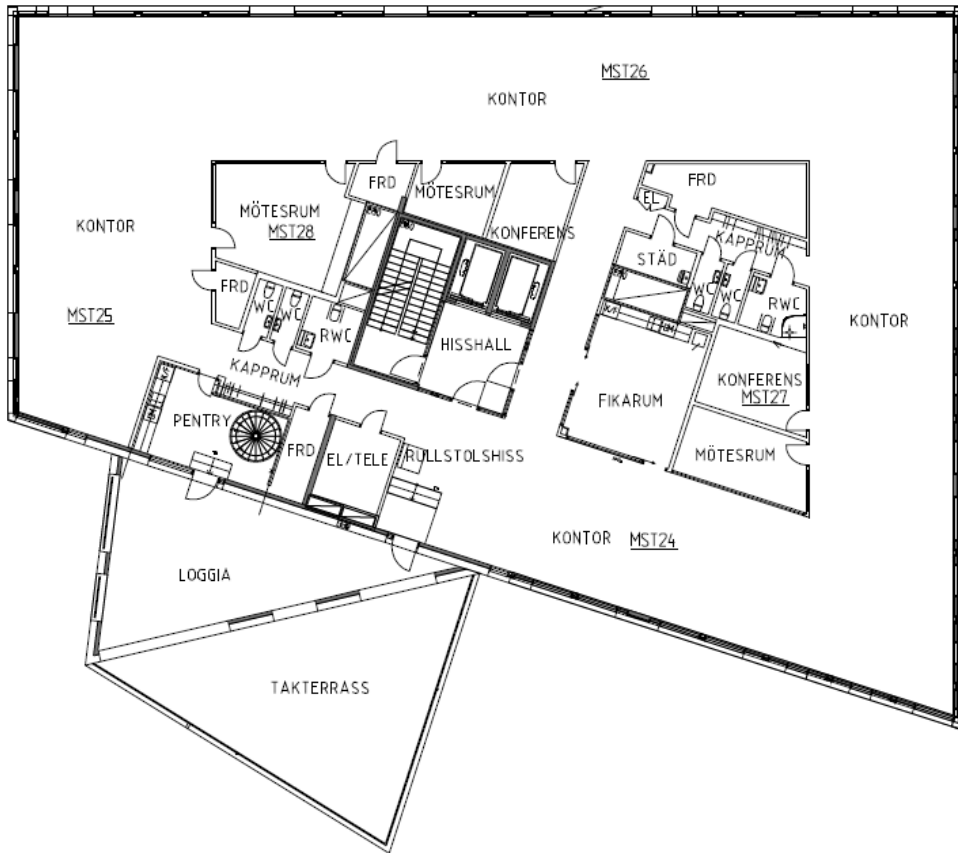
MST: Mätstation för luftflöden och temperatur.

Plan 2 och 3

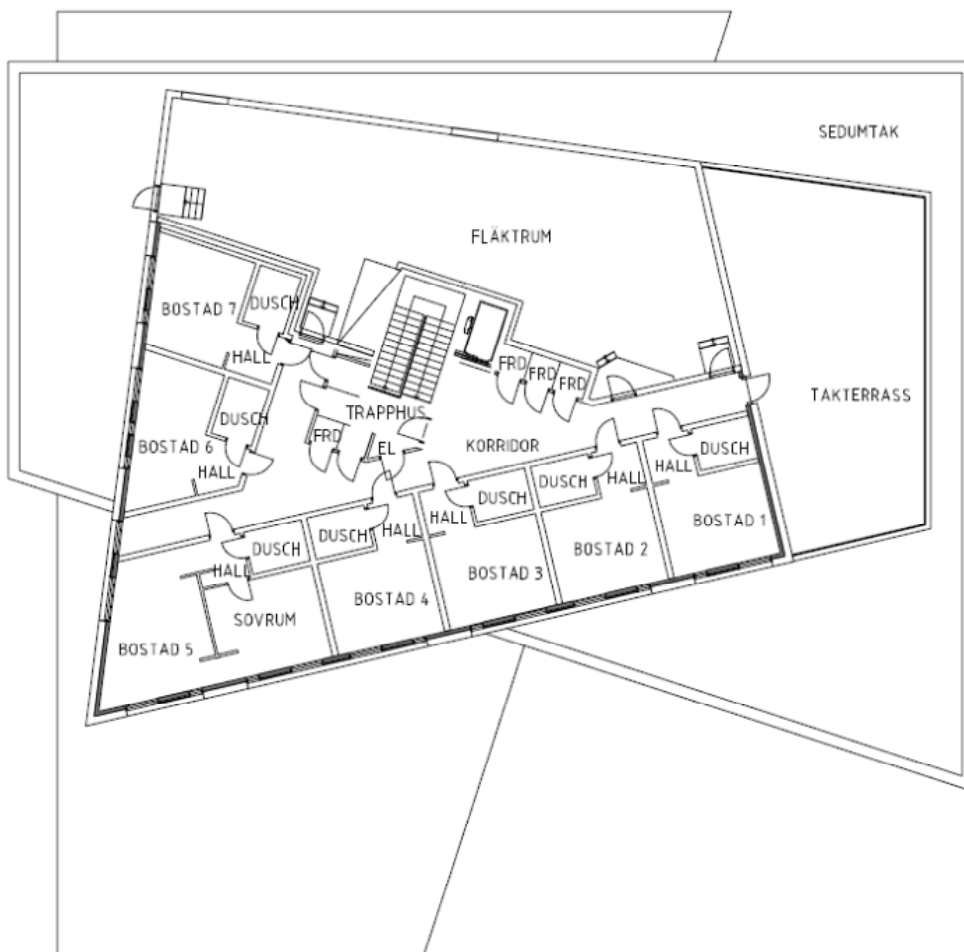


MST 8;16: Mätstation plan 2 och 3 där första siffran anger mätstationsnummer på plan 2 och den andra siffran för plan 3.

Plan 4



Plan 5



Bilaga 2 Fönster och dörrareor

I tabellerna nedan redovisas hur stora fönster och dörrpartier som finns på varje väggyta.

	Area väggar	Area Fönster	Andel fönster	Area blindfönster	Andel Blindfönster
Plan 1					
Norr 1	129	42,2	0,33	8,6	0,07
Norr 2	52,5	32,0	0,61		
Öster 1	143,5	116,6	0,81		
Öster 2	65	13,3	0,21	2,1	0,03
Söder 1	92,5	68,2	0,74		
Söder 2	70	24,4	0,35	2,1	0,03
Väster	185	40,7	0,22	4,1	0,02
Plan 2					
Norr 1	103,2	40,0	0,39	4,2	0,04
Norr 2	42	31,7	0,76	2,1	0,05
Öster 1	114,8	44,2	0,38	4,2	0,04
Öster 2	52	17,7	0,34	2,1	0,04
Söder 1	74	29,4	0,40	2,1	0,03
Söder 2	56	22,1	0,39		
Väster 1	72	30,6	0,42		
Väster 2	73,2	29,9	0,41		
Plan 3					
Norr 1	103,2	23,2	0,23		
Norr 2	42	21,2	0,50	2,1	0,05
Öster 1	114,8	45,3	0,39	4,2	0,04
Öster 2	52	21,2	0,41	2,1	0,04
Söder 1	74	31,3	0,42	2,1	0,03
Söder 2	56	23,2	0,41		
Väster	72	25,5	0,35	2,1	0,03
Väster 2	73,2	28,1	0,38	2,1	0,03
Plan 4					
Norr	150,4	62,8	0,42	4,2	0,03
Öster	112	46,5	0,41	4,2	0,04
Söder	160	45,3	0,28		
Väster	64	25,1	0,39	2,1	0,03

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Plan 5

Norr fläkt	84	8,9	0,11		
Öster fläkt	32,4				
Öster bostad	35,2				
Söder bostad	112	23,9	0,21	10,0	0,09
Väster fläkt	20				
Väster bostad	78,8	15,8	0,20	7,6	0,10

	Area Dörrar	Andel Dörrar
plan 1		
Norr 1	2,31	0,02
Norr 2	4,2	0,08
Söder 1	4,56	0,05
Väster	5,82	0,03
Plan 4		
Söder	5,7	0,04
Plan 5		
Öster bostad	3	0,09
Väster fläkt	2,1	0,11

Bilaga 3 U-värdesberäkningar

Om inget index används för materialen kommer materialegenskaperna från Tillämpad byggnadsfysik (Petersson 2007)

Vägg Kontor

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,130	
Betong	0,13	1,7	0,076	
Mineralull	0,15	0,034	4,412	
Betong	0,085	1,7	0,050	
Alucobond¹			0,010	
RSE			0,040	
Totalt			4,718	0,212

¹ Alucobond (2011)

Vägg Bostad

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,013	
Plåt				
Minull/stålsreglar	0,15	0,041	3,659	
Minull WAB 10 ²	0,017	0,036	0,472	
Mineritskiva	0,005	0,22	0,023	
Alucobond ¹			0,010	
RSE			0,040	
Totalt			4,216	0,237

² Paroc (2011)

Golv

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	R _{Total} (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,100		
Golvatta					
Betong	0,12	1,7	0,071		
Cellplast	0,2	0,038	5,263		
Grovbetong	0,05	1,7	0,029		
Makadam	0,15		0,200		
Fyllningsmassa ³ (0-1m)			0,700	6,363	0,157
Fyllningsmassa ³ (1-6m)			2,200	7,863	0,127
Fyllningsmassa ³ (>6m)			2,700	8,363	0,120

³ Beräknad som silt

Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö

Golv plan 2

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,100	
Golvatta				
Betong	0,05	1,7	0,029	
HDF-bjälklag ⁴	0,32	0,6	0,533	
Minull WAS50 ²	0,25	0,034	7,353	
Skivmaterial			0,040	
Totalt			7,956	0,126

² Paroc (2011), ⁴ VIP +

Terrasstak

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,170	
HDF-Bjälklag ⁴	0,32	0,6	0,533	
Betong	0,03	1,7	0,018	
Cellplast XCS 080 ²	0,15	0,038	3,947	
Betong	0,1	1,7	0,059	
RSE			0,040	
Totalt			4,767	0,210

² Paroc (2011), ⁴ VIP +

Sedumtak

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
RSI			0,170	
HDF-Bjälklag ⁴	0,32	0,6	0,533	
Betong	0,03	1,7	0,018	
Minull ROS 30 ²	0,3	0,036	8,333	
Cellplast ROB 80 ²	0,02	0,038	0,526	
Sedumbeläggning				
RSE			0,04	
Totalt			9,621	0,104

² Paroc (2011), ⁴ VIP +

Bilaga 3 U-värdesberäkningar

Tak bostad

Material	Tjocklek (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)	U (W/m²K)
RSI			0,170	
TRP-plåt				
Minull ROB 080 ²	0,02	0,038	0,526	
Minull ROS 30 ²	0,15	0,036	4,167	
Tätskikt				
RSE			0,040	
Totalt			4,903	0,204

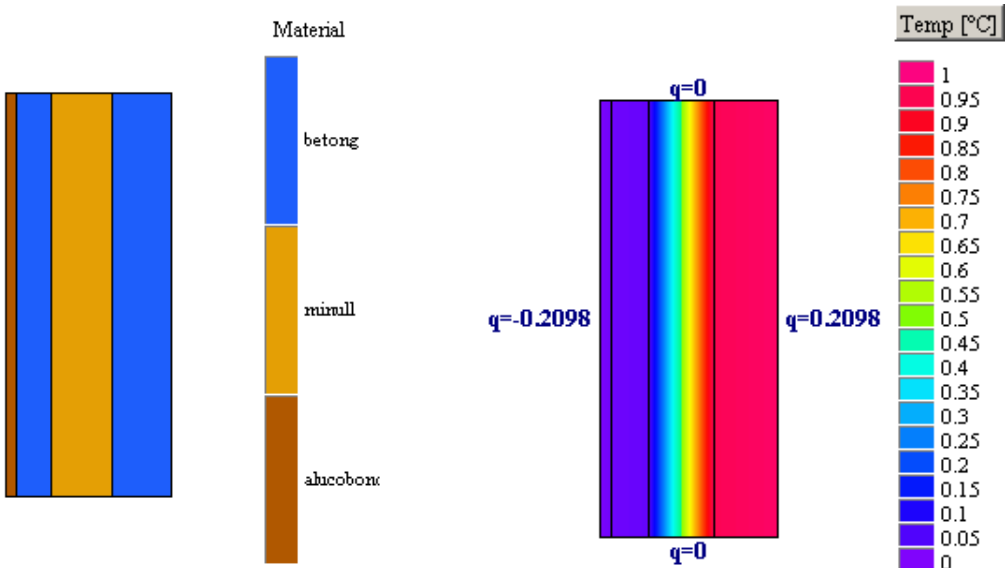
² Paroc (2011)

Bilaga 4 Köldbryggor

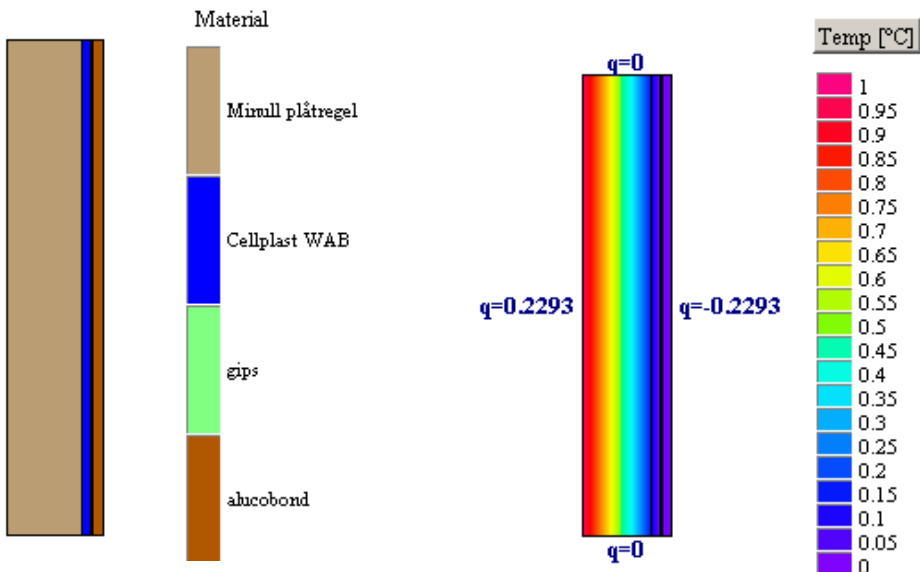
Vid beräkning av köldbryggor detaljstuderas först ingående byggnadsdelar. Delarna sätts sedan samman till respektive köldbrygga. Skillnaden i värmeflöde genom de enskilda delarna och flödet genom den sammansatta konstruktionsdelen blir köldbryggans värmeflöde.

byggnadsdelar

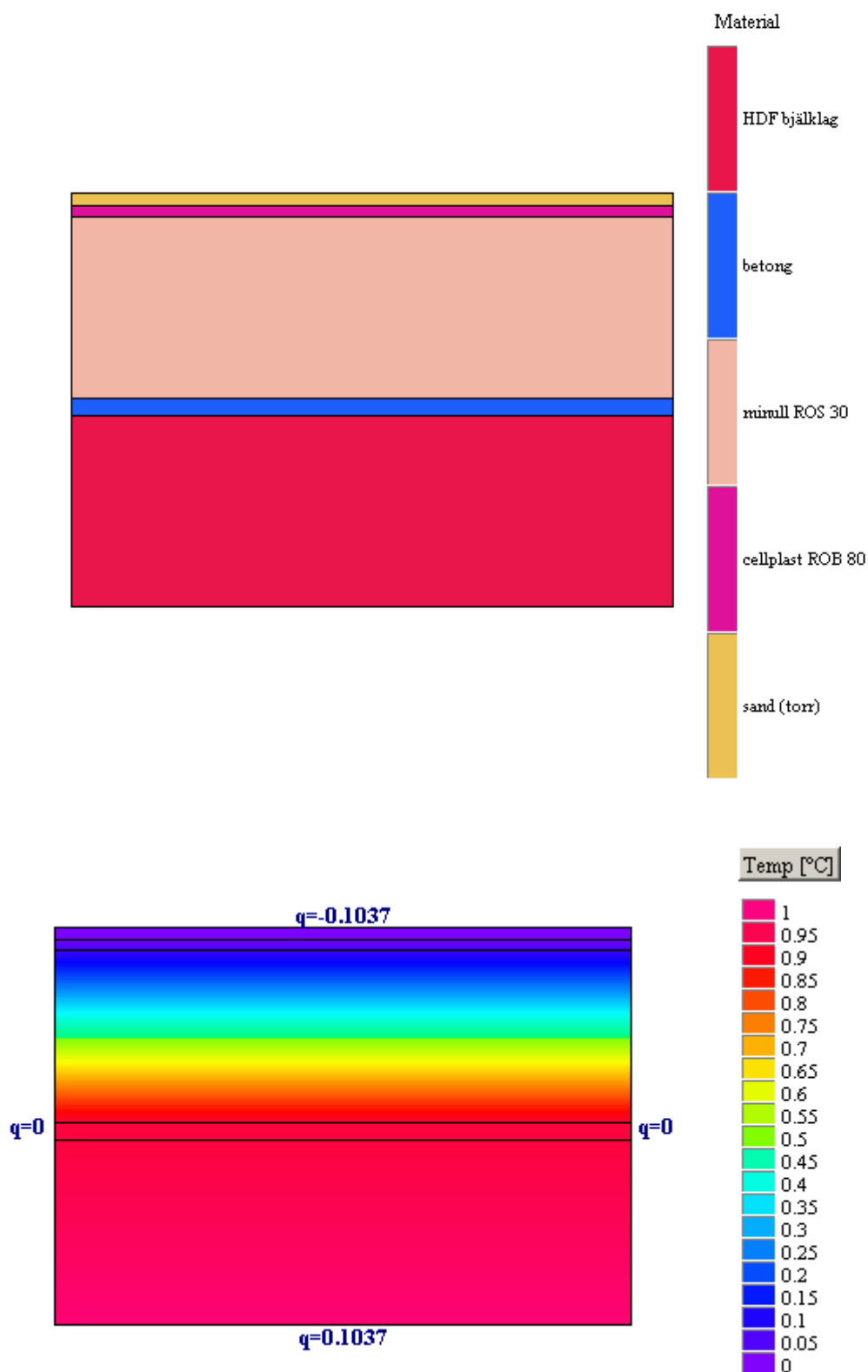
Kontorsvägg



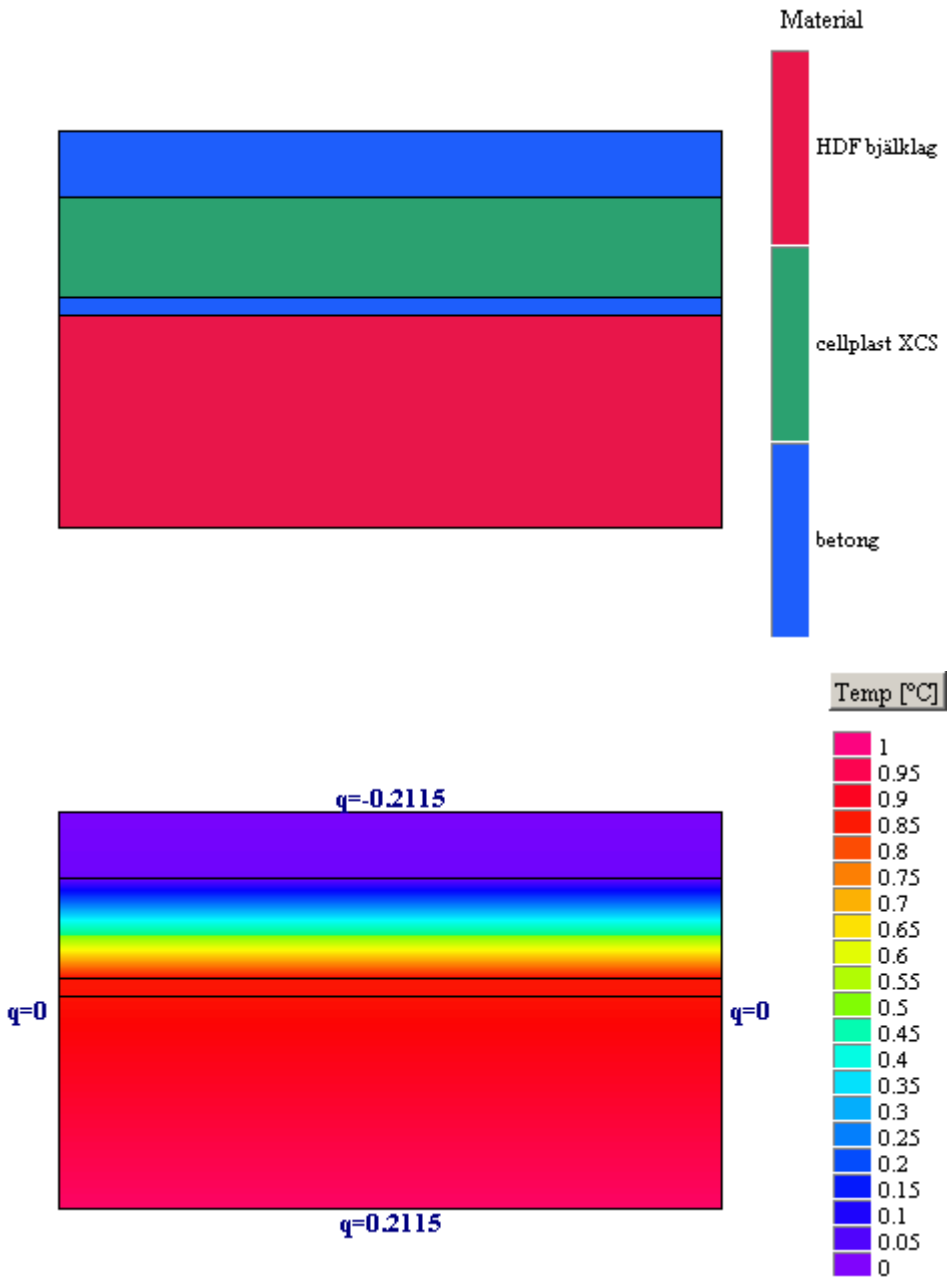
Bostadsvägg



Sedumtak

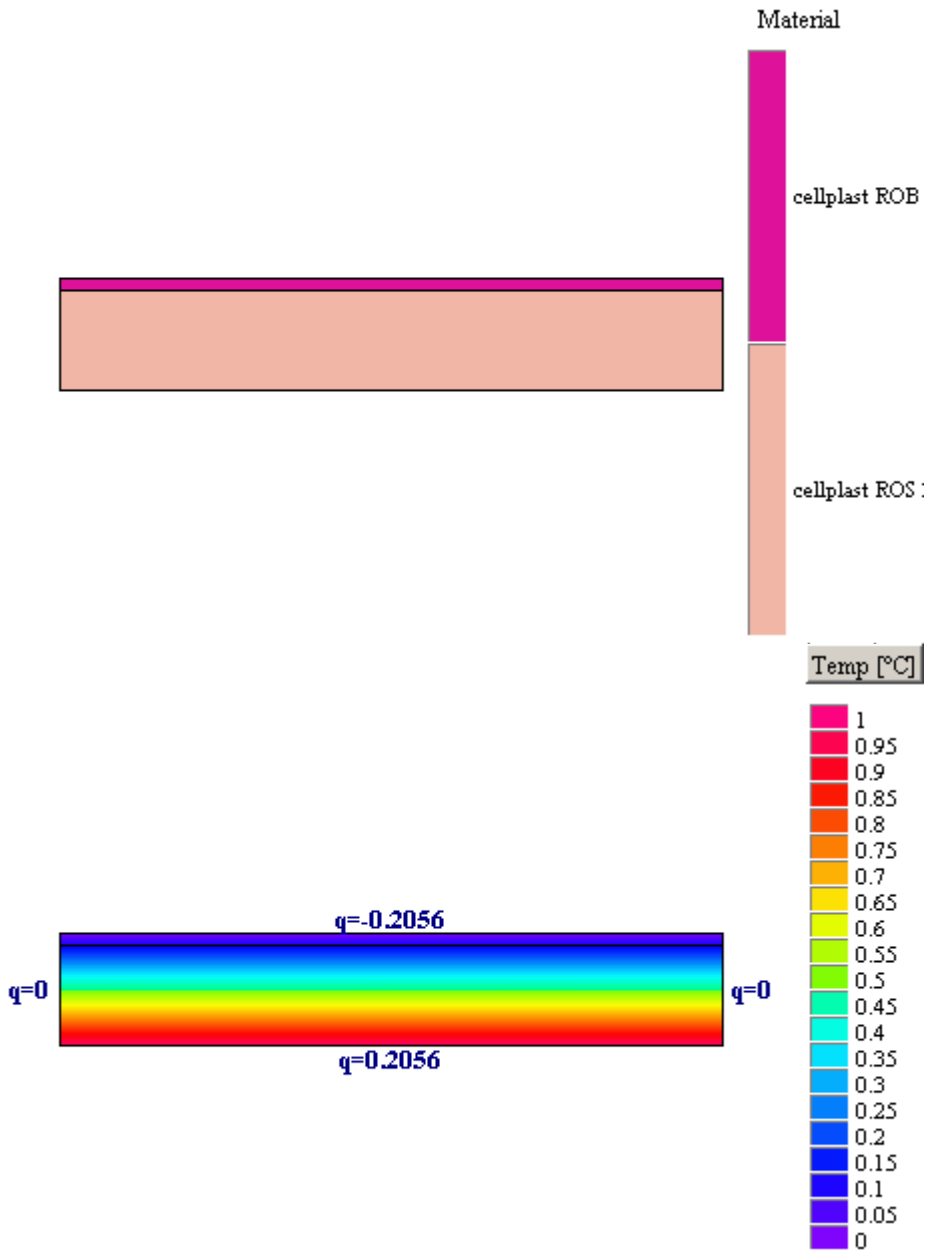


Terrasstak

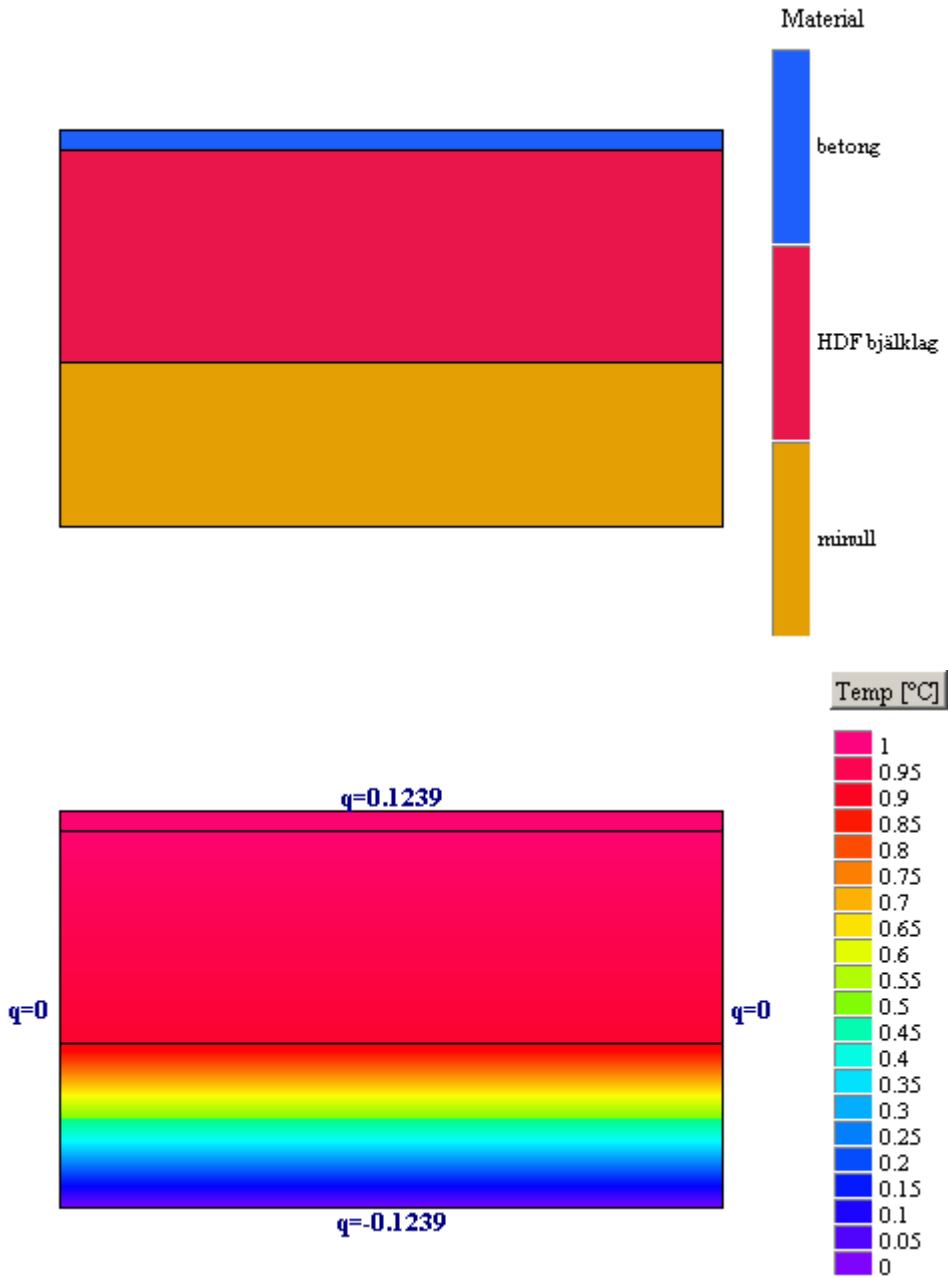


Tak Bostad

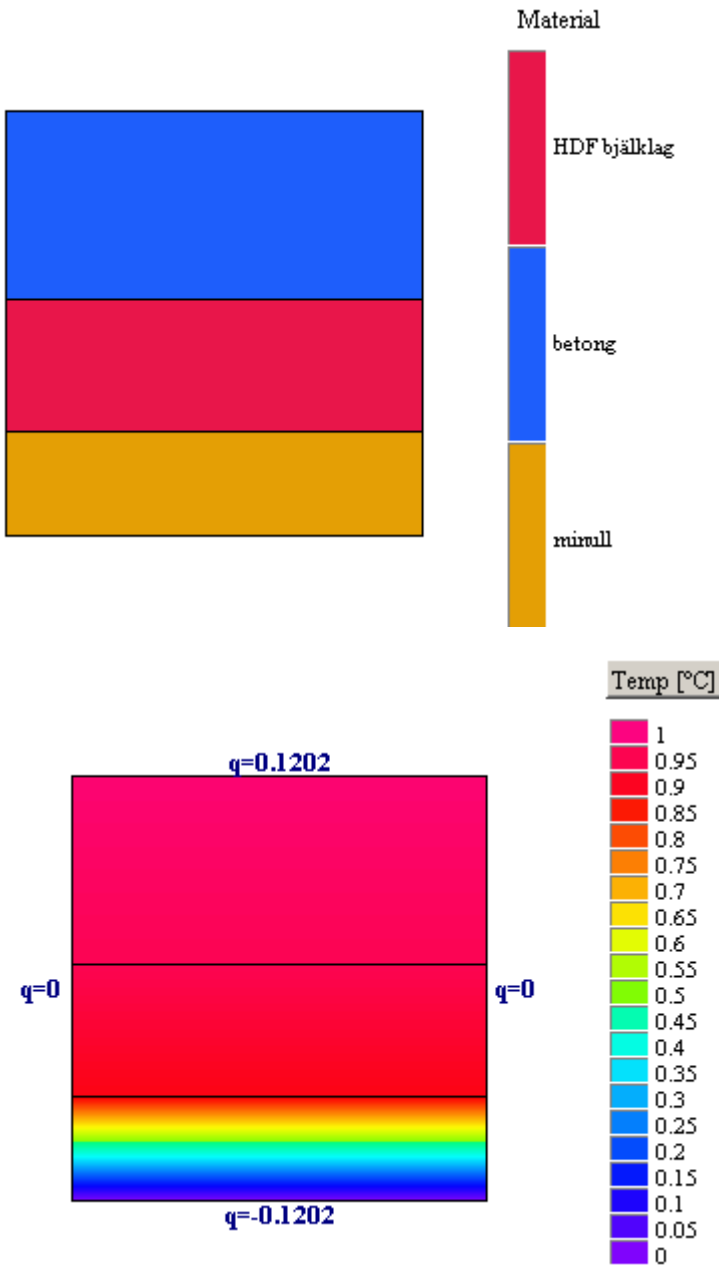
Tätskikt på utsida och profilerad plåt på insida har det bortsetts från i modellen då de har minimal inverkan på flödet.



Golv plan 2

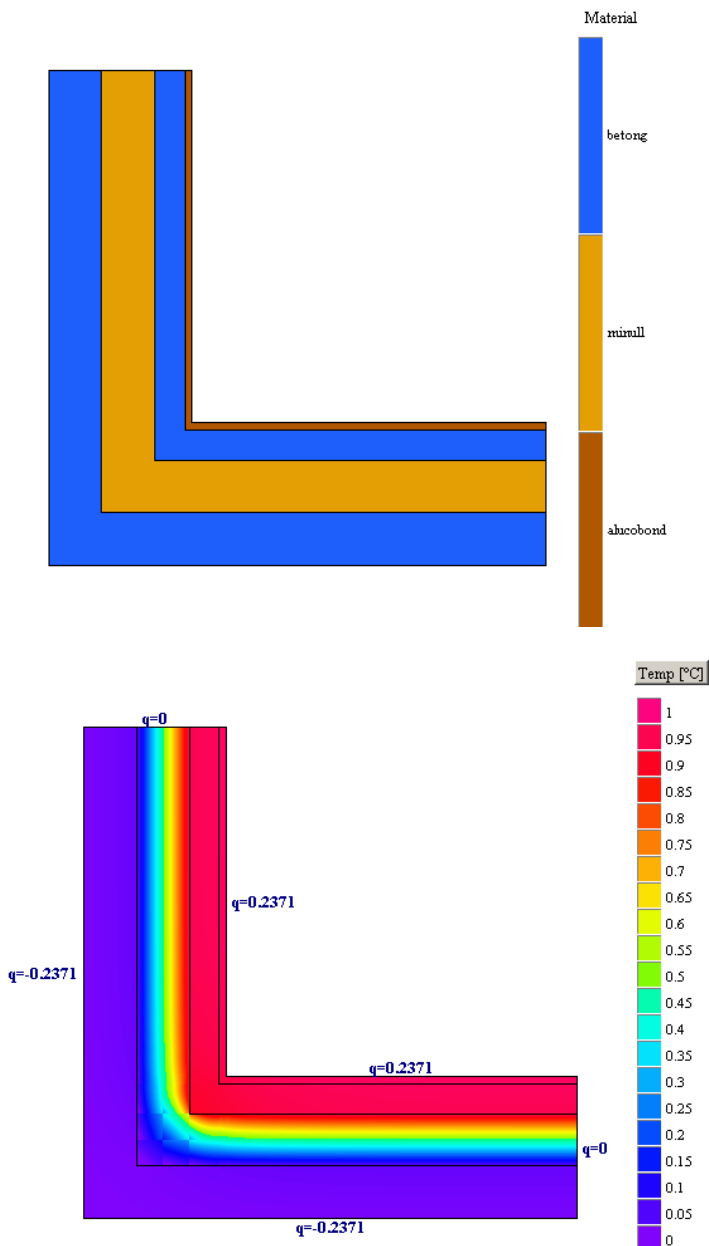


Golvbjälklag över terrass



Sammansatta Delar

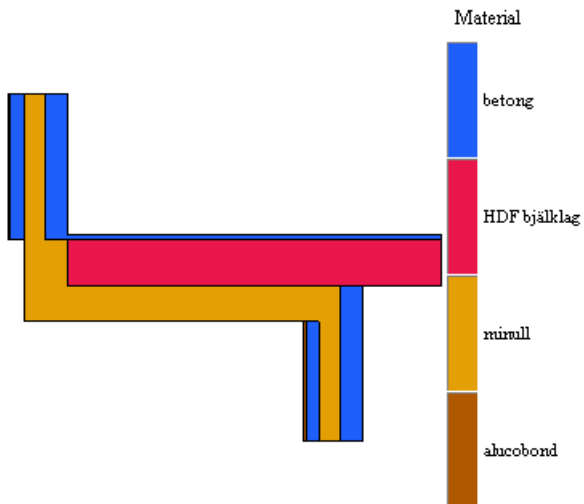
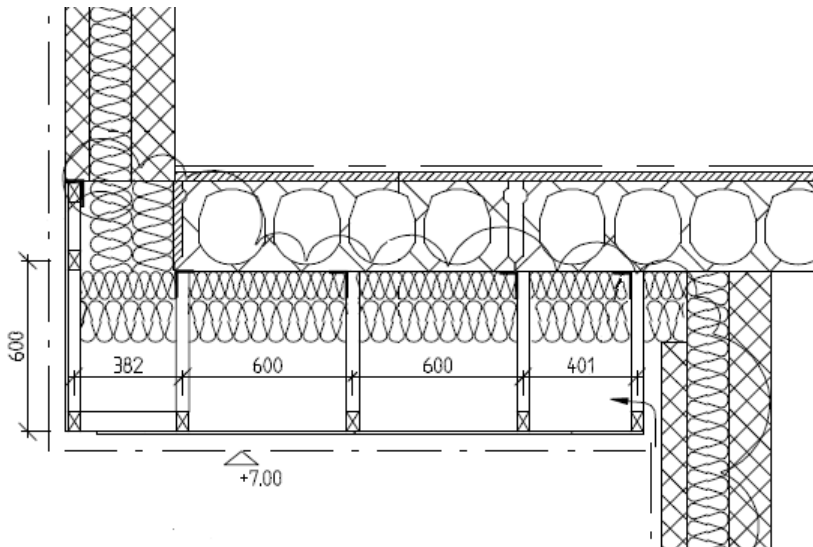
Innerhorn



Byggnadsdel	Vägg (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2371	0,2371	0,4742
Individuellt	0,2098	0,2098	0,4196
Flödesskillnad			0,0546

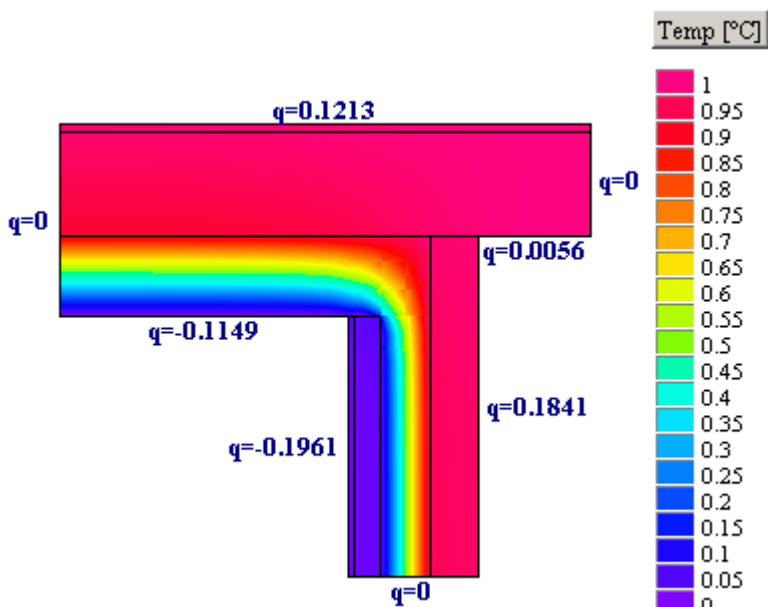
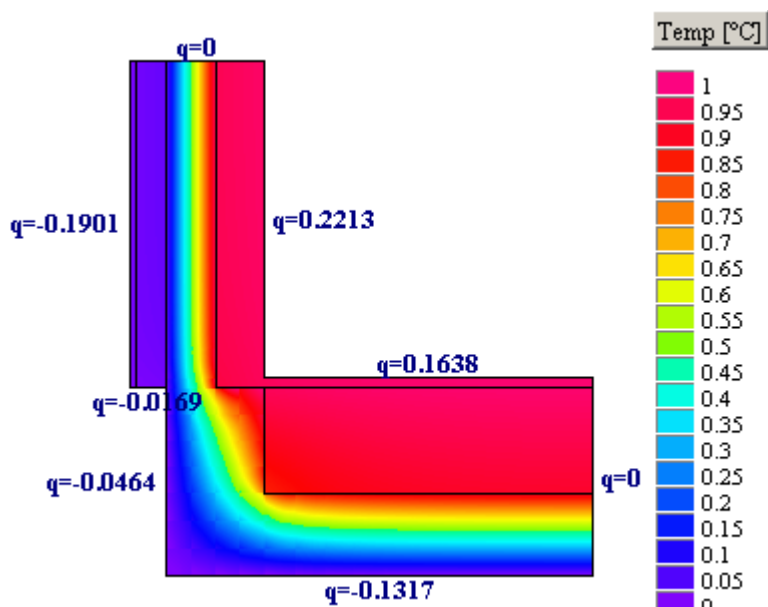
Utskjutande del plan 2.

Den luftspaltsbildande delen under golvet kommer det helt att bortses från i beräkningarna då luftflödet antas vara tillräckligt stort för att det ska ha en minimal inverkan på resultatet.



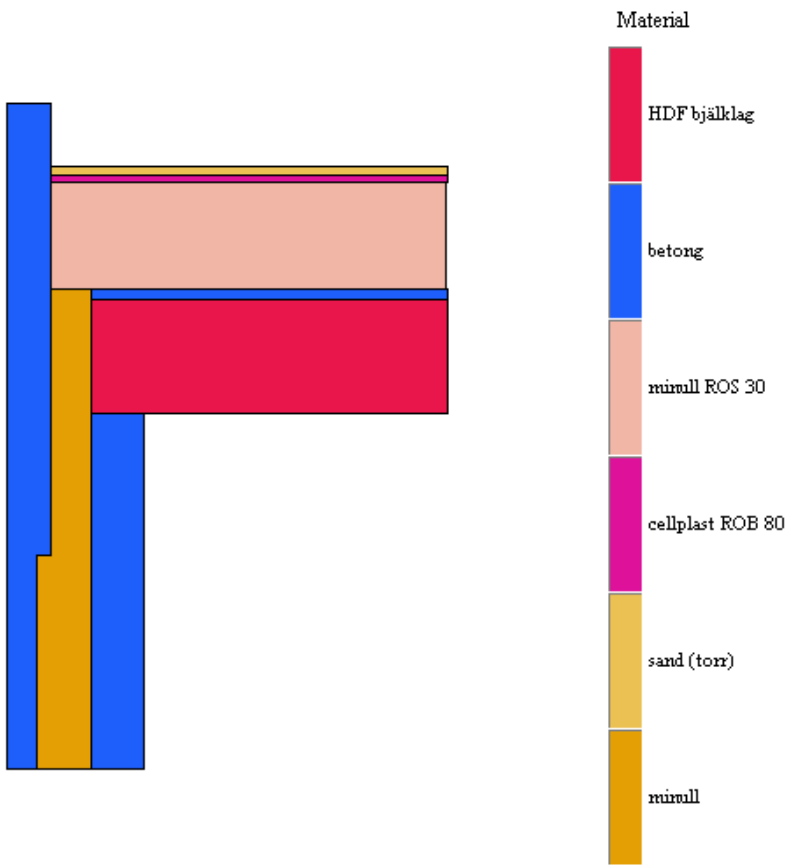
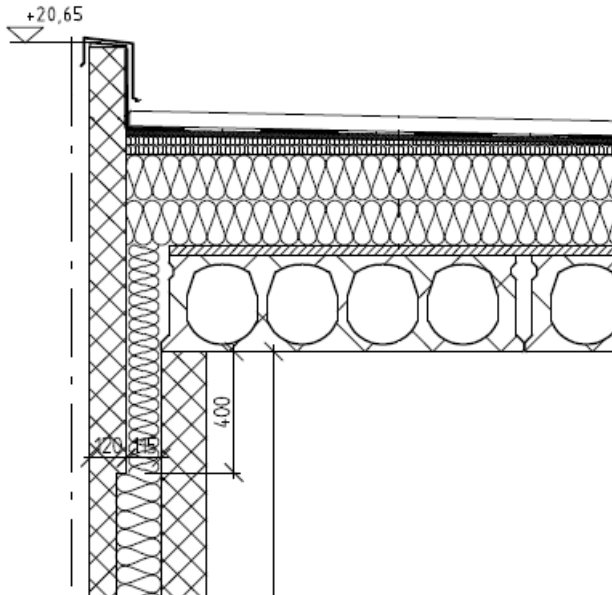
Bilaga 4 Köldbryggor

Konstruktionsdetaljen är uppdelad i två bitar för att det ska gå att göra en jämförande analys med lika stora areor för sammansatta delar kontra enskilda.

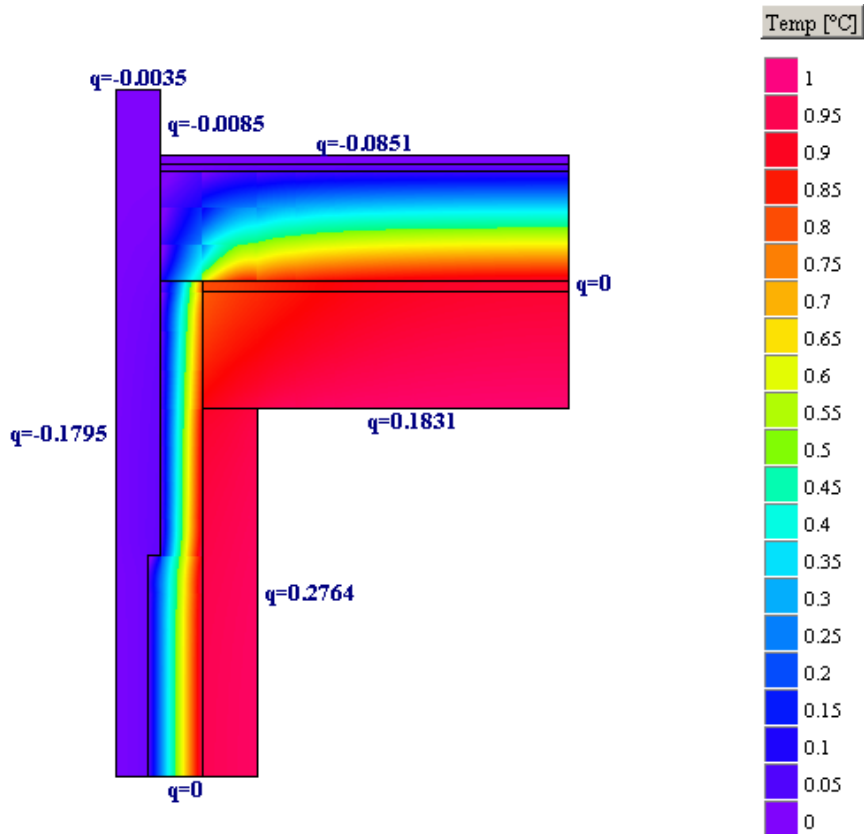


Byggnadsdel	Golv (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt övre	0,1638	0,2213	0,3851
Sammansatt nedre	0,1149	0,1961	0,3110
Totalt			0,6961
Individuellt	0,1239	0,4196 (två väggdelar)	0,5435
Flöde Köldbrygga			0,1526

Anslutning kontorsvägg och tak



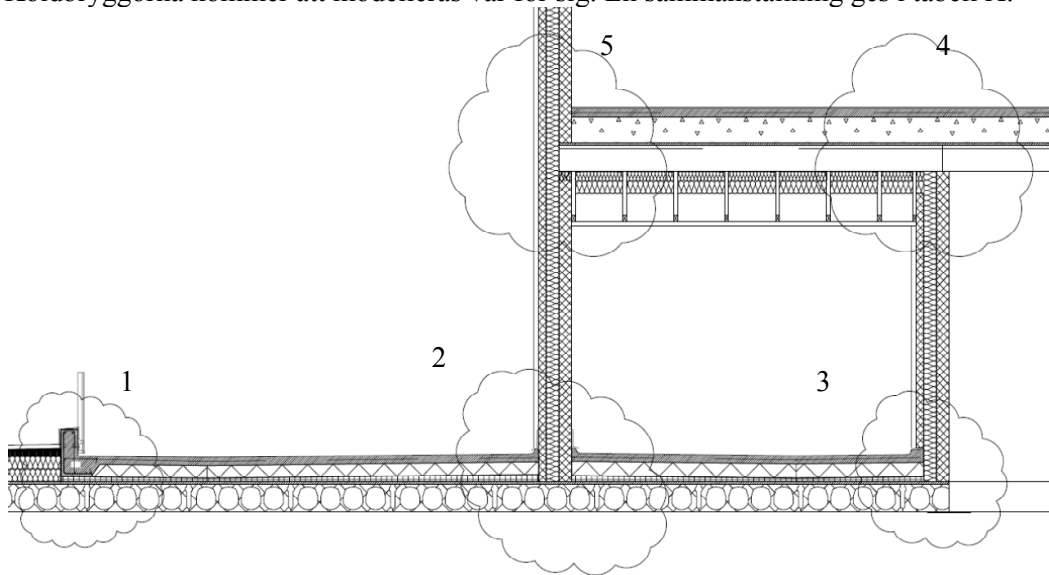
Bilaga 4 Köldbryggor



Byggnadsdel	Tak (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,1831	0,2764	0,4595
Individuellt	0,1037	0,2098	0,3135
Flöde köldbrygga			0,1460

Takterass

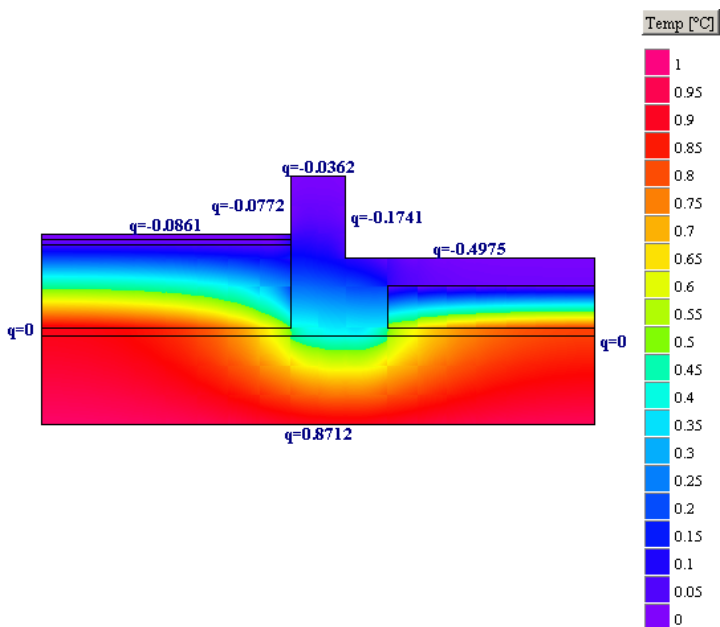
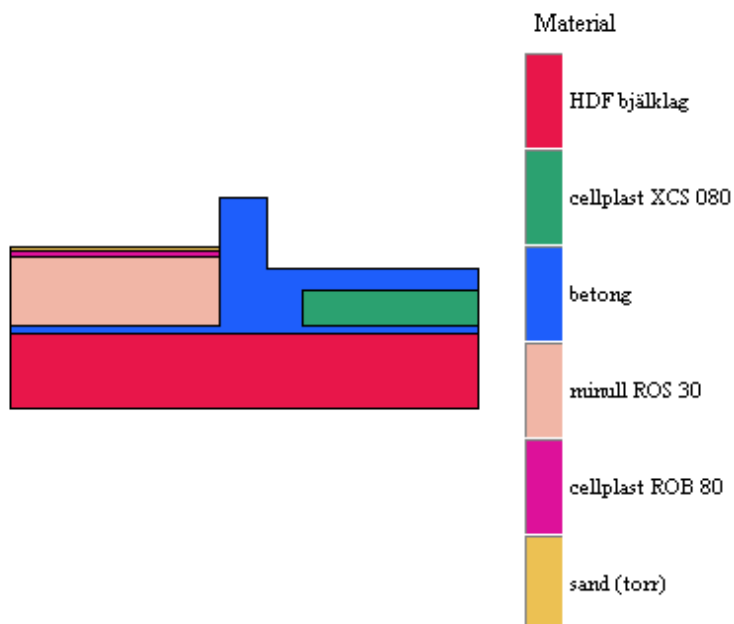
Kring takterrassen finns fem olika köldbryggor vilket kan ses i figur nedan. Köldbryggorna kommer att modelleras var för sig. En sammanställning ges i tabell X.



Köldbrygga	Flöde ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
Del 1	0,556
Del 2	0,4433
Del 3	0,057
Del 4	0,0293
Del 5	0,3212

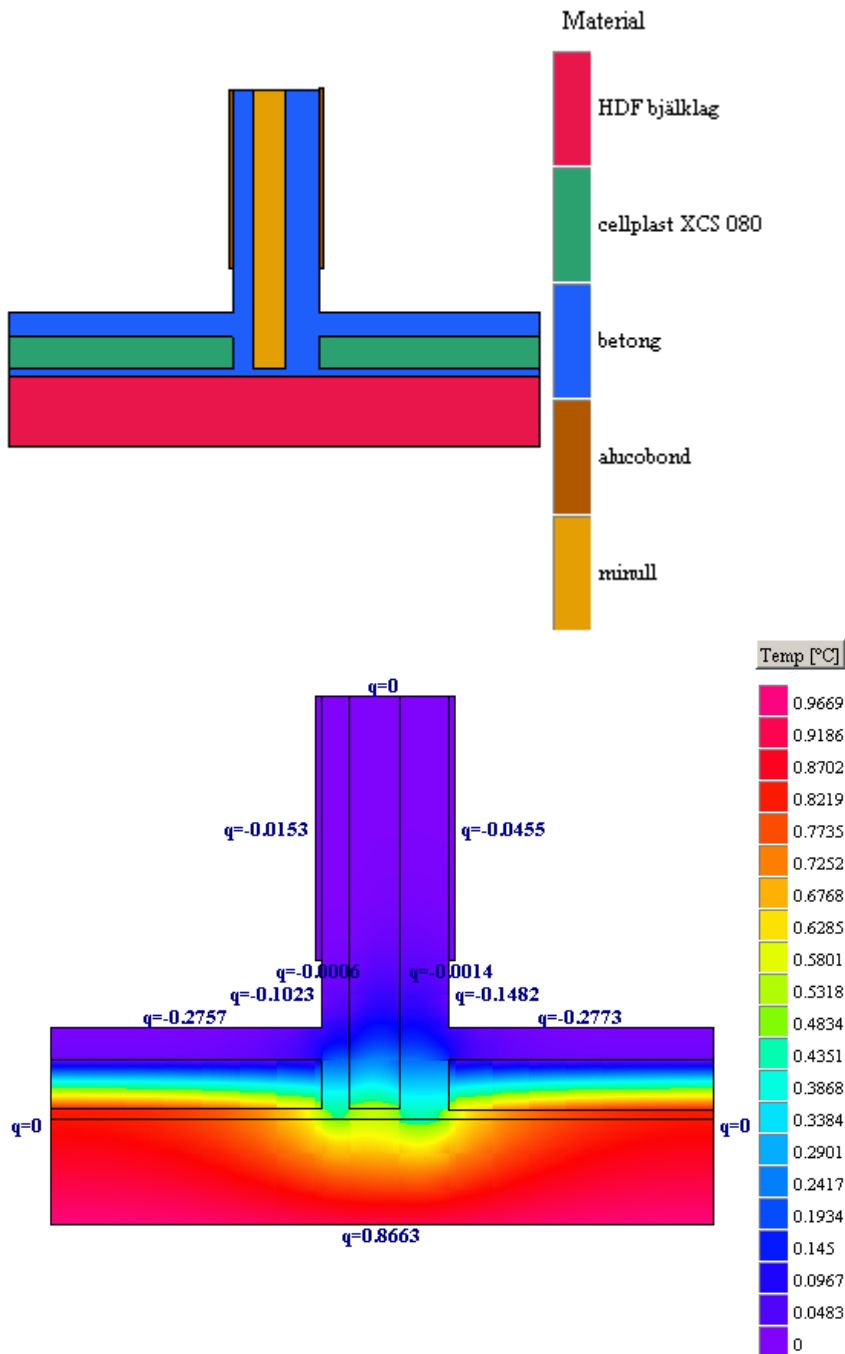
Bilaga 4 Köldbryggor

Del 1



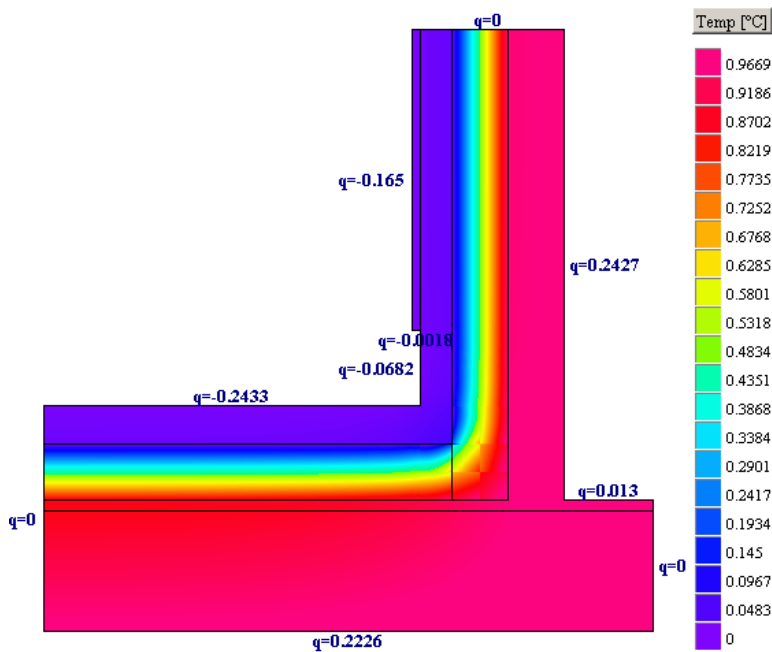
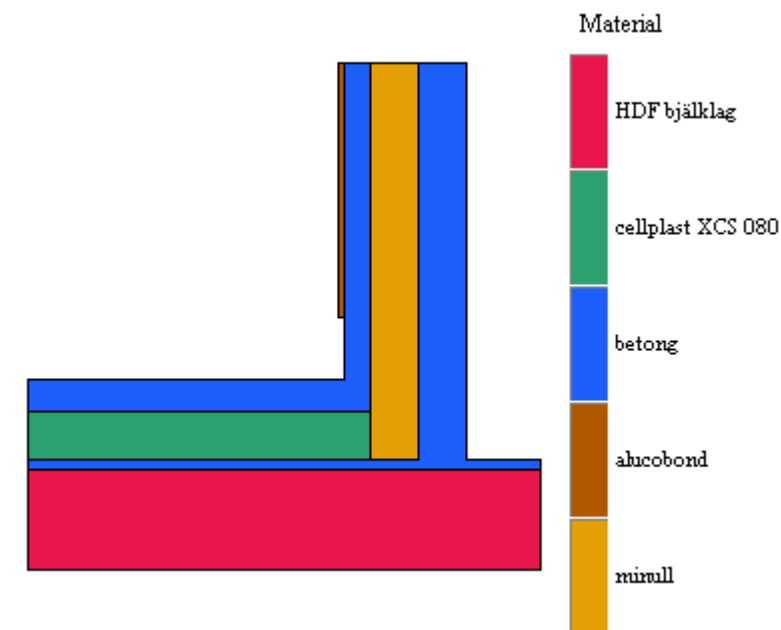
Byggnadsdel	Sedumtak (W/mK)	Terrasstak (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammanfatt	0,8712		0,8712
Individuellt	0,1037	0,2115	0,3152
Flöde köldbrygga			0,556

Del 2



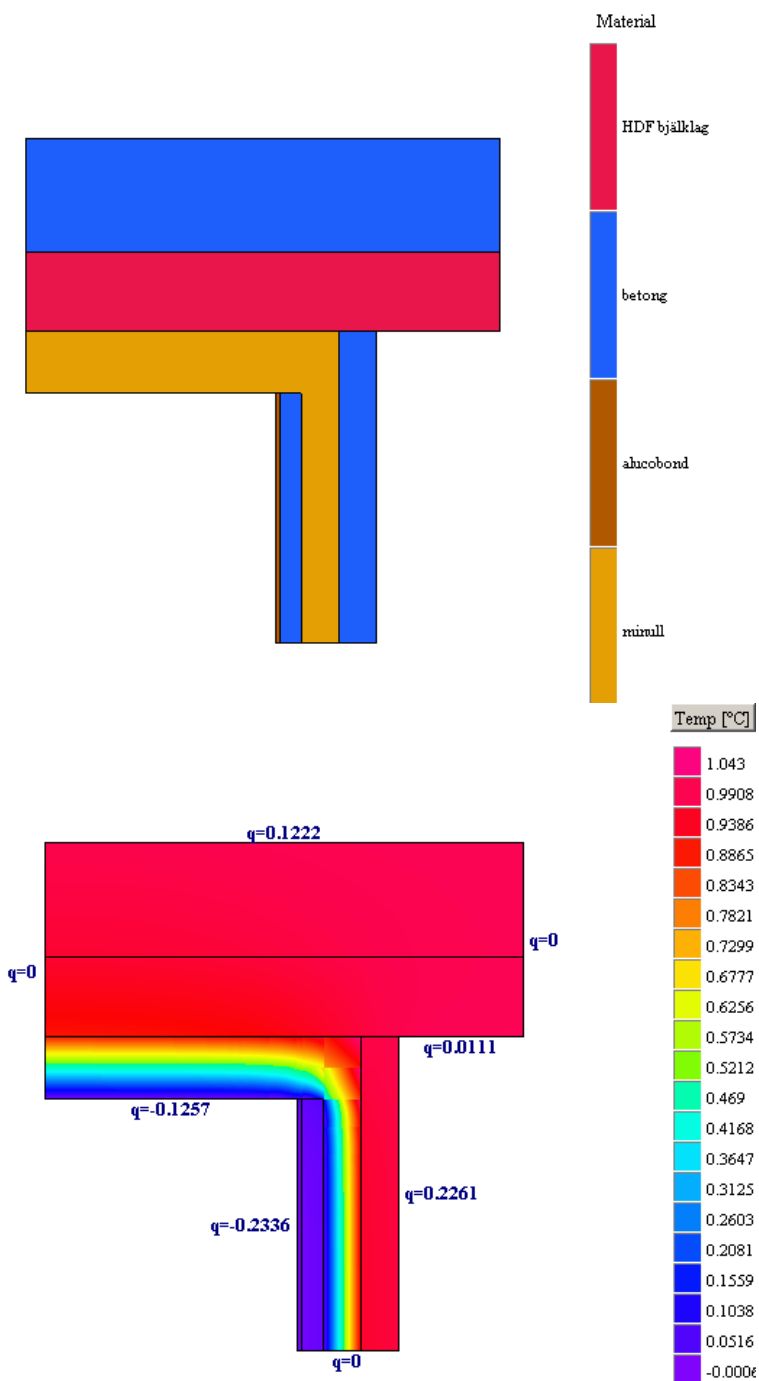
Byggnadsdel	Terrasstak (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0.8663	0,8712
Individuellt	0,2115*2	0,4230
Flöde köldbrygga		0,4433

Del 3



Byggnadsdel	Terrasstak (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2433	0,235	0,4783
Individuellt	0,2115	0,2098	0,4213
Flöde köldbrygga			0,057

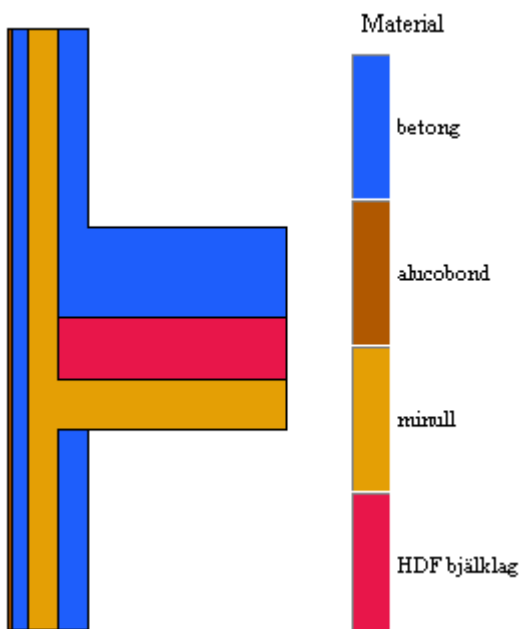
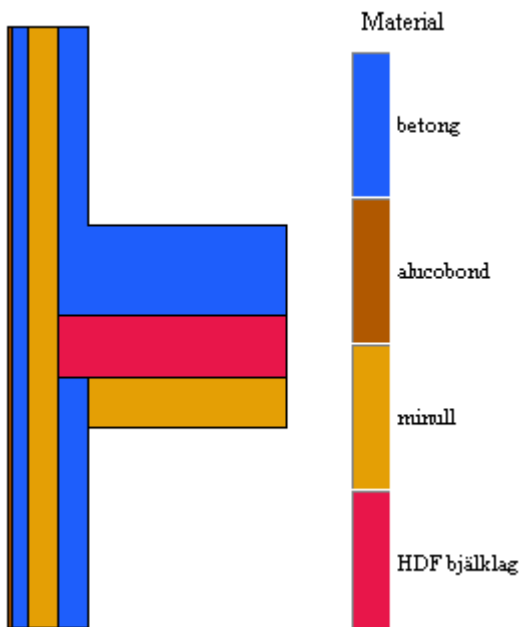
Del 4



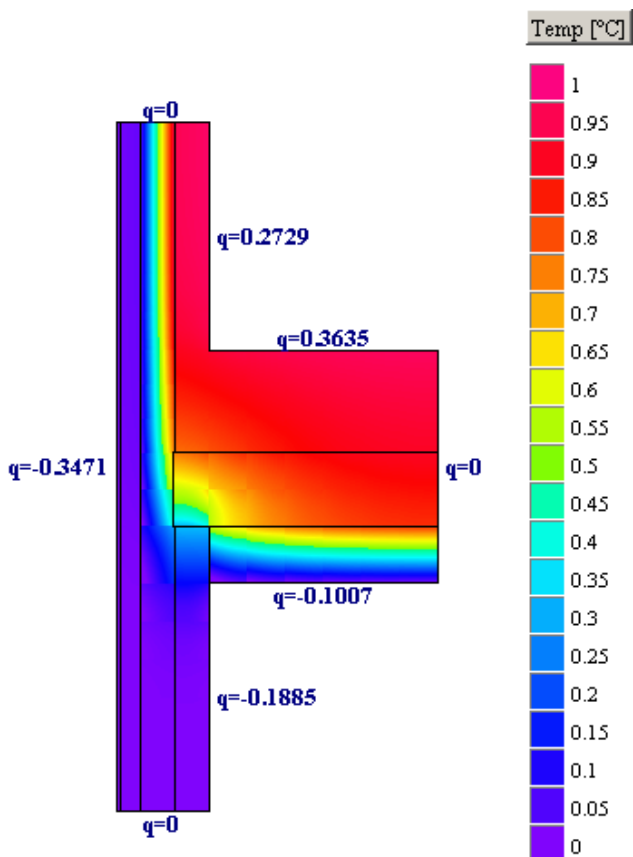
Byggnadsdel	Golvbjälklag (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,1257	0,2336	0,3593
Individuellt	0,1202	0,2098	0,33
Flöde köldbrygga			0,0293

Del 5

För denna köldbrygga så finns en intermitterent isolering där ca en tredjedel av sträckan är betong för att bära konstruktionen och två tredjedelar är minull för att få en isoleringseffekt. Dessa båda simuleras var för sig.

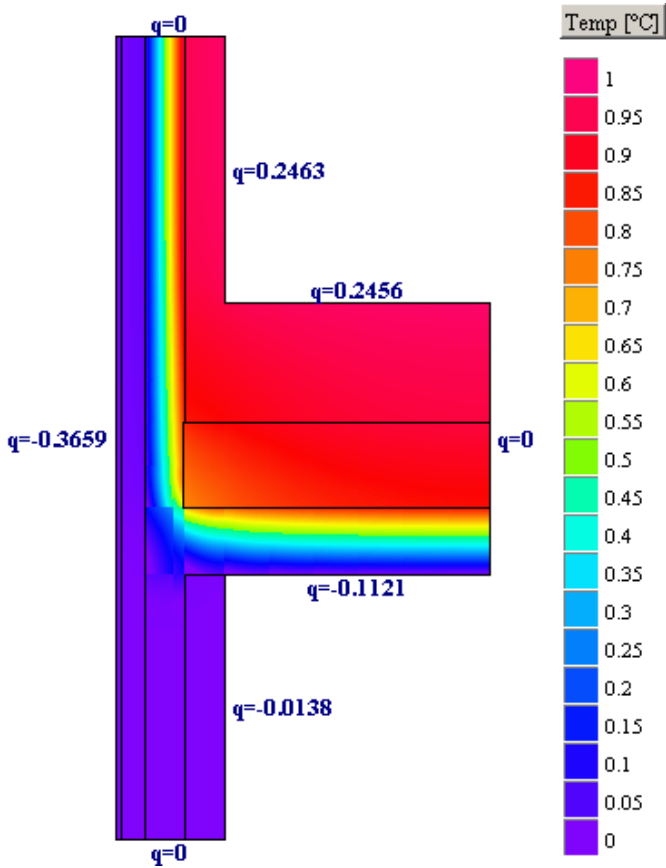


Utvärdering av energianvändningen i Ramböllhuset Malmö



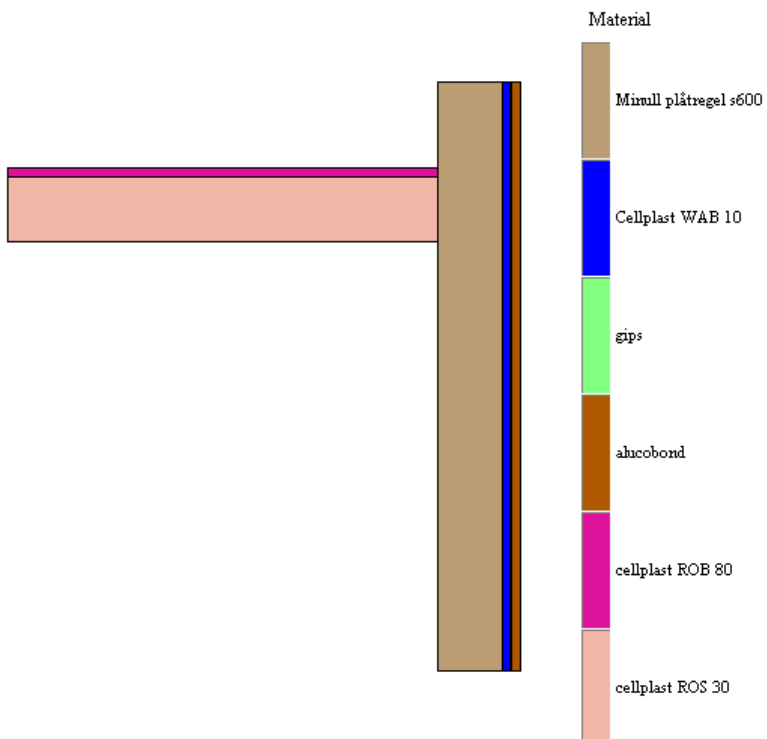
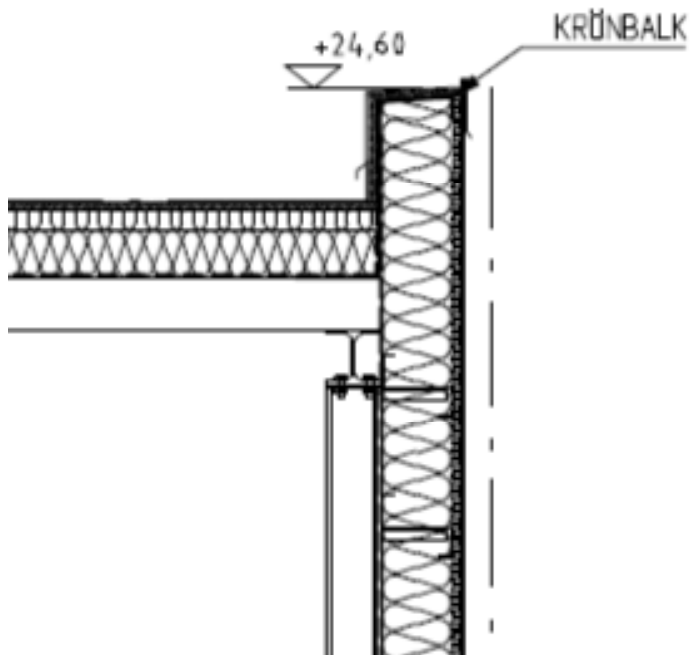
Byggnadsdel	Vägg (W/mK)	Golvbjälklag (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2729	0,3635	0,6364
Individuellt	0,2098	0,1202	0,3152
Flöde köldbrygga			0,3212

Bilaga 4 Köldbryggor

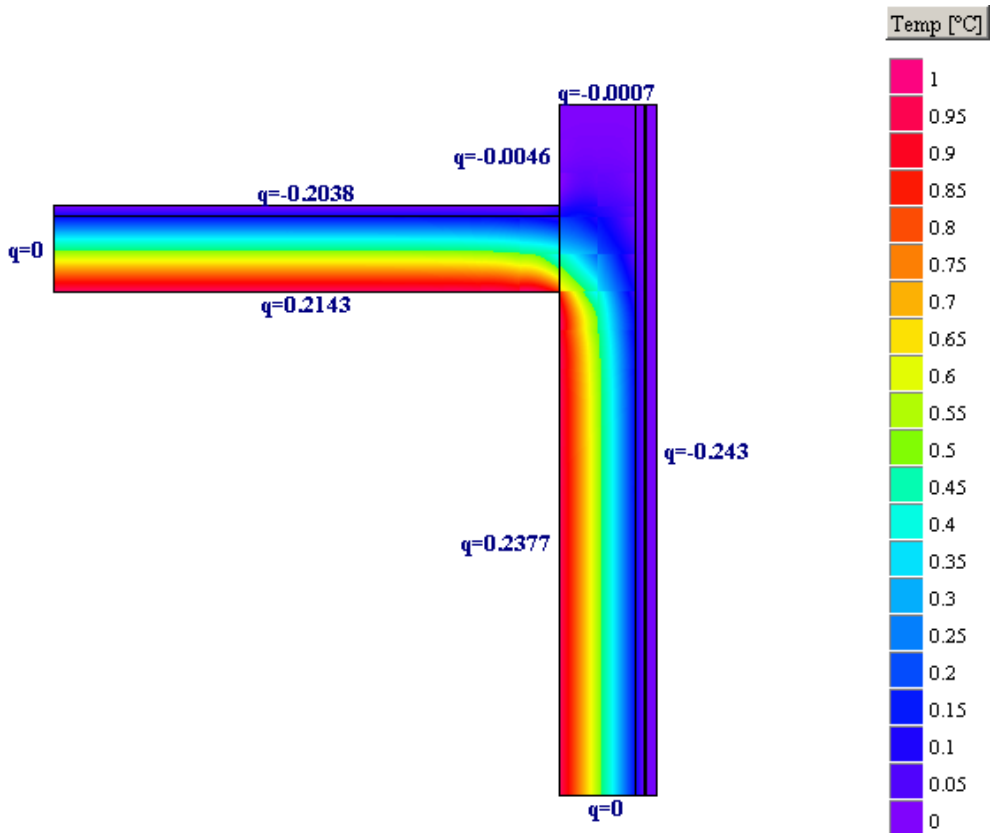


Byggnadsdel	Vägg (W/mK)	Golvbjälklag (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2463	0,2456	0,4919
Individuellt	0,2098	0,1202	0,3152
Flöde köldbrygga			0,1767

Anslutning Tak och Bostadsvägg

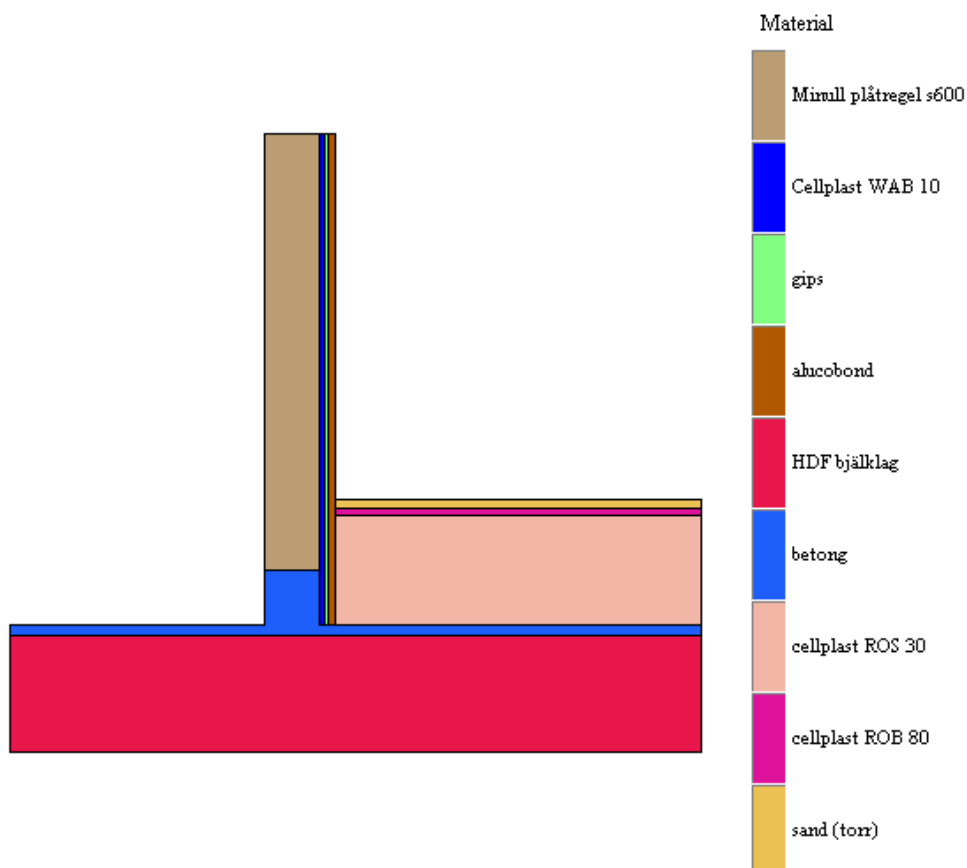
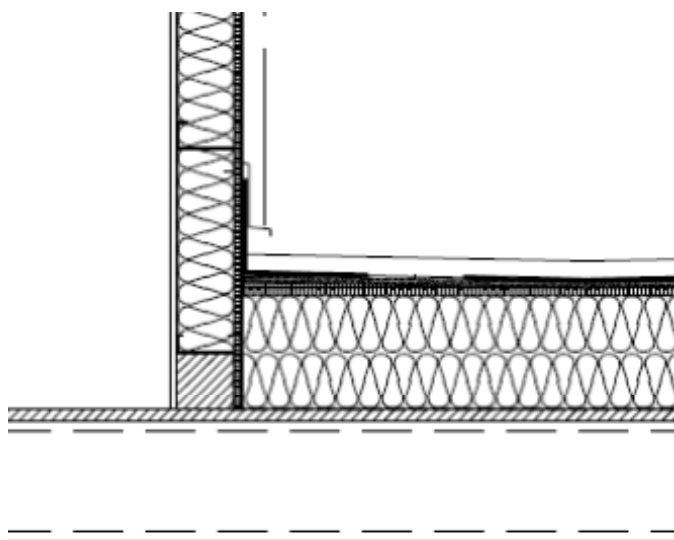


Bilaga 4 Köldbryggor

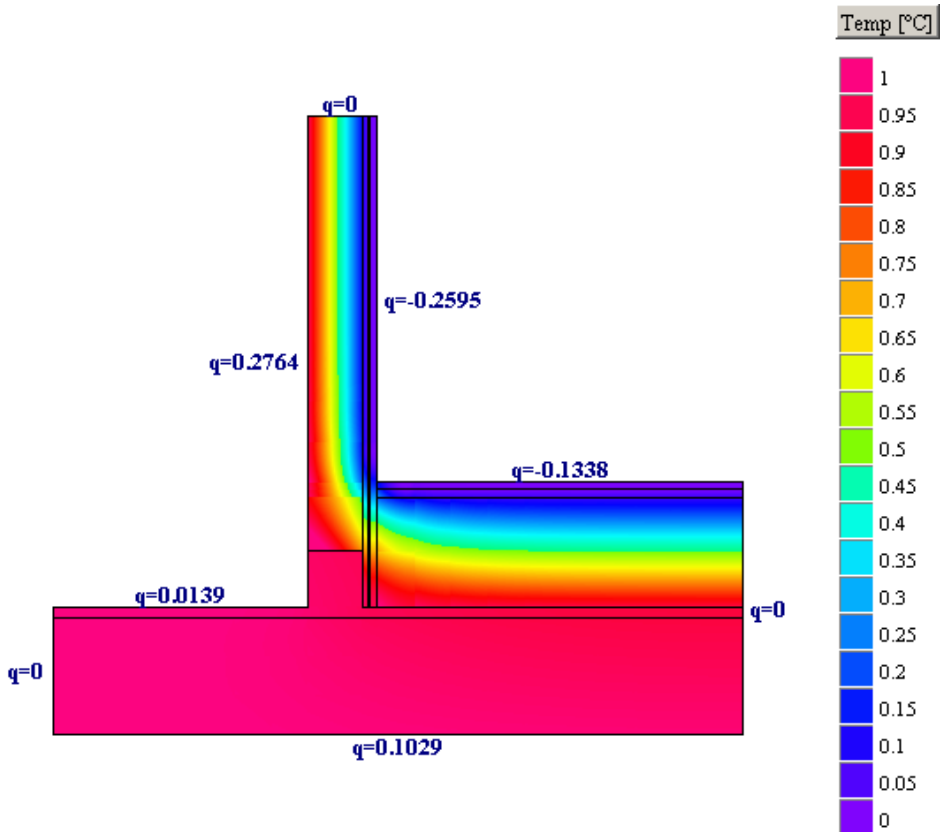


Byggnadsdel	Tak (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,2143	0,2377	0,4520
Individuellt	0,2056	0,2293	0,4349
Flöde köldbrygga			0,0171

Anslutning Bostadsvägg och Tak



Bilaga 4 Köldbryggor



Byggnadsdel	Tak (W/mK)	Vägg (W/mK)	Totalt (W/mK)
Sammansatt	0,1338	0,2595	0,3930
Individuellt	0,1037	0,2293	0,3330
Flöde köldbrygga			0,0600

