

Klimatanpassad byggnad för varma somrar och kalla vintrar

– Förbättrad energieffektivitet och inomhusmiljö i
ett befintligt hus i Baalbek, Libanon



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för arkitektur och byggd miljö/boende och bostadsutveckling

Examensarbete:
Soumaya Ahmad AlShell

© Copyright Soumaya Ahmad AlShell

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Sammanfattning

Utomhusklimat har stor påverkan på inomhusklimatet och därför är det viktigt att man klimatanpassar byggnader. Detta examensarbete visar hur man kan förbättra inomhusklimatet i ett klimat där det är varmt och torrt på sommaren och kallt på vintern. Mitt undersökningsobjekt är ett medelklasshus i staden Baalbek i Libanon och syftet med studien är att komma med förslag på möjliga lösningar för att förbättra inomhusklimatet och sänka energiförbrukningen.

Genom olika simuleringar med energiberäkningsprogrammet DEROB-LTH har jag jämfört olika typer av förändringar som är anpassade både till sommar- och vinterklimat. Jag har valt att titta på aspekter som tilläggsisolering i ytterväggar och tak, solavskärmning av fönster, olika typer av solavskärmning av hela taket och, nattventilering under sommaren, med syfte att uppnå ett behagligt inomhusklimat till en rimlig kostnad.

Resultaten från simuleringarna visar att inomhustemperaturen under sommaren förbättrades jämfört med grundfallet och energiförbrukningen för att värma upp bostaden under vintern minskade.

Under en normal sommardag minskade den maximala inomhustemperaturen från 29,2 °C till 26,3 °C. Detta anser jag är ett bra resultat, eftersom man då slipper användning av luftkonditionering, och en golvfläkt räcker för att förbättra komforten under extremt varma dagar.

Under vinterhalvåret blev inomhustemperaturen i huset (utan aktiv tillförsel av värme) högst 7,8 °C. Denna låga inomhustemperatur beror på att det undersökta husets yta och volym är ganska stor, samtidigt som internvärmens från personer som bor i huset är liten.

Genom beräkningar av husets energiförbrukning före och efter förändringarna i husets klimatskärm, har jag visat hur mycket energi som sparas. Resultaten visar att 100 mm tilläggsisolering i tak och ytterväggar är den förändring som ger störst effekt. Husets el- och oljeförbrukning sänktes med 27 kWh/m² vid isolering av yttervägg och med 17 kWh/m² vid isolering av tak (vinterperiod). Den totala besparade energiförbrukningen blir 8700 kWh/år, vilket innebär en besparing på 8300 kr per år.

En kostnadskalkyl har gjorts för att ta reda på investeringskostnaden för valda förbättringar av husets klimatskärm samt för att, med hjälp av payoff metoden, visa hur lång tid det tar för att få tillbaka investeringskostnaden. Resultaten visar att det tar 10 år för återbetalning av investeringen.

Nyckelord: Klimatanpassad byggnad, inomhusklimat, Baalbek, Libanon, DEROB- LTH, energiförbrukning, kostnadskalkyl.

Abstract

Outdoor climate has considerable impact on the indoor climate and it is therefore important to adapt the buildings to the climate. This thesis shows how to improve indoor climate in a climate which it is hot, dry in the summer and cold in the winter. My investigative unit is a middle class house in the town Baalbek in Lebanon and the purpose of the study is to come up with proposals on possible solutions in order to improve indoor air quality and lower energy consumption.

Through the various simulations with the energy program DEROB-LTH, I compared different types of changes which are adapted both to summer and winter climates. I have chosen to look on aspects like insulated external walls and ceilings, sun shielding of windows, various types of sun shielding of the entire roof and, night ventilation during the summer, with a purpose to achieve comfortable indoor climatic conditions at a reasonable cost.

The results show that indoor temperature during the summer was improved compared to the base case and energy consumption to heat the home during the winter decreased.

During a normal summer day the maximum indoor temperature decreased from 29.2 °C to 26.3 °C. I think this is a good result, as this will avoid the use of air conditioning, and a floor fan is enough to improve comfort during extremely hot days.

During the winter season the indoor temperature in the house was (without the addition of heat) 7.8 °C. This low indoor temperature is due to the fact that the surface and volume of the tested house are relatively large, while the internal heat of the people who live in the house is small.

By calculations of the building's energy consumption before and after the changes in the building envelope, I have shown how much energy is saved. The results show that the 100 mm insulation in the roof and exterior walls is the change that has the greatest impact. The house's electricity and oil consumption was reduced by 27 kWh/m² in the insulation of the exterior wall and by 17 kWh/m² in the insulation of roof (winter period). The total saved the energy consumption 8700 kWh / year, which means a saving of SEK 8300 per year.

A cost estimate has been made to find out the cost of investment for selected improvements to the building envelope and for that, using the payoff method, show how long it takes to get back the investment cost. The results show that it takes 10 years for repayment of the investment.

Keywords: Climate-adapted building, indoor climate, Baalbek, Lebanon, DEROB-LTH, energy consumption, cost estimate.

Förord

Denna rapport skrevs av Soumaya AlShell under sommaren 2011 och är ett examensarbete som omfattar 22,5 högskolepoäng inom högskoleingenjörsutbildningen med inriktning Byggteknik med arkitektur på Campus Helsingborg, Lunds Universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare, Erik Johansson för den goda handledning jag fått av honom, och för att hans föreläsningar som väckte mitt intresse för att åka till Libanon och göra min undersökning där. Ett varmt tack riktar jag också till min examiner Maria Rasmussen för hennes värdefulla synpunkter. Stort tack också till Eva Andersson för värdefulla råd om akademiskt skrivande. Jag vill också tacka min familj och alla personer som stöttat mig och hjälpt mig under mitt examensarbete. Slutligen vill jag tillägna detta examensarbete min pappa och mamma, som har stöttat mig under hela min studietid.

Innehållsförteckning

1 Inledning	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Problemformulering	9
1.3 Syfte	10
1.4 Avgränsningar	10
1.5 Metod och material	10
1.5.1 Internet- och litteratursökningar	11
1.5.2 Enkäter	11
1.5.3 Intervjuer med yrkesverksamma	11
1.5.4 Ritningar	12
1.5.5 Simuleringar	12
1.5.6 Kostnadsberäkning med payoff-metoden.....	12
2 Libanon och Baalbek	13
2.1 Bakgrund	13
2.2 Byggnadsteknik i Libanon	16
2.2.1 Traditionell byggnadsteknik	16
2.2.2 Modern byggnadsteknik.....	20
2.3 Klimatet	21
3 Byggnadsutformning med hänsyn till klimatförhållanden	23
3.1 Faktorer som påverkar inomhusklimatet	23
3.2 Byggnaders klimatskärm och byggnadsdelar	25
3.2.1 Fönster.....	26
3.2.2 Ytterväggar.....	27
3.2.3 Tak.....	27
3.3 Termisk komfort	28
3.4 Rekommenderad byggnadsdesign i Baalbek	28
4 Klimatanpassning av ett typiskt hus i Baalbek	30
4.1 Beskrivning av den studerade byggnaden	30
4.2 Husets klimatskärm	32
4.3 Värme- och kylsystem	34
4.4 Ventilation	35
4.5 Klimatanalys	35
4.5.1 Mahoney-tabellerna	35
4.5.2 Givoni – diagrammet.....	35
4.6 Resultat från enkät om inomhusklimat och energianvändning	36
5 Simulering av inomhusklimat och energiförbrukning	37

5.1 DEROB-LTH	37
5.2 Simuleringsmodell	37
5.3 Grundfall	39
5.4 Resultat	44
6 Förslag till förbättringar för befintligt hus	46
6.1 Föreslagna förbättringar	46
6.2 Resultat	47
7 Optimalt fall för befintligt hus.....	54
7.1 Simulering av vinterfallet	56
7.2 Simulering av sommarfallet.....	56
8 Total energikostnad	59
8.1 Energiförbrukning och kostnad för befintligt hus.....	59
8.1.1 Elförbrukning och kostnad	59
8.1.2 Oljeförbrukning och kostnad	64
8.1.3 Gasförbrukning och kostnad	64
8.2 Energiförbrukning och kostnad för optimalt fall	65
9 Lönsamhet av energibesparingsåtgärderna	66
9.1 Investeringskalkyl	66
10 Slutsats	68
Referenser	70
Litteraturförteckning	70
Elektroniska källor.....	70
Bilagor.....	73
Bilaga 1: Husets ritningar	73
Bilaga 2: Intervjuenkät	76
Bilaga 3: Mahoney-tabellerna	78
Bilaga 4: Givoni-diagrammet.....	79

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Bekaadalen i Libanon där jag är uppväxt är vintrarna kalla, den genomsnittliga temperaturen är 0 °C men den kan sjunka till ca -10 °C. De värmekällor som används förmår inte skapa en tillräckligt varm inomhusmiljö och man upplever att det är kallare inomhus än utomhus. Bränsle- och elkostnaderna ökar hela tiden utan att inomhusklimatet förbättras. När jag kom till Sverige förstod jag att det går att få ett gott inomhusklimat trots kalla vintrar. Förutom problemen med värmebehovet under de kalla vintrarna så är det även ett problem med kylbehovet under de varma somrarna.

Under kursen ”Internationellt hållbart byggande” väcktes mitt intresse för att skapa byggnader som är anpassade till klimatet i Libanon. Jag valde att fokusera på lösningar avsedda för staden Baalbek, där jag själv upplevt problemen med dåligt inomhusklimat.

Mitt examensarbete handlar om byggande i varmt torrt klimat med varma somrar och kalla vintrar. Jag ville undersöka vilka faktorer som påverkar inomhusklimatet, och som en utgångspunkt i denna undersökning ville jag få en bild av de boendes upplevelse av inomhusklimatet.

Första steget jag tog var att ta kontakt med Erik Johansson, (Civilingenjör vid Boende och bostadsutveckling) som har kunskap om byggande i Tunisien, Marocko och Jordanien. Erik visade intresse för själva idén. Därefter tog jag kontakt med Mazen Al-Rifai, arkitekt i Libanon.

1.2 Problemformulering

Okomfortabelt inomhusklimat utgör ett stort problem för de boende i staden Baalbek. Att uppleva inomhusklimat som för kallt eller för varmt har stora hälsoeffekter på människan. Högt inomhustemperatur och torr luft sommartid kan leda till huvudvärk, trötthet, illamående, allergi, torr hud, torra slemhinnor i näsan samt problem i andningsvägarna. Detta resulterar i en minskad arbetsprestation. Lågt inomhustemperatur vintertid påverkar hälsan på ett negativt sätt, på så vis att det ökar risken för att människan ska drabbas av hjärt-, kärl-, och lungsjukdomar.[19] Oljeförbränningen man använder i värmesystemet leder till utsläpp av koldioxid och andra föroreningar av inomhusluften vilket bl. a medför torra slemhinnor och hindrar blodet från att ta upp syre från luften.

1.3 Syfte

Huvudsyftet med detta examensarbete är att komma med förslag på möjliga lösningar för att förbättra inomhusklimatet och sänka energiförbrukningen i ett befintligt hus i staden Baalbek i Libanon. Lösningarna kommer att beröra områdena byggnadsdesign, energibesparingsmetoder samt materialval. Syftet är också att visa hur klimatanpassade konstruktioner och materialval samt passiva lösningar till en rimlig kostnad kan ge ett inomhusklimat som är komfortabelt och hälsosamt.

I detta examensarbete:

- Studeras ett befintligt hus i Baalbek där jag analyserar husets klimatskärm med fokus på hur parametrarna byggnadsmaterial, geografisk placering, orientering, omgivning, fönsterplacering, solavskärmning, inomhusmiljö, klimatskärm och kyl- och värmesystem påverkar inomhusklimatet.
- Besvaras frågorna: Vad är klimatanpassad design? Hur påverkar förändringar av klimatskärmen inomhusklimatet? Hur stor investering behövs för att förbättra husets klimatskärm? m.m.
- Ges förslag på förändringar som kan leda till en förbättring av den termiska komforten inomhus.

1.4 Avgränsningar

I mitt examensarbete har jag valt att avgränsa min undersökning till ett befintligt hus för en medelinkomstfamilj i Baalbek. Jag beaktar materialval för byggnadskonstruktionen och avgränsar mig till lokalt tillgängliga byggnadsmaterial och med ett normalt prisläge. Jag har också avgränsat mig till klimatanpassad design där jag tar hänsyn till utomhusklimat och dess påverkan på inomhuskomfort genom byggnadsomgivning, orientering av huset, solstrålning, ventilationsflöde, vegetation etc. Jag har studerat passiv solvärme men inte aktiv solvärme eller sol el.

1.5 Metod och material

Jag har använt mig av olika metoder i min studie: internet- och litteratursökningar, enkäter, intervjuer med yrkesverksamma, simuleringar och ritningar.

1.5.1 Internet- och litteratursökningar

Internet- och litteratursökningar har gjorts för att samla bakgrunds fakta om byggande i varma torra klimat. För att samla information såsom byggnadsteknik i Libanon, tillgängliga material, byggnadshistoria och klimatet i landet, har jag använt mig av internetsökningar och litteratur på arabiska och engelska. För att hitta information om byggande i varmt torrt klimat samt för förklaring av olika begrepp såsom klimatskärm och U-värde har jag använt mig av svensk och engelsk litteratur.

1.5.2 Enkäter

För att bli medveten om hur de boende i Baalbek upplever problemet med inomhusklimatet, hur mycket de betalar de för energiförbrukning samt vilka åsikter de har om byggnadsförbättring, formulerades en enkät som delades ut till 20 boende i Baalbek. Enkäten bestod av 11 frågor som handlade om hur de upplever inomhusklimatet och vilken period (sommar, vinter) de tycker är mest besvärlig samt vilka värme- och kylsystem de använder för att skydda sig mot kyla eller värme, hur stor deras kostnad för energiförbrukning är samt vilka åsikter de har om byggnadsförbättring m.m.(se bilaga 2). Alla som deltog i enkäten är medelinkomsttagare i Baalbek i samma område och i samma hustyp som studiens undersökningsprojekt.

1.5.3 Intervjuer med yrkesverksamma

På plats i Baalbek i Libanon intervjuade jag dels byggnadsingenjörer som gav mig mer information om byggande i Libanon dels andra typer av yrkesverksamma inom byggbranschen som gav mig information om byggnadsmaterial (kvalitet, pris etc.). För att få mer konkret information om byggnadsteknik och byggnadsmaterial i Libanon skaffade jag mig kontakter i landet. Arkitekten Mazen Al-Rifai och byggnadsingenjör Haitham Solah gav mig information som jag behövde i mitt arbete men inte hittat genom internet- eller litteratursökningar såsom tillgängliga byggnadsmaterial i Libanon, fönster (enkel- eller dubbelglas), samt vilka dimensioner man använder i Libanon för olika byggnadskonstruktioner (vägg tjocklek, grundtjocklek mm). Jag träffade också en representant för ett elbolag för att få en bild av elkostnaderna i Libanon. Med hjälp av denna information genomfördes sedan kostnadsberäkningar, delvis med hjälp av energiberäkningsprogrammet DEROB-LTH.

1.5.4 Ritningar

Eftersom huset jag undersökte saknade ritningar, har jag använt mig av ett ritprogram från Autodesk Revit Architecture för att rita upp huset.

1.5.5 Simuleringar

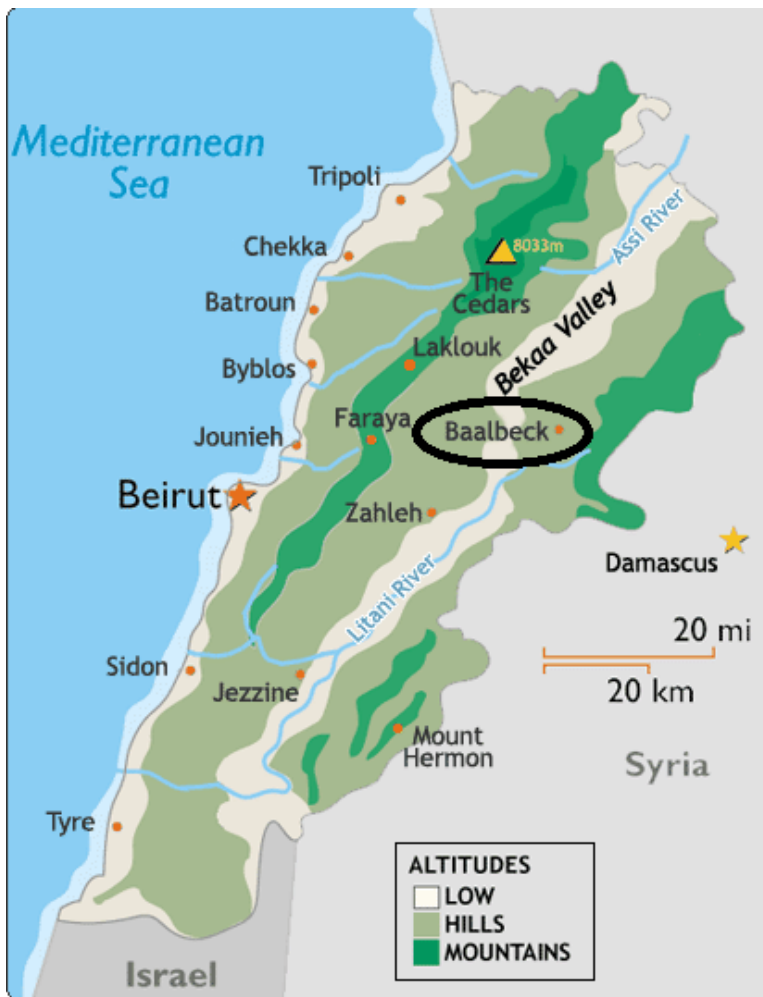
Utifrån ritningarna genomförde jag sedan en simulering av huset med hjälp av energiberäkningsprogrammet DEROB-LTH. DEROB-LTH har ursprungligen skapats vid University of Texas men har sedan utvecklats vidare vid Lunds tekniska högskola.

1.5.6 Kostnadsberäkning med payoff-metoden

Med hjälp av payoff-metoden kunde jag på ett enkelt sätt få reda på hur lång tid det tar för att få tillbaka investeringskostaden.

2 Libanon och Baalbek

2.1 Bakgrund



Figur 2.1 Karta över Libanon [9]

Libanon är ett litet land som ligger i Mellanöstern vid östra medelhavskusten. Landets totala yta är 10452 km² och antalet invånare är ca 4,2 miljoner.[10] Huvudstad är Beirut och ett mångkulturellt samhälle där befolkning består av 84 % libanesiska araber, 9 % palestinier, 6 % armenier, 1 % syrianer, kurder och övriga. Regionen i landet består av 50-60% muslimer och 40-50% kristna. Valuta är 100 lib som motsvarar 0,005 SEK. Språket är arabiska som officiellt språk, andra språk är engelska och franska som är en del av inläring i skolan. Libanon domineras av två klasser, de mycket rika och den fattiga som utgör majoriteten i landet [26].



Figur 2.2 Staden Baalbek [12]

Baalbek eller Heliopolis (solstaden) byggdes av romarna 334 f kr, staden ligger i Bekaaadalen ca 85 km från huvudstaden Beirut på ca 1200 m ö.h. och antalet invånare är ca 72000. [11]

I Baalbek hittar man ruiner från romartiden och här finns de största och mest komplicerade av romarnas byggnader. De byggdes under mer än 150 år men blev trots det inte helt färdigställda. Antalet turister som lockas av de imponerande antika ruinerna blir allt fler och många arkitekter kommer till Baalbek för att studera romarnas ingenjörskonst. Ruinerna skyddas som världsarv. [1]



Figur 2.3 Ruinerna i Baalbek [13]

2.2 Byggnadsteknik i Libanon

Den nutida byggnadstekniken i Libanon är en blandning mellan traditionellt och modernt. Den vackra libanesiska arkitekturen är en produkt av kulturell blandning mellan de inhemska invånarna i regionen, och de arabiska och europeiska nationer som haft en roll i Libanons historia. De traditionella libanesiska byggnaderna påminner om den gamla libanesiska vackra arkitekturen och kulturen, och de valvformade fönstren och dörrarna är en symbol för stolthet över kulturarvet medan materialvalet förknippas med människans relation till naturen och omgivning. [2]

2.2.1 Traditionell byggnadsteknik

För ca 7000 år sedan levde människor i Libanon av jordbruk. De bodde i grottor och lagrade spannmålsskördarna i byggnader av lera. Med tiden flyttade människor till de slätter som nu kallas Bekaa och anledningen var att behovet av odlingsytor hela tiden ökade. Där byggdes de äldsta libanesiska bostadshusen i lera. Jordhusen hade rund eller oval form med låg dörr, små fönster, ventilationsöppningar under taket samt tak byggda av trä och väggar av naturstenar, båda täckta av lera och halm. Med tiden började utformningen av byar med jordhus sprida sig till olika delar av Libanon. Byggarna lärde sig att utöka utrymmena i jordhusen med ett internt system av pelare för att dela upp utrymmet i flera zoner för boende, sovande, matlagning och förvaring för djur.

För mer än 2000 år sedan började man bygga flervåningshus i kalksten. Hustypen kallas Liwanhus och har en välvd öppen portal, vilket leder till inre rum till höger och vänster. Dörrarna till dessa rum är alltid nära de främre hörnen av Liwanhuset och området mellan de två dörrarna är en upphöjd och öppen zon. [2] [18]



Figur 2.4 Liwanhus [15]

Centralhallhuset är en utveckling av Liwanhuset. För att undvika att regnet skulle gå in i huset så stängde man den stora öppningen med valvformade fönster och dörrar samt lade till en balkong. Centralhallhuset har ofta två våningar och en symmetrisk komposition. Denna hustyp blev utmärkande för regionens arkitektur med sin stora utveckling av former i byggandet samt sitt pyramidformade röda tegeltak. [2]



Figur 2.5 Palmyra Hotel i Baalbek byggdes 1874 och är ett av de äldsta hotellen i Libanon [16]



Figur 2.6 Beirut på 1920-talet (ur old Lebanon) [21]

2.2.1.1 Jordhus



Figur 2.7 Jordhus i Bekaadalen, Zahle´[17]

I Libanon associeras jordhus med värme, enkelhet och motståndskraft. Jordhus är en mycket gammal byggnadsteknik där man använder porösa naturstenar, lera blandat med kalk och organiska material oftast halm, samt vatten. Jordhusen i norra Bekaadalen är av den arkitektoniskt mest primitiva stilen. De är kubformade-, och har platta tak konstruerade av trädstammar och kompakterad lera och halm. De rum som finns har flera olika funktioner, ett sovrum kan samtidigt fungera som lager och köket kan innehålla en stor bakugn och kvarn. Jordhusen anses energisnåla, miljövänliga och billiga att leva i. Jordhus har egenskaper som gör att inomhusklimatet är svalt på sommaren men varmt på vintern.

De mycket få jordhus som finns kvar idag byggdes under 1800 talet och har en varierande rektangulär form och mycket stark karaktär. Jordhus är kvarlevor av den gamla byggnadsteknik som förknippas med jordbrukarens, och hantverkarens enkla levnadsmönster samt gamla seder och traditioner. De flesta av de bevarade jordhusen finns i Mount Libanon och i Bekaadalen, särskilt i städerna Fakeha och Baalbek. Man blir förbluffad av att jordhusen har bevarats i hundratals år, utan att påverkas av faktorer som erosion eller olika väder- och miljöförhållanden. Trots den utveckling som ägt rum i Libanon inom bygg och anläggning, hittar man fortfarande människor som bor i jordhus på grund av fattigdom. Dessa människor lever av jordbruk och deras livsstil är opåverkad av urbaniseringen. Fattigdomen har spelat en viktig roll för bevarandet av jordhus i delar av Libanon.[17]



Jordhustaket kräver särskild uppmärksamhet, särskilt på vintern och varje vinter måste taket kompakteras.

Figur 2.8 Kompaktering av taket [17]

Jordhus bör underhållas varje år i början av våren och i slutet av sommaren. Man använder då lerblandning och halm och det är ett hårt arbete för de som fortfarande bor i dessa hus. De som bor i jordhus är förtrogna med metoderna för modernt underhåll och reparation. Det ständiga behovet av restaurering gör att de glömmer fördelarna med att bo i jordhus, de uppfattar ofta betonghus som säkra och bekväma hem. När man byggde jordhus tog man hänsyn till soluppgång och solnedgång och beräknade och designade öppningar för ventilation och belysning, så att man inte behövde tända lampan under dagen. Detta visar att denna hustyp är ekonomisk eftersom man inte behöver köpa olja eller el för att kunna värma upp huset, huset värms upp endast med hjälp av vedeldning vintertid. Man behöver inte heller kyla huset sommartid utan det räcker med den naturliga ventilationen genom fönster. Dessa hus ger alltså ett komfortabelt inomhusklimat vilket är bra för hälsan och dessutom är miljöbelastningen minimal vid både tillverkning, användning och rivning. Sammanfattningsvis är jordhuset unikt eftersom det både är bra för miljön, hållbart, hälsosamt och billigt. Jordhus tillhandahåller god isolering mot både värme och kyla, vilket leder till mindre bortkastad energi. Det har naturligt diffusionsöppna väggar vilket ger möjlighet för fuktvandring genom vägg och minimerar risken för fukt i väggarna.[4]

2.2.2 Modern byggnadsteknik

Under 1920-talet förändrades den libanesiska arkitekturen radikalt då en ny byggnadsteknik och nya material dök upp. Det var då man började använda betong som dominerande byggnadsmaterial vilket ledde till den moderna arkitekturen i landet [18]. Den moderna byggnadstekniken i Libanon skiljer sig ganska mycket från den traditionella både när det gäller arkitektur och material. Det finns också skillnader mellan olika delar av landet när det gäller den moderna byggnadstekniken. När man bygger i Beirut utgår man från ritningar som en arkitekt gjort och från konstruktionsberäkningar gjorda av arkitekten och en civilingenjör, De flesta byggnader i Baalbek är byggda utan hänsyn till akademisk kunskap. Man väljer som regel en duktig byggare som oftast saknar akademisk kunskap men som har lång erfarenhet. Inga ritningar av huset eller konstruktionsberäkningar görs här i förhand utan det räcker med att byggherren beskriver hur huset ska se ut. Byggnadsmaterialen är i princip de samma i hela landet, man använder betong, betonghålsten (olika typer och storlekar för olika konstruktioner), stål och armerad betong. [5]

Kännetecknen för den moderna byggnadstekniken i Libanon är följande:

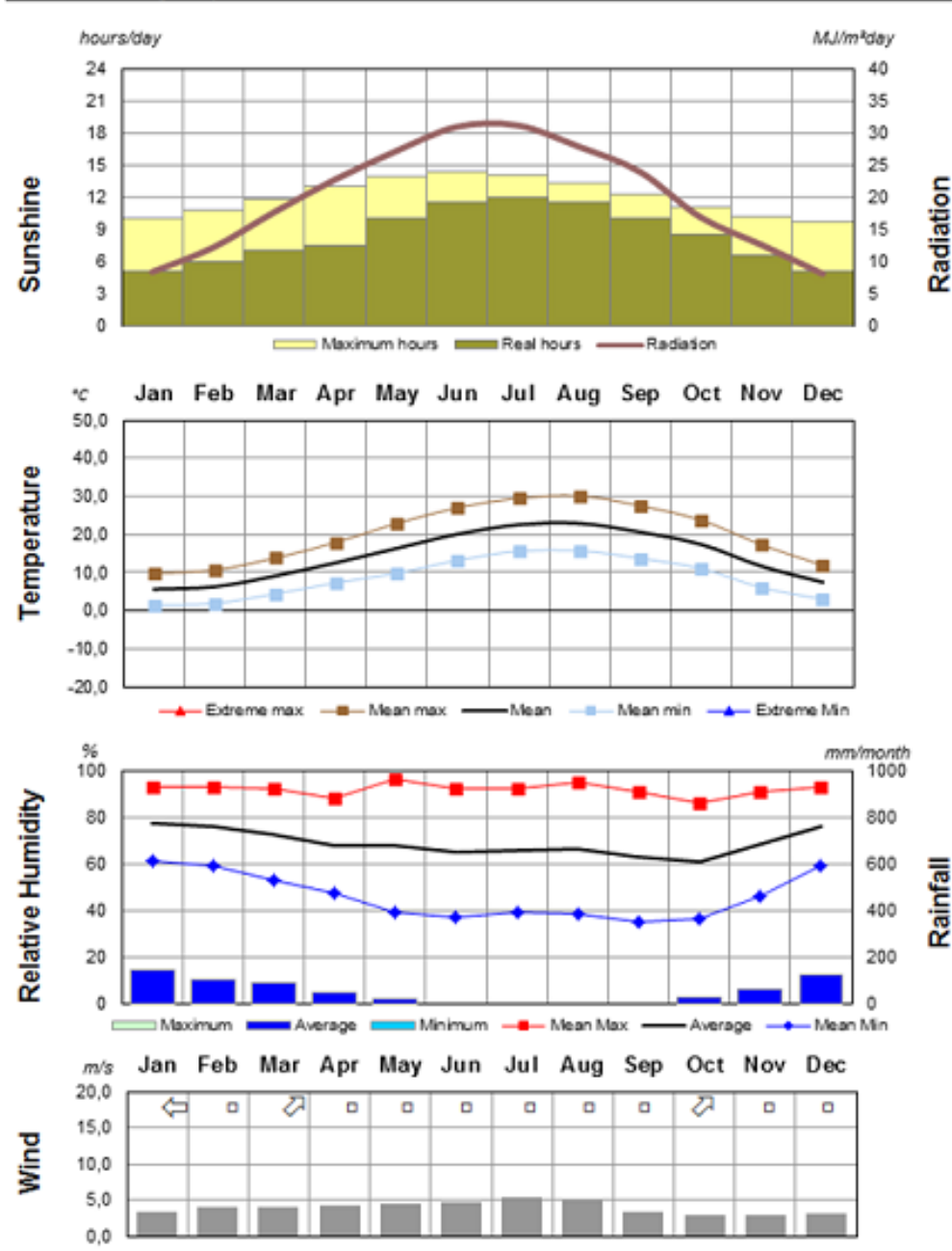
- Tak: Oisolerat, antingen platt eller lutande tak. Platta tak består av armerad betong och betonghålblock. Lutande tak är ofta tegeltak.
- Väggar: Block av betonghålsten med en tjocklek på 15-20 cm med puts på insidan och utsidan. Fasadbeklädnaden är ofta natursten, som t.ex. sandsten, kalksten eller granit.
- Fönster: Enkelt glas med aluminiumramar är dominerande i hela landet, men även dubbelglas börjar dyka upp i vissa stora byggnader typ kontor och hotell.



Figur 2.9 Modernt hus för höginkomstfamilj i Baalbek

2.3 Klimatet

Klimatet i Libanon varierar med höjden och påverkas av vindriktningen. Vid kusten är klimatet typiskt för Medelhavet med varma, fuktiga somrar och milda vintrar med varma dagar och svala kvällar. Bergsregionen i Libanon kännetecknas av varma somrar med lägre fuktighet än vid kusten och kalla vintrar med nederbörd och snö. Baalbek som ligger i norra Bekaadalen, har ca 300 dagar solstrålning under året. Klimatet kännetecknas av riktigt varma torra somrar, kalla vintrar och stora temperaturvariationer mellan dag och natt. De varmaste månaderna är juli och augusti och från juni till september faller ingen nederbörd. De kallaste månaderna är december, januari och februari. Under december till mars faller ca 80 % av årets nederbörd, vilken är 20 cm och snöfallet är som störst i januari och februari.[14] Figur 2.10 visar klimatet i Rayak nära Baalbek. Eftersom det inte fanns klimatdata för Baalbek använde jag data Rayak som har ett liknande klimat.



Figur 2.10 Klimat-statistik över Rayak, nära Baalbek. [27]

3 Byggnadsutformning med hänsyn till klimatförhållanden

I detta avsnitt presenteras dels hur klimatförhållandena påverkar den termiska komforten inomhus, dels vilken utformning av byggnaden som bäst tar tillvara på och hanterar dessa klimatförhållanden. Här förklaras begreppet klimatskärm och ges en översiktlig bild av hur val av byggnadsmaterial påverkar byggnadens klimatskärm samt hur den termiska komforten påverkas av otät klimatskärm och hur denna i sin tur påverkar oss människor på ett negativt sätt.

3.1 Faktorer som påverkar inomhusklimatet

Inomhusklimatet påverkas av olika faktorer men de viktigaste är omgivning (byggnader, vegetation och skuggning), geografisk placering, orientering och utformning (volym, form, tak etc.).

Omgivning: Byggnadens omgivning har stor påverkan på inomhusklimatet. Inomhusklimatet påverkas av alla element som omvandlar det regionala klimatet till ett specifikt klimat såsom topografi, omgivande byggnader, vegetation och vatten. När man bygger bör därför t.ex. beakta vissa vindar, skapa bra skuggning samt rätt utnyttja solen.

Orientering: Orienteringen av en byggnad påverkar både infallande solstrålning och ventilation och därmed inomhuskomforten. Det är viktigt att orientera byggnaden i enlighet med dominerande vindar i området då luftrörelser kan behövas för att erhålla komfort. Det är viktigt med orientering i förhållande till solen beroende på om man vill släppa in eller stänga ute solen.

Ventilation: Termisk komfort, strukturell värme/kyla, hälsa och avfuktning förvärfas av god ventilation. Man kan styra luftrörelser till vistelsezonen genom placering av öppningar för inlopp och utlopp av luft, vilket påverkar lufthastigheten genom tvärdrag och på så vis bidrar till termisk komfort. Ventilationsflödet påverkas även av omgivningen såsom byggnader och vegetation. [6]

Tvärdrag påverkas av väggöppningar på följande sätt [6]:

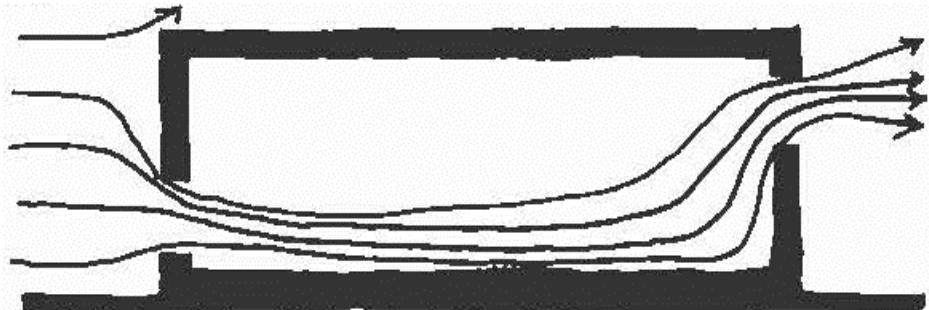
1. Höga inlopp och utlopp ger inga luftrörelser på kropps nivå



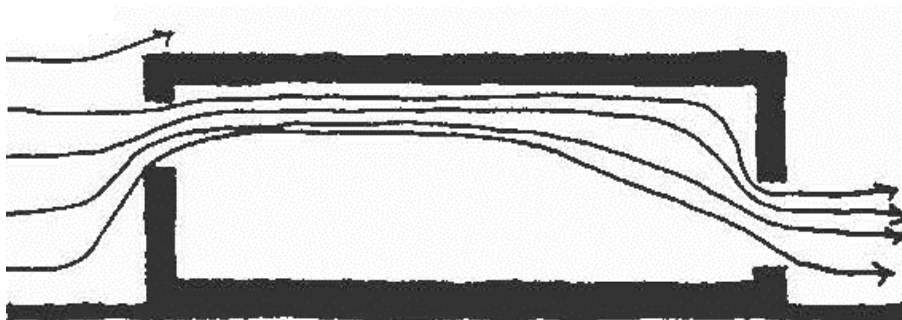
2. Låga inlopp och utlopp skapar luftrörelser som kyler kroppen.



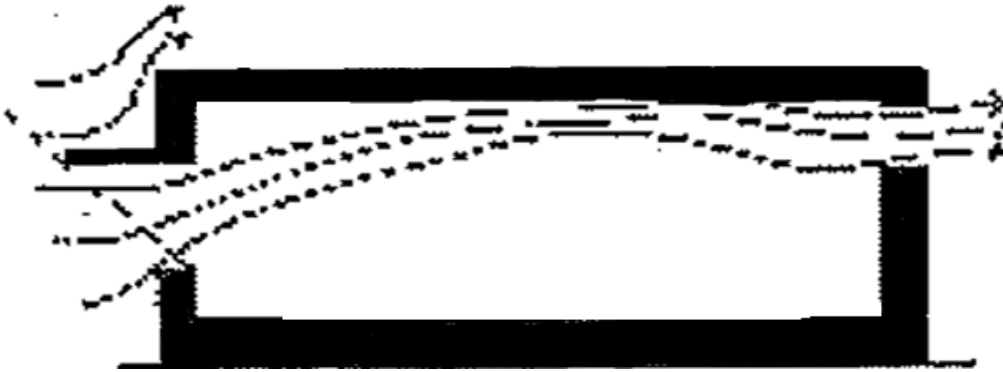
3. Lågt inlopp och högt utlopp skapar en låg luftrörelse.



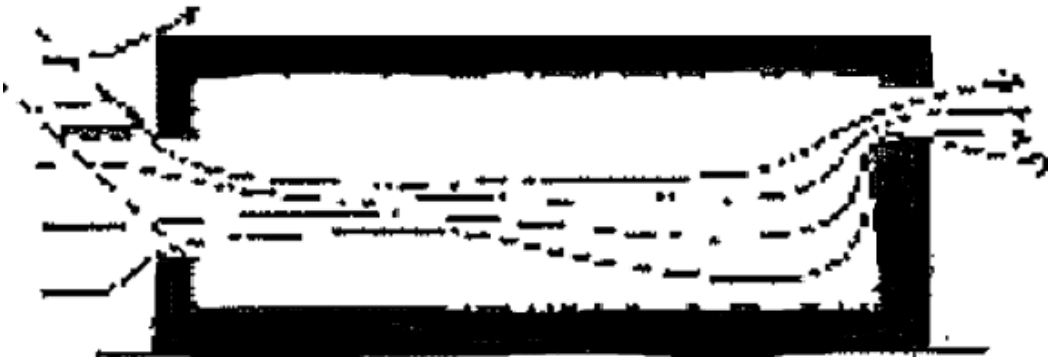
4. Högt inlopp skapar ett luftflöde i takhöjd vilket knappast påverkas av ett uttag på låg nivå.



5. Solskydd ovanför ett inlopp skapar ett uppåtgående luftflöde i rummet.



6. En springa mellan vägg och solskydd resulterar i ett lägre luftflöde.



3.2 Byggnaders klimatskärm och byggnadsdelar

Byggnadens klimatskärm motsvarar alla byggnadsdelar som avskiljer inomhus från utomhus, d.v.s. tak, golv och ytterväggar men även fönster och ytterdörrar. Värme som läcker ut genom klimatskärmen utgör en stor del av byggnadens värmeförlust. För att hålla värmen inne i huset ska klimatskärmen vara så effektiv som möjligt. Val av byggnadsmaterial påverkar klimatskärmens effektivitet. Med välisolerade ytterväggar och tak, energieffektiva fönster med lågt U-värde och väl tätade fönsterkarmar och -bågar samt ytterdörrskarmar, kan man minska värmetransporten ut ur byggnaden.

För att beskriva hur energieffektivt ett fönster är använder man sig av U-värde. U-värde anger värmeförlusterna genom en klimatskärm, ett mått som visar byggnadens isolerande förmåga och mäts i W/m^2K . Ju lägre U-värdet är desto bättre isolerar

fönstren. Om det är en grad kelvin temperaturskillnad mellan ute och inne så innebär ett U-värde på 2,0 att det är 2,0 Watt per kvadratmeter som går ut genom byggnadsdelen.

3.2.1 Fönster

Tekniskt är fönster en viktig del av en byggnad eftersom de släpper in dagsljus och solvärme, fungerar som ljuddämpare och skyddar mot vind och regn. Fönster ska vara så energieffektiva som möjligt för att ge önskad inomhuskomfort. Byggnadens inomhusklimat och energianvändning påverkas av vilken typ av fönster en byggnadskonstruktion har. För att hela fönstret ska vara så energieffektivt som möjligt ska karm och båg vara väl tätade och på så vis hindra köldbryggor. Fönsterplacering ska göras med hänsyn till solinstrålning och ventilation.

Man beräknar ett fönsters U-värde enligt följande:

- U-värde för ett enkelglasfönster beräknas enligt ekvationen:

$$U=1/R_{si}+R_{glas}+R_{se} \text{ (W/m}^2\times\text{K)}$$

där: R_{si} = värmeövergångsmotstånd på insidan ($\text{m}^2\times\text{K/W}$)

R_{se} = värmeövergångsmotstånd på utsidan ($\text{m}^2\times\text{K/W}$)

(Enligt Boverkets Byggregler räknas med $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\times\text{K/W}$ och $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\times\text{K/W}$).

$$R_{glas}=d/\lambda \text{ (värmemotstånd) (m}^2\times\text{K/W)}$$

där: d = glasets tjocklek (m)

λ = värmekonduktivitet ($\text{W/m}\times\text{K}$)

(Värmemotståndet är så lågt att den ofta försummas)

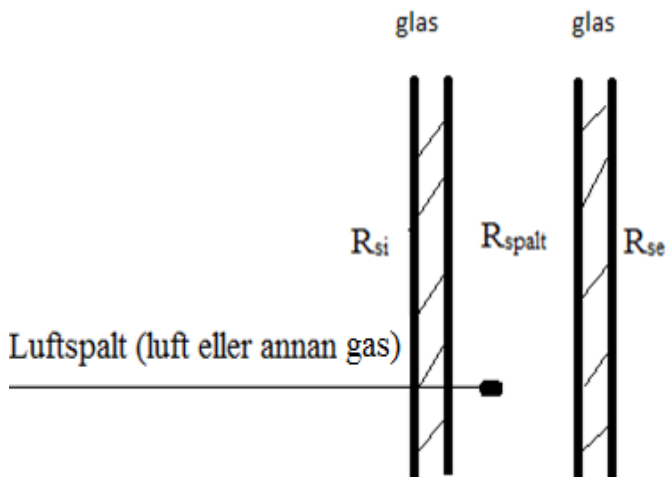
- U-värde för ett tvåglasfönster beräknas enligt ekvationen:

$$U=1/R_{si}+R_{spalt}+R_{se} \text{ (W/m}^2\times\text{K)}$$

där: $R_{spalt}=1/\alpha_s+\alpha_{kl}$ ($\text{m}^2\times\text{K/W}$)

α_s = värmeöverföringskoefficient p.g.a. strålning ($\text{W/m}^2\times\text{K}$)

α_{kl} = värmeöverföringskoefficient p.g.a. konvektion och ledning ($\text{W/m}^2\times\text{K}$)



Figur 3.1 Värmemotstånd i ett tvåglasfönster

- U-värde för ett treglasfönster beräknas enligt ekvationen:

$$U = 1 / (R_{si} + 2R_{spalt} + R_{se}) \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Ett enkelglasfönster har ett mycket högt U-värde, (ca 5,8 W/m²K) vilket ger dålig isoleringsförmåga, tvåglasfönster har lägre U-värde, (ca 2,9 W/m²K) medan treglasfönster har det lägsta U-värdet vilket ger den bästa isoleringsförmågan (ca 1,9 W/m²K). [8]

3.2.2 Ytterväggar

Ytterväggarna utgör den största delen av byggnadens klimatskärm som åtskiljer inomhus- från utomhusklimat. Ytterväggar indelas efter bärande komponent och fasadbeklädnad. Den bärande komponenten kan bestå av: träregelvägg, plåtvägg, tegelvägg, lättbetongvägg och betongvägg. Ytterväggar ska uppfylla olika funktionskrav såsom att skydda mot vind, regn, vara lufttät, fuktsäker och ha en bra värme- och ljudisolerings förmåga.

I länder med kalla klimat ska man isolera ytterväggar för att hindra att värmen läcker ut genom fasaden, medan man i länder med varma klimat ska isolera för att hindra värmen utomhus från att tränga in inomhus.

3.2.3 Tak

Att hindra värmeförlusterna genom tak är väldigt viktigt. Ett välisolerat tak bidrar till att skapa ett behagligt inomhusklimat då huset blir varmare under kalla vintrar och svalare under varma somrar. Med otillräckligt värmeisolerade - eller oisolerade- tak blir värmeförlusterna mycket stora. För att hindra att värmen försvinner genom taket

ska taket vara välisolerat. Detta innebär en stor investering men den är lönsam på sikt då den medför lägre energianvändning för såväl uppvärmning som kylning.

3.3 Termisk komfort

Människors hälsa påverkas mycket av inomhusmiljön eftersom vi i genomsnitt tillbringar 90 % av livet inomhus och bara 10 % utomhus [7]. Vår koncentration och prestationsförmåga påverkas av stora variationer i temperatur. Hur vi människor reagerar på inomhusmiljön beskrivs med begreppet termisk komfort. Termisk komfort beskriver alltså hur vi människor upplever inomhustemperaturen och vilken temperatur vi upplever som behaglig och bekväm. Upplevelsen av termisk komfort varierar från individ till individ.

Människan avger värme till sin omgivning genom [7]:

Konvektion: Värmetransport från kroppen till omgivande luft, (ca 40 %).

Strålning: Värmetransport från kroppen till omgivande ytor, (ca 40 %).

Ledning: Värmetransport från kroppen till omgivande ytor genom direkt kontakt, (nästan försumbar).

Avdunstning: Värmetransport genom utandning och svettning, (ca 20 %).

Hur vi människor upplever termiska klimatet beror på lufthastighet, lufttemperatur, omgivande ytors temperatur, och luftens fuktighet men även på människans klädsel och aktivitet.

3.4 Rekommenderad byggnadsdesign i Baalbek

Problem med termisk komfort i inomhusmiljö finns i nästan alla byggnader i Baalbek, där inga krav ställs på den termiska komforten inomhus vid byggnationer. Den termiska komforten påverkas negativt av en otät klimatskärm. 100 % av byggnaderna i Baalbek saknar någon form av täthet i klimatskärmen. Som jag nämnde i avsnitt 2.3 är klimatet i Baalbek väldigt varmt under sommaren och kallt under vintern. På grund av den otäta klimatskärmen så känns det obehagligt att befinna sig inomhus både på vintern och sommaren.

Klimatanpassad design har stor inverkan på byggnadens prestanda och energiförbrukning. Med klimatanpassad design bidrar man till att minska energikostnaderna för en byggnad. Med detta medföljer en hälsosam miljö för oss människor.

För att förbättra inomhusklimatet för byggnader i Baalbek med hänsyn till byggnadsutformning utifrån klimatförhållanden rekommenderas följande åtgärder:

Orientering: Det är viktigt att orientera huset efter solen. För att vintersol ska kunna värma upp byggnaden bör små fönster orienteras mot norr och stora fönster mot söder. För att begränsa sommarens solstrålning in i byggnaden på morgonen och sena eftermiddagen är det viktigt med solskydd antingen genom taköverhäng, träd eller dyl.

Form: För att skapa ett behagligt inomhusklimat bör byggnaden ha en kompakt utformning. På så sätt minimeras dels exponering för sol under sommaren dels värmeförluster under vintern. Detta minskar byggnadens energibehov.

Omgivning: För att stänga ute solstrålningen på sommaren är det viktigt att maximera skuggning på förmiddagen och hela eftermiddagen. Justerbar skuggning är bra för att hindra solinstrålning på varma somrar och skapa möjlighet till solinstrålning på vintern. På grund av den stora skillnaden mellan sommar- och vintertemperaturen är det lämpligt med lövträd runt huset, detta kommer att ge skugga på sommaren och tillåta solinstrålning på vintern.

Ventilation: För att förbättra inomhusklimatet dagtid under sommaren kan nattventilering av huset tillämpas. Den svala natt luften kyler den inre strukturen och byggnaden förblir sval under dagtid om fönster och dörrar är stängda. Kombinerat, med golv- eller takfläktar kan detta ge ett bättre inomhus klimat.

Material: På grund av den stora temperaturskillnaden mellan dag och natt, bör huset ha stor intern massa för värmelagring medan husets yttre skal bör vara lätt och isolerande, framförallt taket. För att minska värmeförlusterna genom drag bör klimatskärmen vara lufttät. För att minska värmeförlusterna genom väggar och tak är det viktigt med värmeisolering.

Dessa rekommendationer är delvis baserade på Rosenlund [6].

4 Klimatanpassning av ett typiskt hus i Baalbek

I detta kapitel presenteras ett typiskt hus i Baalbek med fokus på parametrarna byggnadsmaterial, orientering samt klimatskärm för att ge förslag på förändringar som kan leda till en lägre energiförbrukning för uppvärmning och kylning. Detta hus har valts eftersom det är representativt för den typ av hus som byggs idag.



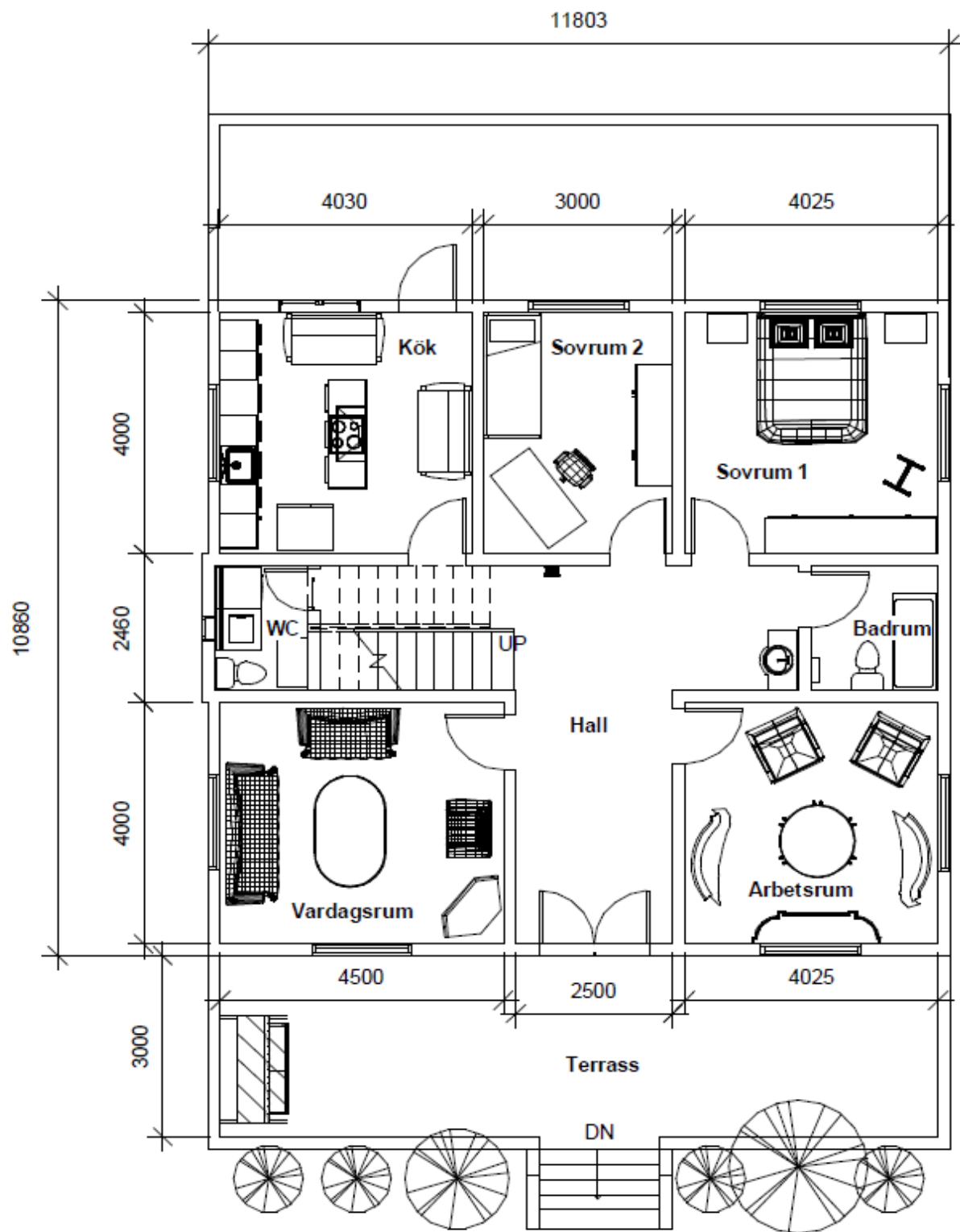
Figur 4.1 Typiskt hus för medelinkomstfamilj i Baalbek och denna studies undersökningsobjekt

4.1 Beskrivning av den studerade byggnaden

Huset är ett enplanshus med en rektangulär plan. Bostadsarean är ca 128 m² (11,80 m*10,86 m) med ett kök, ett arbetsrum, ett vardagsrum, två sovrum, ett badrum och en hall. Se tabell 4.1. Takhöjden är 3 m förutom för wc där höjden är 2 m och i trappan där höjden är 5,5 m. Antal boende i huset är 5 personer, två vuxna och tre barn. Figur 4.2 visar husets planlösning samt mått. Trappan i ritningen leder upp till takterrassen.

Tabell 4.1 Arean för rummen i huset

Rum	Area/ m ²
Vardagsrum	18
Arbetsrum	16
Sovrum 1	12
Sovrum 2	16
Köket	16
Badrummet	4
WC	3



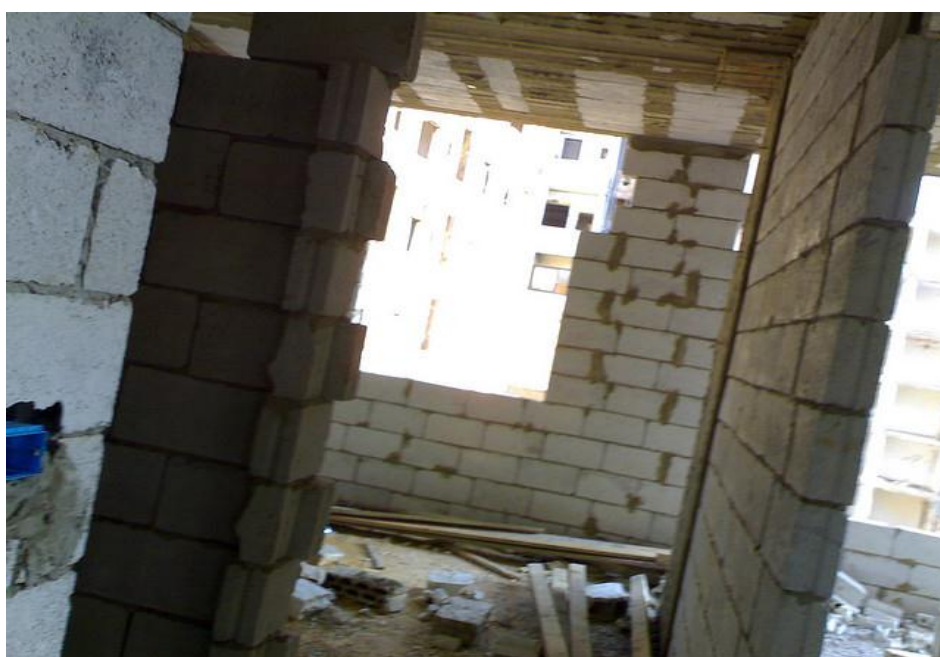
1 Level 1
1 : 100

Figur 4.2 Husets planlösning

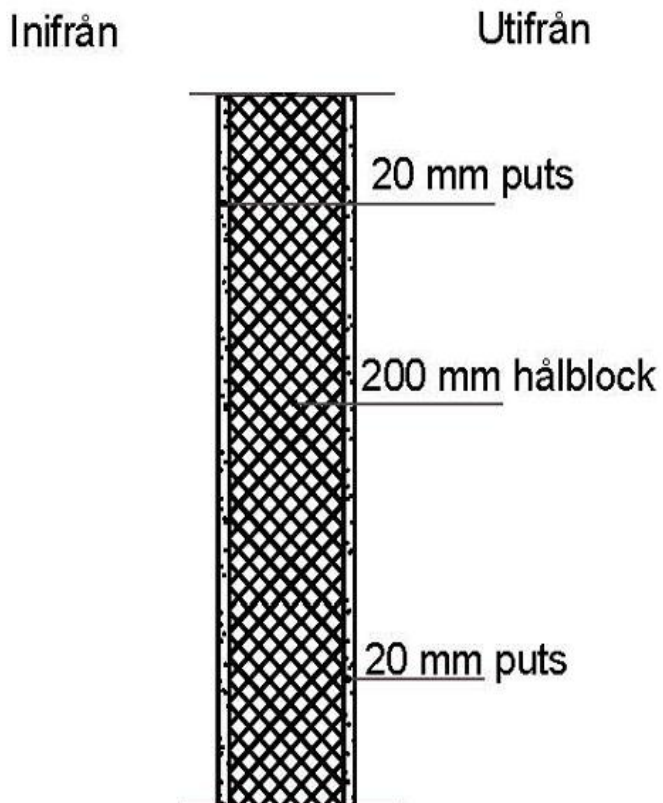
4.2 Husets klimatskärm

Husets klimatskärm är otät och ingen form av isolering har använts. Huset har en bärande betongstomme. och består av följande byggnadsdelar:

- Grundläggning: som grundkonstruktion har man betongplatta på mark. Detta är vanligast för bostadshus och plattan gjuts vanligen på plats.
- Ytter- och innerväggar: Ytter- och innerväggar är byggda av betonghålststen med tjocklek 200 mm som är putsad (ca 2cm) på insidan och utsidan.



Figur 4.3 Illustration av typisk innerväggkonstruktion av betonghålststen



Figur 4.4 Yttervägg konstruktion

- Tak: För taket har en annan typ av betonghålstén med 140 mm höjd med ovanpåliggande 110 mm platsgjuten armerad betong använts. Takets sammanlagda tjocklek är ca 250mm.
- Fönster: Består av ett enkelglasfönster som är 6mm tjockt med aluminiumramar. Det släpper in solstrålningen vilket medför över temperatur av huset sommartid samt stora värmeläckage vintertid när behovet av värme är som störst. För att skydda mot inbrott är fönsteröppningen försedd med ett galler av armeringsstål.
- Ytterdörrar: Har en stomme av stål och glasruta, se figur 4.5.



Figur 4.5 Det studerade husets ytterdörr.

4.3 Värme- och kylsystem

För att värma upp huset under vinterperioden används ett oljedrivet värmesystem. I hela huset finns det två oljedrivna värmesystem, ett i köket och ett i vardagsrummet. Värmesystemet i köket används mer än det i vardagsrummet eftersom de boende under vintertid brukar tillbringa mycket tid i köket medan värmesystemet i vardagsrummet används enbart när gäster kommer på besök. Under natten stängs värmesystemet av för att undvika skador och dålig oljelukt som skadar hälsan. Vintern 2011 var kostnaden för oljeförbrukningen 2500\$ (ca 16300kr). För att kyla huset under sommarperioden har de boende i huset ett luftkonditioneringssystem (AC) i vardagsrummet. I övriga rum används en golvfläkt för att skapa luftrörelse som i sin tur ökar den påtvingade konvektionen. Detta bidrar till ett behagligt inneklimat samt drar mindre el än luftkonditioneringen.



Figur 4.6 Det oljedrivna värmesystemet.

4.4 Ventilation

Ingen form av mekaniskt ventilationssystem förekommer. Huset ventileras med så kallad naturlig ventilation där man utnyttjar vinden för att styra luftflödet genom att öppna och stänga husets fönster och dörrar. Under sommaren öppnar man fönster för att kyla huset. Under vintern stänger man fönster för att hålla huset varmt och fönster öppnas endast vid vissa tider under dagen när man vill föra bort lukt och skapa en frisk luft.

4.5 Klimatanalys

För att ta fram ett preliminärt förslag för förbättring av klimatskärmen har jag använt mig av Mahoney- tabellerna och Givoni- diagrammet. Indata i dessa beräkningar är klimatdata för staden Baalbek.

4.5.1 Mahoney-tabellerna

Mahoney- tabellerna utgår från klimatdata för ett specifikt område och hjälper till att i ett tidigt projekteringsstadium ge riktlinjer för en klimatanpassad design.

Jag använde mig här av klimatdata för staden Rayak som har ett klimat liknande det i Baalbek. Värdena är månadsmedelvärden för faktorerna: min- och max lufttemperatur, solstrålning, relativ fuktighet, regn och vind. Utifrån dessa värden fick jag av tabellen de nödvändiga rekommendationerna vad gäller husets utformning i staden Baalbek, såsom orientering, fönsterplacering och öppningsstorlek, tak och ytterväggs utformning (se bilaga 3).

4.5.2 Givoni – diagrammet

Givoni-diagrammet är ett Mollierdiagram som består av månadsmedelvärden för min- och maxtemperatur samt min-och max för relativ fuktighet. I Givoni-diagrammet jämförs det aktuella klimatet med en komfortzon vars gränser ligger mellan temperaturerna 18 och 25 °C och mellan de relativa fuktigheterna 20 och 80%.

För Baalbek visar Givoni-diagrammet att vintern är ett större problem än sommaren. Givoni-diagrammet tar dock inte hänsyn till, den mycket starka solstrålningen. De kallaste månaderna är januari och februari då temperaturen ligger mellan 1,4 -10,6 °C, och här krävs uppvärmning för att förbättra inomhusklimatet. Under månaderna maj, juni, september och oktober varierar komforten inomhus. Här uppnås komforten under dagen medan internvärme (värmestillskott av människor, hushållsapparater ,etc.) är

tillräckligt under natten. Under månaderna juli och augusti behöver man någon form av ventilation (se bilaga 4).

4.6 Resultat från enkät om inomhusklimat och energianvändning

Enkäten som fyllts i av 20 boende i Baalbek (se bilaga 2) visar tydligt att vinterperioden upplevs som mer problematisk än sommarperioden när det gäller inomhusklimat. För att man ska skydda sig mot kylan under vintern (från oktober till februari) använder alla sig av ett värmesystem som drivs av olja. De höga oljekostnaderna upplevs som en stor ekonomisk börda. Månadskostnaden är ca 500 dollar (ca 3500 kr) under december, januari och februari och ca 250 dollar under oktober och november. Kostnaderna är så höga trots att alla boende stänger av systemet innan de somnar för att undvika skador och dålig oljelukt som skadar hälsan. Trots att ett oljedrivet värmesystem inte ger den värme man behöver för att få en behaglig inomhusmiljö, och är ett väldigt dyrt och hälsofarligt system, är det enligt de boende det bästa alternativet man kan välja. El är ett mycket dyrare alternativ som inte heller är tillgängligt under hela dygnet för hushåll i Libanon.

5 Simulering av inomhusklimat och energiförbrukning

Jag studerade husets inomhusklimat och energiförbrukning med hjälp av simuleringsprogrammet DEROB-LTH.

5.1 DEROB-LTH

Programmet DEROB-LTH används för att simulera inomhusklimat och ger möjlighet att utvärdera de förslag jag valt för optimering av huset. Med hjälp av DEROB-LTH kunde jag studera inomhustemperaturen i olika situationer, husets energianvändning och energibehov samt hur olika byggnadsmaterial, färg, solinstrålning, solavskärmning, byggnadsorientering, fönstertyper etc. påverkar husets inomhusklimat och energiförbrukning.

5.2 Simuleringsmodell

Modellen byggde jag i programmet med avgränsning på två volymer där alla husets innerväggar utelämnats, förutom kökets innervägg. Husets trappa har också utelämnats. Detta gör att den simulerade energiförbrukningen för uppvärmning blir något mindre än i verkligheten.

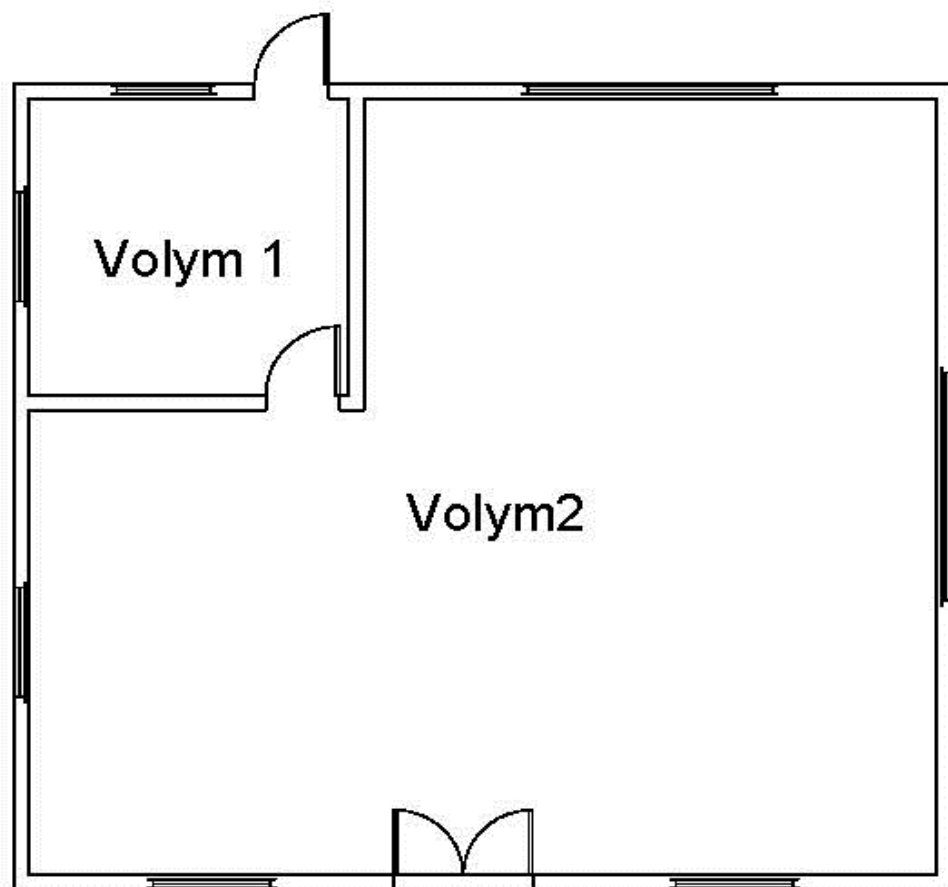
- Volym 1 omfattar köket där familjen tillbringar mycket tid.
- Volym 2 omfattar övriga rum i huset.

Anledningen till denna indelning är att familjen vistas i köket (volym 1) för det mesta under vintern. Se figur 5.1.

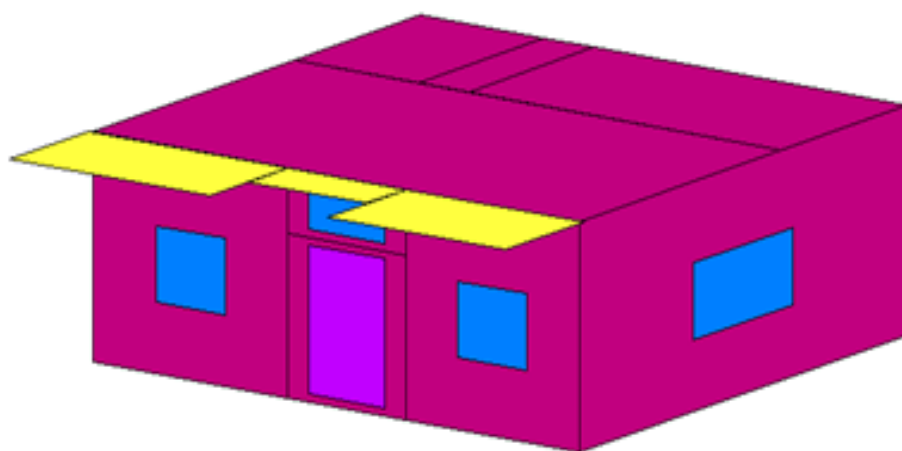
Denna förenkling har en mycket liten inverkan på slutresultat men förenklar beräkningarna. Som indata användes:

- Klimatdata för Baalbek, där hänsyn togs till medelvärden för kallaste och varmaste månaderna under året (juli och januari).
- Använda byggnadsdelar för tak, grund och väggar samt byggnadsmaterialens fysikaliska egenskaper (densitet, värmekonduktivitet och specifik värmekapacitet) och färg.
- Övriga byggnadskomponenter: dörrar, olika typer av fönster, olika typer av solavskärmning.
- Ventilation, värmealstring av boendes aktivitet och från utrustning i huset som kylskåp och spis etc.

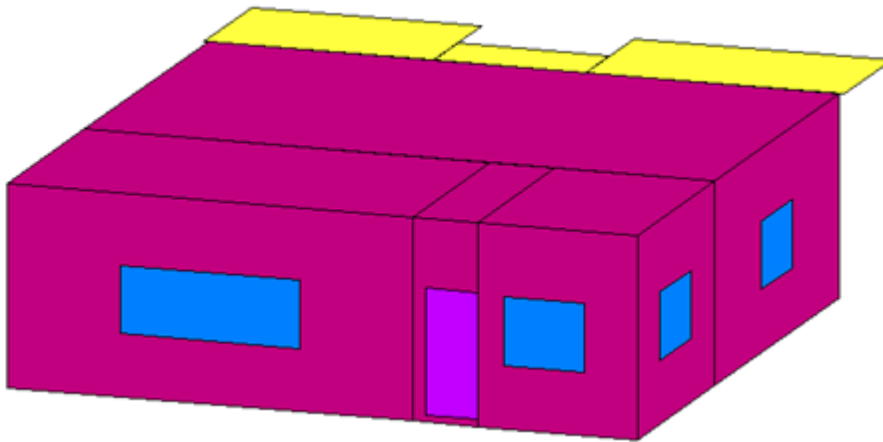
Se modellen i figurerna 5.2 och, -5.3



Figur 5.1 Simuleringsmodell: husets planlösning. Volym 1 = köket, volym 2 = övriga rum



Figur 5.2 Simuleringsmodell: grundfall, framsida (i DEROB-LTH)



Figur 5.3 Simuleringsmodell: grundfall, baksida (i DEROB-LTH)

5.3 Grundfall

Simuleringarnas grundfall utgör en modell av det existerande huset. Husets byggnadsdelar, inklusive U-värden, samt de ingående materialens termiska egenskaper visas i Tabell 5.1.

Husets värmetillskott i form av värmealstring från boendes aktiviteter vid olika tider och apparater i huset (kyl, frys, spis) för sommar och vinter (visas i tabell 5.2 och 5.3 samt i figur 5.2 och 5.3). Under perioden 1/10-30/4 d.v.s. under den tid då en uppvärmningskälla används, antog jag att innetemperaturen i volym1 (köket) var 20°C. Under perioden 1/5-30/9 antog jag att innetemperaturen i volym 2 var till 21°C på grund av användning av luftkonditioneringssystem (AC) från kl. 11-17 då fönster och dörrar är stängda. Jag antog dock att det är 1 % öppna fönster för att simulera en otät klimatskärm.

Grundplatta	Skikt (mm)	λ (W/m K)	C (Wh/kg K)	ρ (kg/m³)	U-värde (W/m² °C)
	20 klinker	0,5	0,2	1300	
	400 Btg.	1,7	0,24	2300	
					2,246
Tak					
	50 Btg.	1,7	0,24	2300	
	140 hållblock	0,91	0,25	1200	
					2,574
Ytterväggar					
	20 Puts	0,93	0,29	1800	
	200 hållblock	0,91	0,25	1200	
	20 Puts	0,93	0,29	1800	
					2,311
Dörrar					
	Stål	40	0,14	7800	5,878
Enkel-glas fönster					5,88

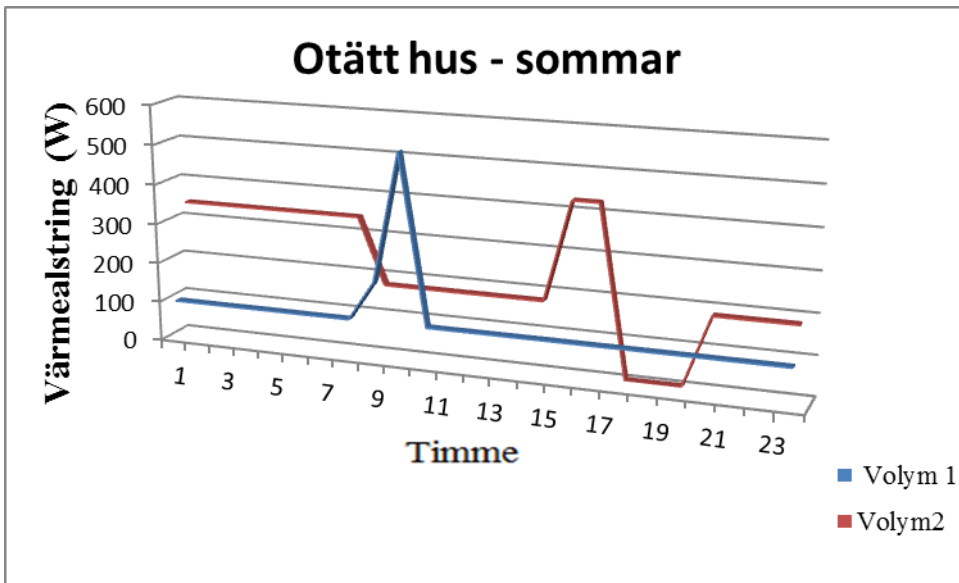
Tabell 5.1 U-värden för grundfallets klimatskärm (före förbättringar) samt egenskaper för de ingående byggnadsmaterialen

Sommar-otätt hus				
	Klockslag	Värmetillskott (W)	Luftomsättning (oms/h)	Öppna fönster (%)
Volym 1	1 - 8	100	17	10 %
	9	200	20	10 %
	10	525	22	10 %
	11 - 24	100	22	10 %
Volym 2	1 - 8	0	21	10 %
	9 - 10	0	21	10 %
	10 - 15	175	26	10 %
	16 - 17	425	26	10 %
	18 - 20	0	21	10 %
	21 - 24	180	17	10 %

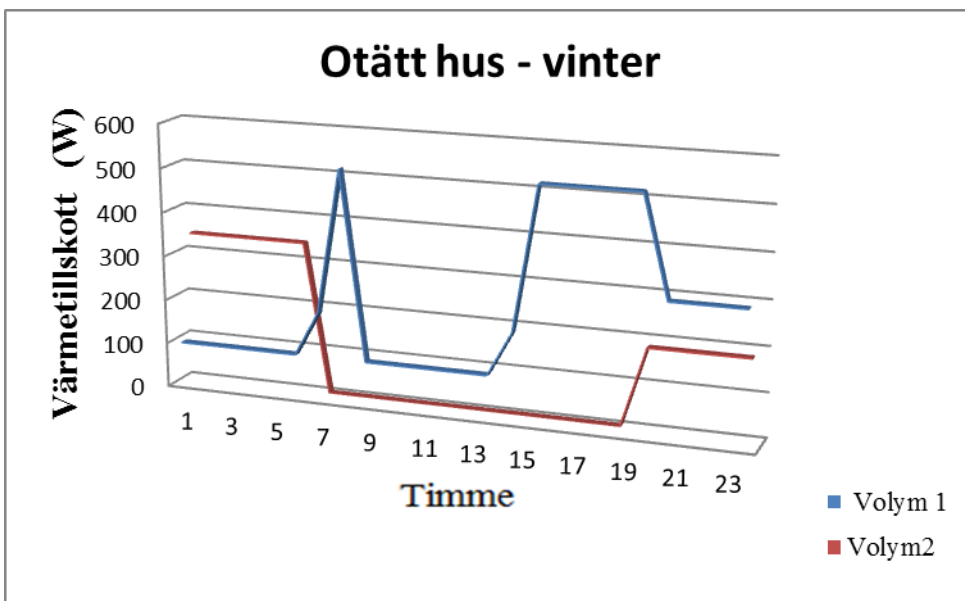
Tabell 5.2 Antagna värden på värmetillskott och luftomsättning (sommar, grundfall)

Vinter-otätt hus				
	Klockslag	Värmetillskott (W)	Luftomsättning (oms/h)	Öppna fönster (%)
Volym 1	1 - 6	100	2,6	2
	7	200	5,7	5
	8	525	2,5	2
	9 - 14	100	2,8	2
	15	200	3,3	2
	16 -18	525	3,5	2
	19	525	7,7	5
	20	525	2,8	2
	21 - 24	300	2,7	2
	Volym 2	1 - 6	340	2,5
7		0	3,3	5
8-18		0	3,1	2
19		0	7,7	5
20 - 24		180	2,7	2

Tabell 5.3 Antagna värden på värmetillskott och luftomsättning (vinter, grundfall)



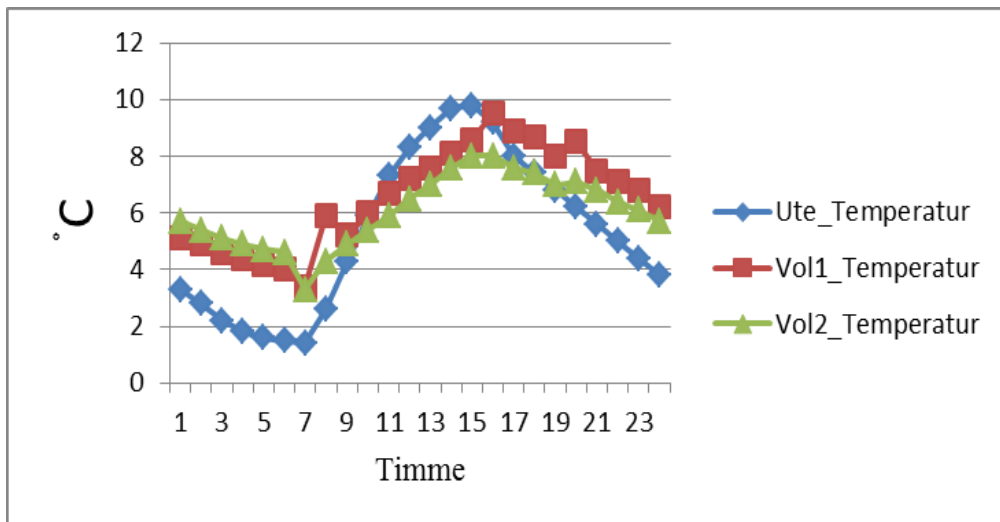
Figur 5.4 Antagna värmealstringsvärden i huset under sommaren



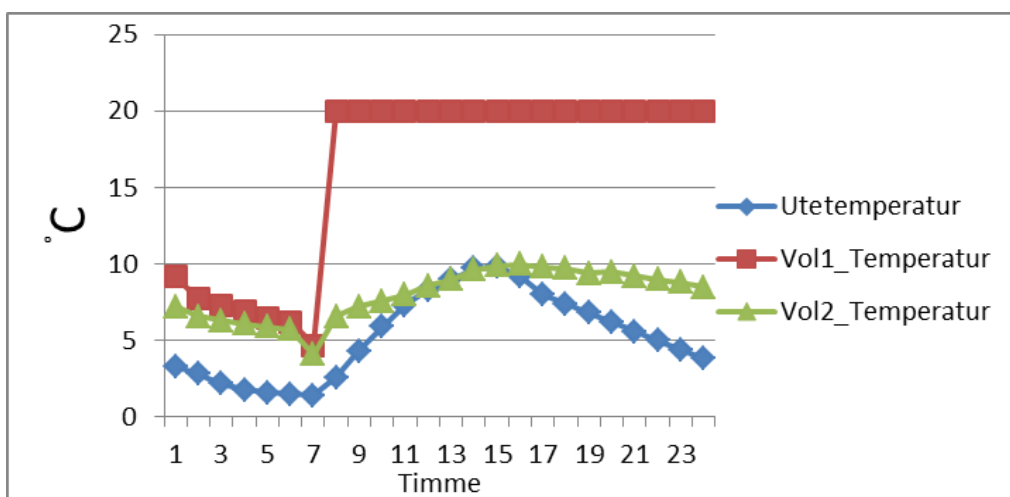
Figur 5.5 Antagna värmertilskottsvärden i huset under vintern

5.4 Resultat

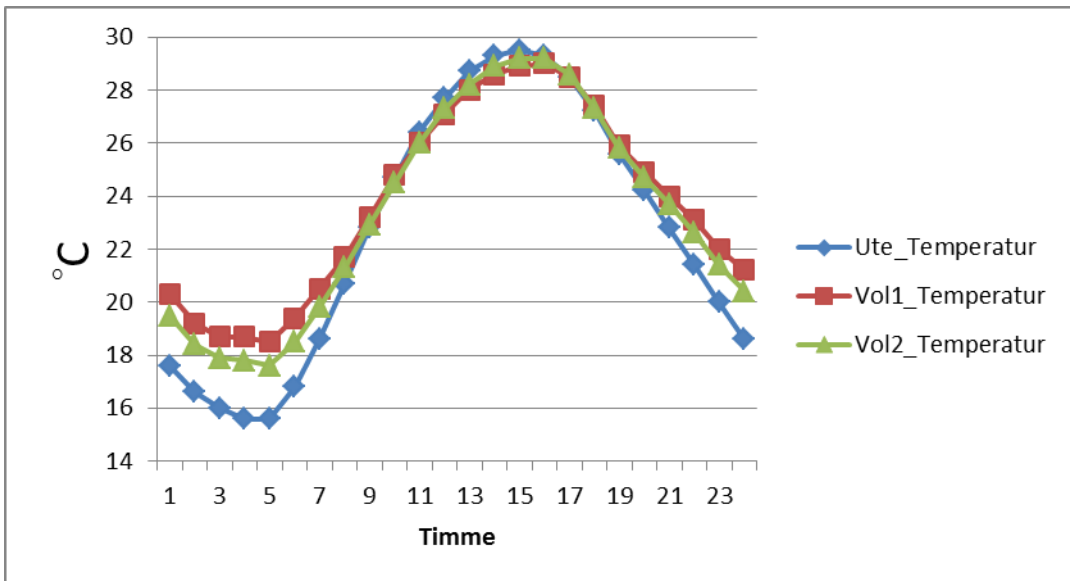
Simuleringar av huset i grundfallet har gjorts för sommar- och vinterperioderna. Två olika simuleringar har gjorts för att få fram husets temperaturvariationer i förhållanden till utetemperatur. I den första simuleringen uteslöts husets värme- och kylsystem (passiv byggnad) och i den andra innefattades husets värme- och kylsystem. Figurer nedan visar följande resultat:



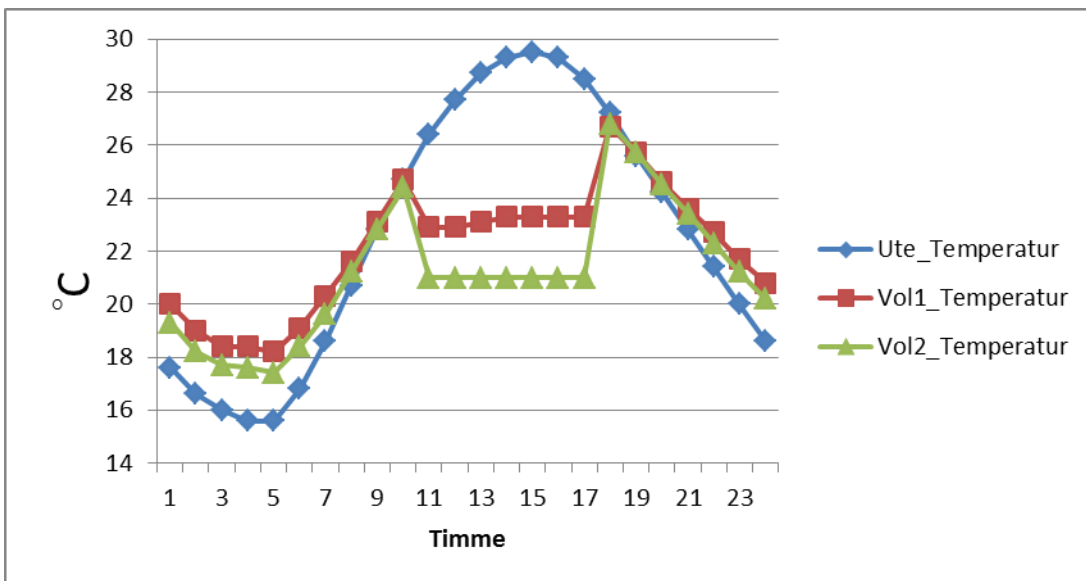
Figur 5.6 Husets temperaturvariation i mitten av januari månad (utan uppvärmning).



Figur 5.7 Husets temperaturvariation för en typisk dag i januari månad (med uppvärmning till 20 °C i köket (volym 1) mellan kl. 8 och 24).



Figur 5.8 Husets temperaturvariation för en typisk dag i juli månad (utan kylning).



Figur 5.9 Husets temperaturvariation för en typisk dag i juli månad (med kylning till 21°C i volym 2).

6 Förslag till förbättringar för befintligt hus

6.1 Föreslagna förbättringar

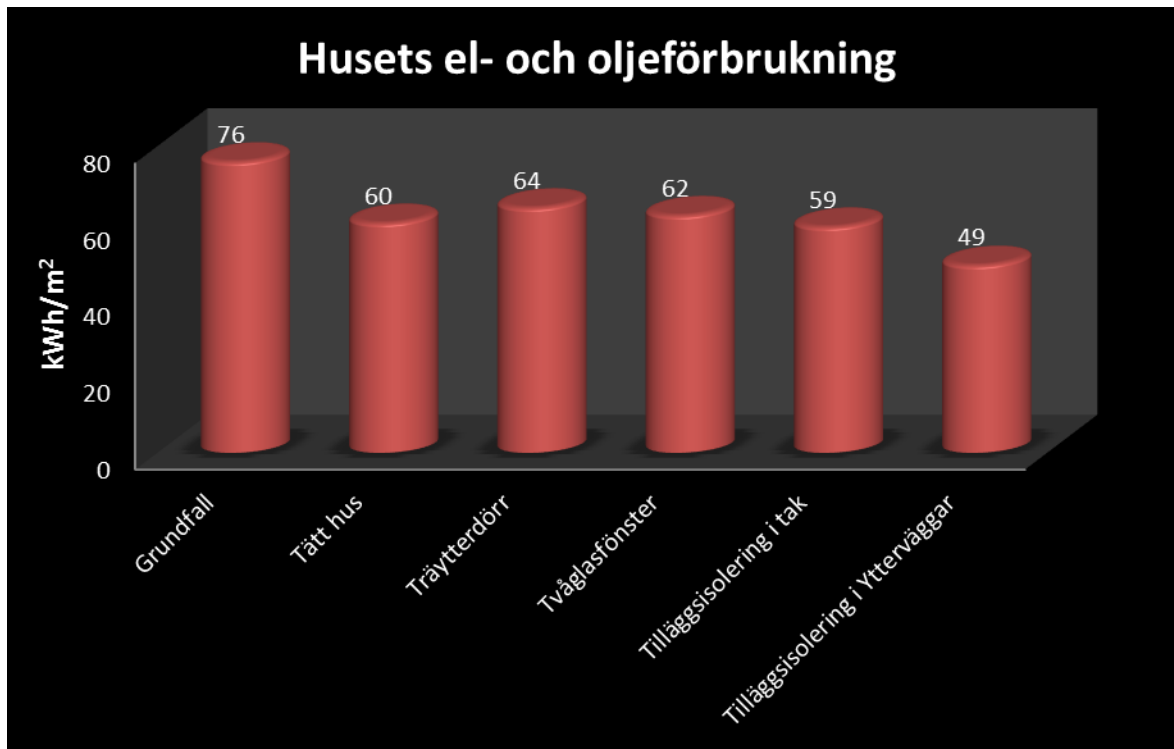
Här studeras olika förslag som antas bidra till förbättring av inomhusklimatet. Dessa förslag baserar sig på rekommendationerna i kapitel 3.4. Först simuleras varje förslag för sig d.v.s. förändringarna tillförs en i taget för att testa och visa hur inomhusklimatet för varje period (vinter, sommar) ändras, jämfört med grundfallet, samt se vilken förändring som har störst effekt.

Allmänna förslag för att förbättra inomhusklimat är följande: (Tabell 7,1 visar U-värdena för dessa byggnadsdelar)

- Vinter:
 - Förslag 1: Träytterdörr
 - Förslag 2: Tvåglasfönster
 - Förslag 3: Tilläggsisolering i tak (100 mm cellplast)
 - Förslag 4: Tilläggsisolering i ytterväggar (100 mm mineralull)
- Sommar:
 - Förslag 1: Träytterdörr
 - Förslag 2: Tvåglasfönster
 - Förslag 3: Nattventilering
 - Förslag 4: Tilläggsisolering i tak (100 mm cellplast)
 - Förslag 5: Tilläggsisolering i ytterväggar (100 mm mineralull)
 - Förslag 6: Solavskärmning av hela taket, olika typer (vegetation, tjock vit duk).
 - Förslag 7: Solavskärmning av fönster på östra och södra fasaden (justerbar solavskärmning).
 - Förslag 8: Vit fasadfärg.

6.2 Resultat

- Vinter:



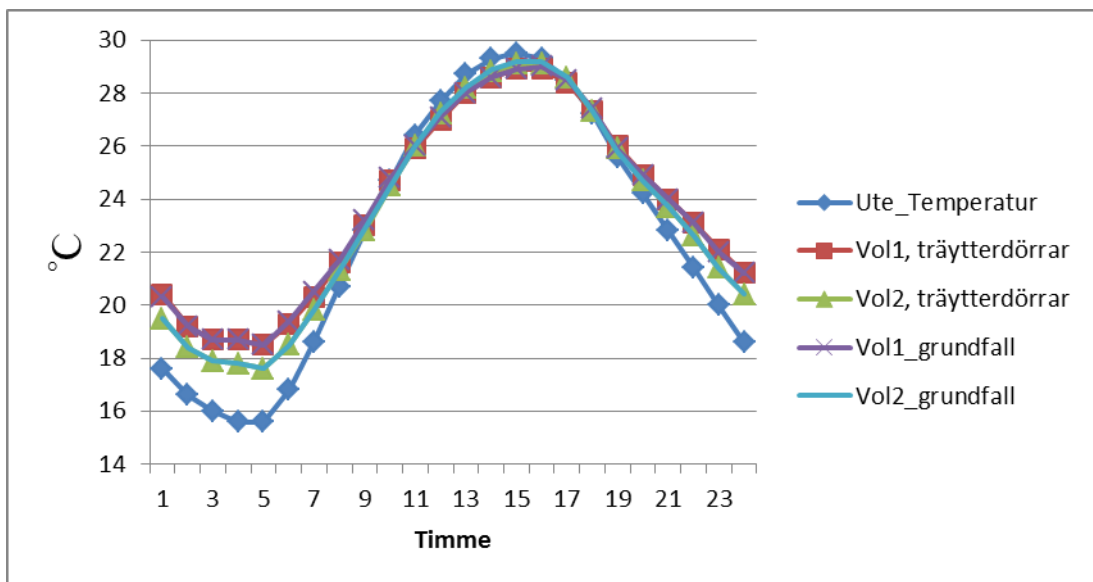
Figur 6.1 Husets energianvändning för uppvärmning under vintern

Figuren visar hur husets energianvändning för uppvärmning per kvadrat meter under vintern påverkas då man väljer att täta huset, byta stålytterdörrar till träytterdörrar, byta enkelglasfönster till tvåglasfönster samt isolera tak och ytterväggar. Dessa förändringar gav samtliga positiva effekter på energiförbrukningen jämfört med grundfallet. Tilläggsisolering i tak och ytterväggar gav störst effekt, husets energianvändning sänktes med 27 kWh/m² vid isolering av yttervägg och med 17 kWh/m² vid isolering av tak.

- Sommar:

För sommarfallet visas resultaten för en normaldag i juli.

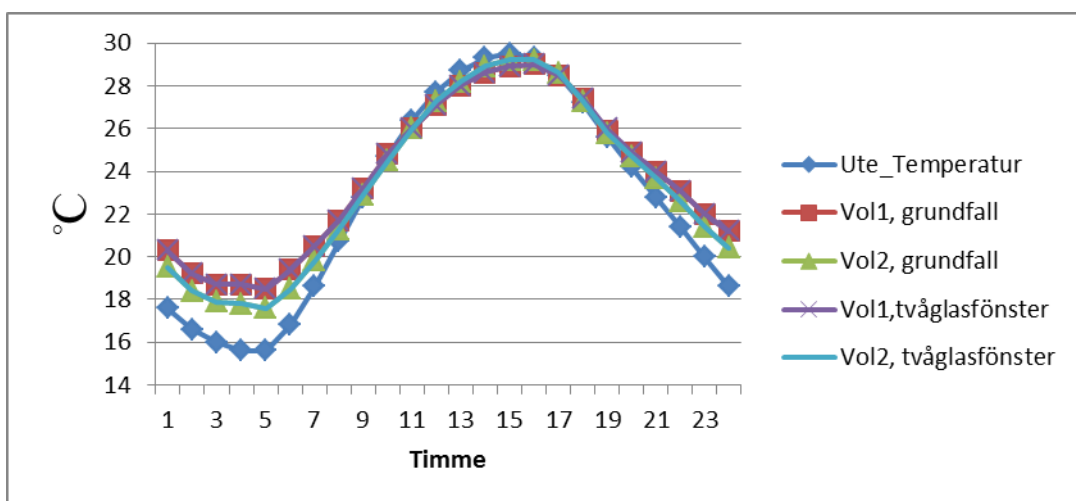
- Förslag1: Träytterdörr



Figur 6.2 Temperaturvariation vid val av träytterdörrar

Figuren visar att inomhustemperaturen steg med 0.1-0.2 °C då stålytterdörrar byttes ut mot träytterdörrar. Träytterdörrar ger alltså en så liten effekt.

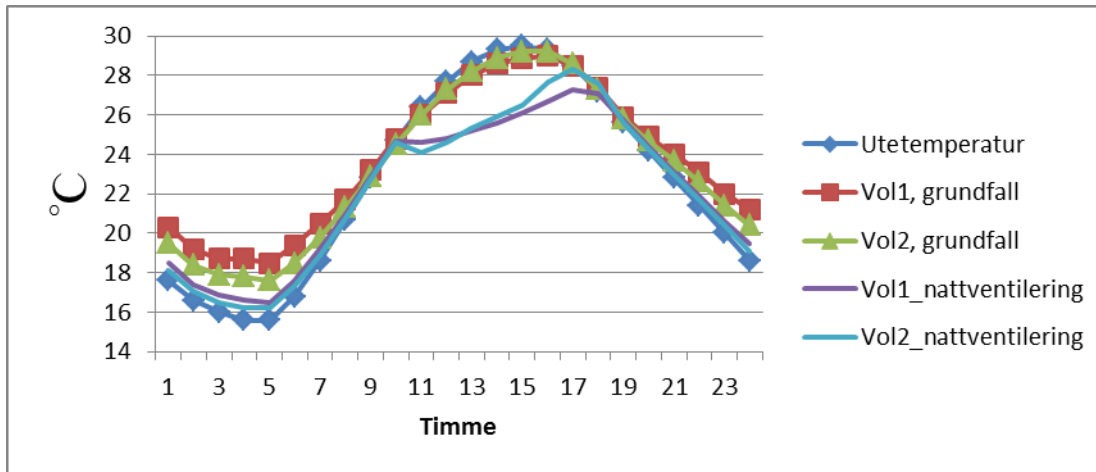
- Förslag 2: Tvåglasfönster



Figur 6.3 temperaturvariation vid val av tvåglasfönster

Figuren visar att inomhustemperaturen steg med 0.1-0.6 °C då enkelglasfönster ersattes med tvåglasfönster. Detta beror på att isoleringen ökar och mindre värme försvinner genom fönstren. Tvåglasfönster ger alltså en negativ effekt, då målet är att sänka inomhustemperaturen under sommarhalvåret. Effekten är dock liten.

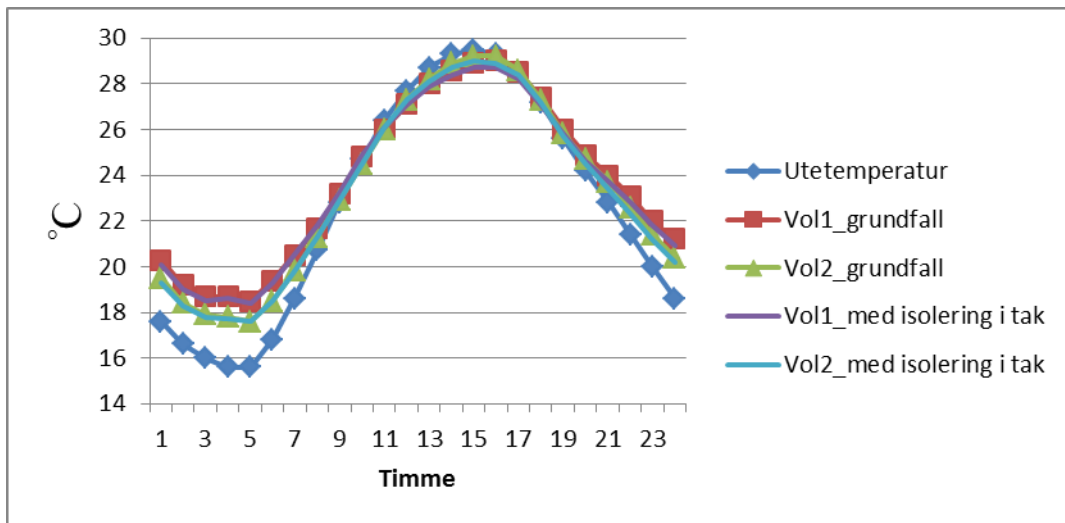
- Förslag 3: Nattventilering



Figur 6.4 temperaturvariation vid nattventilering mellan kl.18-11

Figuren visar hur inomhustemperaturen förändras då huset ventileras mellan kl.18-11, jämfört med grundfallet. En uppenbar förbättring märks här då inomhustemperaturen sänktes upp till 3.0 °C.

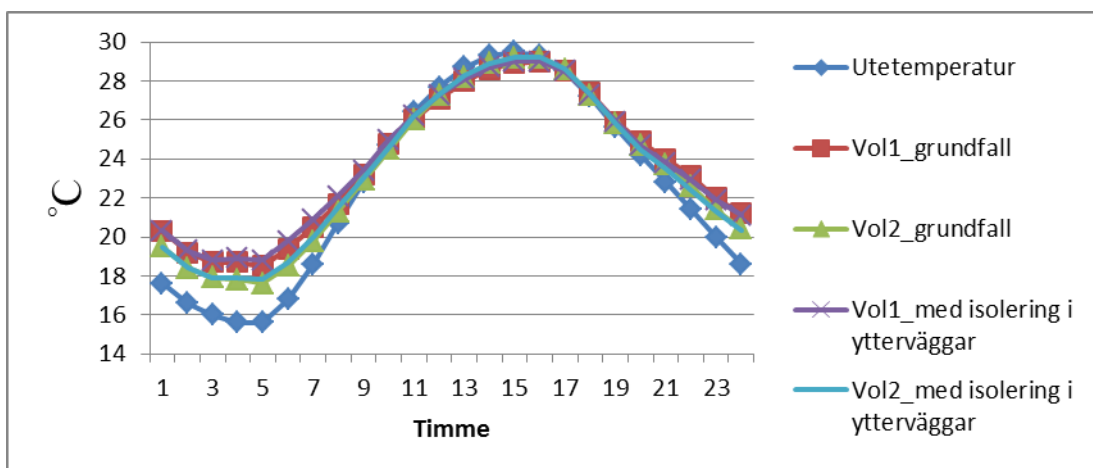
- Förslag 4: Tilläggsisolering i tak



Figur 6.5 Temperaturvariation vid tilläggsisolering i taket

Figuren visar temperaturvariationen efter takisolering jämfört med grundfallet. Inomhustemperaturen sänktes med 0,1-0,3°C. Detta ger alltså en positiv effekt, då målet är att sänka inomhustemperaturen under sommarhalvåret

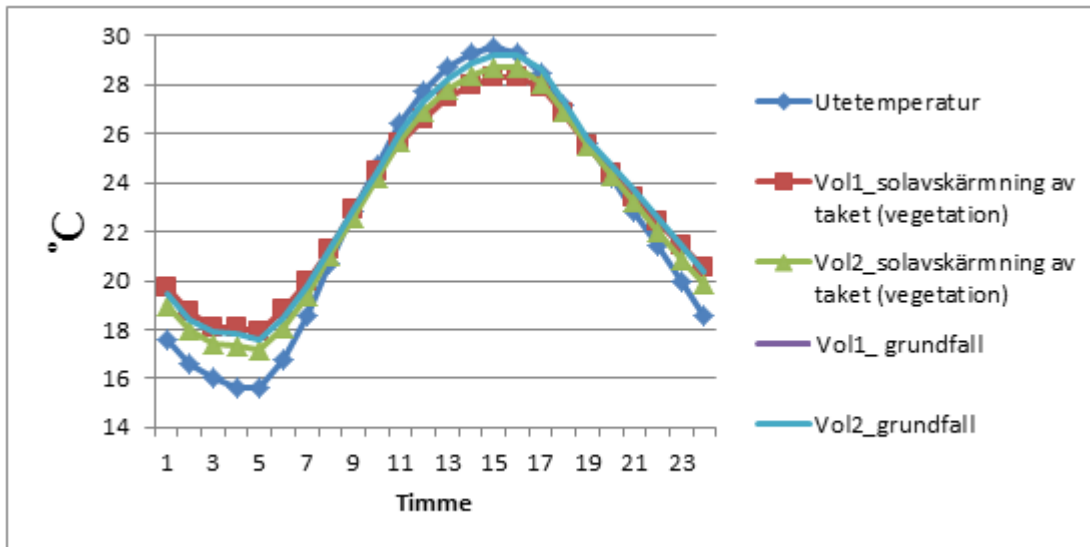
- Förslag 5: Tilläggsisolering i ytterväggar



Figur 6.6 Temperaturvariation vid tilläggsisolering i ytterväggar

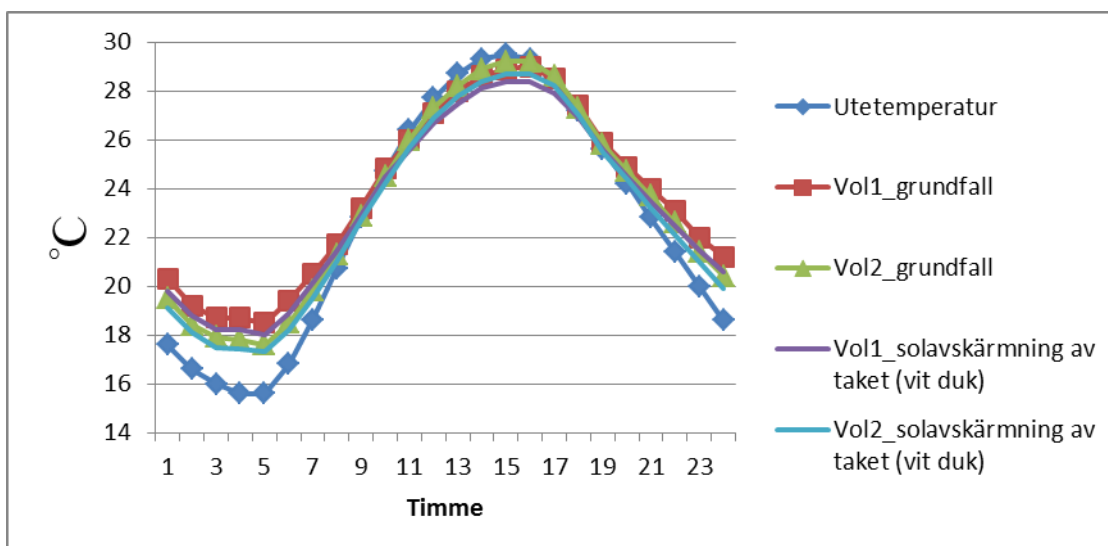
Figuren visar temperaturvariationen efter tilläggsisolering i ytterväggar jämfört med grundfallet. Inomhustemperaturen höjdes med 0.2 °C. Detta ger alltså en negativ effekt, då målet är att sänka inomhustemperaturen under sommarhalvåret.

- Förslag 6: Solavskärmning av hela taket, olika typer (vegetation, tjock vit duk)



Figur 6.7 Temperaturvariation vid val av vegetation för solavskärmning av hela taket.

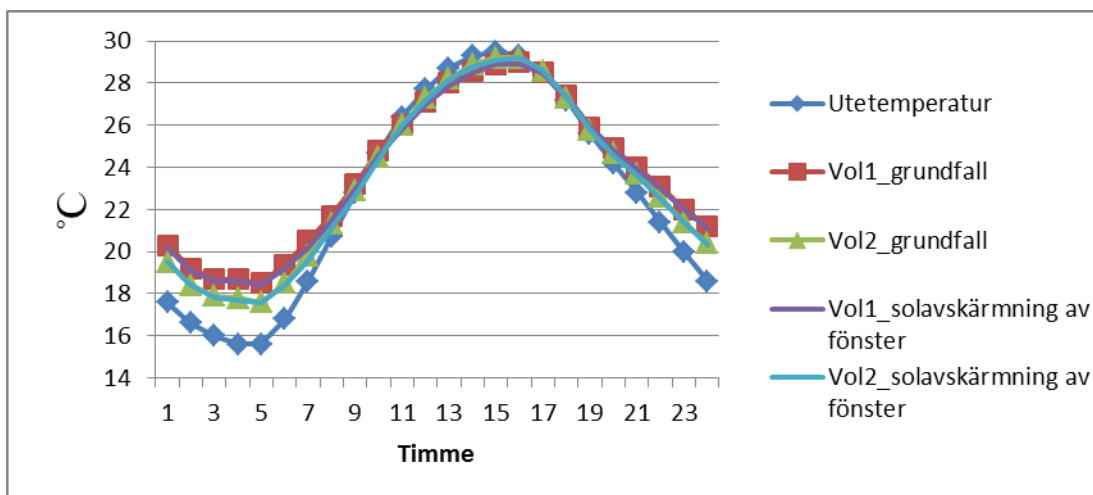
Figuren visar temperaturvariationen då man väljer att solavskärma hela taket med vegetation som har absorptivitet 70 % och transparens 20 %. Figuren visar en liten förbättring av inomhusklimatet då temperaturen sänktes med upp till 0,7°C under dygnet.



Figur 6.8 Temperaturvariation vid val av vit duk för solavskärmning av hela taket

Figuren visar temperaturvariationen då man väljer att solavskärma hela taket med vit duk som har absorptivitet 20 % och transparens 0 %. Figuren visar en uppenbar förbättring av inomhusklimatet då temperaturen sänktes med 0.6 °C under dygnet. Denna förändring bidrar alltså positivt till målet att minska inomhustemperaturen under sommarhalvåret.

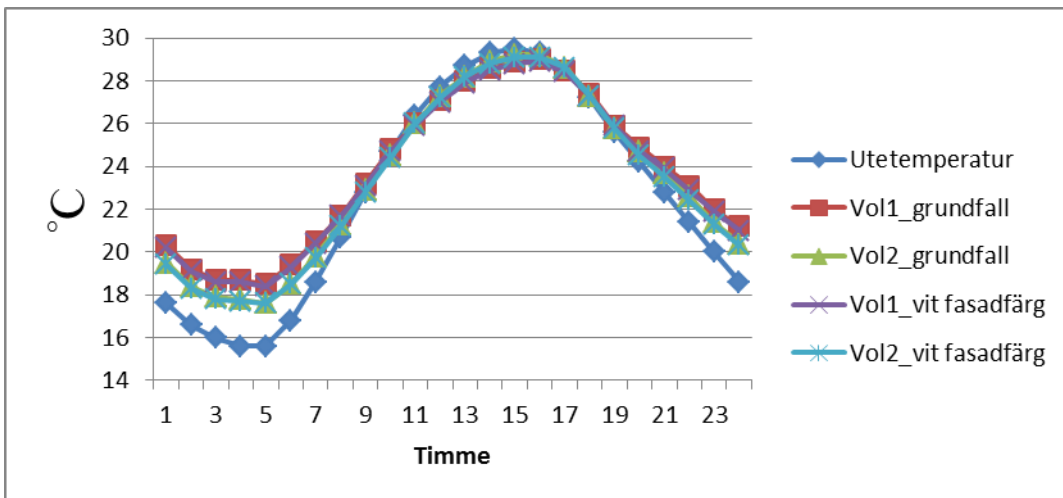
- Förslag 7: Solavskärmning av fönster på östra och södra fasaden (justerbar solavskärmning).



Figur 6.9 temperaturvariation vid val av solavskärmning av fönster

Figuren visar hur solavskärmning av fönster på östra och södra fasaden påverkar inomhustemperaturen. Denna förändring medförde att temperaturen minskade med 0.2°C jämfört med grundfallet. Effekten är alltså liten.

- Förslag 8: Vit fasadfärg



Figur 6.10 Temperaturvariation vid val av vit fasadfärg

Figuren visar hur inomhusklimat förändras när man målar fasaden med vit färg. Detta ger knappast någon effekt då inomhustemperaturen sänktes med 0.1 °C.

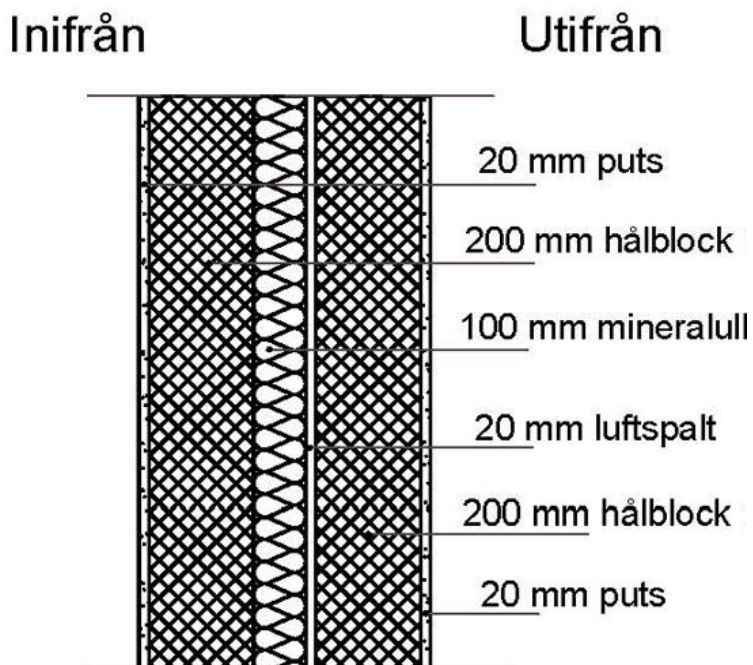
Bortsett från förslag 3 (nattventilering) är ventilationen ganska hög på sommaren (se tabell 5.2), vilket bidrar till att effekterna av alla förslag på förändringar är små.

7 Optimalt fall för befintligt hus

I detta avsnitt presenteras det optimala fallet för det studerade husets utformning, konstruktion, funktion och klimatskärm för sommar- och vinterperioderna, vilket är ett resultat av en sammanslagning av de förändringar som i simuleringarna visade sig vara positiva. Det optimala fallet innehåller följande gemensamma förändringar för både sommar och vinter:

- Träytterdörrar
- Tvåglasfönster
- Tilläggsisolering i tak (100 mm cellplast)
- Tilläggsisolering i ytterväggar (100 mm mineralull)
- Solavskärmning av fönster på östra och södra fasaden
- Solavskärmning av taket under sommarhalvåret, i form av vegetation (vindruvsrankor).
- Nattventilering under sommarhalvåret
- Vit fasadfärg

Efter att jag utvärderat simuleringarnas resultat för sommarperioden, kom jag fram till att samtliga förslag bortsett från förslaget att byta englasfönster till tvåglasfönster, på något sätt bidrar till ett förbättrat inomhusklimat. Jag har dock behållit tvåglasfönster eftersom det har en positiv effekt på vintern.



Figur 7.1 Förslag till ytterväggskonstruktion

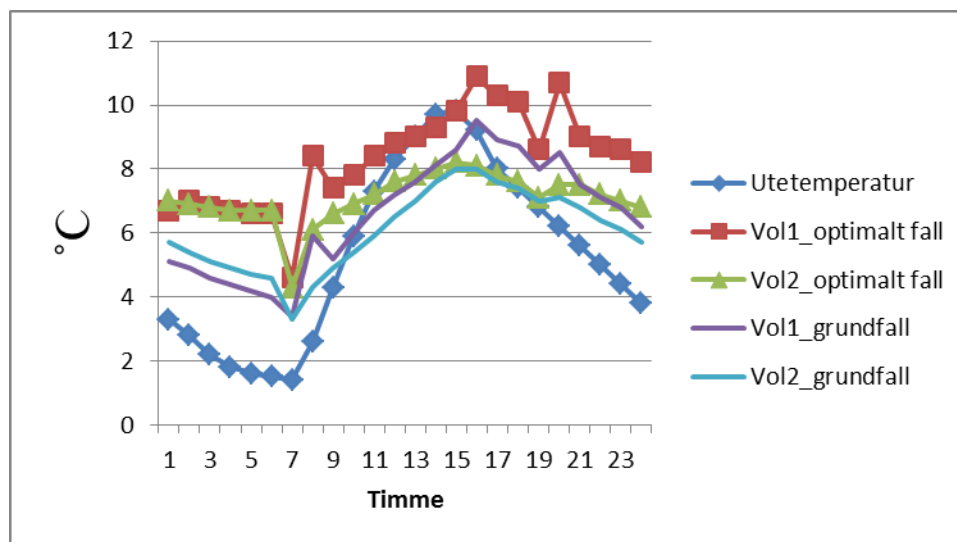
U-värden för de förändrade byggnadsdelarna visas i tabell 7.1.

Grundplatta	Skikt (mm)	λ (W/m K)	C (Wh/kg K)	ρ (kg/m ³)	U-värde (W/m ² °C)
	20 klinker	0,5	0,2	1300	
	400 Btg.	1,7	0,24	2300	
					2,246
Tak					
	50 Betong	1,7	0,24	2300	
	100 mineralull	0,04	0,24	50	
	140 hållblock	0,91	0,25	1200	
					0,346
Ytterväggar					
	20 Puts	0,93	0,29	1800	
	200 hållblock	0,91	0,25	1200	
	100 mineralull	0,04	0,24	50	
	200 hållblock	0,91	0,25	1200	
	20 Puts	0,93	0,29	1800	
					0,317
Dörrar					
	Trä	0,16	0,66	700	
					2,073
Tvåglasfönster					
					2,9

Tabell 7.1 U-värden för byggnadsdelarna i husets klimatskärm efter förbättringar.

7.1 Simulering av vinterfallet

Efter testning av hur husets energiförbrukning under vinterperioden ändras, jämfört med grundfallet, kom jag fram till att samtliga undersökta förslag till förändringar bidrar till stora framtida besparingar av energi. Här kommer jag att testa och visa hur inomhusklimatet ändras, jämfört med grundfallet (utan uppvärmning) när jag slår samman alla positiva förändringar. Dessa ändringar inkluderar ett tätare hus.



Figur 7.2 Temperaturvariation för det optimala fallet vid val av de förändringar som gett störst positiv effekt för inomhusklimatet under en typisk vinterdag.

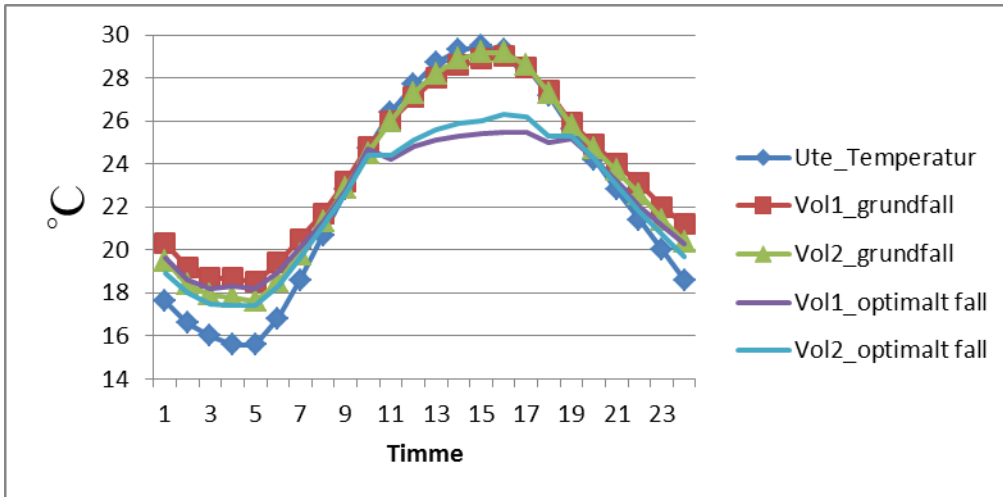
Figuren visar hur inomhusklimatet förändras då man slår samman de förändringar som gett positiv effekt jämfört med grundfallet. Det sammanlagda resultatet blev att inomhustemperaturen höjdes med 0,5-2,5 °C under en normal vinterdag i januari. Trots förbättringarna behövs uppvärmning för att nå komfort.

7.2 Simulering av sommarfallet

Efter att jag utvärderat simuleringarnas resultat för sommarperioden, kom jag fram till att samtliga förslag bortsett från förslaget att byta englasfönster till tvåglasfönster, på något sätt bidrar till ett förbättrat inomhusklimat. Som nämnts ovan har jag dock behållit tvåglasfönster eftersom det har en positiv effekt på vintern. Här kommer jag att simulera de förslag som jag förväntar bidrar till bäst effekt på inomhusklimatet. Dessa slås samman och jämförs med grundfallet.

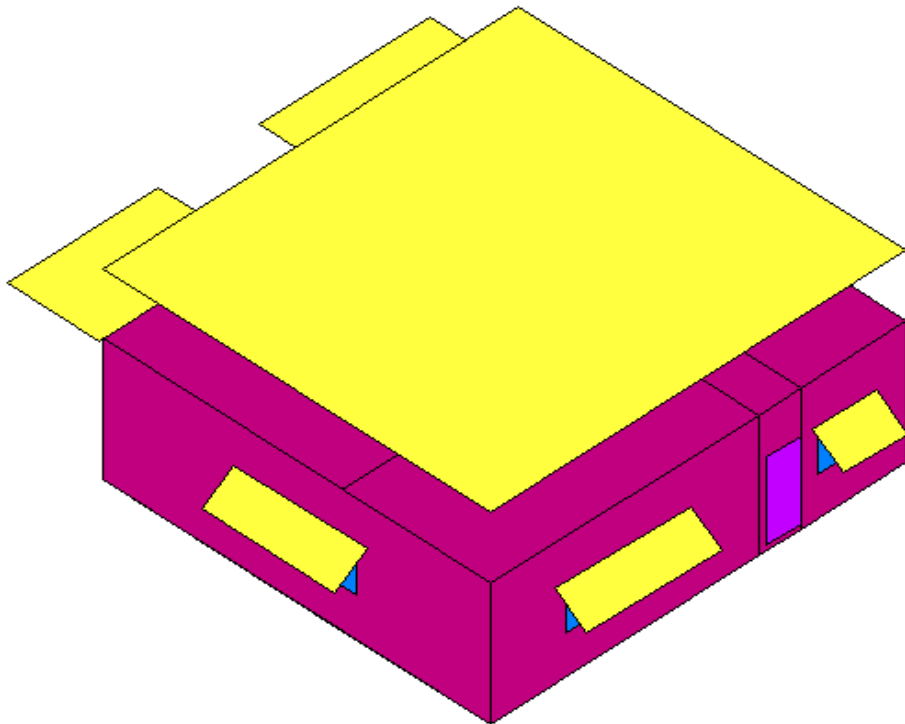
När jag jämförde simuleringen av tvåglasfönster med grundfallet, fick jag negativ effekt (se figur 6.3). Jag valde dock att ändå använda tvåglasfönster i det optimala fallet eftersom jag förväntade mig att effekten av tvåglasfönster skulle bli en annan då

denna förändring samverkade med de andra förändringarna. Den sammanlagda simuleringen visade att tvåglasfönster bidrog till en sänkning av inomhustemperaturen med ca 0,1 °C under perioden 12 -17, jämfört med enkelglasfönster. Detta kan bero på att tvåglasfönstrens funktion förändras då man har tätare klimatskärm samt nattventilering.



Figur 7.3 Temperaturvariation för det optimala fallet för sommardagen (juli).

Figuren visar tydligt hur inomhusklimatet förbättras då man slår samman alla de förändringar som gett störst positiv effekt jämfört med grundfallet (utan AC). Det sammanlagda resultatet blev att inomhustemperaturen sänktes med ner till 3,2 °C under sommarhalvåret, maxtemperaturen blir 26,3 °C.



Figur 7.4 Simuleringsmodell: optimal utformning för sommarhalvåret (i DEROB-LTH). Markiser över fönstren och pergola över taket.



Figur 7.5 Optimal utformning för huset under sommarhalvåret med solavskärmning av taket med pergola.

8 Total energikostnad

I detta kapitel visas hur husets energiförbrukning under hela året sänks för det optimala fallet, d.v.s. då man väljer de undersökta förslag som gett positiv effekt på husets inomhusklimat och energiförbrukning

8.1 Energiförbrukning och kostnad för befintligt hus

I husets energiförbrukning ingår elförbrukning som används till hushållet och för att kyla huset, oljeförbrukning som används för uppvärmning av luften och vatten, samt gasförbrukning som används för matlagning. Husets energianvändning beräknas genom en simulering av huset i grundfallet (med AC på sommaren och uppvärmning på vintern) i energisimuleringsprogrammet DEROB-LTH.

Beräkningen visade att den totala energiförbrukningen för uppvärmning och kylning är ca 14100 kWh/år. Husets energiförbrukning (för kylning och uppvärmning) för årets månader visas i tabell 8.1.

8.1.1 Elförbrukning och kostnad

Av den totala energianvändningen på 14100 kWh/år går ca 4400 kWh/år till kylning av huset under sommaren (se tabell 8.1).

I Libanon ökar elpriset per kWh med mängden kWh som används. Exempelvis kostar de första 100 kWh ca 0,17kr/ kWh och de nästa 200 kWh ca 0,26 kr/kWh. Då förbrukningen överstiger 500 kWh blir kostnaden fast, ca 0,95kr/kWh (se tabell 8.2).

Månad	Energiförbrukning (kWh)	Uppvärmning (kWh)	Kylning (kWh)
Januari	2300	2300	
Februari	2100	2100	
Mars	1550	1550	
April	760	760	
Maj	250		250
Juni	735		735
Juli	1365		1365
Augusti	1365		1365
September	685		685
Oktober	200	200	
November	930	930	
December	1860	1860	
Summa	14100	9700	4400

Tabell 8.1 Husets beräknade energiförbrukning för uppvärmning och kylning per månad.

Energikostnad		
	Elförbrukning/ kWh	Kostnad/kr/ kWh
1	100	0,17
2	101-300	0,26
3	301-400	0,38
4	401-500	0,57
5	> 500	0,95

Tabell 8.2 Elkostnad i Libanon (exklusive moms).[23]

Utöver kylning på sommaren tillkommer energiförbrukning för hushållsel som räknas ut genom att effekten för varje apparat först multipliceras med drifttiden per år och sedan divideras med 1000. Förbrukning av hushållsel redovisas i nedanstående tabell 8.3. Den totala elförbrukningen samt kostnaden för denna per månad och år visas i tabell 8.4.

	Effekt W	Användning	kWh/år
Glödlampa	60	6 tim/dygn	130
Tvättmaskin	1250	8 tim/vecka	520
Torktumlare	2000	4 tim/vecka	420
Diskmaskin	1400	1 tim/dygn	500
Kyl/Frys	200		340
Mikrovågsugn	1500	10 min/dygn	93
Video, standby	10	23 tim/dygn	83
TV, användning	140	3 tim/dygn	150
TV, standby	10	21 tim/dygn	77
Dator med skärm, användning	125	4 tim/dygn	180
Dator med skärm, standby	15	23 tim/dygn	124
Strykjärn	1000	3 tim/vecka	156
Dammsugare	1000	1 tim/vecka	52
Hårtork	1000	1 tim/vecka	52
Σ			2877

Tabell 8.3 Uppskattad genomsnittlig elförbrukning för olika apparater (i Sverige) [24].

Månad	Kylning (kWh)	Hushållsel (kWh)	Total (kWh)	Kostnad (kr)
Januari	0	240	240	58,74
Februari	0	240	240	58,74
Mars	0	240	240	58,74
April	0	240	240	58,74
Maj	250	240	490	174,13
Juni	735	240	975	676,78
Juli	1365	240	1605	1 335,13
Augusti	1365	240	1605	1 335,13
September	685	240	925	624,53
Oktober	0	240	240	58,74
November	0	240	240	58,74
December	0	240	240	58,74
Summa			6580	4557

Tabell 8.4 Husets beräknade elkostnad per månad och totalt för hela året (inkl.10 % moms).

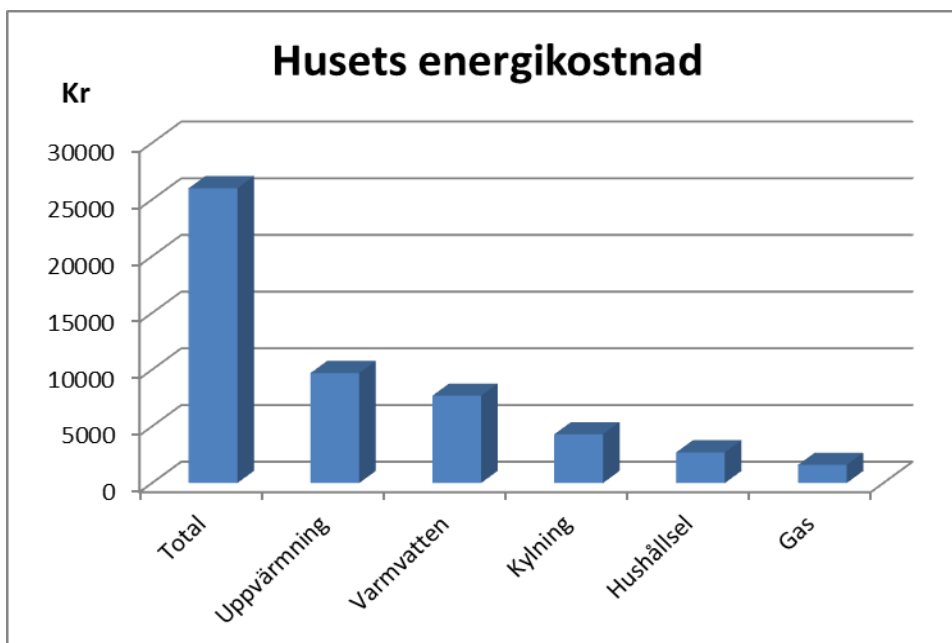
8.1.2 Oljeförbrukning och kostnad

Enligt beräkningar av husets energiförbrukning i DEROB-LTH, är energiförbrukningen för uppvärmning av luften ca 9700 kWh/år. Denna siffra motsvarar en teoretisk oljeförbrukning på 970 l, då 1 liter olja har ett energiinnehåll som motsvarar ca 10 kWh. [24] Eldningsoljekostnaden i Libanon skiljer sig från år till år. Vintern 2011 var eldningsoljekostnaden 1\$ per liter. Detta medför att husets oljeförbrukning för uppvärmning av luften enligt beräkningar i DEROB skulle motsvara en kostnad på 970\$ (ca 7000kr).

I verkligheten var, enligt de boende, husets oljeförbrukning under vintern 2011, 2500 l, varav 1100 l utgick för varmvatten och resten, 1400 l, utgick för uppvärmning av luften. Enligt DEROB skulle endast 970 l utgå för uppvärmning av luften. Skillnaden mellan det beräknade värdet och den verkliga åtgången beror på värmepannans verkningsgrad. Om verkningsgraden är 70 %, betyder detta att 1 liter olja motsvarar ca 7kWh och 1400 liter olja motsvarar ca 9800 kWh/år, vilket ligger nära beräkningen i DEROB (9700kWh). För att få ut 9700 kWh för uppvärmning behövs $970/0.7=1386$ liter olja vilket motsvarar ca 9700 kr. Varmvattenberedaren antas också ha en verkningsgrad på ca 70 %, detta betyder att 1100 liter olja ger 7700kWh/år vilket motsvarar en kostnad på ca 7700kr. Husets totala oljekostnad för hela året blir 17400kr. [24]

8.1.3 Gasförbrukning och kostnad

Gas används endast för matlagning. I huset förbrukar man en gasflaska per månad d.v.s. tolv gasflaskor per år. En gasflaska kostar 18\$ och detta betyder att husets gaskostnader för hela året blir 216 \$ (ca 1600 kr).



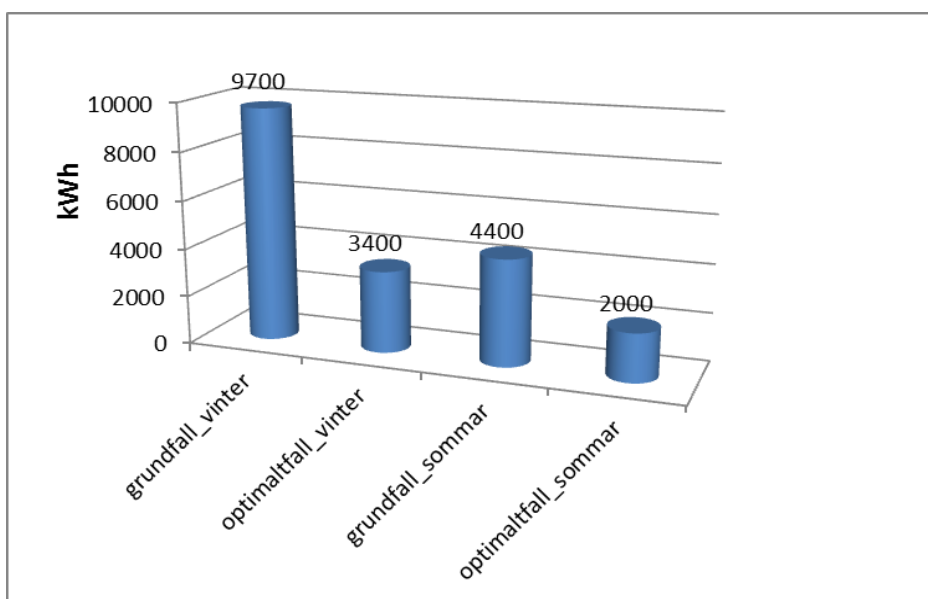
Figur 8.1 Husets årliga energikostnader (grundfall)

Figur 8.1 visar energikostnaderna under år 2011 och i dessa ingår elkostnad, oljekostnad samt gaskostnad. Den största delen av husets energikostnader, 17400 kr, går till uppvärmning och varmvatten (olja). Den minsta delen av husets energikostnader, 1600 kr, går till gas för matlagning. Elkostnaden för kylning och hushållsel är 4557 kr. Husets totala energikostnader blir ca 24000 kr (avrundat).

8.2 Energiförbrukning och kostnad för optimalt fall

Efter simulering av huset för det optimala fallet visade beräkningen i DEROB-LTH att husets elförbrukning (för kylning) och oljeförbrukning (för uppvärmning) blir ca 5400 kWh/år. Denna siffra fick jag genom att addera energiförbrukning för kylning (2000 kWh) under sommarperioden och energiförbrukning för uppvärmning (3400 kWh) under vinterperioden.

Figur 8.2 visar husets energiförbrukning för uppvärmning och kylning under hela året för det optimala fallet jämfört med grundfallet. De förändringar som genomförts i det optimala fallet gav samtliga positiva effekter på energiförbrukningen jämfört med grundfallet. Under sommarperioden minskade husets energiförbrukning med 2400 kWh jämfört med grundfallet. Detta ger en besparing på ca 2000 kr per sommar. Under vinterperioden minskade husets energiförbrukning med 6300 kWh jämfört med grundfallet. Detta betyder en minskning på 900 l olja per år, en minskning som dessutom bidrar till ett hälsosammare inomhusklimat då man minskar mängden föroreningar av farliga partiklar som kommer från oljan. Detta ger också en besparing på ca 6300 kr per vinter. Husets totala energi besparing blir 8300 kr per år.



Figur 8.2 Husets energiförbrukning för det optimala fallet jämfört med grundfallet.

9 Lönsamhet av energibesparingsåtgärderna

För att undersöka den långsiktiga lönsamheten för de förändringsförslag jag har studerat, har en ekonomisk analys gjorts. Den ekonomiska analysen innehåller en jämförelse mellan husets aktuella energikostnad och husets energikostnad efter förändringen samt investeringen. Bedömningen har gjorts med hjälp av den så kallade payoff-metoden.

Payoff-metoden är ett beräkningssätt som visar hur lång tid det tar för att få tillbaka pengarna man har betalat för investeringen[25].

9.1 Investeringskalkyl

För att ta reda på investeringskostnaden, har en kostnadskalkyl gjorts. I kostnadskalkylen ingår ungefärliga inköps- och monteringskostnader för de förändringsförslag jag har studerat i det optimala fallet.

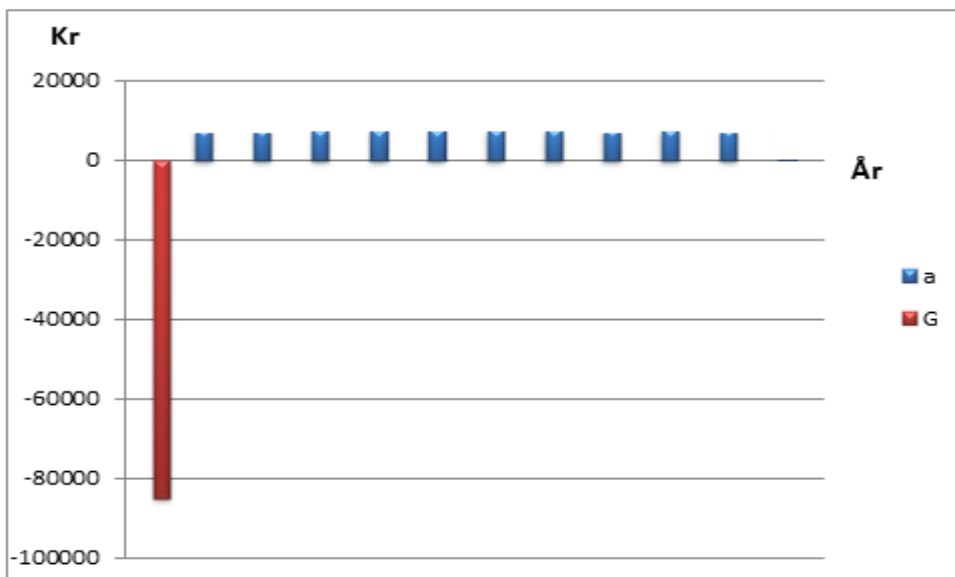
	d(mm)	Antal/st.	Pris (kr/st.)	Antal/m ²	Pris (kr/m ²)	Totalpris (kr.)
Betong		1125	4			4500
Trädörr		2	9000			18000
Solavskärmning, (fönster)		5	660			3300
Solavskärmning, (tak): vegetation				108	17	1800
Isolering (yttervägg)	100				100	12000
Isolering (tak)	100				100	12000
Tvåglasfönster		9			600	5400
Arbetskostnad					40	10500
						67500

Tabell 9.1 kostnadskalkyl

Enligt tabell 9.1 är investeringskostnaden för förbättringar i husets klimatskärm 67500kr. Till denna kostnad läggs 25 % i form av oförutsedda kostnader, eftersom det är svårt att uppskatta de exakta kostnaderna. Den totala investeringskostnaden uppskattas till ca 85000 kr (avrundat).

I kapitel 11 visade jag att genom valda förbättringar i husets klimatskärm ligger husets totala besparing för energikostnader på 8700 kr per år. Med payoff -metoden kan med ett enkelt beräkningssätt visa hur lång tid det tar för att få tillbaka investeringskostnaden. Payoff -metoden beräknas enligt formeln: $T = G/a$, där: T= payoff-tid, G= grundinvestering, a= inbetalningsöverskott.[25]

Detta innebär att $T = 85000/8700 = 9,8$ år. Detta betyder att det tar ca 10 år för återbetalning av investeringen.



Figur 9.1 investeringsmodell

10 Slutsats

Resultatet från klimat- och energisimuleringarna av ett modernt hus för en medelinkomstfamilj i staden Baalbek, där beräkningarna är gjorda för en genomsnittsdag under den varmaste månaden (juli) och kallaste månaden (januari), visar att inomhusklimatet är okomfortabelt. Under sommarmånaden är den lägsta inomhustemperaturen $17,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ och den högsta $29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, och under vintermånaden är den lägsta inomhustemperaturen $4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ och den högsta $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Val av passiva lösningar såsom tilläggsisolering av ytterväggar och, tak, solavskärmning av tak och fönster, tvåglasfönster istället för englasfönster, trätterdörr istället för stålytterdörr, visar att det är möjligt att uppnå ett behagligt inomhusklimat i det moderna huset i staden Baalbek till en mycket lägre energiförbrukning. Då jag simulerade huset med valda passiva lösningar, förbättrades inomhustemperaturen jämfört med grundfallet.

Under sommardagen minskade den högsta inomhustemperaturen från $29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Detta anser jag är ett bra resultat, eftersom man då slipper användning av luftkonditionering, och en golvfläkt räcker för att förbättra komforten under extremt varma dagar.

Under vinterhalvåret ökade maxtemperaturen inomhus från $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ till endast $8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ trots att huset försetts med tilläggsisolering i ytterväggar, tvåglasfönster etc. Den solvärme som tränger in i huset genom fönstrena räcker inte till för att värma upp huset, trots det stora antalet soldagar på vinterhalvåret, och uppvärmning är fortfarande nödvändig. Den mycket låga inomhustemperaturen, kan bero på att det undersökta husets yta och volym är ganska stor, samtidigt som internvärmens från personer som bor i huset är liten. Om man vid planerandet av husets byggande valt att sänka taket d.v.s. minska husets volym, skulle man ha lyckats uppnå en bättre inomhustemperatur.

Trots att man fortfarande efter förändringar behöver en värmekälla för att kunna skapa komfort inne under vinterhalvåret, så blir husets energiförbrukning lägre än i grundfallet. Detta visas genom de energiberäkningar som genomförts.

Värmeisoleringen i ytterväggar gav störst effekt för husets energiförbrukning, då den bedrog till att energiförbrukningen minskade med 27 kWh/m^2 . Husets totala energiförbrukning för värme under vinterhalvåret minskar med 49 kWh/m^2 , vilket motsvarar en minskning av oljeförbrukningen med ca 6 l/m^2 . Detta anser jag är ett bra resultat eftersom en minskning av oljeförbrukning inte bara medför en lägre energikostnad utan också en förbättring av inomhusklimatet, då utsläppen av farliga, luftförorenande partiklar som kommer från oljan minskar. Husets energiförbrukning för kylning under sommarhalvåret minskade med ca 19 kWh/m^2 , vilket jag också anser

är ett bra resultat. Resultatet för den totala besparingen av energiförbrukningar beräknades i DEROB till 8300 kWh/år vilket innebär en besparing på 8700 kr per år.

Uppskattningen av investeringskostnaden för de förändringsförslag jag har studerat i det optimala fallet har hjälpt mig att vidare beräkna hur lång tid det tar för att få investeringen återbetald. Payoff-metoden gav resultatet 10 år. Jag anser att detta är ett bra resultat, min förväntning var att investeringskostnaden skulle bli större. Nu utgjordes investeringskostnaden av en utgångsinsats på ca 85000 kr (baserad på material- och monteringskostnaderna i Libanon) och genom besparingar av energiförbrukning återbetalar sig investeringen på ca 10 år. Under resten av husets hela livstid sparar man energi och pengar, vilket i sin tur påverkar de boendes ekonomi och hälsa (genom ett förbättrat inomhusklimat) på ett positivt sätt. Studien visar att inomhusklimat och energi förbrukning borde tas i beaktning vid byggnadsdesign. I framtiden borde krav på isolering ingå i byggnadsnormerna.

Framtida studier skulle kunna undersöka lönsamheten av solfångare för uppvärmning av varmvatten samt solpaneler för elproduktion.

Referenser

Litteraturförteckning

1. **Ragette, Friedrich, Baalbek**, Chatto & Windus, London, **1980**, ISBN 0-70112146-7.
2. **Ragette, Friedrich, Traditional domestic architecture of the Arab region**, Edition Axel Menges, 2003, ISBN 978-3-932565-30-4
3. **Bokalders, Varis, Att bygga i u-land**, Stockholm: Svenska missionsrådet, **1986**, ISBN 91- 85424- 10-2
4. **Sternudd, Catharina, 1995, Lerhalm och självbygge-en bostad i Hörby**, Examensarbete i Arkitektur, LTH, ISBN 3-932565-30 -4.
5. **Wehbe, Nour el-Dine, 2010, Orientering om byggande i Beirut**, Examensarbete, LTH.
6. **Roselund, Hans, Climatic Design of Buildings using Passive Techniques**, Lund University, **2000**.
7. **Magnusson, Lennart P.E. och, Qvist, Leif, Inomhusklimat för människor**, Stockholm: Liber **1990**, ISBN 91-40-80110-1.
8. **Sandin, Kenneth, Värme och fukt, Kompendium i byggnadsfysik**, Lund **1996**.

Elektroniska källor

9. <http://www.lebanon-hotels.com/site/lebanon-map/>, Libanonskarta
10. <http://sv.wikipedia.org/wiki/Libanon>, Fakta om Libanon
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/Baalbek>, Fakta om Baalbek
12. <http://kylepounds.org/aliens/monuments%20%20middle%20east.html>, Bild

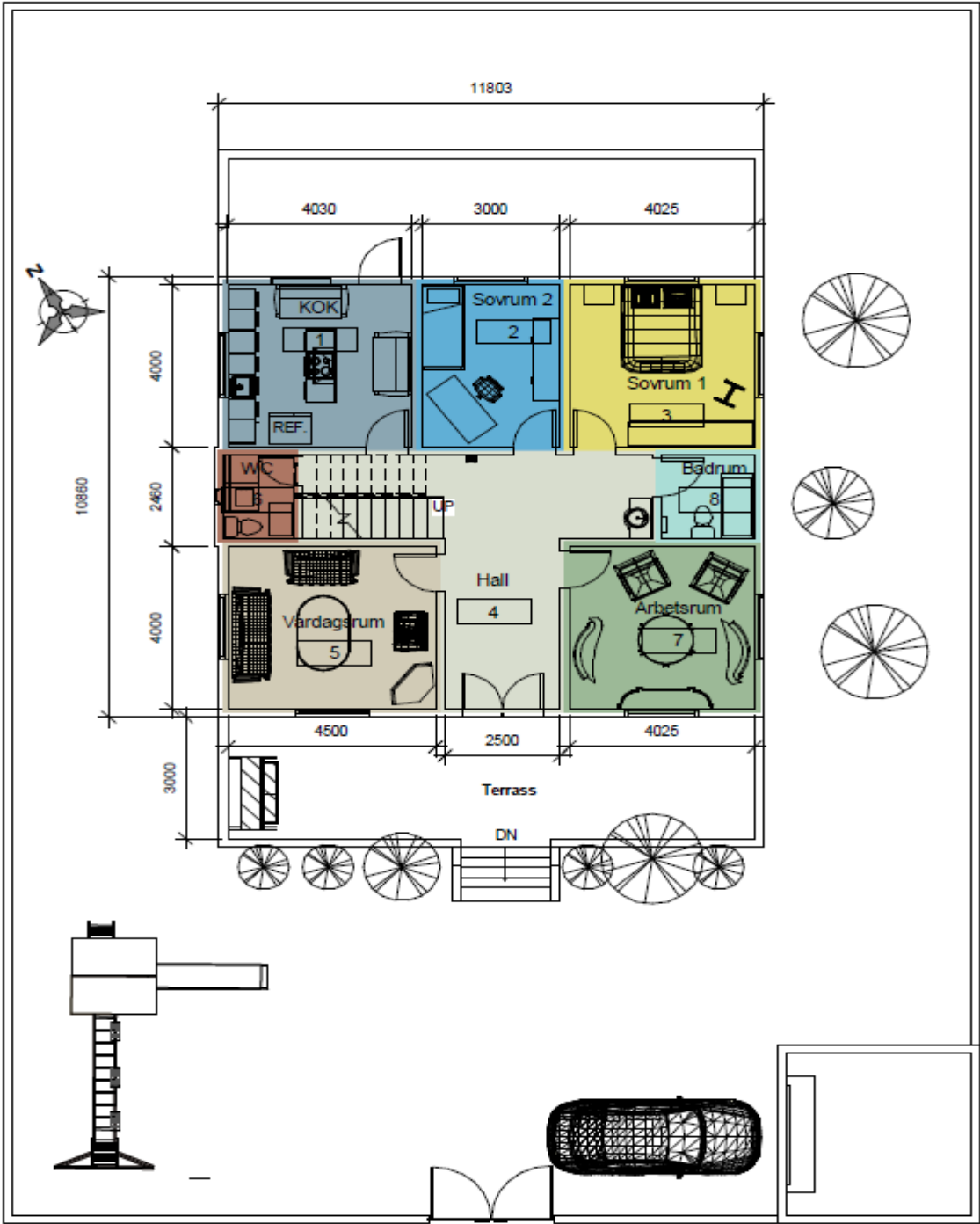
13. http://www.lgic.org/en/photos2_baalbek.php, Bild
14. <http://countrystudies.us/lebanon/31.htm>, Fakta om klimatet i Libanon
15. http://www.architectureweek.com/2002/0327/culture_2-2.html, Bild
16. <http://www.baalbeckpalmyrahotel.com/#!/the-annex>, Bild och Fakta om Palmyra hotell i Baalbek
17. <http://www.alittihad.ae/details.php?id=12439&y=2011&article=full>, Bilder och Fakta om Jordhus
18. <http://www.mountlebanon.org/historyoflebanon.html>, Arkitektur historia i Libanon, på engelska
19. <http://www.socialstyrelsen.se/halsoskydd/inomhusmiljo/temperatur>
20. <http://www.sa-leb.com/vb/showthread.php?p=255936>
21. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php>
22. http://www.architectureweek.com/2002/0327/culture_2-2.html (**Lebanese Domestic Vernacular**)
23. <http://www.edl.gov.lb/FAQa.htm>
24. http://www.energiradgivningen.se/index.php?option=com_content&task=view&id=70&Itemid=1
25. http://www.expowera.se/mentor/ekonomi/kalkylering_investering_payoff.htm
26. <http://members.fortunecity.se/farila/swipnet%20nedtaget/lebanon-s.htm>

Datorprogram

27. Meteornorm 6.1, Meteotest, Bern, Schweiz

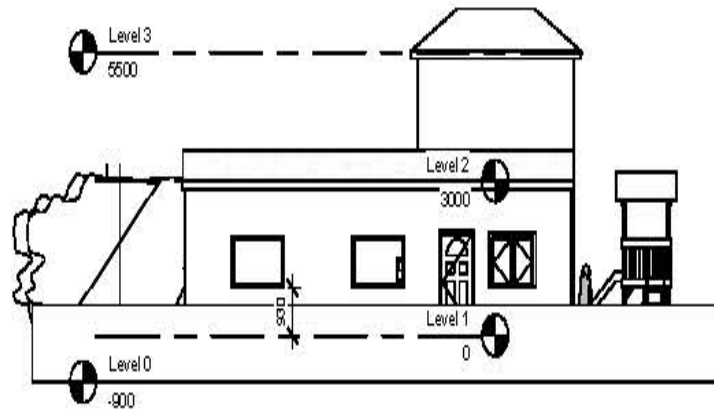
Bilagor

Bilaga 1: Husets ritningar

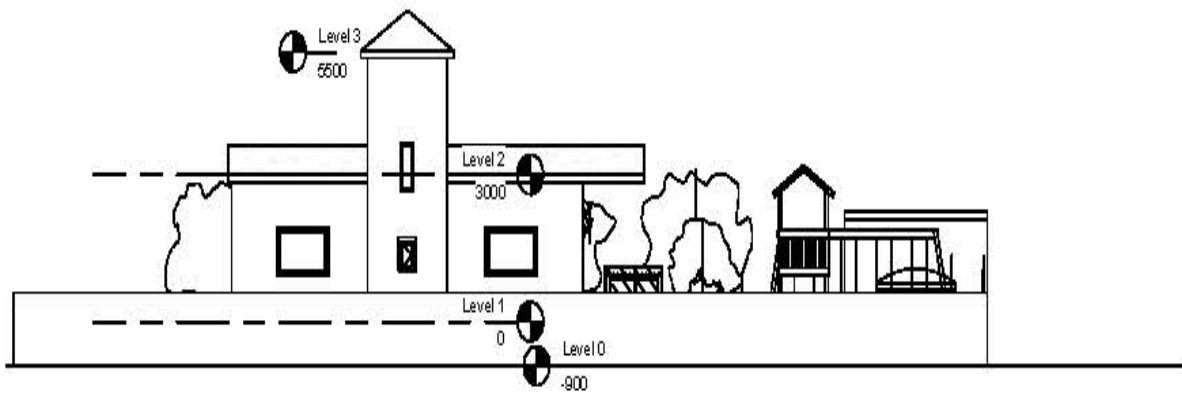


Room Legend

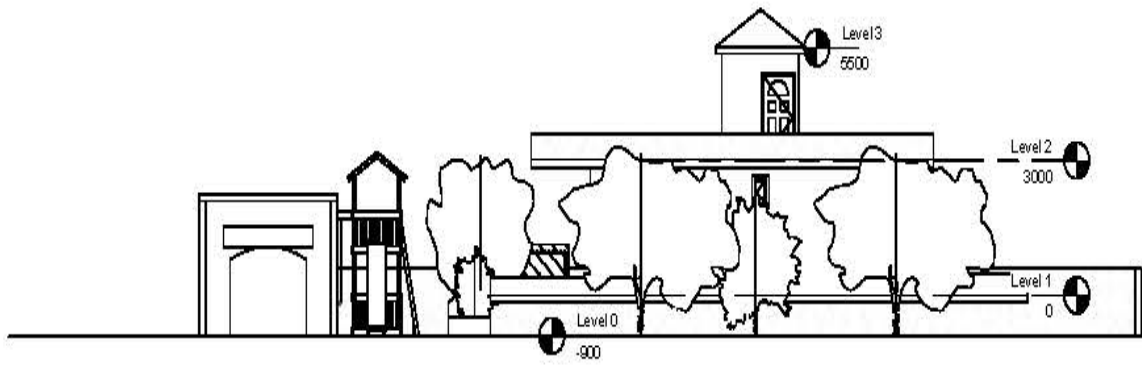
- | | |
|---|--|
|  Arbetsrum |  Sovrum 1 |
|  Badrum |  Sovrum 2 |
|  Hall |  Vardagsrum |
|  KÖK |  WC |



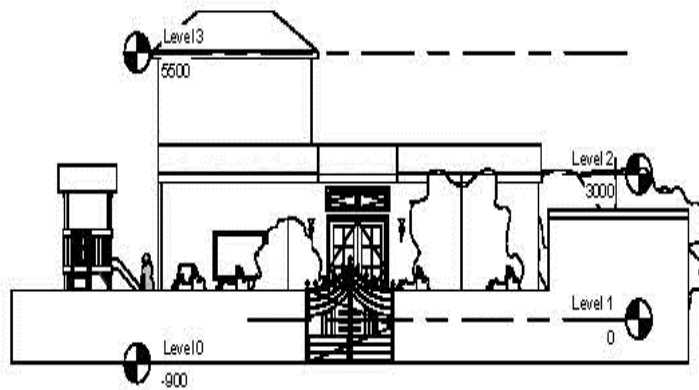
① fasad öster
1:100



① fasad norr
1:100



1 fasad söder
1:100



1 fasad väster
1:100

Bilaga 2: Intervjuenkät

- Hur upplever du ditt inomhusklimat sommartid?

a. Lagom. b. lite för varmt. c. mycket för varmt.

- Om du har valt alternativ b eller c: Vilka åtgärder tar du för att skydda dig mot värmen ”Använder du takfläkt eller luftkonditionering för att kyla ditt hus (eller delar av huset) under sommaren?

Om svaret är ja, vilka tider på året och vilka tider på dygnet?”

- Hur upplever du ditt inomhusklimat vintertid?

a. Lagom. b. lite för kallt. c. mycket för kallt.

- Om du valt alternativ b eller c: Vilka åtgärder tar du för att skydda dig mot kylan

- Hur sker normalt uppvärmningen av ditt hus?

- Vilka fördelar och nackdelar finns med ditt nuvarande uppvärmningssystem?

- Hur mycket ungefär spenderar hushåll (i pengar eller bränsle) på uppvärmning (och eventuellt kylning)?

- Upplever du inneklimatet som mest besvärande på sommaren eller på vintern?

- När upplever du problemet som är värst?

På dagen.

På natten.

- Passiva lösningar är billiga i ett långsiktigt perspektiv. Skulle du vilja bygga in passiva lösningar i ditt hus även om det skulle innebära en relativt hög engångskostnad?

- Om du kunde göra något förbättringar för inomhus komfort, vad kommer du prioritera?

(Jag tänker i delar av konstruktionen som tak, golv, fönster men också rum i huset: badrum, kök, vardagsrum, sovrum)

Bilaga 3: Mahoney-tabellerna

Indicator totals from data sheet					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	8	0	7

Baalbek, Lebanon
Latitude 34°N

General recommendations

Layout					
			0-10		
			11-12	5-12	X Orientation north and south (long axis east-west)
				0-4	Compact courtyard planning
Spacing					
11-12					Open spacing for breeze penetration
2-10					As above, but protection from hot and cold wind
0-1					X Compact layout of estates
Air movement					
3-12					Rooms single banked, permanent provision for air movement
1-2			0-5		
			6-12		Rooms double banked, temporary provision for air movement
0	2-12				
	0-1				X No air movement requirement
Openings					
			0-1	0	Large openings, 40-80%
			11-12	0-1	Very small openings, 10-20%
Any other conditions					X Medium openings, 20-40%
Walls					
			0-2		Light walls, short time-lag
			3-12		X Heavy external and internal walls
Roofs					
			0-5		Light, insulated roofs
			6-12		X Heavy roofs, over 8h time-lag
Outdoor sleeping					
				2-12	Space for outdoor sleeping required
Rain protection					
			3-12		Protection from heavy rain necessary

Detailed recommendations

Size of opening					
			0-1	0	Large openings, 40-80%
				1-12	Medium openings, 25-40%
			2-5		
			6-10		X Small openings, 15-25%
				0-3	Very small openings, 10-20%
			11-12	4-12	Medium openings, 25-40%
Position of openings					
3-12					In north and south walls at body height on windward side
1-2			0-5		
			6-12		X As above, openings also in internal walls
0	2-12				
Protection of openings					
				0-2	Exclude direct sunlight
			2-12		Provide protection from rain
Walls and floors					
			0-2		Light, low thermal capacity
			3-12		X Heavy, over 8h time-lag
Roofs					
10-12			0-2		Light, reflective surface, cavity
			3-12		
0-9			0-5		Light, well insulated
			6-12		X Heavy, over 8h time-lag
External features					
				1-12	Space for outdoor sleeping
			1-12		Adequate rainwater drainage

Bilaga 4: Givoni-diagrammet

