

Jørgen Rose

Typehus svarende til
BR-2005- Energikrav
Del 2: Måling af
Opvarmningsbehov for typehus

Rapport
BYG•DTU R-023
2002
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-081-5

Typehus svarende til BR-2005- Energikrav Del 2: Måling af Opvarmningsbehov for typehus

Jørgen Rose



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2002

FORORD

Nærværende rapport beskriver detaljerede målinger af energiforbruget i et nyt typehus med reduceret energiforbrug til opvarmning. Typehuset har, jf. rapporten ”Typehus svarende til BR-2005-energikrav, Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer” [1], et forventet energiforbrug til opvarmning som ligger 38 % under det nugældende energiramme krav jf. Bygningsreglementet BR95 [2].

Denne rapport beskriver dels de detaljerede målinger af husets energiforbrug som er gennemført i vinteren 2001-2002, og dels de tilsvarende detaljerede beregninger som er gennemført efterfølgende, til sammenligning med målingerne. Måleresultaterne behandles således at det er muligt at sammenligne disse med både simple beregninger baseret på typehusets varmetabskoefficient og detaljerede simuleringer foretaget vha. beregningsprogrammet tsbi3 [3].

Der har været problemer med at gennemføre målingerne, og dette har resulteret i en relativt begrænset datamængde. Problemerne viste sig i sidste ende at være støj fra omgivelserne, og denne støj påvirkede i særligt høj grad målinger af solbestrålingsstyrken, hvilket umuliggjorde anvendelse af disse data. Støjen blev fjernet ved at guarde målekanalerne i apparaturet.

For at dokumentere typehusets opvarmningsbehov yderligere, vil målingerne i huset blive fortsat, og når der foreligger en tilstrækkeligt stor datamængde vil de samlede resultater dokumenteres i en ny rapport. Ydermere vil der i rapporten inddrages målinger foretaget af Brøndby Fjernvarme, således at der skabes et bedre grundlag for at dokumentere husets opvarmningsbehov på årsbasis.

Projektet ”Optimering af klimaskærm samt varme- og ventilationsanlæg i et typehus mht. energiforbrug, indeklima og økonomi” gennemføres som et samarbejde mellem BYG•DTU og typehusfirmaet Bülow & Nielsen A/S. Fra BYG•DTU deltager Professor Svend Svendsen og forskningsadjunkt Jørgen Rose. Fra Bülow & Nielsen A/S deltager Civilingeniør Michael Hansen. Projektet finansieres dels af typehusfirmaet Bülow & Nielsen A/S og dels af Energistyrelsens EFP-program (ENS J. nr. 1213/99-0002).

SUMMARY

This report concludes the project "Optimisation of the building envelope as well as heating and ventilation system in a one family house with respect to energy consumption, indoor climate and economy." The project is carried out at BYG•DTU in co-operation with Bülow & Nielsen.

The report heads of with a short description of the background and purpose of the project.

In chapter 2 the measurements are described, e.g. measurements of outside temperature, solar gains, inside temperature, efficiency of the heat recovery unit and energy consumption. In addition to these measurements, a series of temperature measurements are discussed. These measurements are used to verify the calculation methods used for determining heat loss through foundation constructions and slab floors.

Measurements were performed for a period of 29 days, from December 12th 2001 to January 9th 2002. During this period the single-family house has used 1895 kWh for heating. 166 kWh has been gained from solar radiation, and the mean inside and outside temperatures have been 21,7 °C and – 0,3 °C respectively. The temperature efficiency of the heat recovery unit has been 77 %.

In chapter 3 the measured results are compared to calculated results. Calculations are performed using both very simple formulae and detailed simulations. The simple calculations are based on the heat loss coefficient of the building, whereas the detailed simulations are performed using the simulation program tsbi3.

The comparisons show that the simple calculation overestimates the heat consumption for the period by approximately 3 % whereas the detailed simulation underestimates it by approximately 2 %. The primary reason for these deviations are due to the fact that it is extremely difficult the correctly model the floor heating system in the calculations.

In chapter 4 of this report the conclusions that can be drawn from the measurements, calculations and simulations described in chapter 2 and 3 are given.

It is concluded that the single-family house will have an annual heat consumption corresponding to approximately 77 % of the present energy frame specified in the Building regulations, where the original goal of the project was to go below 67 %. The primary reason for this is that the heat recovery unit had a temperature efficiency that was well below the expected 90 %. If the unit was adjusted or replaced by a unit that has the expected 90 % temperature efficiency, the single-family house would have an annual heat consumption of approximately 65 % of the present energy frame. Therefore it is concluded that the project has achieved its original goal.

RESUMÉ

Nærværende rapport afslutter projektet med titlen ”Optimering af klimaskærm samt varme- og ventilationsanlæg i et typehus mht. energiforbrug, indeklima og økonomi.”, gennemført ved BYG•DTU i samarbejde med typehusfirmaet Bülow & Nielsen.

Rapporten indledes med en kortfattet gennemgang af projektets baggrund og formål.

I rapportens kapitel 2 gennemgås de måleresultater som er opnået, dvs. måleresultater for udetemperatur, solindfald, indetemperatur, effektivitet af varmegenvinder og energiforbrug. Herudover gennemgås resultater af temperaturmålinger til vurdering af hvorvidt de detaljerede beregningsmetoder som benyttes i forbindelse med vurderinger af varmetab gennem fundamenter og terrændæk er realistiske.

Målingerne er foretaget for en periode på 29 døgn, fra d. 12. december 2001 til d. 9. januar 2002. I denne periode har typehuset brugt 1895 kWh til opvarmning. Der er tilført 166 kWh fra solindfald og middel inde- og udetemperaturen har været hhv. 21,7 °C og -0,3 °C. Varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad har gennemsnitligt været 77 %.

I rapportens kapitel 3 foretages sammenligninger dels mellem simplificerede beregninger af typehusets energiforbrug og tilsvarende målte data, og dels mellem detaljerede simuleringer af typehusets energiforbrug og målinger. De simplificerede beregninger af typehusets opvarmningsbehov foretages på baggrund af typehusets varmetabskoefficient, mens de detaljerede beregninger foretages vha. simuleringssprogrammet tsbi3.

Sammenligningerne viser at den simplificerede beregning overvurderer opvarmningsbehovet for perioden med ca. 3 % mens tsbi3-simuleringen undervurderer samme med ca. 2 %. Den primære årsag til afvigelsen er, at det er særdeles vanskeligt at modellere gulvvarmesystemet i typehuset.

I rapportens kapitel 4 gennemgås kortfattet de konklusioner der kan drages på baggrund af de gennemførte målinger, beregninger og simuleringer der er beskrevet i rapportens kapitel 2 og 3.

Det konkluderes at typehuset vil have et opvarmningsbehov som svarer til ca. 73 % af den nu gældende energiramme, hvor det oprindelige mål var at nå under 67 %. Årsagen til dette er primært, at varmegenvindingsenheden har en temperaturvirkningsgrad som er væsentligt lavere end forventet. Hvis enheden enten justeres eller udskiftes så de oprindeligt forventede 90 % effektivitet opnås, vil typehusets forventede opvarmningsbehov reduceres til ca. 65 % af den nu gældende energiramme. Det konkluderes på denne baggrund at projektet har levet op til målsætningen.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	1
SUMMARY	3
RESUMÉ	5
INDHOLDSFORTEGNELSE.....	7
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	9
1.1 BAGGRUND	9
1.2 FORMÅL	9
2 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER.....	11
2.1 UDETEMPERATUR.....	11
2.2 SOLINDFALD.....	12
2.3 INDETEMPERATUR	15
2.4 EFFEKTIVITET AF VARMEGENVINDER	16
2.5 ENERGIFORBRUG	18
2.6 ØVRIGE TEMPERATURMÅLINGER.....	19
2.7 SAMMENFATNING AF RESULTATER.....	21
3 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER	23
3.1 MÅLINGER SAMMENLIGNET MED SIMPLIFICEREDE BEREGNINGER	23
3.2 MÅLINGER SAMMENLIGNET MED DETALJEREDE BEREGNINGER.....	27
3.3 SAMMENFATNING OG DISKUSSION AF RESULTATER	30
3.4 MÅLINGER FRA BRØNDBY FJERNVARME.....	32
4 KONKLUSION	35
4.1 BEREGNINGSMODEL VS. MÅLINGER.....	35
4.2 OPVARMNINGSBEHOV FOR FYRINGSSÆSON	35
REFERENCER	37
BILAG	39

1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL

1.1 Baggrund

For bygninger som har et lavere opvarmningsbehov end svarende til energirammen specificeret i Bygningsreglementet (BR 95) vil transmissionstabets andel i varmebalancen ikke være ligeså udtalt dominerende i varmebalancen som for bygninger med et højere opvarmningsbehov. Ventilationstab, det interne varmetilskud og solindfaldet får således i fremtidens byggeri en relativt større betydning for bygningens varmebalance, og det vil derfor være hensigtsmæssigt at basere de energimæssige krav, som specificeres i et kommende bygningsreglement, på det resulterende opvarmningsbehov alene. Et kommende bygningsreglement bør basere sig på energiramme krav alene, idet man ikke ved at stille krav til konstruktioners U-værdier kan sikre sig at en bygning opnår en forsvarlig totaløkonomisk løsning. De enkelte bygningskonstruktioners isoleringsgrad må fastsættes på baggrund af totaløkonomiske vurderinger, hvor der tages højde for alle faktorer som påvirker den samlede bygnings varmebalance, og vurderingerne må foretages over en periode som svarer til bygningens forventede levetid. Herved vil der skabes de bedste muligheder for store frihedsgrader i design af fremtidens bygninger.

På baggrund af ovenstående vil der være et stort behov for at præsentere byggebranchen for nogle gode eksempler på hvordan en totaloptimering kan udføres i praksis og ligeledes hvilke resultater og muligheder en sådan typisk vil kunne føre med sig. Samtidig vil der være et behov for at der fastlægges et fornuftigt niveau for fremtidens energiramme krav, som sikrer at der bliver tale om økonomisk realistiske forhold for byggeriet.

1.2 Formål

Projektets formål er at gennemføre en optimering af klimaskærmskonstruktioner samt varme- og ventilationsanlægget i et parcelhus med udgangspunkt i forskellige scenarier svarende til et skærpet energiramme krav. Udgangspunktet er det nuværende energiramme krav på 280 MJ/m². I forhold til energiramme kravet udvikles og optimeres konstruktions- og systemudformninger, således at parcelhuset holder sig inden for energirammer på henholdsvis 67 % og 50 % af ovennævnte. I denne forbindelse forudsættes det at husets form og indvendige areal bibeholdes svarende til situationen før optimeringerne. Af hensyn til sammenligneligheden mellem den oprindelige udformning og den optimerede udformning af parcelhuset, vil der på samme måde kun blive foretaget ændringer i dele af huset der har indflydelse på husets energiforbrug.

Projektet vil med udgangspunkt i bearbejdelsen af et konkret typehus som eksempel tjene flere forskellige formål: Først og fremmest behandler projektet problemerne forbundet med en totaløkonomisk optimering af en bygning og giver dermed en vurdering af en lang række energibesparende tiltag ud fra disses pris/ydelse-forhold. Ydermere giver projektet oplysninger om merprisen ved at reducere energiforbruget til forskellige niveauer af nugældende energiramme og dermed er projektet med til at fremskaffe et grundlag for en rationel beslutning om et fremtidigt energimæssigt krav til bygninger. Sidst men ikke mindst dokumenterer projektet at der uden væsentlige ændringer i udseende og økonomi kan opnås en besparelse på opvarmningsbehovet på mere end 33 % i et parcelhus fra typehusfirmaet Bülow & Nielsen.

Oprindeligt forventedes det at der gennem projektet ville fremkomme i alt 4 rapporter. De første tre rapporter skulle være tekniske rapporter der dokumenterede de forskellige beregningstekniske analyser og målinger, mens den sidste rapport skulle sammenfatte projektets resultater på kortfattet og lettere tilgængelig form. Nærværende rapport beskriver dog både måleresultater og

sammenligninger mellem målinger og beregninger, og i forhold til den oprindelige plan er de 2 sidste tekniske rapporter slået sammen til én. Den sidste rapport, som vil blive skrevet efter projektets afslutning, vil opsummere de samlede resultater som er nået i projektet, på let tilgængelig form.

2 GENNEMGANG AF MÅLERESULTATER

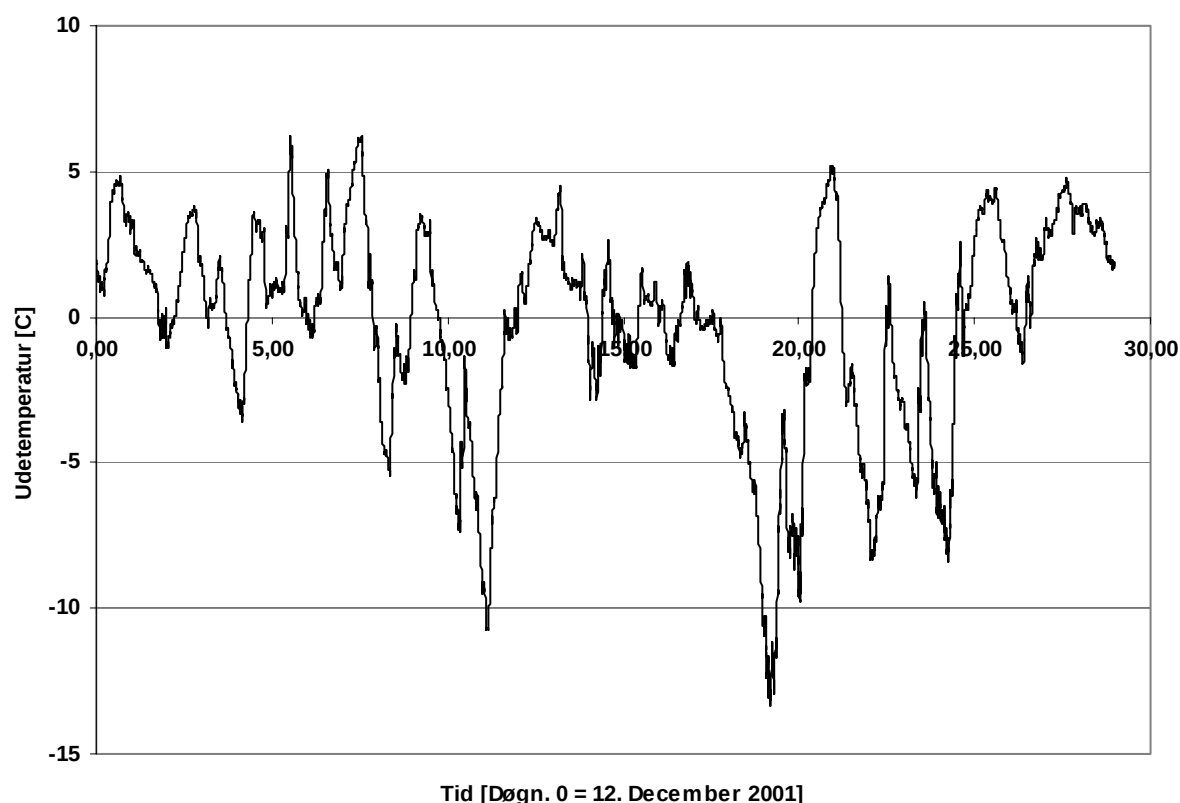
I dette kapitel gennemgås de målinger som er foretaget. Først og fremmest er der foretaget målinger af energiforbrug samt inde- og udeklima. Disse målinger benyttes til sammenligning med de tidligere gennemførte simuleringer af typehuset, således at det undersøges hvorvidt der er overensstemmelse mellem det teoretisk beregnede varmebehov og det målte varmebehov. Herudover er der foretaget en række temperaturmålinger for at verificere de metoder som er anvendt i forbindelse med de beregninger der er foretaget for husets opvarmningsbehov.

Der er målt data for i alt 29 dage. Måleperioden starter d. 12. december 2001 og afsluttes d. 9. januar 2002. Årsagen til at der ikke er opsamlet en større datamængde er, at der har været problemer med at få måleapparatet til at fungere. Målingerne vil dog blive fortsat efterfølgende, og de data som fremkommer vil blive dokumenteret i en senere rapport.

2.1 Udetemperatur

Udetemperaturen måles vha. et termoelement placeret i vejrstationen, som er fastgjort til en taghætte på typehusets tag.

Temperaturen gennem perioden er vist i figur 1.



Figur 1 : Udetemperatur.

Af figuren kan det ses at der har været dage med meget mildt vejr, såvel som dage med meget kraftig frost. Udetemperaturen varierer fra +6 °C til -13 °C.

Den gennemsnitlige udetemperatur for perioden kan beregnes til -0,31 °C.

Hvis man beregner døgnmiddeltemperaturerne for perioden fås resultaterne vist i tabel 1.

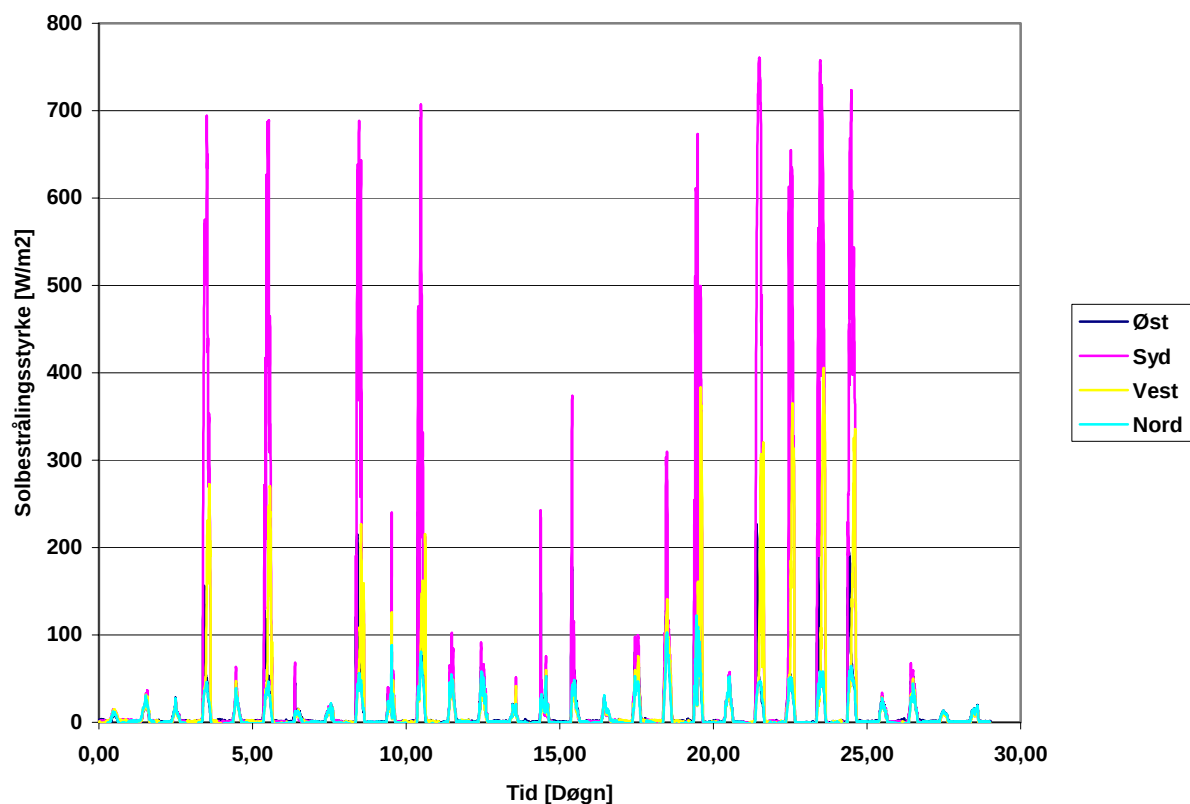
Tabel 1 : Gennemsnitlige udetemperaturer for hvert enkelt døgn i perioden.

Dag [-]	Udetemperatur [°C]	Dag [-]	Udetemperatur [°C]	Dag [-]	Udetemperatur [°C]
12.12.2001	3,01	22.12.2001	-5,20	01.01.2002	0,76
13.12.2001	1,36	23.12.2001	-4,18	02.01.2002	-2,08
14.12.2001	1,69	24.12.2001	2,21	03.01.2002	-3,93
15.12.2001	0,18	25.12.2001	1,74	04.01.2002	-3,86
16.12.2001	0,68	26.12.2001	-0,40	05.01.2002	-2,46
17.12.2001	1,80	27.12.2001	-0,15	06.01.2002	3,34
18.12.2001	1,51	28.12.2001	-0,04	07.01.2002	0,73
19.12.2001	3,36	29.12.2001	-0,55	08.01.2002	3,68
20.12.2001	-2,45	30.12.2001	-5,20	09.01.2002	2,92
21.12.2001	1,31	31.12.2001	-8,74	-	-

2.2 Solindfald

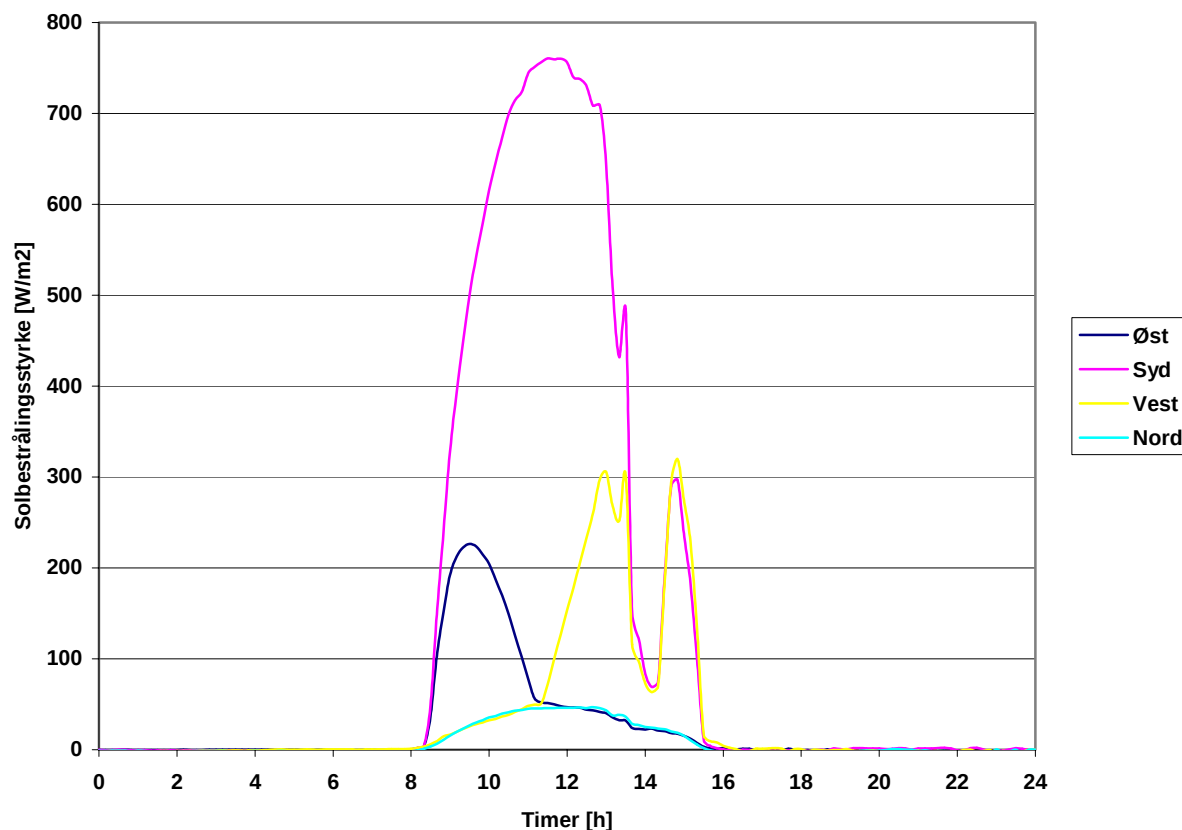
Solpåvirkningen af bygningen bestemmes vha. fire pyranometre monteret på bygningens tag. De fire pyranometre vender således at de korresponderer med husets facader og gavle, således at de målte værdier svarer til solindfaldet på husets fire retninger. Husets orientering fremgår af bilag 2.

I den betragtede periode er der målt solbetrålingsstyrker som vist i figur 2.



Figur 2 : Solbetrålingsstyrker på typehusets facader og gavle.

På figuren kan det være svært at skelne solstrålingen på de forskellige retninger. I figur 3 er vist solbetrålingsstyrken for de 4 retninger for 21. døgn, dvs. 2. januar 2002.



Figur 3 : Solbetrålingsstyrke på husets facader og gavle for 21. døgn (2. januar 2002)

Af figuren er det tydeligt at solen står op lidt efter kl. 8.00 og rammer hhv. syd- og østfacaden ca. samtidig. Når solen ikke længere rammer østfacaden rammes i stedet vestfacaden (kl. ca. 11.30). Nordfacaden rammes tydeligvis ikke af direkte solstråling. Alt i alt ser de målte data fornuftige ud, og afspejler hvad man kan forvente i starten af januar måned.

For at fastlægge det samlede solindfald i perioden, skal solbetrålingsstyrkerne for de respektive retninger ganges med arealet af glaspartierne for de tilsvarende facader og gavle i typehuset. Der tages udgangspunkt i metoden beskrevet i "Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1. Grundlæggende energimæssige egenskaber" [4], hvilket betyder at der ydermere tages højde for glassets solenergitransmittans samt eventuelle skyggefaktorer. Følgende formel anvendes :

$$g_{\text{korrigeret}} = g_0 \cdot F_s \cdot \eta$$

hvor $g_{\text{korrigeret}}$ er den korrigerede solenergitransmittans

g_0 er den totale solenergitransmittans ved en indfaldsvinkel på 0 °, og

F_s er skyggefaktoren

For at tage højde for g -værdiens vinkelafhængighed anvendes der ved bestemmelsen af det totale solindfald i den betragtede periode en korrektionsfaktor på 0,9. Faktoren er overslagsmæssigt fastlagt med korrektionsfaktor for diffus solstråling på $f = 0,86$ og vinkelafhængighedsfaktor $p = 3$.

Glassene som er anvendt har en solenergitransmittans på 0,59.

Skyggefaktoren F_s antages som udgangspunkt at være 0,9, idet der er tale om fri horisont. Udhængen på typehuset er relativt stort. Hvis man benytter retningslinierne givet i ”SBI-anvisning 184. Bygningers energibehov” [5], er der tale om et lille udhæng for alle vinduer undtagen glaspartiet i opholdsstuen samt alle glasdøre. For vinduerne korrigeres F_s derfor med en faktor -0,1.

Udnyttelsesfaktoren for solenergien antages for den aktuelle periode at være 0,99. Denne værdi er vurderet på baggrund af SBI-anvisning 184.

De korrigerede solenergitransmittanser kan nu beregnes som :

$$g_{\text{korrigeret}} = 0,59 \cdot 0,80 \cdot 0,99 \cdot 0,90 = 0,42, \text{ for alle vinduer}$$

$$g_{\text{korrigeret}} = 0,59 \cdot 0,90 \cdot 0,99 \cdot 0,90 = 0,47, \text{ for glasparti i opholdsstue og glasdøre}$$

Glasarealerne for de fire facader kan opgøres til følgende :

$$A_{\text{øst}} = 7,34 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{syd}} = 6,45 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{vest}} = 12,32 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{nord}} = 2,15 \text{ m}^2$$

Det er hermed tydeligt at huset ikke er orienteret bedst muligt i forhold til at udnytte solenergien.

Målingerne, som er foretaget vha. pyranometre, bliver aflæst i W/m^2 , og disse værdier kan nu ganges med de respektive arealer samt de korrigerede solenergitransmittanser. I løbet af natte-timerne, dvs. de tidspunkter hvor solen ikke skinner, viser målingerne både positive og negative udslag i solbestrålingsstyrken. Disse værdier nulstilles i forbindelse med beregning af solindfaldet. Da der er tale om meget små værdier har dette en meget lille betydning i de samlede beregninger.

$$Q_{\text{total}} = (Q_{s,\text{øst}} \cdot A_{\text{øst}} + Q_{s,\text{syd}} \cdot A_{\text{syd}} + Q_{s,\text{vest}} \cdot A_{\text{vest}} + Q_{s,\text{nord}} \cdot A_{\text{nord}}) \cdot g_{\text{korrigeret}}$$

Herved fås et samlet energitilskud fra solen på 166 kWh for den betragtede periode. Ligesom for udetemperaturen, bestemmes også det daglige soltilskud for hver enkelt dag i perioden. Resultaterne er vist i tabel 2.

Tabel 2 : Tilskud af solenergi til huset for hvert enkelt døgn i perioden.

Dag [-]	Soltilskud [kWh]	Dag [-]	Soltilskud [kWh]	Dag [-]	Soltilskud [kWh]
12.12.2001	0,76	22.12.2001	10,68	01.01.2002	2,20
13.12.2001	1,32	23.12.2001	2,63	02.01.2002	17,31
14.12.2001	0,84	24.12.2001	2,53	03.01.2002	12,73
15.12.2001	13,78	25.12.2001	0,93	04.01.2002	19,05
16.12.2001	1,56	26.12.2001	2,21	05.01.2002	16,33
17.12.2001	12,70	27.12.2001	3,31	06.01.2002	1,27
18.12.2001	0,78	28.12.2001	1,10	07.01.2002	2,35
19.12.2001	0,90	29.12.2001	3,57	08.01.2002	0,65
20.12.2001	11,55	30.12.2001	7,05	09.01.2002	0,88
21.12.2001	2,04	31.12.2001	13,26	-	-

2.3 Indetemperatur

Indetemperaturen er målt vha. de termostater som er placeret i samtlige rum (med undtagelse af gangen). Den gennemsnitlige indetemperatur er således en arealvægtet middelværdi af 10 forskellige målinger.

Middelværdierne af indetemperaturen for hvert enkelt rum er opstillet i tabel 3.

Tabel 3 : Middelttemperatur og areal for hvert rum i huset.

Rum [-]	Middelttemperatur [°C]	Areal af rum [m ²]
Forældrebåd	21,35	4,2
Soveværelse	21,46	11,6
Værelse 1	22,33	10,0
Entre	21,54	4,2
Værelse 3	21,45	7,3
Bryggers	22,06	6,6
Køkken/alrum	21,77	24,2
Børnebåd + gang	21,23	5,5
Værelse 2	21,34	9,9
Stue	21,75	26,2

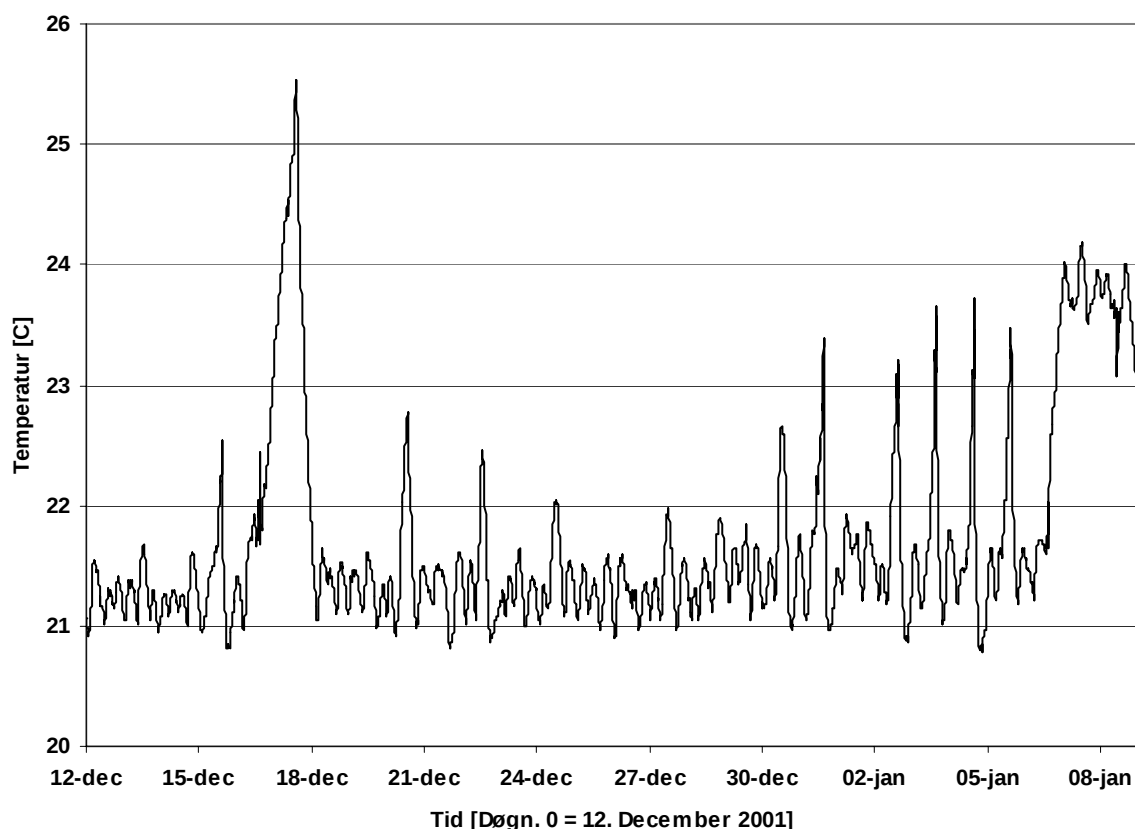
Ved at gange areal og middelttemperatur for hvert enkelt rum, summere disse resultater og dividere med husets totale indvendige areal bestemmes husets middelttemperatur. Resultatet af denne beregning bliver 21,69 °C.

Bestemmes den arealvægtede middelttemperatur for hvert enkelt døgn i perioden får man resultaterne opstillet i tabel 4.

Tabel 4 : Middelttemperaturer i huset for hver enkelt døgn i perioden.

Dag [-]	Middelttemp. [°C]	Dag [-]	Middelttemp. [°C]	Dag [-]	Middelttemp. [°C]
12.12.2001	21,41	22.12.2001	21,31	01.01.2002	21,83
13.12.2001	21,30	23.12.2001	21,27	02.01.2002	21,85
14.12.2001	21,30	24.12.2001	21,32	03.01.2002	21,79
15.12.2001	21,35	25.12.2001	21,29	04.01.2002	21,58
16.12.2001	21,60	26.12.2001	21,24	05.01.2002	21,80
17.12.2001	22,61	27.12.2001	21,30	06.01.2002	22,12
18.12.2001	21,38	28.12.2001	21,61	07.01.2002	22,76
19.12.2001	21,29	29.12.2001	21,86	08.01.2002	23,01
20.12.2001	21,35	30.12.2001	21,82	09.01.2002	22,80
21.12.2001	21,32	31.12.2001	21,77	-	-

Temperaturerne i de enkelte rum varierer meget lidt gennem perioden. Der forekommer dog tidspunkter hvor temperaturen pludselig stiger eller falder meget brat. Dette skyldes at typehuset har været fremvist for offentligheden i den betragtede periode, og at besøgende i huset har ”pillet” ved termostaterne i de forskellige rum. I figur 4 er vist forløbet af den målte temperatur i opholdsstuen gennem den betragtede periode. Figuren viser hvorledes temperaturen i 5. døgn, dvs. d. 16. december 2001, samt fra 26. døgn, dvs. 6. januar 2002, og frem efter, pludselig stiger kraftigt. Dette skyldes at der er stillet på termostaterne på disse tidspunkter.



Figur 4 : Temperatur i opholdsstue.

Måledata viser at der d. 16-12-2001 kl. 15.25 stilles på termostaten for stuen, således at setpunktet ændres fra 22,7 °C til 39,0 °C, og denne ændring kommer til udtryk i en meget høj temperatur de efterfølgende døgn. Dagen efter, d. 17-12-2001, kl. 8.15 ændres termostatens indstilling tilbage således at setpunktet er 21,23 °C, og herefter falder temperaturen igen. Det samme fænomen forekommer i slutningen af måleperioden.

2.4 Effektivitet af varmegenvinder

Effektiviteten af varmegenvinderen kan bestemmes ud fra fire temperaturmålinger, svarende til temperaturen af den luft som hentes udefra (friskluft), den luft som blæses ud (afkast), den luft som hentes indefra (udsugning) og den luft som blæses ind (indblæsning).

I den betragtede periode har der i varmegenvinderen kunnet måles følgende middeltemperaturer :

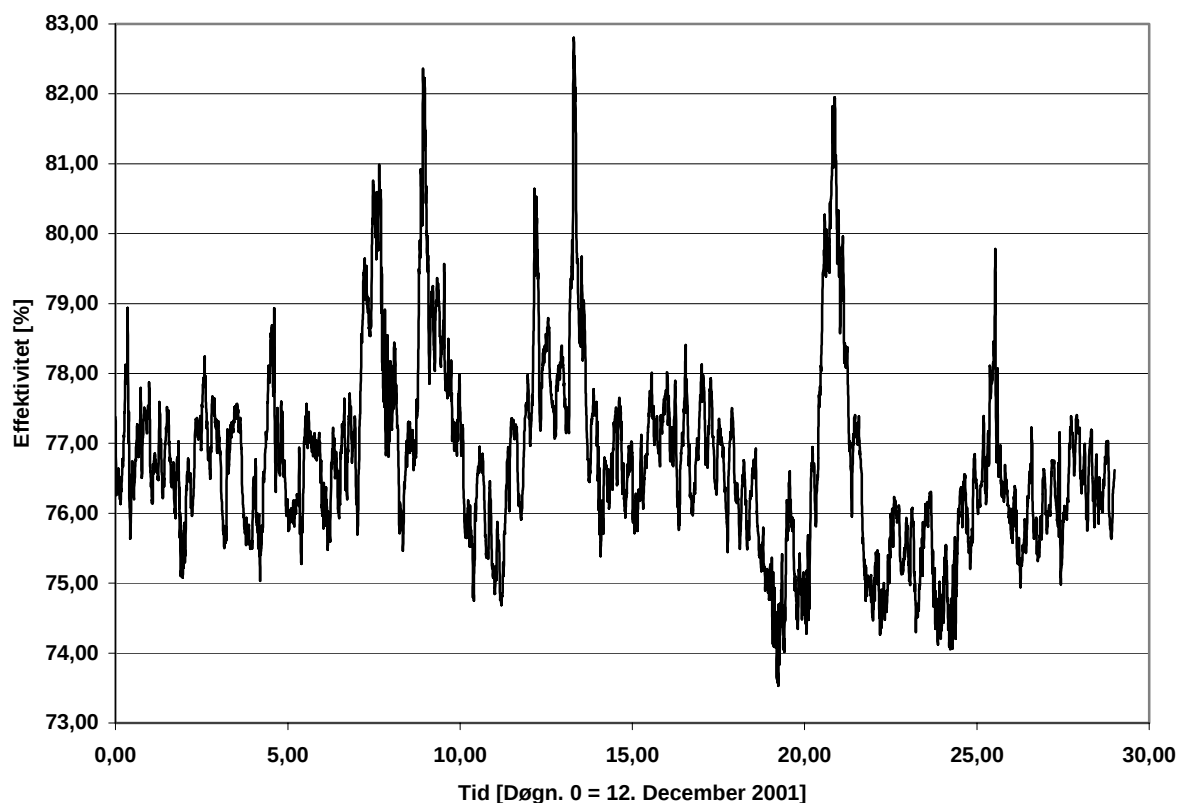
$T_{\text{friskluft}}$	=	0,11 °C
T_{afkast}	=	10,39 °C
$T_{\text{udsugning}}$	=	22,03 °C
$T_{\text{indblæsning}}$	=	16,90 °C

Den gennemsnitlige temperaturvirkningsgrad kan således bestemmes som :

$$\eta_{\text{vgv}} = 1 - \frac{(T_{\text{udsugning}} - T_{\text{indblæsning}})}{(T_{\text{udsugning}} - T_{\text{friskluft}})} = 1 - \frac{(22,03 - 16,90)}{(22,03 - 0,11)} = 0,77 = 77\%$$

Det er en forudsætning at der indblæses og udsuges samme luftmængde gennem ventilationsanlægget. Målinger foretaget af leverandøren af ventilationsanlægget viser, at denne antagelse er rimelig.

Effektiviteten af varmegenvinderen varierer, og i figur 5 er vist variationen gennem perioden.



Figur 5 : Variation af varmegenvinderens effektivitet gennem perioden.

Figur 5 viser at varmegenvinderens effektivitet varierer mellem 73 % og 83 %. Hvis effektiviteten beregnes for hver enkelt dag i perioden, får man resultaterne opstillet i tabel 5.

Tabel 5 : Effektivitet af varmegenvinder for hver enkelt døgn i perioden.

Dag [-]	Effektivitet [%]	Dag [-]	Effektivitet [%]	Dag [-]	Effektivitet [%]
12.12.2001	77,4	22.12.2001	75,0	01.01.2002	80,0
13.12.2001	75,7	23.12.2001	77,6	02.01.2002	74,5
14.12.2001	77,2	24.12.2001	78,1	03.01.2002	75,5
15.12.2001	76,1	25.12.2001	76,5	04.01.2002	74,4
16.12.2001	76,2	26.12.2001	76,9	05.01.2002	76,4
17.12.2001	76,0	27.12.2001	77,7	06.01.2002	75,7
18.12.2001	76,1	28.12.2001	77,8	07.01.2002	76,0
19.12.2001	78,1	29.12.2001	76,2	08.01.2002	76,7
20.12.2001	81,5	30.12.2001	75,1	09.01.2002	76,6
21.12.2001	77,6	31.12.2001	74,6	-	-

2.5 Energiforbrug

Typehusets energiforbrug gennem perioden er målt vha. flow/energimålere. Der er opsat i alt 3 målere, således at der kan måles på forbruget til varmt vand (VV), forbruget til varmefladen i varmegenvindingsenheden (VGV) og forbruget til gulvvarmeanlægget (GV).

Idet typehuset ikke har været beboet i den pågældende periode, vil forbruget til varmt vand være minimalt, og der tages derfor ikke hensyn til dette i vurderingerne.

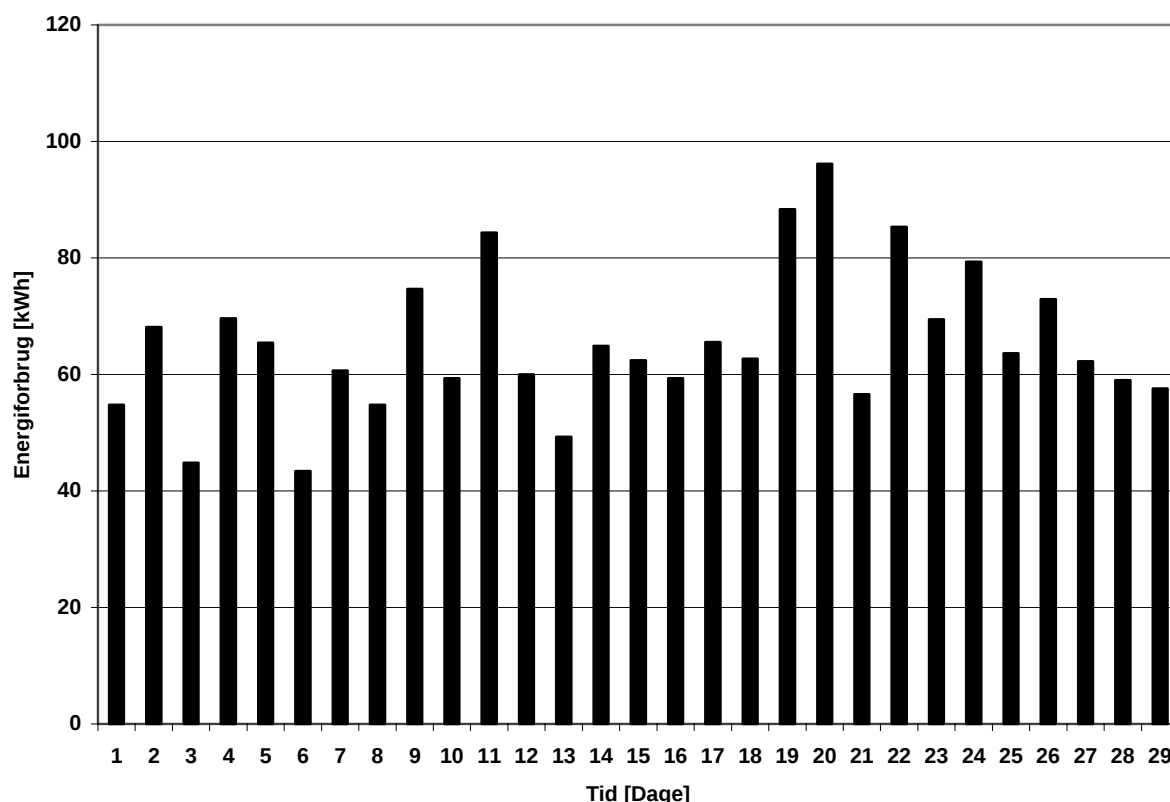
Det har vist sig at forbruget til varmefladen i varmegenvindingsenheden ligeledes er minimalt. Dette skyldes enten at setpunktet for eftervarmning af luften som indblæses i huset har været sat for lavt eller at varmefladen har været helt slukket. Dette har resulteret i at der ind imellem er indblæst relativt kold luft i huset. Den laveste indblæsningstemperatur er 11,75 °C, og forekommer d. 31-12-2001 kl. 04.40, den gennemsnitlige indblæsningstemperatur for hele perioden har været 16,90 °C.

Energiforbruget til opvarmningen af huset udgøres således udelukkende af forbruget i gulvvarmeanlægget. Gennem den betragtede periode har der således været brugt 1895 kWh. Hvis man beregner energiforbruget fordelt på de enkelte dage i perioden, får man resultaterne i tabel 6.

Tabel 6 : Energiforbrug til gulvvarmeanlæg for hver enkelt døgn i perioden.

Dag [-]	Energiforbrug [kWh]	Dag [-]	Energiforbrug [kWh]	Dag [-]	Energiforbrug [kWh]
12.12.2001	55	22.12.2001	84	01.01.2002	57
13.12.2001	68	23.12.2001	60	02.01.2002	85
14.12.2001	45	24.12.2001	49	03.01.2002	69
15.12.2001	70	25.12.2001	65	04.01.2002	79
16.12.2001	65	26.12.2001	62	05.01.2002	64
17.12.2001	43	27.12.2001	59	06.01.2002	73
18.12.2001	61	28.12.2001	66	07.01.2002	62
19.12.2001	55	29.12.2001	63	08.01.2002	59
20.12.2001	75	30.12.2001	88	09.01.2002	58
21.12.2001	59	31.12.2001	96	-	-

Figur 6 viser energiforbruget til gulvvarmeanlægget grafisk. Dag 1 svarer til d. 12-12-2001, og dag 20 (hvor det største energiforbrug forekommer) svarer til den 31-12-2001. Sidstnævnte er også den koldeste dag i måleperioden (se evt. figur 1).



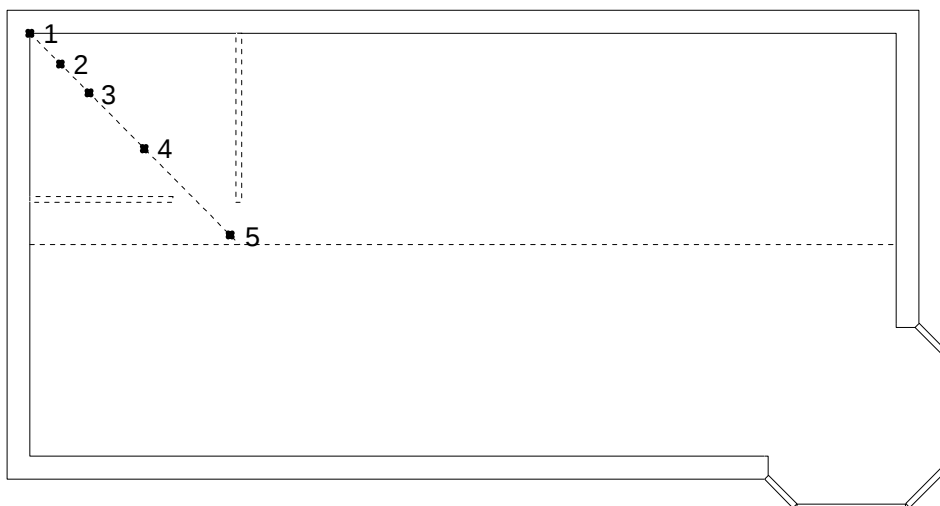
Figur 6 : Energiforbrug for gulvvarmeanlæg.

2.6 Øvrige temperaturmålinger

Som tidligere omtalt foretages der, ud over de ovenfor beskrevne målinger, ligeledes en række temperaturmålinger i husets konstruktioner, for at verificere de beregningsmetoder der er anvendt i forbindelse med den teoretiske bestemmelse af husets opvarmningsbehov.

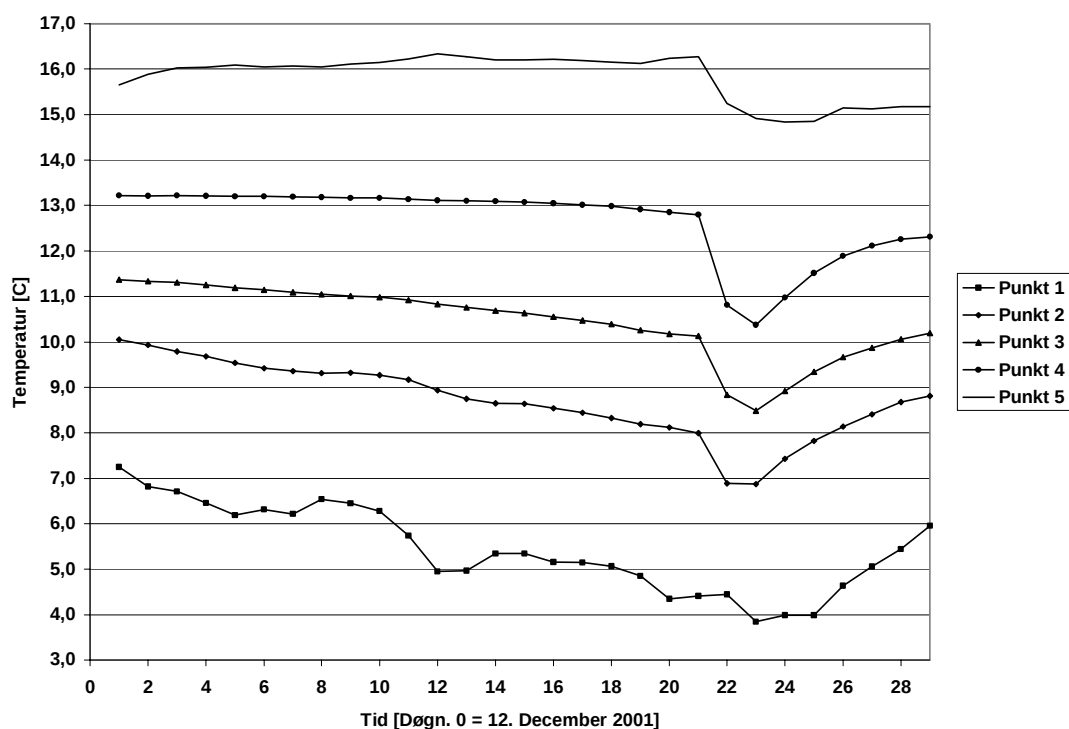
Der foretages to sæt målinger; ét hvor temperaturen på og omkring gulvvarmeslangerne fastlægges, og ét hvor temperaturen på det nederste betondæk i terrændækkonstruktionen fastlægges, se evt. bilag 12 for terrændækkets opbygning. Førstnævnte skal primært benyttes i forbindelse med undersøgelser af gulvvarmeanlæggets effektivitet, træghed og øvrige interessante parametre. Disse undersøgelser vil dog blive analyseret under et andet projekt, og vil derfor ikke blive behandlet i detaljer i denne rapport. Det skal dog nævnes at målingerne har vist at den gennemsnitlige temperatur i og omkring gulvvarmeslangerne er 35,11 °C, hvilket er væsentligt højere end forventet (30 °C). Dette vil have indflydelse i forbindelse med de sammenligninger af beregninger og målinger som gennemgås i kapitel 3. Sidstnævnte målinger skal benyttes i forbindelse med verificering af den beregningsmodel, som er benyttet i forbindelse med beregningen af varmetabet gennem ydervægsfundamentet samt terrændækket.

Temperaturmålingerne på oversiden af den nederste betonplade er målt 5 steder. Første punkt er beliggende i selve hjørnet af bygningen, dvs. svarende til bagvæggens indvendige hjørne. De øvrige 4 punkter er placeret i en diagonal mod husets centerlinie (i længderetningen), med afstand fra husets indvendige hjørne på hhv. 0,71 m, 1,41 m, 2,83 m og 4,95 m (dvs. hhv. 0,5 m; 1,0 m; 2,0 m og 3,5 m fra den indvendige side af begge ydervæggene svarende til gavl og facade). I figur 7 er placeringen af termoelementerne vist grafisk.



Figur 7 : Placering af termoelementer. Overside af nederste betonplade i terrændæk.

I figur 8 er optegnet de 5 temperaturforløb gennem perioden.



Figur 8 : Døgnmiddeltemperaturer for nederste betonplade i terrændækkonstruktion.

Af figuren er det tydeligt at punkt 1 er mest influeret af udetemperaturen, hvorimod de øvrige temperaturer er langt mere stabile.

Det kan undre at temperaturen i punkt 5 varierer så relativt meget som den gør. En mulighed kunne dog være, at punkt 5 ligger umiddelbart midt i gangen, dvs. i et område hvor der er ført mange gulvvarmeslanger forbi (til de to værelser og børnebadeværelset). Det er umiddelbart vanskeligt at give en mere fyldestgørende forklaring på fænomenet.

Gennemsnitstemperaturerne i de 5 punkter for hele perioden er :

Punkt 1	T =	5,4 °C
Punkt 2	T =	8,7 °C
Punkt 3	T =	10,4 °C
Punkt 4	T =	12,7 °C
Punkt 5	T =	15,8 °C

Resultaterne sammenlignes med beregninger senere i rapporten.

2.7 Sammenfatning af resultater

I det efterfølgende er resultaterne af målingerne sammenfattet. De parametre som har direkte indflydelse på husets indeklima og energiforbrug er opsummeret i tabel 7 for hvert enkelt døgn i perioden og tabel 8 for perioden som helhed.

Tabel 7 : Samlede måleresultater for perioden, døgnmiddelværdier/-summationer.

Dag [#]	Udetemperatur [°C]	Solindfald [kWh]	Indetemperatur [°C]	VGV eff. [%]	Energiforbrug [kWh]
12.12.01	3,01	0,76	21,41	77,4	55
13.12.01	1,36	1,32	21,30	75,7	68
14.12.01	1,69	0,84	21,30	77,2	45
15.12.01	0,18	13,78	21,35	76,1	70
16.12.01	0,68	1,56	21,60	76,2	65
17.12.01	1,80	12,70	22,61	76,0	43
18.12.01	1,51	0,78	21,38	76,1	61
19.12.01	3,36	0,90	21,29	78,1	55
20.12.01	-2,45	11,55	21,35	81,5	75
21.12.01	1,31	2,04	21,32	77,6	59
22.12.01	-5,20	10,68	21,31	75,0	84
23.12.01	-4,18	2,63	21,27	77,6	60
24.12.01	2,21	2,53	21,32	78,1	49
25.12.01	1,74	0,93	21,29	76,5	65
26.12.01	-0,40	2,21	21,24	76,9	62
27.12.01	-0,15	3,31	21,30	77,7	59
28.12.01	-0,04	1,10	21,61	77,8	66
29.12.01	-0,55	3,57	21,86	76,2	63
30.12.01	-5,20	7,05	21,82	75,1	88
31.12.01	-8,74	13,26	21,77	74,6	96
01.01.02	0,76	2,20	21,83	80,0	57
02.01.02	-2,08	17,31	21,85	74,5	85
03.01.02	-3,93	12,73	21,79	75,5	69
04.01.02	-3,86	19,05	21,58	74,4	79
05.01.02	-2,46	16,33	21,80	76,4	64
06.01.02	3,34	1,27	22,12	75,7	73
07.01.02	0,73	2,35	22,76	76,0	62
08.01.02	3,68	0,65	23,01	76,7	59
09.01.02	2,92	0,88	22,80	76,6	58
Sum/mid	-0,31	166	21,69	77,0	1895

3 SAMMENLIGNING BEREGNINGER/MÅLINGER

Sammenligninger mellem beregninger og målinger foretages dels hvor måleresultaterne sammenlignes med simplificerede beregninger baseret på husets totale varmetabskoefficient, og dels ved sammenligning med detaljerede simuleringer hvor bygningssimuleringsprogrammet tsbi3 anvendes.

3.1 Målinger sammenlignet med simplificerede beregninger

Den simplificerede beregning af husets forventede opvarmningsbehov, baseres på de målte ude- og indetemperaturer, temperaturvirkningsgraden af varmegenvinderen, den tilførte solenergi, samt husets teoretiske varmetabskoefficient. Sidstnævnte er bestemt i rapporten ”Typehus svarende til BR-2005 – energikrav, Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer”.

I de tidligere gennemførte beregninger er det antaget at varmegenvindingsenheden har en temperaturvirkningsgrad på 90 %. Dette har målingerne dog vist var en smule for optimistisk. Derfor korrigeres varmetabskoefficienten for huset, i forhold til den oprindeligt beregnede. Varmetabskoefficienten for huset kan derfor bestemmes som :

$$H_{total} = H_{trans,1D} + H_{trans,2D} + H_{vent}$$

hvor H_{total} er den totale varmetabskoefficient for huset,

$H_{trans,1D}$ er varmetabskoefficienten for 1-dimensionale transmissionstab,

$H_{trans,2D}$ er varmetabskoefficienten for 2-dimensionale transmissionstab, og

H_{vent} er varmetabskoefficienten for ventilationstab/infiltration.

Værdierne fra den første rapport benyttes, dog ændres varmetabskoefficienten for ventilations- og infiltrationstab, således at der tages højde for den lavere temperaturvirkningsgrad. Ydermere ændres også infiltrationen fra de oprindelige 0,10 h⁻¹ til 0,12 h⁻¹, idet detaljerede målinger [6] har vist at infiltrationen var en smule højere end forventet. Varmetabskoefficienten for konstruktioner (UA-værdien) er ligeledes korrigeret for at tage højde for det ekstra varmetab som forekommer gennem terrændækket, idet gulvvarmeslangerne er ca. 5 °C varmere end forventet. Af samme grund forhøjes varmetabskoefficienten for samlinger (ψl-værdien) for at tage højde for det forøgede varmetab gennem fundamentet. Forhøjelserne af varmetabskoefficienterne er foretaget ved forholdsregning mellem de forventede og de aktuelle temperaturer.

$$H_{total} = 109,84W / K + 11,30W / K + 0,34 \cdot (0,83h^{-1} \cdot 23\% + 0,12h^{-1}) \cdot 259m^3 = 149W / K$$

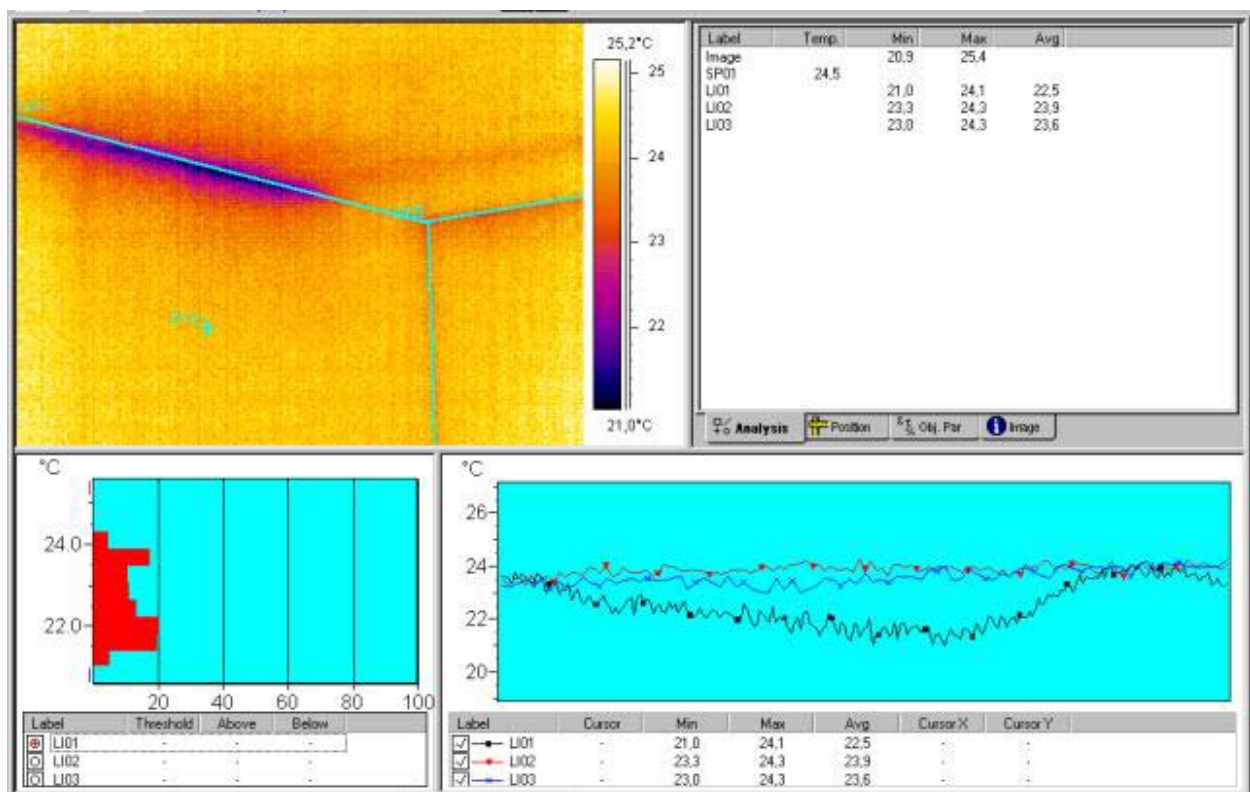
Termografering af bygningens konstruktioner har vist at der forekommer kuldebroer, som der ikke er taget højde for i forbindelse med de tidligere omtalte detaljerede beregninger. Det er dog svært at sætte præcise tal på disse ekstra kuldebroers betydning, og der tages derfor ikke højde for dette forhold i beregningerne.

I det efterfølgende gives et par eksempler på hvorledes termograferingen viser de uventede kuldebroers placering. Eksemplerne er primært medtaget for at give en idé om hvorledes termografering kan benyttes i forbindelse med at bestemme placeringen af eventuelle utilsigtede kuldebroer i et byggeri.

I figur 9 og 10 er vist hhv. et almindeligt fotografi af samlingen mellem loftskonstruktion, indvendig væg (skillevæg) og ydervæg, samt et termografi, som viser en kuldebro i samlingen som ikke umiddelbart burde forekomme. Billederne er fra opholdsstuen, og skillevæggen (venstre side af billedet) støder op til soveværelset.



Figur 9 : Samling mellem loftskonstruktion, skillevæg og ydervæg. Opholdsstue



Figur 10 : Termografering af detaljen vist i figur 9.

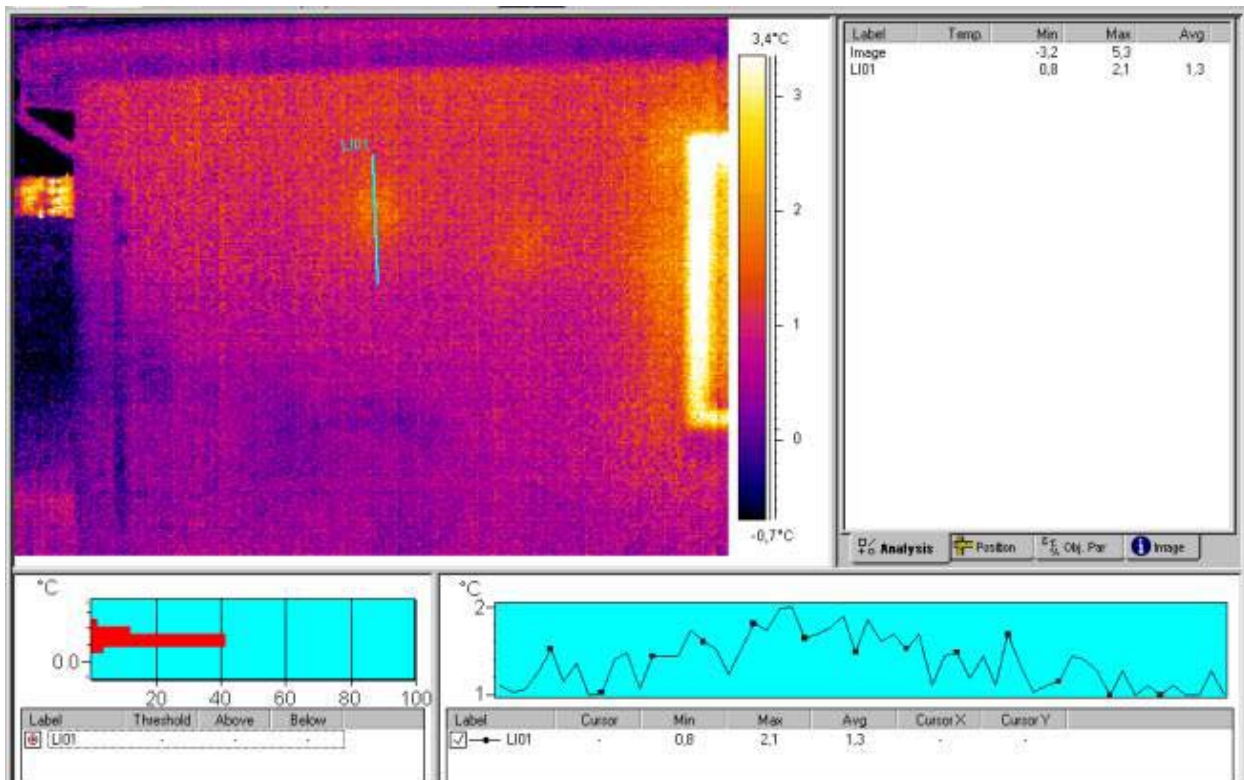
Det mørke område i samlingen mellem skillevæg og loftskonstruktion burde ikke forekomme, og billederne viser tydeligt en kuldebro i dette område.

Den sorte kurve viser temperaturforløbet i samlingen mellem skillevæg og loftskonstruktion, og som angivet under graferne er minimumtemperaturen 21,0 °C mens maksimumtemperaturen er 24,1 °C.

I figur 11 og 12 er vist hhv. et almindeligt fotografi af den sydlige ende af østfacaden, samt et termografi, som viser en kuldebro midt på ydervæggen som ikke umiddelbart burde forekomme.



Figur 11 : Billede af den sydlige ende af østfacaden.



Figur 12 : Termografering af detaljen vist i figur 11.

I et område hvor ydervæggen burde være fuldt isoleret viser figur 12, at der forekommer et område ca. midt i billedet, hvor der er en kuldebro. I grafen under termografiet kan det ses at temperaturen varierer fra ca. 0,8 °C til ca. 2,1 °C. Årsagen til at denne kuldebro er ikke umiddelbart til at gennemskue, men isoleringen er tydeligvis brudt i et eller andet omfang i dette område. Der kunne f.eks. være tale om en hel eller delvis gennembrydning af isoleringen med andre materialer, eller også kan det være at isoleringen simpelthen mangler eller er blevet fugtig i dette område.

Som omtalt vil der ikke blive taget højde for disse, og andre, ”utilsigtede” kuldebroer i forbindelse med beregningerne, og det forventede opvarmningsbehov for perioden kan altså bestemmes ved følgende formel :

$$Q_{opv} = H_{total} \cdot (T_{inde} - T_{ude}) \cdot T_{periode} - Q_s - Q_i$$

hvor Q_{opv} er det forventede opvarmningsbehov,
 T_{inde} er den gennemsnitlige indetemperatur for perioden,
 T_{ude} er den gennemsnitlige udetemperatur for perioden,
 $T_{periode}$ er antallet af timer i perioden,
 Q_s er det samlede solenergitilskud til huset i kWh, og
 Q_i er det samlede interne varmetilskud til huset i kWh.

Det interne varmetilskud er af relativt lille betydning, idet huset ikke har været beboet i måleperioden. Der har dog været lys tændt forskellige steder i huset, og det er fra bygherrens side oplyst at der er tale om en samlet gennemsnitlig effekt på 200 W, døgnet rundt. Dette stemmer meget godt overens med aflæsninger af elmåleren i huset, dog har der været brugt el på måleudstyr men dette har ikke i nævneværdigt omfang kunnet indvirke på husets varmebalance, idet måleudstyret er placeret i et lukket skab i bryggerset.

Indsættes de målte og beregnede værdier i formlen fås et forventet opvarmningsbehov for huset på :

$$Q_{opv} = 149W / K \cdot (21,69 - (-0,31))^{\circ}C \cdot 24h \cdot 29dage - 188kWh - 200W \cdot 24h \cdot 29dage = 1947kWh$$

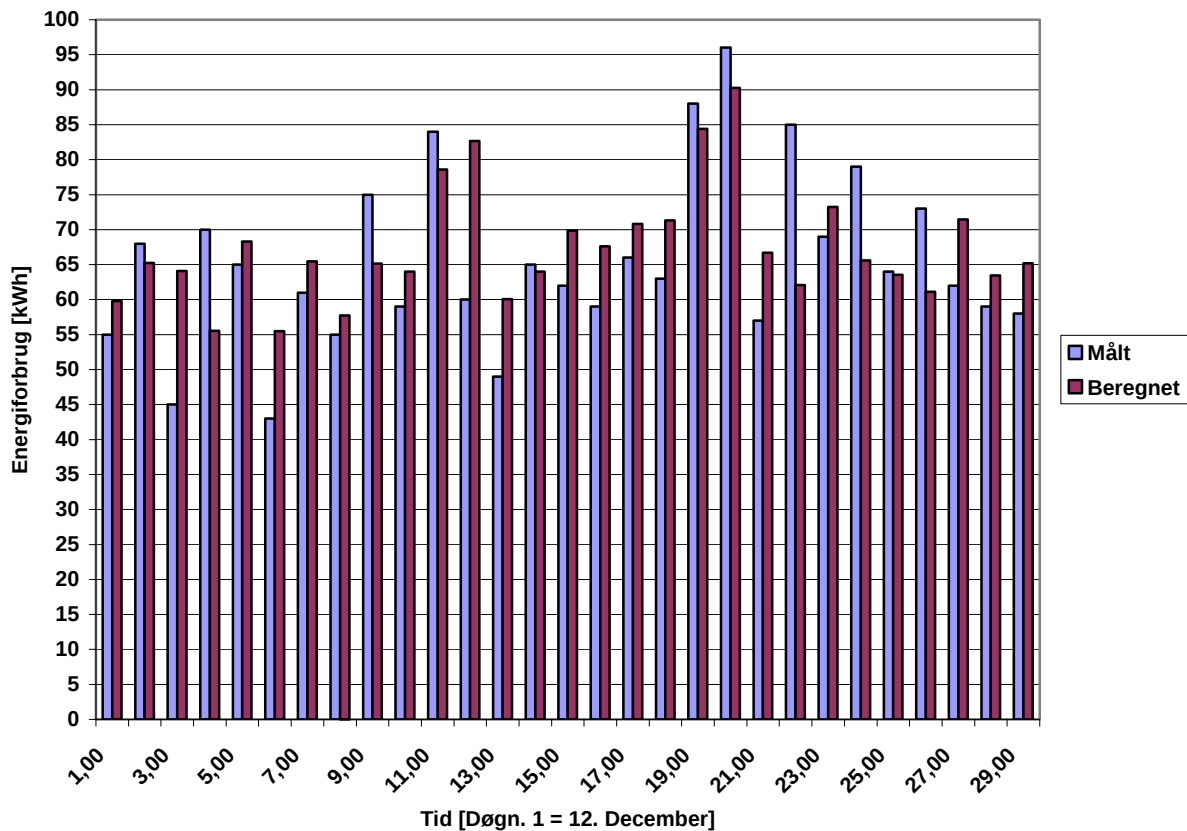
Det samlede opvarmningsbehov for perioden er målt som 1895 kWh, og der er således brugt 52 kWh mindre end man skulle forvente, hvilket f.eks. kunne svare til at varmetabskoefficienten for tpehuset har været 145 W/K i stedet for de anvendte 149 W/K.

Hvis man foretager beregninger af opvarmningsbehovet for hver enkelt dag i måleperioden, og sammenligner disse resultater med de tilsvarende målte værdier fås værdierne givet i tabel 8.

Tabel 8 : Forventet og målt opvarmningsbehov for hver enkelt dag i perioden.

Dag [#]	Opvarmningsbehov [kWh]		Dag [#]	Opvarmningsbehov [kWh]	
	Forventet	Målt		Forventet	Målt
12.12.01	60	55	27.12.01	68	59
13.12.01	65	68	28.12.01	71	66
14.12.01	64	45	29.12.01	71	63
15.12.01	56	70	30.12.01	84	88
16.12.01	68	65	31.12.01	90	96
17.12.01	55	43	01.01.02	67	57
18.12.01	65	61	02.01.02	62	85
19.12.01	58	55	03.01.02	73	69
20.12.01	65	75	04.01.02	66	79
21.12.01	64	59	05.01.02	64	64
22.12.01	79	84	06.01.02	61	73
23.12.01	83	60	07.01.02	71	62
24.12.01	60	49	08.01.02	63	59
25.12.01	64	65	09.01.02	65	58
26.12.01	70	62	-	-	-

Det forventede og målte opvarmningsbehov er vist i figur 8.



Figur 8 : Målt og beregnet opvarmningsbehov for typehuset.

Det er umiddelbart svært at give en forklaring på afvigelserne mellem de målte og beregnede opvarmningsbehov, idet der ikke er nogen generel tendens i resultaterne. I 3., 6. og 12. døgn er det teoretisk beregnede opvarmningsbehov væsentligt højere end det målte, hvorimod der i 4., 22. og 24. døgn måles opvarmningsbehov som er væsentligt højere end det beregnede. Der tages ikke højde for bygningens varmekapacitet i forbindelse med den simple beregning, og dette er en del af forklaringen.

3.2 Målinger sammenlignet med detaljerede beregninger

De detaljerede beregninger foretages vha. simuleringsprogrammet tsbi3. Modellen som benyttes er beskrevet i rapporten "Typehus svarende til BR-2005 – energikrav, Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer" (grundmodel), der er dog foretaget en række ændringer beskrevet i det følgende.

3.2.1 Udetemperatur

For at give de korrekte randbetingelser til beregningsmodellen opbygges et nyt referenceår, hvor udetemperaturen defineres som de målte værdier i perioden 12.12.2001 til 09.01.2002.

3.2.2 Solindfald

I stedet for at definere solintensiteten for perioden i forbindelse med referenceåret omtalt ovenfor, beregnes solindfaldet for hvert enkelt rum i bygningen på timebasis. Den beregnede tilførte solenergi tilføres de respektive rum i bygningen vha. tsbi3's indbyggede mulighed for at importere datafiler i forbindelse med lys. Herved tilføres hvert enkelt rum præcis den mængde varme som

teoretisk forventes på baggrund af glasarealer for de enkelte rum samt solbestrålingsstyrke for de 4 forskellige retninger svarende til husets facader og gavle.

Tsbi3 kan maksimalt arbejde med 8 datafiler. I bygningen er der 11 rum i alt. Der er ét rum (gangen) hvor der ikke er solindfald da der ikke er vinduer, og der er to rum som har præcist samme glasareal og orientering, og herved er der altså reelt set behov for 9 datafiler til at definere solindfaldet.

Derfor vælges det at udelade solindfaldet i Børnebadet, idet dette værelse kun har et meget lille glasareal og samtidig er vendt mod nord. Af de simplificerede beregninger kan det fastslås, at den samlede solenergi som er tilført dette rum er ca. 2,5 kWh gennem hele perioden, og således er der tale om en meget lille fejl som indføres ved denne tilnærmelse.

3.2.3 Indetemperatur

For at opnå samme betingelser i forbindelse med simuleringerne med tsbi3 som gjorde sig gældende i forbindelse med målingerne, fastsættes setpunktet for indetemperaturen som 21,69 °C. Dette svarer, jf. tidligere afsnit, til den gennemsnitlige indetemperatur for den betragtede periode.

3.2.4 Effektivitet af varmegenvinder

Ventilationen foregår med udeluft der ledes gennem en varmegenvinder. Varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad sættes, jf. målingerne til 77 %. Oprindeligt var det forventet at varmegenvinderen havde en temperaturvirkningsgrad på mellem 85 % og 90 %.

I overensstemmelse med SBI-anvisning 189 [7] foretages der mekanisk udsugning i hhv. køkken/alrum, forældrebad, børnebad og bryggers. I alle øvrige rum foretages der indblæsning. På baggrund af kravene om mekanisk udsugning givet i SBI-anvisning 189 opstilles der en luftbalance for bygningen, og herud fra fastlægges indblæsningen for de øvrige rum.

3.2.5 Temperatur af gulvvarmeslanger (Jordtemperatur)

I samtlige rum defineres opvarmning svarende til en maksimal effekt på 5 kW. Programmet tsbi3 giver ikke direkte mulighed for at definere gulvvarme som benyttes i den betragtede bygning, og i stedet defineres opvarmningen således som radiatoropvarmning.

Gulvvarmeslangerne har, jf. målingerne, en temperatur som er væsentligt højere end rumluften. Derfor må zonen under bygningen (den fiktive zone 'jord') defineres som havende en lavere temperatur end de typisk anvendte 10 °C. I forbindelse med den betragtede periode er der målt temperaturer på oversiden af det nederste betondæk. Hvis man foretager en simpel beregning af middeltemperaturen for disse målinger, dvs. en gennemsnitlig temperatur for oversiden af det nederste betondæk får man ca. 10 °C, og derfor anvendes en temperatur for den fiktive zone jord på -5 °C. Den reducerede jordtemperatur svarer altså til at der haves en temperaturdifferens mellem oversiden af betondækket og jorden på 25 °C, som igen svarer til den målte gulvvarmeslange-temperatur på ca. 35 °C minus jordtemperaturen på 10 °C.

Denne antagelse kan dog ikke benyttes i forbindelse med simuleringer hvor man betragter hele fyringssæsonen, idet gulvvarmeslangerne i denne situation ikke vil have en gennemsnitlig temperatur som er 35 °C (formentlig væsentligt lavere), og samtidig vil temperaturen under terrændækket, specielt ved randen af bygningen, være væsentligt højere end for den målte periode. Af denne grund vælges det ved årssimulering at anvende en temperatur for den fiktive zone jord på 5 °C, svarende til at gulvvarmeslangerne er f.eks. 28 °C og jorden er 13 °C.

Kuldebroen i forbindelse med fundamentet vil ligeledes, i forbindelse med den betragtede periode, skulle fastlægges på baggrund af en temperaturforskel på 35 °C minus udetemperaturen. I forbindelse med betragtninger af hele fyringssæsonen vil man, jf. ovenstående anvende en temperaturforskel på 28 °C minus udetemperaturen. For at medtage dette forhold i beregningerne øges kuldebroens størrelse med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold.

3.2.6 Infiltration

På baggrund af tidligere omtalte målinger af bygningens tæthed (infiltration) anvendes et luftskifte på 0,12 h⁻¹ for samtlige zoner.

3.2.7 Intern varmelast fra personer, belysning og eludstyr

Fra Bülow & Nielsen er det, som tidligere nævnt, oplyst at der har været tændt lys i huset 24 timer i døgnet, med en gennemsnitlig effekt på 200 W. Disse 200 W fordeles jævnt i bygningen, således at hvert rum har en arealvægtet andel af den samlede effekt.

3.2.8 Udluftning

Igennem måleperioden har der ikke været anvendt udluftning, da bygningen ikke har været beboet.

3.2.9 Resultater

Der gennemføres en simuleringsperiode på 29 dage, svarende til den periode som er målt. Resultaterne er sammenfattet i tabel 9.

Tabel 9 : Beregnet energibalance for perioden 12. december 2001 til 9. januar 2002, tsbi3.

Energibalance		[kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	1863
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-173
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	0
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	186
Q _{udst}	Varmer tilført fra udstyr	138
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-1767
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	3
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-251

Energiforbruget til opvarmning er, som tidligere omtalt, målt som 1895 kWh, og den detaljerede beregning undervurderer således energiforbruget med ca. 32 kWh.

Hvis man opstiller en tilsvarende varmebalance for den simple beregning, får man en idé om på hvilke områder de to beregningsmodeller adskiller sig.

Tabel 10 : Beregnet energibalance for perioden 12. december 2001 til 9. januar 2002, simpel.

Energibalance		[kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	1947
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-162
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	0
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	188
Q _{udst}	Varmer tilført fra udstyr	139
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-1855
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	0
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-257

Det er hermed tydeligt at den primære forskel ligger i beregningen af transmissionstab. Dette skyldes primært det forhold, at tsbi3 tager hensyn til konstruktionernes varmekapacitet. Der er dog også andre forhold som spiller ind, men da der ikke er tale om større afvigelser skal disse forhold ikke diskuteres mere i nærværende sammenhæng.

3.3 Sammenfatning og diskussion af resultater

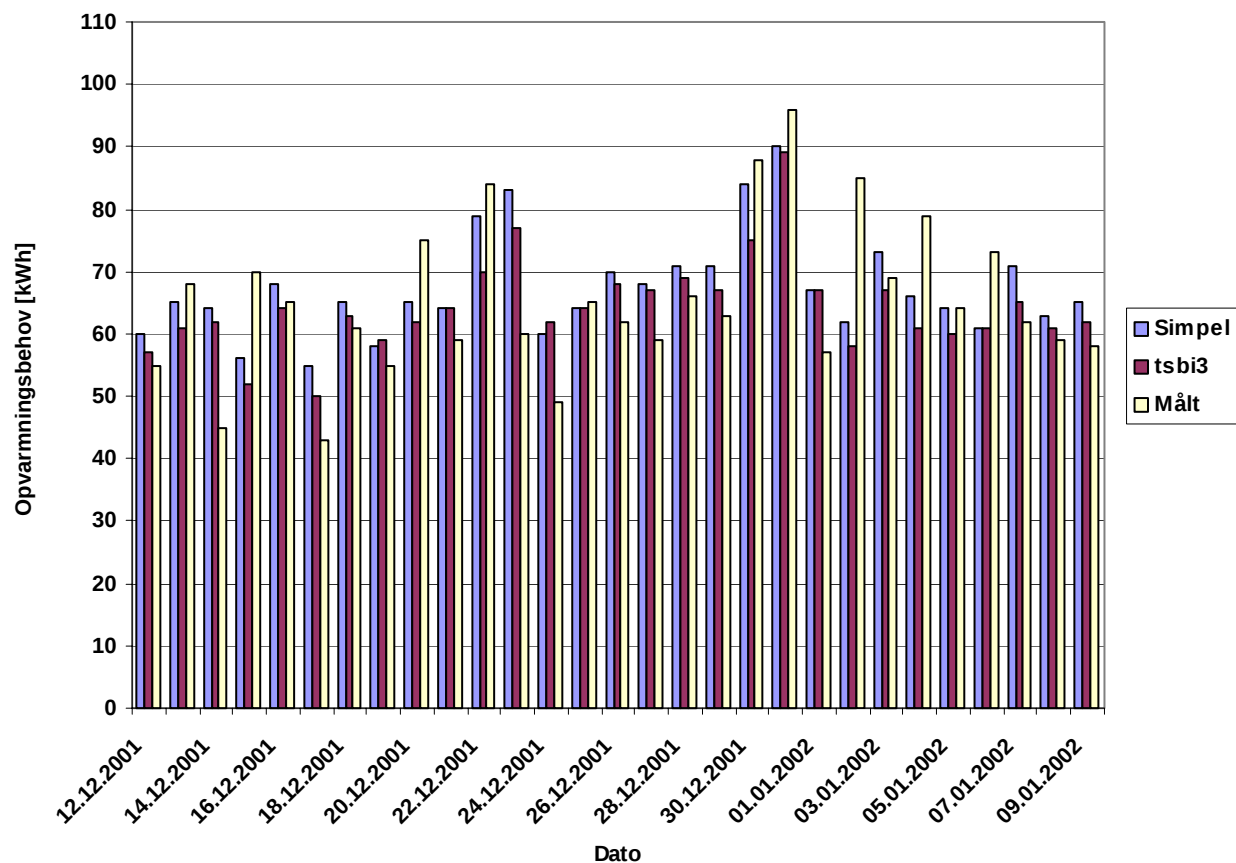
Sammenligningerne foretaget i dette kapitel har vist at der er en særdeles god overensstemmelse mellem både simplificerede og detaljerede beregninger og så de måleresultater som er opnået. Den simplificerede beregning af husets opvarmningsbehov for den betragtede periode overvurderer en smule i forhold til måleresultaterne hvorimod den detaljerede beregning undervurderer en smule.

I tabel 11 er resultaterne sammenfattet.

Tabel 11 : Opvarmningsbehov beregnet og målt.

Dato	Opvarmningsbehov [kWh]		
	Simpel beregning	tsbi3	Målt
12.12.2001	60	57	55
13.12.2001	65	61	68
14.12.2001	64	62	45
15.12.2001	56	52	70
16.12.2001	68	64	65
17.12.2001	55	50	43
18.12.2001	65	63	61
19.12.2001	58	59	55
20.12.2001	65	62	75
21.12.2001	64	64	59
22.12.2001	79	70	84
23.12.2001	83	77	60
24.12.2001	60	62	49
25.12.2001	64	64	65
26.12.2001	70	68	62
27.12.2001	68	67	59
28.12.2001	71	69	66
29.12.2001	71	67	63
30.12.2001	84	75	88
31.12.2001	90	89	96
01.01.2002	67	67	57
02.01.2002	62	58	85
03.01.2002	73	67	69
04.01.2002	66	61	79
05.01.2002	64	60	64
06.01.2002	61	61	73
07.01.2002	71	65	62
08.01.2002	63	61	59
09.01.2002	65	62	58
Total	1947	1863	1895

I figur 9 er de beregnede og det målte opvarmningsbehov optegnet.



Figur 10 : Beregnet og målt opvarmningsbehov.

Af figur 10 er det tydeligt at der forekommer døgn hvor forskellen i resultaterne mellem beregninger og målinger er relativt store. Dagene d. 15.12.01, 20.12.01, 02.01.02 og 04.01.02 viser alle at det målte opvarmningsbehov er væsentligt højere end de beregnede. Dagene d. 23.12.01 og d. 24.12.01 viser at de beregnede opvarmningsbehov er væsentligt højere end de tilsvarende målte. Herudover er der en rimeligt god overensstemmelse mellem beregnede og målte resultater.

Årsagen til de forskelle der forekommer i de målte og beregnede resultater kan muligvis skyldes at der som opvarmning anvendes gulvvarme. I de målte resultater vil dette ikke spille nogen rolle, idet energiforbruget til opvarmning måles direkte ud fra den leverede fjernvarmeenergi. I de to beregningsmodeller, den simple og den detaljerede, er det dog vanskeligt at tage højde for at der anvendes gulvvarme som opvarmning. I "Numerical Investigation of Floor Heating Systems in Low Energy Houses" [8] er problemstillingen vedrørende dette behandlet, og det konkluderes at man, selv med en god styring af gulvvarmesystemet, vil kunne forvente et opvarmningsbehov som ligger 10 % højere end hvad der ville være tilfældet med et ideelt opvarmningssystem (svarende til det som "benyttes" i den simple beregningsmodel).

Opvarmningsbehovet for den betragtede måleperiode er meget højt, og hvis man tager udgangspunkt i den tsbi3-model som afspejler målingerne i forbindelse med en beregning af det forventede opvarmningsbehov på årsbasis vil man få en meget høj værdi, som afspejler en række u hensigtsmæssige og urealistiske forhold. Følgende forhold, som er anvendt i tsbi3-modellen som sammenlignes med målingerne, bør derfor vurderes nøje inden der foretages en vurdering af typehusets årlige opvarmningsbehov.

1. I den betragtede måleperiode har indetemperaturen været 21,7 °C i gennemsnit, hvor man normalt vil vurdere et forventet opvarmningsbehov for et hus ved en indetemperatur på 20,0 °C. I forbindelse med beregningen af det forventede årlige opvarmningsbehov for typehuset anvendes sidstnævnte temperaturer i tsbi3-modellen.

2. I den betragtede måleperiode har temperaturen i gulvvarmeslangerne været ca. 35 °C. Hvis man benytter denne temperatur ved en årssimulering vil opvarmningsbehovet blive urealistisk højt. Derfor anvendes den oprindelige antagelse om en gennemsnitlig temperatur i gulvvarmeslangerne på 30 °C.

Hvis man ændrer disse forhold i tsbi3-modellen som tidligere er sammenlignet med målingerne, og herefter gennemfører en årssimulering på baggrund af typiske vejrdato får man energibalancen vist i tabel 12. Til sammenligning er den oprindeligt forventede energibalance opstillet (beregnet i den første rapport fra projektet).

Tabel 12 : Beregnet energibalance for hele året [DRY].

Energibalance		Ny model [kWh]	Gl. model [kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	6375	7595
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-799	-953
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-124	-94
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	3000
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	3071
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10440	-10712
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-386	-401
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-697	-1507

Det forventede opvarmningsbehov for typehuset er altså ca. 7595 kWh, hvilket svarer til ca. 73 % af den nugældende energiramme. Hvis man forestiller sig at varmegenvindingsenheden, som ikke levede op til de forventninger man som udgangspunkt havde, blev udskiftet med en model som lever op til de mellem 85 % og 90 % temperatureffektivitet, vil opvarmningsbehovet være reduceret til mellem 7085 kWh og 6765 kWh, hvilket svarer til hhv. 68 % og 65 % af den nugældende energiramme.

3.4 Målinger fra Brøndby Fjernvarme

For at få et billede af typehusets faktiske energiforbrug på årsbasis er der taget kontakt til Brøndby Fjernvarme. Herfra har man angivet følgende kvartals aflæsninger for energiforbruget i typehuset.

Tabel 13 : Aflæst totalt energiforbrug for typehus [Kilde : Brøndby Fjernvarme]

Dato [-]	Akkumuleret forbrug [kWh]
31.10.00	0
07.02.01	8480
10.05.01	12850
12.11.01	14180
22.02.02	20140

I den første periode, fra d. 31.10.00 til d. 07.02.01, bliver der brugt meget varme, idet huset ikke er færdigbygget på dette tidspunkt, og specielt udtørringen af betondækket kræver meget varme.

Hvis man beregner opvarmningsbehovet for perioden fra d. 07.02.01 til d. 07.02.02, ved at fratrække en smule fra aflæsningen d. 22.02.02, får man ca. 11060 kWh. Dette er væsentligt mere end forventet, og det hænger sammen med de forskelle mellem det oprindeligt forventede og de faktiske forhold omtalt tidligere i rapporten:

- højere indetemperatur (21,7 °C) end forventet (20,0 °C),
- højere temperatur i gulvvarmeslanger (ca. 35 °C) end forventet (ca. 30 °C),
- mindre internt varmetilskud (200 W) end forventet (665 W),
- lavere effektivitet af varmegenvinder (77 %) end forventet (85-90 %), og
- større infiltration (0,12 h⁻¹) end forventet (0,10 h⁻¹).

4 KONKLUSION

Denne rapport har beskrevet en række detaljerede målinger af et typehus, som forventes at have et opvarmningsbehov som lå mindst 33 % under den gældende energiramme. I den første rapport ”Typehus svarende til BR-2005 – energikrav, Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer” er gennemgået de detaljerede beregninger som ligger til grund for disse forventninger.

Målingerne har dog vist en række uoverensstemmelser i forhold til det oprindeligt forventede. Den væsentligste uoverensstemmelse er temperaturvirkningsgraden for den varmegenvindingsenhed som er anvendt i typehuset. Producenten af varmegenvinderen havde oplyst at den pågældende enhed havde en temperaturvirkningsgrad på mellem 85 % og 90 %, men de detaljerede målinger har vist at den er væsentligt lavere, 77 %. Dette medfører en væsentlig forøgelse af opvarmningsbehovet for typehuset, i forhold til det oprindeligt forventede.

Husets lufttæthed er også af stor betydning for opvarmningsbehovet, specielt, naturligvis, når der som her anvendes varmegenvinding på ventilationsluften. Oprindeligt var det forventet at der kunne opnås en lufttæthed af typehuset svarende til en infiltration på $0,10 \text{ h}^{-1}$ eller mindre, idet man i tidligere projekter omhandlende lavenergihuse har opnået dette niveau. Målingerne har vist at infiltrationen i typehuset er lidt større, $0,12 \text{ h}^{-1}$. Dette medfører et højere opvarmningsbehov i forhold til det forventede.

Temperaturen i gulvvarmeslangerne har også en stor betydning for typehusets opvarmningsbehov, og det har vist sig at denne ligger væsentligt højere end forventet. Den gennemsnitlige temperatur i gulvvarmeslangerne i den betragtede periode var ca. $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Det forventedes at temperaturen i hvert tilfælde kunne holdes under $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette medfører en forøgelse af transmissionstabet gennem terrændækket og en forøgelse af transmissionstabet gennem kuldebroen ved fundamentet. Alt i alt vil dette forhold naturligvis også påvirke opvarmningsbehovet i negativ retning.

Sidst men ikke mindst har termografering af bygningen påpeget en række kuldebroer som ikke var ”kendte” på forhånd. Effekten af disse kuldebroer er umiddelbart meget svær at kvantificere, og derfor skal det blot nævnes som endnu en mulighed i forbindelse med at forklare de forskelle der forekommer mellem de beregnede og målte opvarmningsbehov.

4.1 Beregningsmodel vs. målinger

Når de uoverensstemmelser der er mellem den oprindelige teoretiske udformning af bygningens konstruktioner og systemer og de faktiske målte forhold justeres, viser beregninger og målinger en generelt god overensstemmelse. På baggrund af simplificerede beregninger fastlægges typehusets opvarmningsbehov for perioden 12. december 2001 til 9. januar 2002 til ca. 1954 kWh. Det målte opvarmningsbehov for denne periode er en smule lavere, 1895 kWh. Hvis man foretager en mere detaljeret beregning vha. simuleringsprogrammet tsbi3, får man et forventet opvarmningsbehov som er en smule lavere end det målte 1863 kWh, og alt i alt må det konkluderes at tsbi3-modellen giver en særdeles fornuftig vurdering af typehusets opvarmningsbehov under givne randbetingelser.

4.2 Opvarmningsbehov for fyringssæson

Den beregningsmodel som benyttes til sammenligning med målingerne er justeret således at der kan foretages en realistisk vurdering af opvarmningsbehovet for fyringssæsonen.

Oprindeligt forventedes det at opvarmningsbehovet for fyringssæsonen skulle være ca. 6375 kWh, og hvis man gennemfører simuleringen af opvarmningsbehovet for fyringssæsonen efter ændringerne på baggrund af målingerne får man 7595 kWh, hvilket svarer til ca. 73 % af den nu gældende energiramme. Typehuset har altså brugt noget mere energi end forventet, og den primære grund hertil er den væsentligt lavere temperatureffektivitet for varmegenvinderen i forhold til hvad der forventedes.

Projektets oprindelige formål var at videreudvikle den eksisterende typehusløsning til at niveau svarende til en reduktion af energirammen på mindst 33 % (dvs. 6930 kWh), og for at nå dette mål vil det være nødvendigt at udskifte varmegenvindingsenheden til en model som rent faktisk lever op til de 90 % temperaturvirkningsgrad. Ydermere ville det være fordelagtigt hvis man kunne sikre en højere grad af lufttæthed for typehuset samt fjerne utilsigtede kuldebroer de steder hvor der er mulighed for det.

Hvis man udskifter varmegenvinderen til en model som rent faktisk lever op til en temperaturvirkningsgrad på 90 % reduceres opvarmningsbehovet til 6765 kWh, hvilket svarer til ca. 65 % af den nu gældende energiramme, hvilket betyder at projektets målsætning er opfyldt.

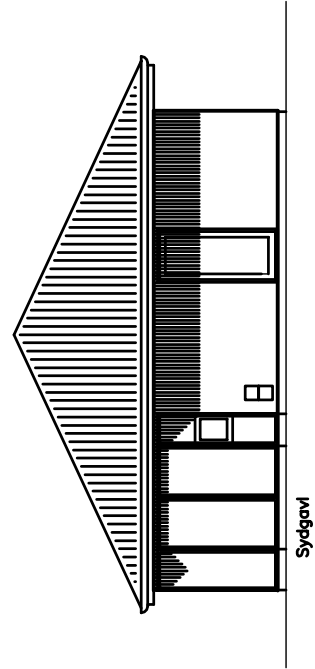
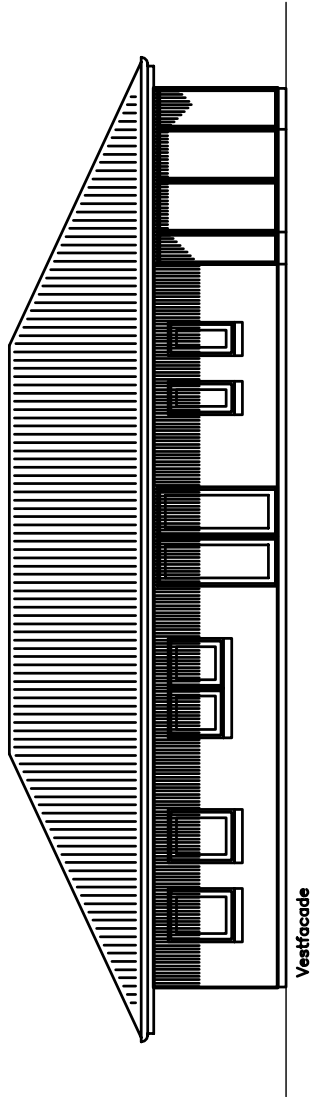
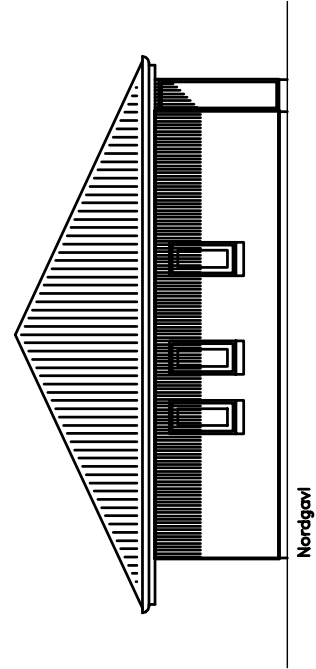
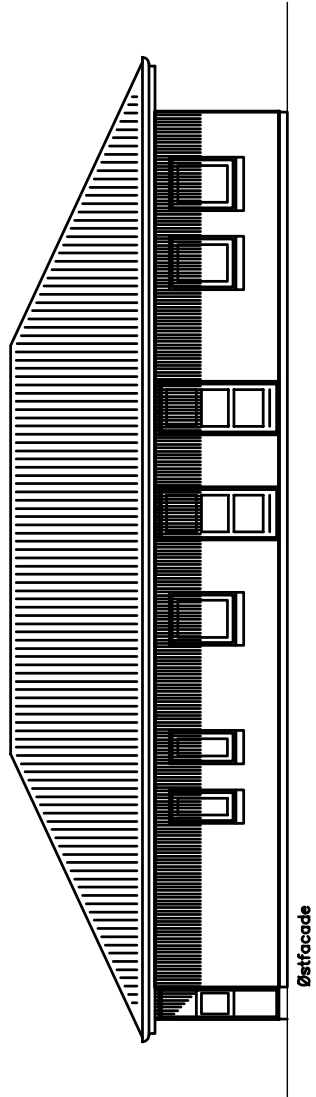
Herudover bør man undersøge muligheden for at sænke indetemperaturen. Ydermere bør det også undersøges om der er mulighed for at anvende en lavere temperatur i gulvvarmeslangerne, således at man får reduceret varmetabet gennem terrændækkonstruktionen og fundamentet. Man må naturligvis sikre at temperaturen i gulvvarmeslangerne er høj nok til at opretholde en acceptabel indetemperatur.

REFERENCER

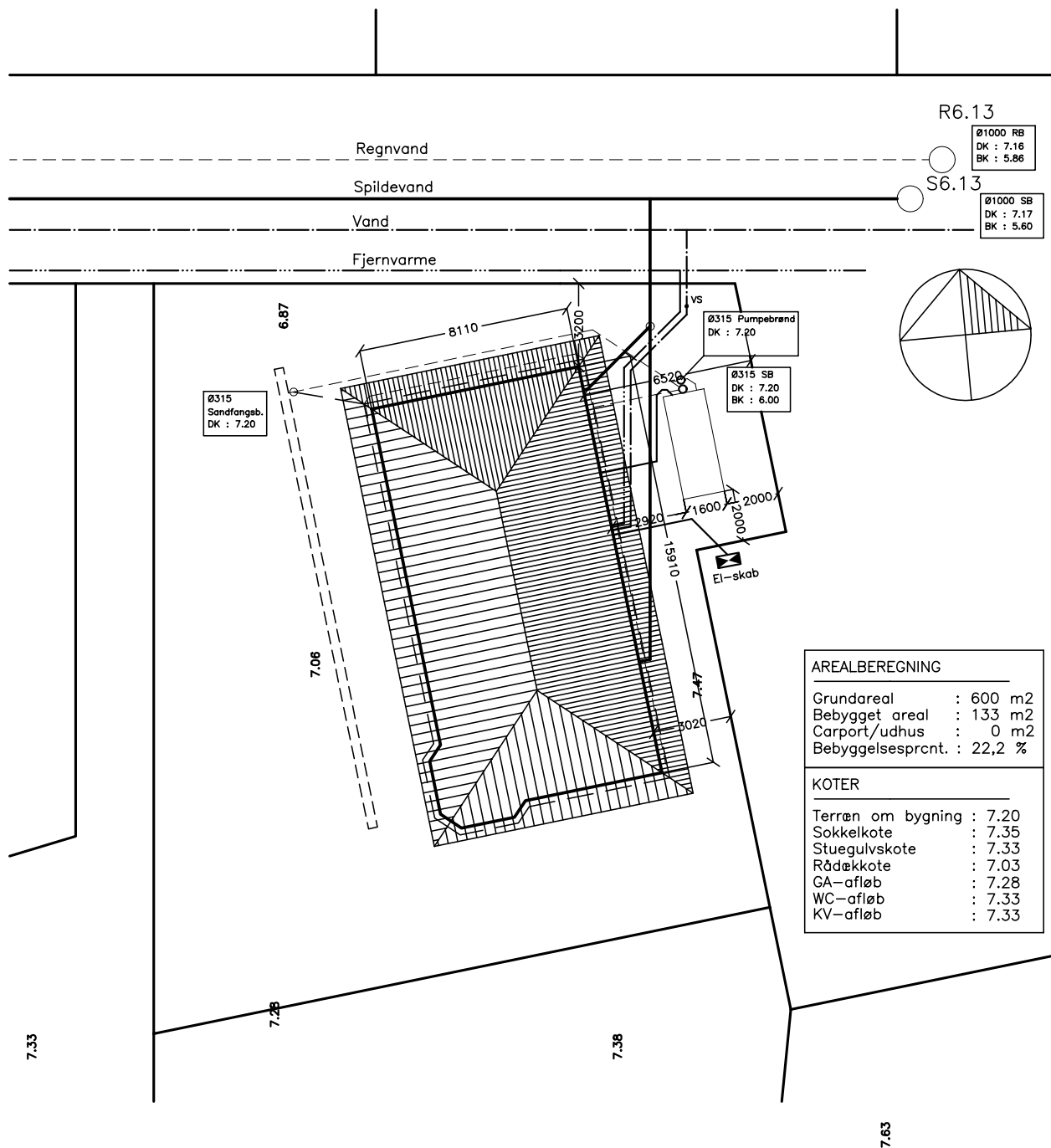
- [1] Typehus svarende til BR-2005 – energikrav. Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer. Rose, J. 2001.
Rapport BYG.DTU R-001, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2001.
- [2] Bygningsreglementet 1995 (BR95). 1995.
Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. 1995. København, Danmark.
- [3] tsbi3. Johansen, K., Grau, K. og Christensen, J. E. 1993.
”tsbi3 Brugervejledning”, Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1993.
- [4] Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 1. Grundlæggende energimæssige egenskaber. Nielsen, T. R. et al. 2001.
Undervisningsnotat BYG.DTU U-001, BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2001.
- [5] SBI-Anvisning 184. 1995.
Bygningers energibehov. Varmeisolering, Konstruktionseksempler, Ventilation, Belysning. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1995.
- [6] Airtightness control of single-family houses. Hruby, V. and Svendsen, S. 2002. Building Physics in the Nordic Countries, Proceedings of the 6th symposium, Oslo, Norway.
- [7] SBI-Anvisning 189. 1998.
Småhuse. Isolering, Fugt, Lyd, Brand, Ventilation, Styrke. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1998.
- [8] Numerical investigation of floor heating systems in low energy houses. Kragh, J., Weitzmann, P. and Jensen, C. F. 2002. Building Physics in the Nordic Countries, Proceedings of the 6th symposium, Oslo, Norway.

BILAG

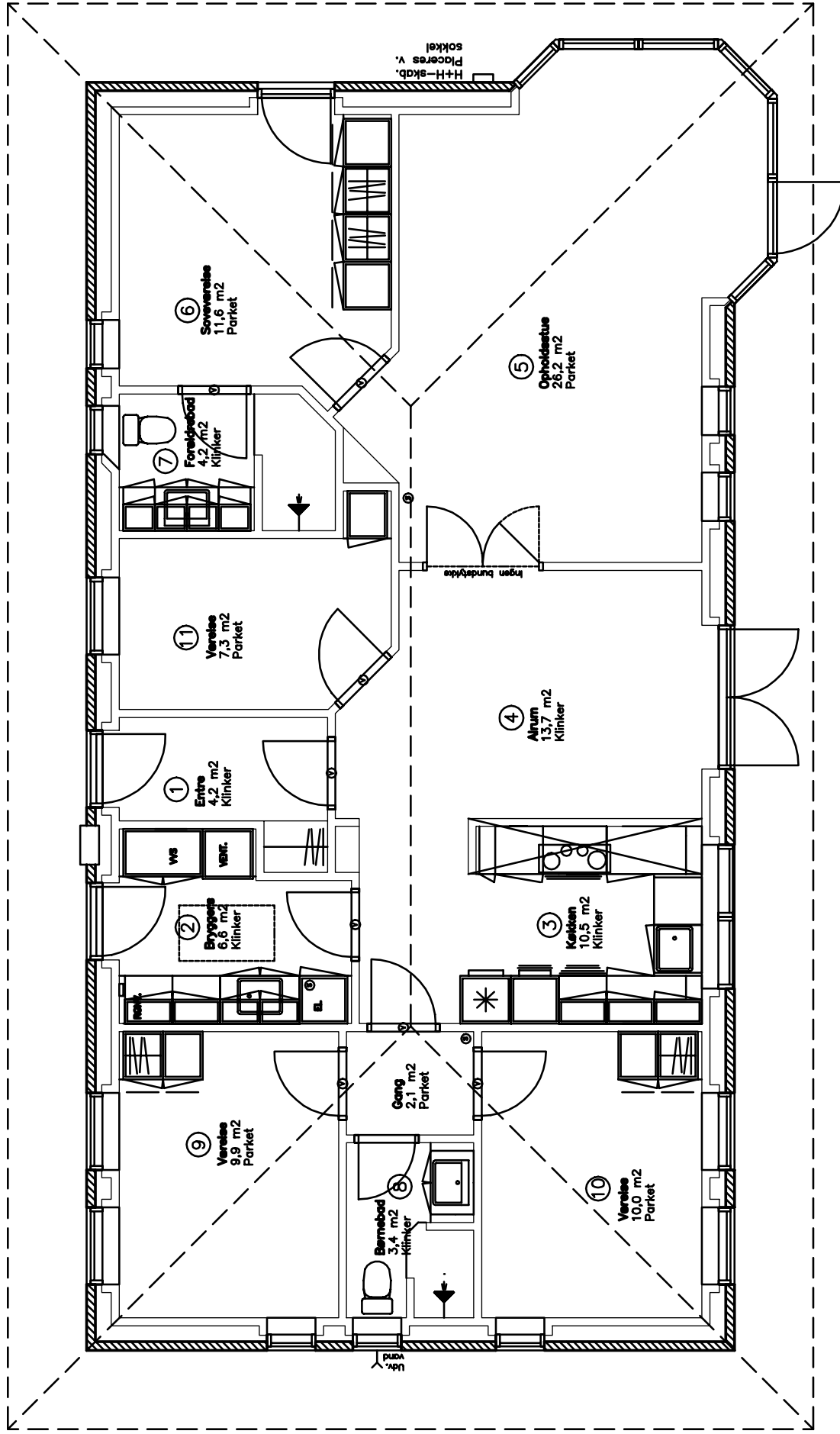
På de efterfølgende sider er der vist tegninger af typehuset i sin endelige udformning. Tegningerne er generelt ikke målfaste og det er ikke intentionen at tekst på tegningerne skal kunne læses, idet der i stedet henvises til beskrivelsen af typehuset givet i rapportens kapitel 2.



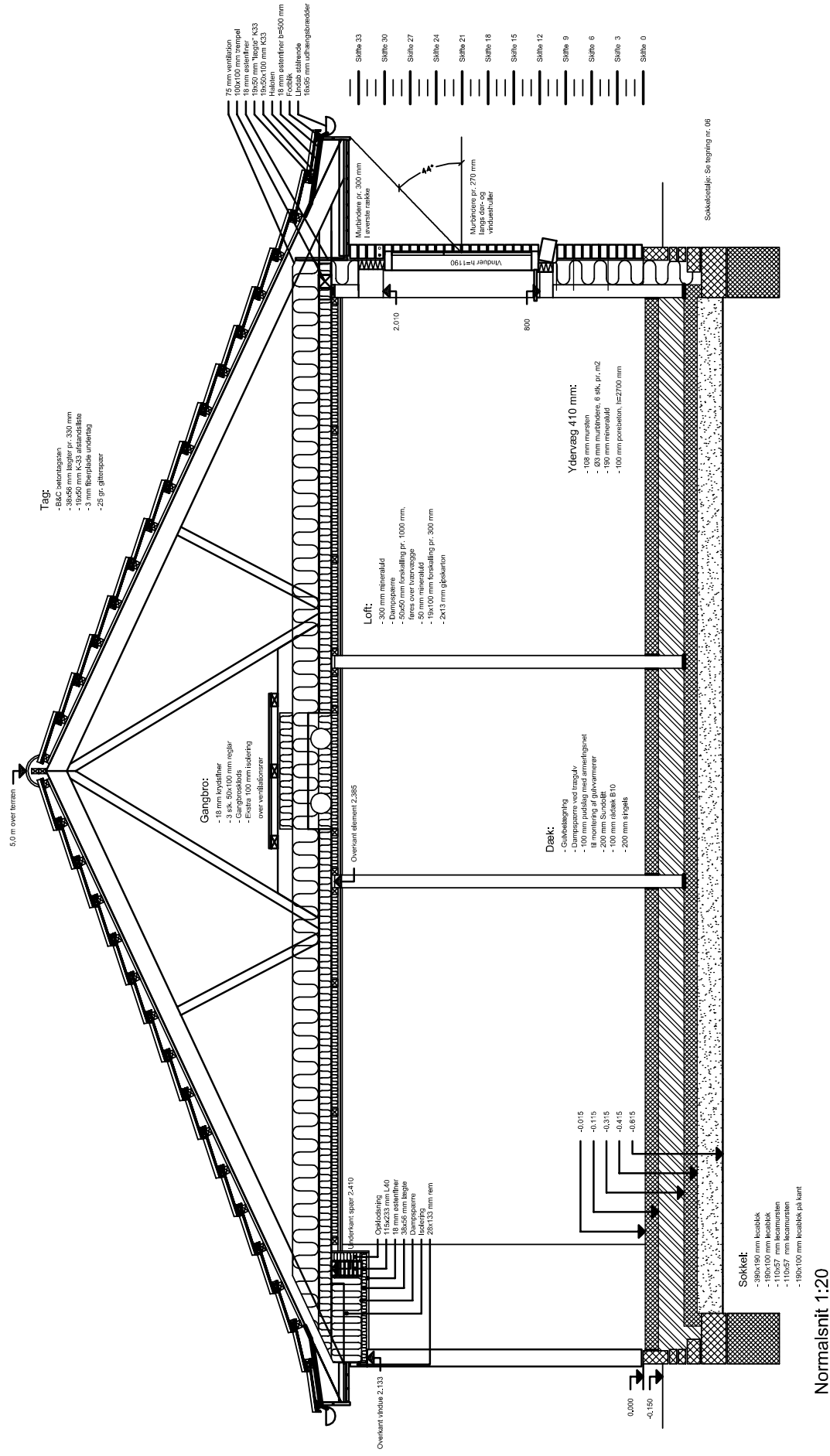
Bilag 1 : Facader



Bilag 2 : Situationsplan

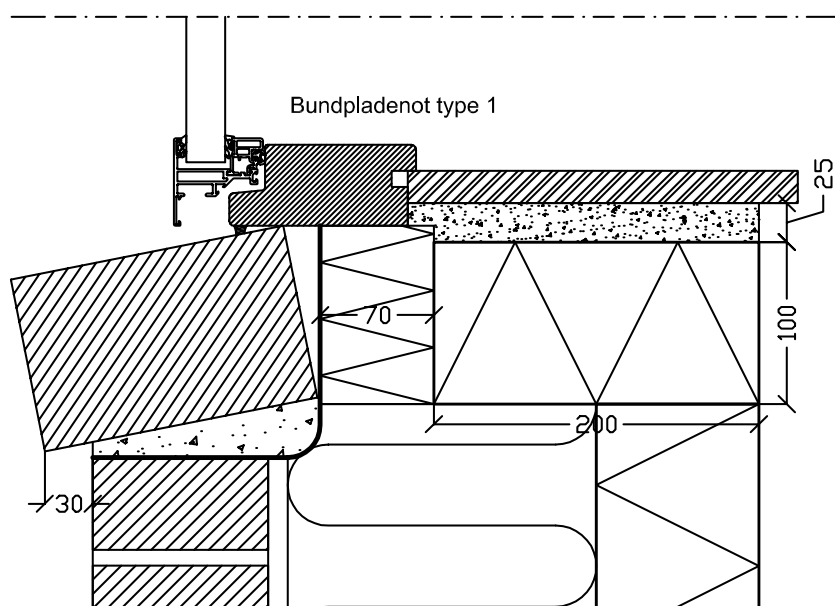


Bilag 3 : Grundplan



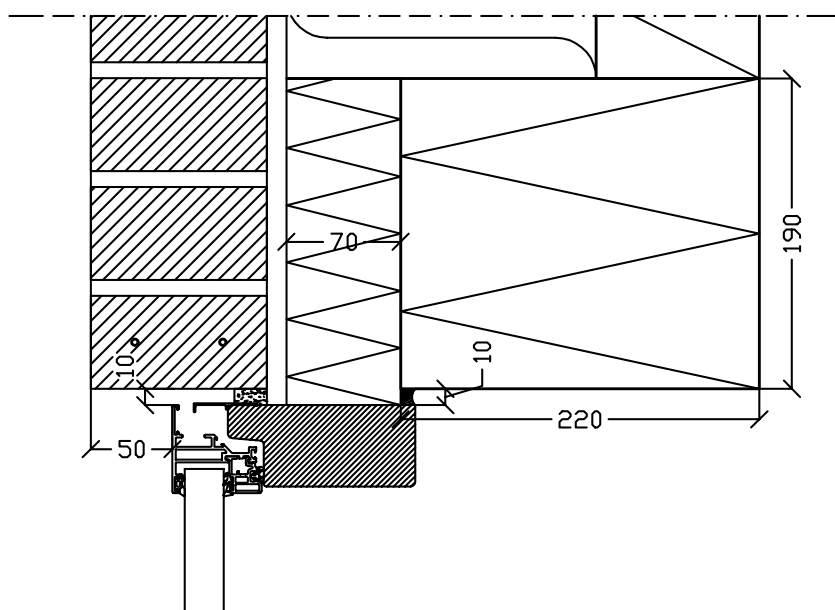
Bilag 4 : Normalsnit (ikke måfast)

Normalsnit 1:20



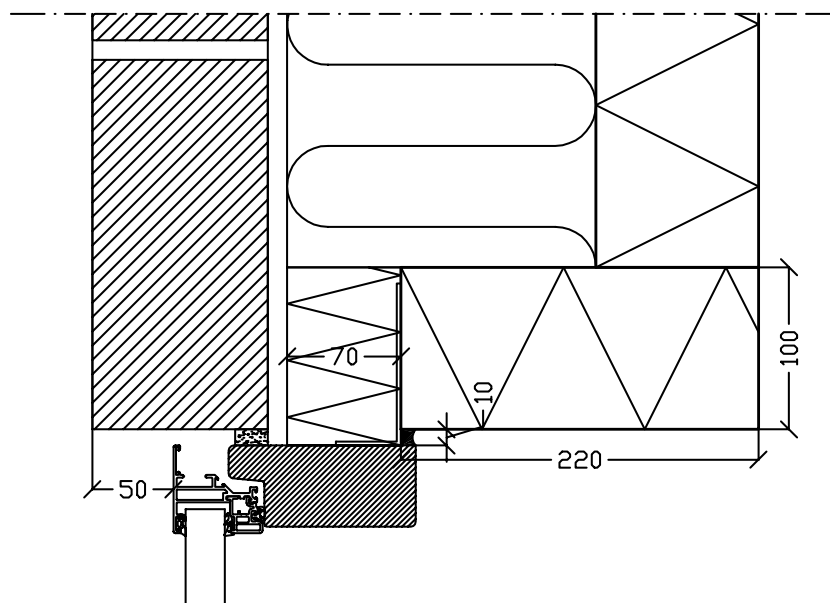
Snit i bundkarm 1:5

Bilag 5 : Snit i bundkarm (ikke målfast)



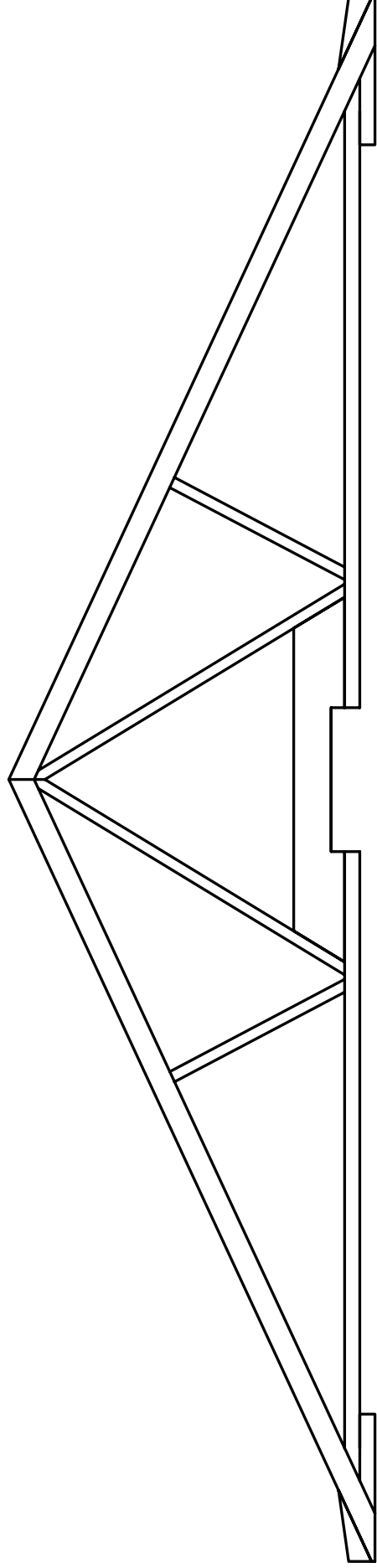
Snit i overkarm 1:5

Bilag 6 : Snit i overkarm (ikke målfast)



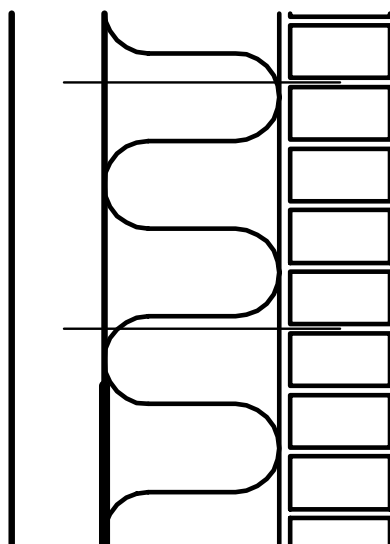
Snit i sidekarm 1:5

Bilag 7 : Snit i sidekarm (ikke målfast)

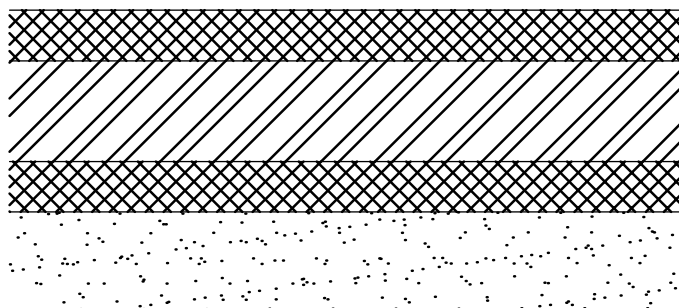


Spær 1:50

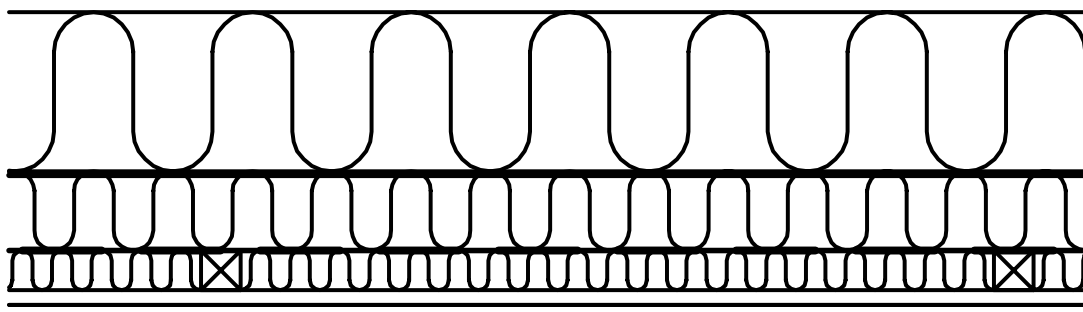
Bilag 8 : Spærløsning (ikke målfast)



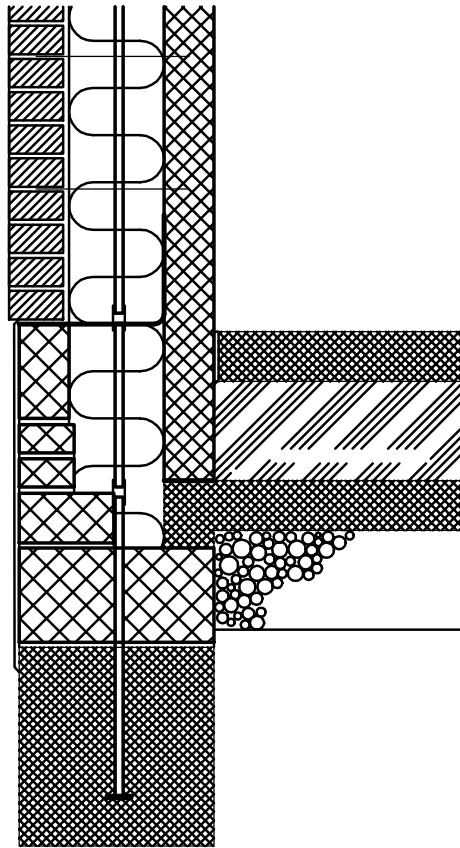
Bilag 9 : Ydervæg (ikke målfast)



Bilag 10 : Terrændæk (ikke målfast)



Bilag 11 : Loftskonstruktion (ikke målfast)



Bilag 12 : Fundamentsdetalje (ikke målfast)