

Jørgen Rose

Typehus svarende til BR-2005- energikrav

Del 1: Optimering af konstruktioner/systemer

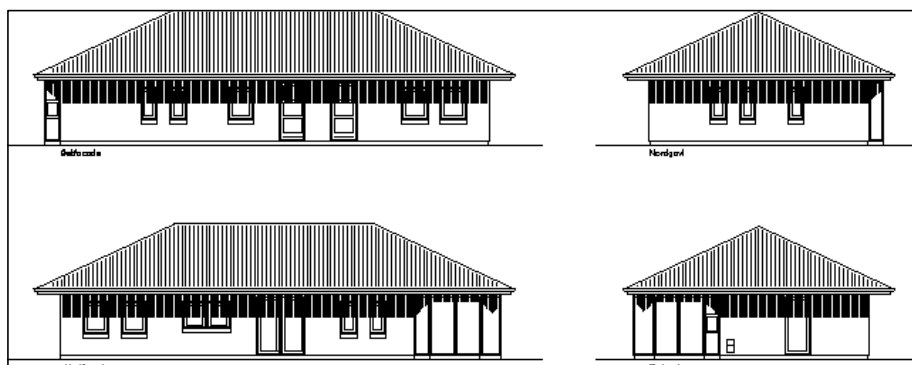
Rapport
BYG·DTU R-001
2001

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-055-6

Typehus svarende til BR-2005- Energikrav

Del 1: Optimering af konstruktioner / systemer

Jørgen Rose



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

2001

FORORD

Nærværende rapport beskriver i detaljer de varmetekniske beregninger og simuleringer, som ligger til grund for konstruktions- og systemvalg i forbindelse med udviklingen af et nyt typehus med reduceret energiforbrug til opvarmning. Typehuset har et forventet energiforbrug til opvarmning som ligger 33 % under det nugældende energirammekrav jf. Bygningsreglementet BR95 [1].

Denne rapport beskriver hvorledes der med udgangspunkt i et konkret typehus er gennemført en totaløkonomisk optimering af klimaskærmens isoleringsgrad samt varme- og ventilationsanlæg i et parcelhus for forskellige energirammekrav. Med udgangspunkt i den nuværende energiramme på 280 MJ/m^2 er der udviklet og optimeret samlede løsninger, der holder sig inden for energirammer på hhv. 67 % og 50 % af ovennævnte. Parcelhusets oprindelige form og indvendige areal er bibeholdt, og der er generelt kun foretaget ændringer i dele af huset der har indflydelse på dettes energiforbrug til opvarmning.

Nærværende rapport svarer til første fase af projektet. I 2. fase af projektet vil der blive gennemført målinger af typehusets energiforbrug og indeklima. Målingerne gennemføres først for en periode hvor huset er ubeboet, og siden i en periode hvor huset er beboet. I 3. og afsluttende fase af projektet vil der blive gennemført sammenligninger af de resultater som er opnået i nærværende rapport med de resultater som opnås i forbindelse med målingerne under projektets 2. fase.

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 og Tegnestuechef Henrik Dan Petersen. 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 first phase of 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 order to perform an optimisation of an insulation thickness in a building envelope component, it is necessary to first calculate the heat transfer coefficients for the component. In chapter 2 of this report these calculations are described in detail for all components. Calculations were performed for building envelope components as they were before and after the optimisation.

In chapter 2.1 and 2.2 the building envelope components are described, and together with the detailed drawings given in the appendix, this presents a good overview of the constructions in their optimised state.

The calculations described in chapter 2.3 and 2.4 are performed using PC-programs HEAT2 [2] and HEAT3 [3] for 2- and 3-dimensional heat flow, i.e. line and point heat loss coefficients, and the rules given in DS418 [4] for 1-dimensional heat flow, i.e. U-values.

In chapter 2.5 the results of the calculations are summarised and the expected dimensioning heat loss is calculated. Results for the house as it was before the optimisation are also given for comparison. In chapter 2.6 the optimal insulation thicknesses are calculated for each building envelope component (external wall, slab floor and roof), and with this background the chosen insulation thicknesses are discussed.

In order to be able to evaluate whether or not the optimised house will fulfil the purpose of the project, i.e. reducing the energy consumption by 33 % and 50 % compared to the present frame for energy consumption, a series of simulations are performed. The simulations are performed using the PC-program tsbi3 [5]. The simulations are described in chapter 3 of this report.

In addition to the calculation of the building as defined by the optimisation, a number of parameters were analysed in order to evaluate the importance of different aspects of the building envelope. The window types, heat recovery unit efficiency, infiltration and floor heating system temperature are some of the parameters that are evaluated. Furthermore, a series of simulations are performed where different aspects of the building are changed in order to reduce the heat consumption to 50 % compared to the present frame for energy consumption.

Chapter 3 is concluded by a discussion of the results. It is discussed whether or not the chosen solutions are sensible and how further reductions of the heat consumption can be achieved.

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

RESUMÉ

Nærværende rapport afslutter første fase af 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.

For at kunne foretage en optimering af isoleringstykkelserne i typehusets konstruktioner er det nødvendigt at gennemføre detaljerede beregninger af konstruktionernes varmetabskoefficienter. I rapportens kapitel 2 gennemgås disse beregninger i detaljer, både for konstruktionerne som de var opbygget før optimeringen og som de var opbygget efter optimeringen.

I afsnit 2.1 og 2.2 gives en beskrivelse af hhv. konstruktioner og samlingsdetaljer, som sammen med det detaljerede tegningsmateriale givet i bilagssektionen bagest i rapporten giver et overblik over konstruktioner og samlingsdetaljer som de så ud efter optimeringen.

Beregningerne, som er beskrevet i detaljer i afsnit 2.3 og 2.4, foretages dels vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 [2] og HEAT3 [3] til beregning af kuldebroeffekter, dvs. linie- og punkttabskoefficienter, mens U-værdier for konstruktioner med homogene lag er beregnet ud fra reglerne angivet i DS418 [4].

I afsnit 2.5 sammenfattes resultaterne af beregningerne og der opstilles en beregning af typehusets forventede dimensionerende varmetab. Tillige er angivet tilsvarende resultater for det oprindelige typehus, svarende til udformningen før optimeringen af konstruktionerne. I afsnit 2.6 beregnes de optimale isoleringstykkelser for hver enkelt konstruktion (ydervæg, terrændæk og loftskonstruktion), og på denne baggrund diskuteres de valgte isoleringstykkelser.

For at kunne vurdere hvorvidt typehuset efter optimeringen har opnået et opvarmningsbehov som tilsvarende projektets formål, dvs. en reduktion på hhv. 33 % og 50 % i forhold til nu gældende energiramme, gennemføres en række simuleringer af typehusets energibalance og indeklima. Simuleringerne foretages i denne forbindelse ved hjælp af simuleringsprogrammet tsbi3 [5]. Simuleringerne er beskrevet i rapportens kapitel 3.

Ud over den aktuelt valgte udformning af typehusets konstruktioner og systemer gennemføres ligeledes en række parameteranalyser til belysning af forskellige områders betydning for opvarmningsbehovet. Der foretages i denne forbindelse bl.a. analyser af betydningen af at anvende forskellige vinduestyper, mindre effektiv varmegenvindingsenhed, infiltrationens størrelse og gulvvarmeslangernes temperatur. Herudover gennemføres en række simuleringer hvor forskellige områder (konstruktioner, vinduestyper o.l.) ændres således at der netop opnås et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af den nu gældende energiramme.

Sidst i kapitel 3 diskuteres, på baggrund af resultaterne, hvorvidt de valgte løsninger er fornuftige og det fastlægges samtidig hvorledes der kan foretages justeringer som medfører yderligere energibesparelser.

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

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	1
SUMMARY	3
RESUMÉ.....	5
INDHOLDSFORTEGNELSE	7
1. PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL.....	9
1.1. BAGGRUND	9
1.2. FORMÅL	9
2. BEREKNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER.....	11
2.1. BESKRIVELSE AF KONSTRUKTIONER.....	11
2.2. BESKRIVELSE AF SAMLINGSDETALJER	12
2.3. BEREKNING AF KONSTRUKTIONER, U-VÆRDIER.....	13
2.4. BEREKNING AF SAMLINGSDETALJER, ψ -VÆRDIER.....	16
2.5. SAMMENFATNING AF RESULTATER.....	19
2.6. DISKUSSION AF DE VALGTE KONSTRUKTIONER	23
3. BEREKNING AF ENERGIFORBRUG	33
3.1. BESKRIVELSE AF MODEL	33
3.2. SIMULERING.....	35
3.3. RESULTATER.....	39
3.4. SAMMENFATNING OG DISKUSSION AF RESULTATER	43
4. KONKLUSION.....	47
4.1. DIMENSIONERENDE VARMETAB OG KULDEBROER.....	47
4.2. OPTIMALE ISOLERINGSTYKKELSER	47
4.3. OPVARMNINGSBEHOV : 67 % AF NUVÆRENDE ENERGIRAMME	48
4.4. OPVARMNINGSBEHOV : 50 % AF NUVÆRENDE ENERGIRAMME	49
REFERENCER.....	51
BILAG	52

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 energirammekrav 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 energirammekrav, 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 energirammekrav. Udgangspunktet er det nuværende energirammekrav på 280 MJ/m². I forhold til energirammekravet udvikles og optimeres konstruktions- og systemudforminger, 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/nyttelse-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.

Nærværende rapport er den første i en række af i alt fire rapporter der udarbejdes i forbindelse med projektet. De første tre rapporter er tekniske rapporter der dokumenterer de forskellige beregningstekniske analyser og målinger, mens den sidste rapport sammenfatter projektets

resultater på kortfattet og lettere tilgængelig form. I denne første tekniske rapport beskrives de detaljerede beregninger og simuleringer på baggrund af hvilke der fastlægges konstruktioner og systemer som anvendes i det nye typehus for at opnå den forventede besparelse. I den anden tekniske rapport beskrives de detaljerede målinger af typehusets energiforbrug mv. Målingerne har til formål at dokumentere de beregnede resultater fra denne første tekniske rapport. I den tredje tekniske rapport sammenlignes resultaterne af beregninger henholdsvis målinger og det diskuteres hvorvidt man gennem projektet har opnået de forventede resultater. Den fjerde og sidste rapport beskriver de vigtigste aspekter af projektet samt projektets resultater.

2. BEREGNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede beregninger af konstruktioner og samplingsdetaljer varmetabskoefficienter. Først gives en kortfattet beskrivelse af de enkelte konstruktioner og samplingsdetaljer. Herefter foretages beregninger af varmetabskoefficienter for hhv. konstruktioner og samplingsdetaljer, og der opstilles en samlet oversigt over resultaterne. Til sidst i kapitlet diskuteres baggrunden for valg af isoleringstykkelser, og der foretages beregninger af de optimale isoleringstykkelser. Mht. varmetabskoefficienter foretages der beregninger af alle konstruktioner som indgår i byggeriet samt de vigtigste samplingsdetaljer, dvs. de detaljer som indeholder de største kuldebidrag til det samlede transmissionstab for byggeriet.

I denne rapport er beregninger gennemført på baggrund af indvendige mål. Dette svarer ikke til metoden angivet i Tillæg 4 til DS418, hvor visse konstruktioner regnes ved udvendige mål for at tage højde for kuldebroer som ikke direkte dækkes af beregningerne. I nærværende rapport medtages samtlige betydende kuldebroer direkte i beregningerne, og det er således ikke nødvendigt at justere arealerne for at tage højde for disse.

2.1. Beskrivelse af konstruktioner

Konstruktionerne fremgår af tegningerne i bilagssektionen, og beskrives kort i det efterfølgende.

2.1.1. Terrændæk

Konstruktion regnet nedefra: 200 mm singels ($\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$), 100 mm beton rådæk ($\lambda = 1,600 \text{ W/mK}$), 225 mm ekspanderet polystyren ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), 100 mm betondæk ($\lambda = 1,600 \text{ W/mK}$), dampspærrende membran, gulvbelægning. Det øverste betonlag indeholder gulvvarmeslanger som antages beliggende midt i betonlaget. Efterfølgende har det vist sig at gulvvarmeslangerne er beliggende i den underste tredjedel af betonlaget. Terrændækket er vist i bilag 1, figur 10.

2.1.2. Ydervæg

Størstedelen af ydervæggen består af 400 mm hulmur af tegl og letbeton, se bilag 1 figur 9. Formuren består af 110 mm massive teglsten ($\lambda = 0,780 \text{ W/mK}$) og bagmuren af 100 mm letbeton ($\lambda = 0,200 \text{ W/mK}$), forbundet med 6 trådbindere pr. m^2 af 3 mm rustfast stål ($\lambda = 17 \text{ W/mK}$). Hulmuren er isoleret med 190 mm isolering klasse 39. Ved vinduer og døres lodrette sider er falselementer med 70 mm kuldebrosisolering, se bilag 1 figur 5 og 7. Over de smallere vinduer og døre er anbragt en 190×220 mm armeret letbetonbjælke, se bilag 1 figur 6. Over døren i køkken/alrum og vinduerne i glasfacaden er anbragt en 190×100 mm betonbjælke.

En stærkt varmeledende forbindelse mellem formur og bagmur i fundamentets øverste del undgås ved at føre isoleringstykkelsen fra ydervæggen ned til undersiden af terrændækkets isolering. Fundamenterne holdes adskilt fra dækket med en 10 mm polystyrenfuge, se bilag 1 figur 12.

2.1.3. Tagkonstruktion

Konstruktion, regnet nedefra: 16 mm loftsbrædder ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$) på 19 mm spredt forskalling pr. 600 mm ($R = 0,130 \text{ m}^2\text{K/W}$), 50 mm mineraluld klasse 39 ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$) med 50×50 mm lægter ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$) pr. 600 mm, dampspærrende membran, 100 mm

mineraluld klasse 39 ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$) indeholdende 50 mm bred spærfod pr. 1,00 m ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$), 200 mm ubrudt mineraluld klasse 39 ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), ventileret tagrum og tagplader på lægter ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$).

2.1.4. Vinduer (VELFAC 200)

De angivne U - og Ψ -værdier er fastlagt på baggrund af detaljerede beregninger foretaget vha. edb-programmet THERM [6]. Beregningerne er dokumenteret i rapporten "Analyse af beregnede og målte energimærkningsdata" [7].

Vindue 1 ($0,61 \times 1,21 \text{ m}^2$) og vindue 2 ($0,97 \times 1,21 \text{ m}^2$):

Vindue med trækarm og alu-ramme. Ruden er af typen super-lavenergi, bestående af 4 mm glas, 15 mm 90/10 Argon/luft gas og 4 mm glas. Tykkelsen af ramme/karmprofilet er 54 mm. Glasdelen har en U -værdi på $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ramme/karmarealet har en U -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samlingen af ruden og rammen har en ψ -værdi på $0,051 \text{ W/mK}$.

Vindue 3 ($1,81 \times 1,01 \text{ m}^2$):

Vindue med trækarm og alu-ramme. Ruden er af typen super-lavenergi, bestående af 4 mm glas, 15 mm 90/10 Argon/luft gas og 4 mm glas. Tykkelsen af ramme/karmprofilet er 54 mm. Tykkelsen af lodposten er 116 mm. Glasdelen har en U -værdi på $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ramme-/karmarealet har en U -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samlingen af ruden og rammen har en ψ -værdi på $0,051 \text{ W/mK}$.

2.1.5. Døre (VELFAC 200)

Dør 1 ($1,81 \times 2,20 \text{ m}^2$):

Dør med trækarm og alu-ramme med $2 \cdot 1$ rude. Ruderne er af typen super-lavenergi, bestående af 4 mm glas, 15 mm 90/10 Argon/luft gas og 4 mm glas. Tykkelsen af ramme/karmprofilet er 54 mm. Lodposten er 116 mm. Glasdelen har en U -værdi på $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ramme/karmarealet har en U -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samlingen af ruden og rammen har en ψ -værdi på $0,051 \text{ W/mK}$.

Dør 2 ($0,97 \times 2,20 \text{ m}^2$):

Dør med trækarm og alu-ramme med $2 \cdot 3$ ruder. Ruderne er af typen super-lavenergi, bestående af 4 mm glas, 15 mm 90/10 Argon/luft gas og 4 mm glas. Tykkelsen af ramme/karmprofilet er 54 mm. Tværposterne er 116 mm. Glasdelen har en U -værdi på $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$, ramme/karmarealet har en U -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samlingen af ruden og rammen har en ψ -værdi på $0,051 \text{ W/mK}$.

2.1.6. Glasfacade (VELFAC 200)

Glasfacaden består af 7 'vinduer' med trækarm og alu-ramme. Ruderne er af typen super-lavenergi, bestående af 4 mm glas, 15 mm 90/10 Argon/luft gas og 4 mm glas. Tykkelsen af ramme/karmprofilet er 54 mm. Lodposterne er 116 mm. Glasdelen har en U -værdi på $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ramme/karmarealet har en U -værdi på $2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ og samlingen af ruden og rammen har en ψ -værdi på $0,051 \text{ W/mK}$.

2.2. Beskrivelse af samlingsdetaljer

Alle de vigtigste samlingsdetaljer, dvs. samlingen mellem terrændæk og ydervæg (fundament), samlingen mellem vindue og ydervæg (lodret og vandret vinduesfals samt armeret bjælke) og samlingen mellem tagkonstruktion og ydervæg, fremgår af tegningerne i bilagssektionen.

2.3. Beregning af konstruktioner, U-værdier

Beregningerne foretages på baggrund af DS418 "Beregning af bygningers varmetab" inklusiv Tillæg 4 "Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og -vægge samt samlinger omkring vinduer og døre" [8] samt Tillæg 1 "Tillæg om vinduer og yderdøre" [9]. Der foretages dog beregninger vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 og HEAT3 i forbindelse med tagkonstruktionen samt ved fastlæggelse af effekten af murbinderne i ydervæggen, idet disse områder reelt set indeholder både 2- og 3-dimensionale varmestrømme.

2.3.1. Terrændæk

U-værdien for terrændækkonstruktionerne i bygningen vil være den samme uanset om der er tale om den ene eller anden form for gulvbelægning idet U-værdien, jf. Tillæg 4 til DS418, udelukkende regnes til varmegiveren, svarende til gulvvarmeslangerne i det øverste betonlag.

Terrændæk	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Betonlag	0,010	1,600	0,01
Isolering, klasse 39	0,225	0,039	5,77
Betonlag	0,100	1,600	0,06
Singels	0,200	0,800	0,25
Isolans for jord	-	-	1,50
$\Sigma R =$			7,59 m ² K/W
U =			0,13 W/m ² K
U-værdi for terrændæk:			<u>0,13 W/m²K</u>

2.3.2. Ydervæg

U-værdien for ydervæggen fastlægges ved at der først bestemmes U-værdier for de rene 1-dimensionale snit, svarende til isoleret hulmur, snit i lodret fals, snit i vandret fals under vindue og snit i armeret bjælke over vindue. I tilfældet med isoleret hulmur gives et tillæg for murbindere, som fastlægges på baggrund af detaljerede beregninger med HEAT3.

Beregningerne af U-værdier uden betydningen af murbindere foretages som følger:

Isoleret hulmur	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans	-	-	0,17
Formur af tegl	0,108	0,780	0,14
Isolering, klasse 39	0,190	0,039	4,87
Bagmur af porebeton	0,100	0,200	0,50
$\Sigma R =$			5,68 m ² K/W
U =			0,18 W/m ² K

Der gennemføres beregninger af murbindernes betydning for varmetabet, svarende til at punkttabskoefficienten for én murbinder fastlægges. Modellen opbygges således at der indgår én murbinder, og referencesituationen svarer således til at denne fjernes.

Ud fra beregningerne fastlægges tillægget til ovenfor beregnede U-værdi som:

Tillæg for murbindere: 0,003 W/m²K

U-værdien for hulmuren påvirkes således ikke nævneværdigt af murbinderne, og derfor haves:

U-værdi for hulmur: 0,18 W/m²K

Falselementer, med 70 mm kuldebroisolering	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans	-	-	0,17
Formur af tegl	0,108	0,780	0,14
Isolering, klasse 39	0,070	0,039	1,80
Bagmur af porebeton	0,220	0,200	1,10
$\Sigma R =$			3,21 m ² K/W
U =			0,31 W/m ² K

U-værdi for lodret og vandret fals: 0,31 W/m²K

Armeret bjælke, med 70 mm kuldebroisolering	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans	-	-	0,17
Formur af tegl	0,108	0,780	0,14
Isolering, klasse 39	0,070	0,039	1,80
Bagmur af porebeton	0,220	0,260	0,85
$\Sigma R =$			2,96 m ² K/W
U =			0,34 W/m ² K

U-værdi for armeret bjælke: 0,34 W/m²K

Betonbjælke	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans	-	-	0,17
Formur af tegl	0,108	0,780	0,14
Isolering, klasse 39	0,190	0,039	4,87
Bjælke i beton	0,100	1,600	0,06
$\Sigma R =$			5,24 m ² K/W
U =			0,19 W/m ² K

U-værdi for betonbjælke: 0,19 W/m²K

2.3.3. Tagkonstruktion

Tagkonstruktionen beregnes, som tidligere omtalt, vha. detaljerede beregningsprogrammer. I denne forbindelse antages følgende forudsætninger gældende:

- Det ventilerede tagrum inklusiv tagdækning har en isolans på 0,20 m²K/W, jf. DS418.
- De 19 mm forskalling tildeles en ækvivalent varmeledningsevne på 0,16 W/mK, jf. DS418.
- Der ses i beregningerne bort fra spærfagenes tænger.
- Der ses i beregningerne bort fra delvise gennembrydninger ved indervægge.

Der opbygges en 3-dimensional model af et typisk udsnit af loftskonstruktionen, svarende til at der medtages 0,6 m af loftskonstruktionen på tværs af huset (svarende til centerafstanden for spredt forskalling) og 1,0 m loftskonstruktionen på langs af huset (svarende til centerafstanden for spærene). Tagdækningen inklusive det ventilerede loftsrum modelleres i form af en forhøjet overgangsisolans.

Beregningen gennemføres og U-værdien fastlægges for tagkonstruktionen.

U-værdi for tagkonstruktion:

$$\underline{0,11 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

2.3.4. Vinduer

Følgende beregnede værdier anvendes generelt til bestemmelse af U-værdierne.

$$U_g = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_r = 2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Psi_g = 0,051 \text{ W/mK}$$

Vindue (0,588 x 1,188 m²):

$$U = \frac{0,518\text{m}^2 \cdot 1,100\text{W/m}^2\text{K} + 3,12\text{m} \cdot 0,051\text{W/mK} + 0,180\text{m}^2 \cdot 2,780\text{W/m}^2\text{K}}{(0,518 + 0,180)\text{m}^2}$$

$$\underline{U = 1,76 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Vindue (0,948 x 1,188 m²):

$$U = \frac{0,907\text{m}^2 \cdot 1,100\text{W/m}^2\text{K} + 3,84\text{m} \cdot 0,051\text{W/mK} + 0,219\text{m}^2 \cdot 2,780\text{W/m}^2\text{K}}{(0,907 + 0,219)\text{m}^2}$$

$$\underline{U = 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Vindue (1,788 x 0,988 m²):

$$U = \frac{1,376\text{m}^2 \cdot 1,100\text{W/m}^2\text{K} + 6,648\text{m} \cdot 0,051\text{W/mK} + 0,390\text{m}^2 \cdot 2,780\text{W/m}^2\text{K}}{(1,376 + 0,390)\text{m}^2}$$

$$\underline{U = 1,66 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

2.3.5. Døre

I de to dørtyper som anvendes i typehuset er der anvendt forskellige typer glas.

Dør (1,788 x 2,118 m²):

$$U_g = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_r = 2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Psi_g = 0,051 \text{ W/mK}$$

$$U = \frac{3,144\text{m}^2 \cdot 1,100\text{W/m}^2\text{K} + 11,17\text{m} \cdot 0,051\text{W/mK} + 0,643\text{m}^2 \cdot 2,780\text{W/m}^2\text{K}}{(3,144 + 0,643)\text{m}^2}$$

$$\underline{U = 1,54 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Dør (0,948 x 2,118 m²):

$$U_g = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_r = 2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Psi_g = 0,051 \text{ W/mK}$$

$$U = \frac{1,494\text{m}^2 \cdot 1,200\text{W/m}^2\text{K} + 8,60\text{m} \cdot 0,051\text{W/mK} + 0,514\text{m}^2 \cdot 2,780\text{W/m}^2\text{K}}{(1,494 + 0,514)\text{m}^2}$$

$$U = 1,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.3.6. Glasfacade

Følgende oplysninger anvendes i beregningen.

$$U_g = 1,100 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_r = 2,780 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Psi_g = 0,051 \text{ W/mK}$$

Glasfacade (6,10 x 2,20 m²):

For glasfacaden bestemmes en gennemsnitlig U-værdi.

$$U = \frac{10,637 \text{ m}^2 \cdot 1,100 \text{ W/m}^2\text{K} + 38,724 \text{ m} \cdot 0,051 \text{ W/mK} + 2,274 \text{ m}^2 \cdot 2,780 \text{ W/m}^2\text{K}}{(10,637 + 2,274) \text{ m}^2}$$

$$U = 1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.4. Beregning af samplingsdetaljer, y-værdier

Beregninger af samplingsdetaljer foretages vha. detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 og HEAT3. I hvert af de efterfølgende afsnit er der givet en kortfattet gennemgang af hvorledes beregningerne er gennemført (forudsætninger, særlige randbetingelser osv.).

2.4.1. Terrændæk/ydervæg (kuldebro ved fundament)

Der opbygges en model af et snit i konstruktionen. Modellen opbygges efter retningslinierne givet i Tillæg 4 til DS418, appendiks C. I tabel 1 er angivet mellemresultaterne for beregningen.

Tabel 1: Resultater. Linietaabskoefficient for fundament.

Måned	T _{ude} [°C]	T _{ref} [°C]	F _{2-D, tot} [W/m]	F _{1-D, væg} [W/m]	F _{1-D, terr.} [W/m]	y _{fund} × T [W/m]
-						
Januar	0,72	12,08	12,44	4,88	6,01	1,55
Februar	-0,40	11,59	13,02	5,16	6,01	1,84
Marts	0,72	11,16	12,75	4,88	6,01	1,86
April	3,80	10,85	11,76	4,10	6,01	1,65
Maj	8,00	10,75	10,30	3,04	6,01	1,25
Juni	12,20	10,89	8,76	1,97	6,01	0,78
Juli	15,28	11,23	7,56	1,19	6,01	0,36
August	16,40	11,69	7,02	0,91	6,01	0,09
September	15,28	12,13	7,27	1,19	6,01	0,06
Oktober	12,20	12,44	8,26	1,97	6,01	0,27
November	8,00	12,55	9,71	3,04	6,01	0,66
December	3,80	12,41	11,24	4,10	6,01	1,13
Middel for opv. per.	5,79	11,77	10,75	3,60	6,01	1,14

T_{ude} svarer til lufttemperaturen ude.

T_{ref} svarer til temperaturen i referencepunktet. Referencepunktet er beliggende umiddelbart under det kapillarbrydende lag, 4 m inde under bygningen (dvs. 4 m fra den indvendige side af ydervæggen). T_{ref} aflæses direkte af den detaljerede 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{2-D, \text{tot}}$ svarer til det samlede varmetab gennem samlingsdetaljen (dvs. 1,5 m ydervæg og 4,0 m terrændæk) i W/m. $\Phi_{2-D, \text{tot}}$ aflæses direkte af den detaljerede 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{1-D, \text{væg}}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem ydervæggen (1,515 m). Varmetabet bestemmes ved at fastlægge ydervæggens U-værdi (0,175 W/m²K idet der ikke medtages murbindere i modellen), og gange denne med arealet af væggen (1,515 m) og temperaturforskellen mellem indeluft og udeluft for hver enkelt måned.

$\Phi_{1-D, \text{terr}}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem terrændækket (4,0 m). Varmetabet bestemmes ved at fastlægge terrændækkets U-værdi uden at medtage jordisolansen (0,183 W/m²K), og gange denne værdi med arealet af terrændækket (4,0 m) og den gennemsnitlige temperaturforskel mellem indeluft og referencepunktet. I denne forbindelse tages temperaturen i referencepunktet som middelværdien for opvarmningsperioden, og derfor vil dette varmetab være konstant over året.

$\psi_{\text{fund}} \cdot T$ fastlægges som forskellen på 2-dimensionalt og 1-dimensionalt varmetab. Fundamentsløsningens linietafskoefficient kan herefter bestemmes ved at fastlægge middelværdien for $\psi_{\text{fund}} \cdot T$ for opvarmningsperioden (september – maj) og dividere denne størrelse med den gennemsnitlige temperaturdifferens mellem indeluft og udeluft for opvarmningsperioden ($20 - 5,79 = 14,21$ °C).

Linietafskoefficient, ψ_{fund} : $80 \cdot 10^{-3}$ W/mK

2.4.2. Vindue/ydervæg (kuldebro ved lodret fals)

Der opbygges en model af et vandret snit i samlingen mellem vindue og ydervæg. I forbindelse med isætning af vinduerne viste der sig problemer i forbindelse med fugningen omkring disse, og det var derfor nødvendigt at anvende tilsætninger. Ved lodrette false samt armeret bjælke blev der anvendt 20 mm tilsætninger, og dette er der taget højde for i forbindelse med beregningerne. Følgende antagelser anvendes i beregningerne:

- Der anvendes en ækvivalent varmeledningsevne for glassdelen af vinduet på 0,0288 W/mK, svarende til at glassdelen har en U-værdi på 1,10 W/m²K.
- I modellen medtages 200 mm af glasset og 500 mm af ydervæggen.

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og herud fra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges adiabatisk snit på hver side af falselementet (tilsætningen). Herved bortskræres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen, og da der allerede er taget højde for den konstruktive kuldebro i samlingen er alle effekter dækket ind. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietafet for samlingen.

Varmestrøm fuld detalje: 8,99 W/m
Varmestrøm u. kuldebroer: 8,43 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietafskoefficienten for samlingen mellem ydervæg og vindue, dvs. for lodret fals ved siden af vindue:

Linietabskoefficient, $\psi_{\text{fals l.}}$: $28 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.4.3. Vindue/ydervæg (kuldebro ved vandret fals)

Der opbygges en model af et lodret snit i samlingen mellem vindue og ydervæg (nederste del af vinduet). I øvrigt forudsættes samme antagelser som for beregningen i foregående afsnit, og beregningerne gennemføres analogt med denne.

Varmestrøm fuld detalje: 8,82 W/m

Varmestrøm u. kuldebroer: 7,73 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietabskoefficienten for samlingen mellem ydervæg og vindue, dvs. for vandret fals under vindue:

Linietabskoefficient, $\psi_{\text{fals v.}}$: $44 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.4.4. Vindue/ydervæg (kuldebro ved armeret bjælke)

Der opbygges en model af et lodret snit i samlingen mellem vindue og ydervæg (øverste del af vinduet). I øvrigt forudsættes samme antagelser som for beregningen i foregående afsnit, og beregningerne gennemføres analogt med denne.

Varmestrøm fuld detalje: 9,57 W/m

Varmestrøm u. kuldebroer: 8,99 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietabskoefficienten for samlingen mellem ydervæg og vindue, dvs. for armeret bjælke over vindue:

Linietabskoefficient, $\psi_{\text{arm. bj.}}$: $29 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.4.5. Vindue/ydervæg (kuldebro ved betonbjælke)

Over det store vindue samt døren i køkken/alrum anvendes der en betonbjælke i stedet for en armeret letbetonbjælke. Betonbjælken er 100 mm bred og 190 mm høj. Beregningen gennemføres analogt med beregningen af linietabet som forekommer ved den armerede bjælke.

Varmestrøm fuld detalje: 9,22 W/m

Varmestrøm u. kuldebroer: 8,68 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietabskoefficienten for samlingen mellem ydervæg og vindue, dvs. betonbjælke over vindue:

Linietabskoefficient, $\psi_{\text{betonbj.}}$: $27 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.4.6. Tagkonstruktion/ydervæg

Der opbygges en 3-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen mellem ydervæg og tagkonstruktion. Det typiske udsnit svarer til at der i modellen medtages netop ét spær, dvs. 1 m af tagkonstruktionen. Af ydervæggen modelleres 0,5 m under loftets underside og af tagkonstruktionen modelleres (vandret) 1,5 m fra indersiden af ydervæggen. Følgende antagelser anvendes i beregningerne:

- Det ventilerede tagrum + tagdækning har en isolans på 0,20 m²K/W, jf. DS418, tabel 6.8.

- De 19 mm forskalling nederst i konstruktionen tildeles en ækvivalent varmeledningsevne på 0,16 W/mK, jf. DS418 tabel 6.4 (interpolation).
- Der anvendes en ækvivalent varmeledningsevne for luftspalten i ydervæggen på 0,200 W/mK, svarende til en isolans på 0,05 m²K/W (jf. DS418 tekst s. 25).

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk planer således at hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen samt kuldebroeffekterne som opstår som følge af spæret. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietafet for samlingen.

Varmestrøm fuld detalje: 4,946 W/m
Varmestrøm u. kuldebroer: 4,205 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietafskoefficienten for samlingen mellem ydervæg og tagkonstruktion:

Linietafskoefficient, ψ_{rem} : $37 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.4.7. Ydervæg/ydervæg (Kuldebro ved hushjørne)

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen ved ydervægshjørnet. Af ydervæggen modelleres 0,5 m op til hjørnet (indvendige mål). Følgende antagelser anvendes i beregningerne:

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk planer således at hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietafet for samlingen.

Varmestrøm fuld detalje: 4,37 W/m
Varmestrøm u. kuldebroer: 3,51 W/m

Differensen mellem resultaterne divideret med temperaturforskellen (20 °C) svarer til linietafskoefficienten for samlingen i ydervægshjørnet:

Linietafskoefficient, $\psi_{\text{hjørne}}$: $43 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}$

2.5. Sammenfatning af resultater

På baggrund af transmissionskoefficienterne fastlagt i de foregående afsnit kan der nu gennemføres en beregning af typehusets samlede UA-værdi, og samtidig kan det dimensionerende varmetab bestemmes. I tabel 2 er UA-værdien for typehuset beregnet og i tabel 3 er det dimensionerende varmetab beregnet.

I sammenfatningen af resultaterne i tabel 2 er vinduernes størrelse angivet som murhulsmål.

Tabel 2: Sammenfatning af resultater, Typehus efter optimering af klimaskærm

Konstruktioner	U-værdi [W/m ² K]	Areal [m ²]	UA-værdi [W/K]
Terrændæk	0,13	110,60	14,38
Isoleret hulmur	0,18	64,63	11,63
Lodret fals	0,31	2,0 · 0,10 · 38	2,36
Vandret fals	0,31	1,29	0,40
Armeret bjælke	0,34	3,11	1,06
Betonbjælke	0,19	0,84	0,16
Vindue (0,61 x 1,21 m ²)	1,76	0,74 · 7	9,12
Vindue (0,97 x 1,21 m ²)	1,60	1,17 · 7	13,10
Vindue (1,81 x 1,01 m ²)	1,66	1,83 · 1	3,04
Dør (1,81 x 2,2 m ²)	1,54	3,98 · 1	6,13
Dør (0,97 x 2,2 m ²)	1,82	2,13 · 2	7,75
Glasfacade (6,10 x 2,2 m ²)	1,55	13,42 · 1	20,80
Loftskonstruktion	0,11	110,60 · 1,15	13,99
ΣUA =			103,86
Samlinger	y -værdi [W/mK] × 10 ⁻³	Linielængde [m]	y l-værdi [W/K]
Fundament	80	46,42	3,71
Lodret fals	28	53,84	1,51
Vandret fals	44	12,87	0,57
Armeret bjælke	29	16,38	0,48
Betonbjælke	27	4,40	0,12
Rem	37	46,42	1,72
Hushjørne	43	7,05	0,30
Σψl =			8,41

Det samlede dimensionerende varmetab bestemmes.

Tabel 3: Dimensionerende varmetab, Typehus efter optimering af klimaskærm

Konstruktioner	UA-værdi [W/K]	DT [°C]	Dim. varmetab [W]
Terrændæk	14,38	30-10	288
Isoleret hulmur	11,63	20-(-12)	372
Lodret fals	2,36	20-(-12)	75
Vandret fals	0,40	20-(-12)	13
Armeret bjælke	1,06	20-(-12)	34
Betonbjælke	0,16	20-(-12)	5
Vindue (0,61 x 1,21 m ²)	9,12	20-(-12)	292
Vindue (0,97 x 1,21 m ²)	13,10	20-(-12)	419
Vindue (1,81 x 1,01 m ²)	3,04	20-(-12)	97
Dør (1,81 x 2,2 m ²)	6,13	20-(-12)	196
Dør (0,97 x 2,2 m ²)	7,75	20-(-12)	248
Glasfacade (6,10 x 2,2 m ²)	20,80	20-(-12)	666
Loftskonstruktion	13,99	20-(-12)	448
ΣKonstruktioner =			3153

Samlinger	y l-værdi [W/K]	DT [°C]	Dim. varmetab [W]
Fundament	3,71	30-(-12)	156
Lodret fals	1,51	20-(-12)	48
Vandret fals	0,57	20-(-12)	18
Armeret bjælke	0,48	20-(-12)	15
Betonbjælke	0,12	20-(-12)	4
Rem	1,72	20-(-12)	55
Hushjørne	0,30	20-(-12)	10
Σ Samlinger =			306
Σ Konstruktioner + Samlinger =			3459
Ventilationstab $0,34 \cdot (0,83 \text{ h}^{-1} \cdot 10 \% + 0,1 \text{ h}^{-1}) \cdot 259 \text{ m}^3 \cdot (20-(-12)) \text{ °C}$			516
Dimensionerende varmetab			3975

For samlingerne lodret fals, vandret fals, armeret bjælke og betonbjælke gælder at værdierne indeholder betydningen af samlingen mellem fals og vindue samt samlingen mellem fals og ydervæg.

Kuldebroandelen af det dimensionerende varmetab er større end samlingernes andel, idet f.eks. kuldebroerne i vinduer ikke er medtaget heri. Den samlede kuldebroandel bestemmes.

Lodret fals, 1-D	$0,99 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	31,7 W
Vandret fals, 1-D	$0,17 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	5,4 W
Armeret bjælke, 1-D	$0,50 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	16,0 W
Betonbjælke, 1-D	$0,01 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	0,3 W
Vinduer ($0,61 \cdot 1,21 \text{ m}^2$)	$1,11 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	35,5 W
Vinduer ($0,97 \cdot 1,21 \text{ m}^2$)	$1,37 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	43,8 W
Vinduer ($1,81 \cdot 1,01 \text{ m}^2$)	$0,34 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	10,9 W
Døre ($1,81 \cdot 2,20 \text{ m}^2$)	$0,57 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	18,2 W
Døre ($0,97 \cdot 2,20 \text{ m}^2$)	$0,88 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	28,2 W
Glasfacade ($6,10 \cdot 2,20 \text{ m}^2$)	$1,97 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	63,0 W
Fundament	$3,71 \text{ W/K} \cdot (30-(-12)) \text{ K}$	155,8 W
Lodret fals, 2-D	$1,51 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	48,3 W
Vandret fals, 2-D	$0,57 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	18,2 W
Armeret bjælke, 2-D	$0,48 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	15,4 W
Betonbjælke, 2-D	$0,12 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	3,8 W
Rem	$1,72 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	55,0 W
Hushjørne	$0,30 \text{ W/K} \cdot (20-(-12)) \text{ K}$	9,6 W
Total		559 W

Det samlede dimensionerende transmissionstab er således ca. 3459 W mens kuldebroerne inklusive førømtalte 1-dimensionale effekter udgør ca. 559 W heraf, svarende til ca. 16 %. Det er altså vigtigt at bemærke, at der til trods for at der er anvendt gode og fornuftige samplingsdetaljer haves en kuldebroandel som er relativt høj, og hermed er det tydeligt at kuldebroernes betydning bør medtages i forbindelse med vurderinger af bygningers transmissionstab.

Til sammenligning med ovenstående resultater er der i tabel 4 angivet dimensionerende varmetab for det oprindelige typehus, svarende til situationen før klimaskærmskonstruktionerne

blev optimeret. Beregninger af U- og ψ -værdier er ikke gennemgået for dette tilfælde. I stedet er de primære forskelle mellem den oprindelige udformning og den optimerede udformning af typehuset beskrevet i efterfølgende afsnit 2.6 hvor valget af konstruktioner og løsninger generelt diskuteres.

Kuldebroandelen i det dimensionerende transmissionstab for den oprindelige udformning af typehuset fastlægges overslagsmæssigt til ca. 826 W.

Tabel 4: Dimensionerende varmetab, Typehus før optimering af klimaskærm

Konstruktioner	UA-værdi [W/K]	DT [°C]	Dim. varmetab [W]
Terrændæk	22,63	30-10	435
Isoleret hulmur	13,74	20-(-12)	440
Lodret fals	3,76	20-(-12)	120
Vandret fals	0,64	20-(-12)	20
Armeret bjælke	1,95	20-(-12)	49
Betonbjælke	0,16	20-(-12)	5
Vindue (0,61 x 1,21 m ²)	10,73	20-(-12)	343
Vindue (0,97 x 1,21 m ²)	15,11	20-(-12)	484
Vindue (1,81 x 1,01 m ²)	3,43	20-(-12)	110
Dør (1,81 x 2,2 m ²)	6,73	20-(-12)	215
Dør (0,97 x 2,2 m ²)	8,58	20-(-12)	274
Glasfacade (6,10 x 2,2 m ²)	22,24	20-(-12)	712
Loftskonstruktion	15,57	20-(-12)	498
$\Sigma 1-D =$			3706
Samlinger	y l-værdi [W/K]	DT [°C]	Dim. varmetab [W]
Fundament	6,64	30-(-12)	279
Lodret fals	2,53	20-(-12)	81
Vandret fals	0,85	20-(-12)	27
Armeret bjælke	1,04	20-(-12)	33
Betonbjælke	0,12	20-(-12)	4
Rem	1,61	20-(-12)	52
Hushjørne	0,32	20-(-12)	10
$\Sigma 2-D =$			486
$\Sigma 1-D + 2-D =$			4192
Ventilationstab	$0,34 \cdot (0,83 \text{ h}^{-1} + 0,1 \text{ h}^{-1}) \cdot 259 \text{ m}^3 \cdot (20-(-12)) \text{ °C}$		2621
Dimensionerende varmetab			6813

Hvis resultaterne sammenlignes kan det ses at det dimensionerende varmetab fra bygningen reduceres med ca. 42 % ved at foretage de anførte ændringer.

Kuldebroandelen i den oprindelige udformning af typehuset svarer til ca. 22 % af det samlede dimensionerende transmissionstab, og i forhold til den optimerede udformning af typehuset er der således sket en reduktion af kuldebroeffekternes andel, på trods af at kuldebroerne får en øget betydning ved øget isoleringsgrad. Dette forhold viser at man i forbindelse med optimeringen af bygningens konstruktioner har opnået et fornuftigt forhold mellem en merisolering af konstruktionerne og en reduktion af kuldebroeffekterne i samlingsdetaljerne.

2.6. Diskussion af de valgte konstruktioner

I dette afsnit gennemgås de økonomiske optimeringer som er foretaget i forbindelse med valg af isoleringstykkelser for hhv. ydervæg, terrændæk og loftskonstruktion. Optimeringen er foretaget vha. metoderne beskrevet i rapporten "Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner" [10]. Udover de økonomiske optimeringer diskuteres det ligeledes hvilke overvejelser der ligger til grund for valget af vinduer i typehuset.

2.6.1. Ydervæg

For at fastlægge den økonomisk optimale isoleringstykkel for ydervæggen betragtes en række forskellige isoleringsniveauer. Først bestemmes de rene 1-dimensionale U-værdier for de forskellige isoleringsniveauer. U-værdierne er givet i tabel 5.

Tabel 5: U-værdier for ren hulmur ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Hulmur U-værdi [W/m ² K]
125	0,246
150	0,213
200	0,167
250	0,138
300	0,117

I ydervæggen indgår der en række kuldebroer som der ligeledes må tages højde for, og derfor foretages der beregninger af disse. Der medtages: kuldebro ved fundamentstilslutning, kuldebro ved rem, kuldebro ved hushjørne og kuldebroer ved vinduer. Det antages at der ikke ændres på samlingernes opbygning ved de forskellige isoleringstykkelser, således at f.eks. kuldebro-isoleringens tykkelse er den samme for samtlige tilfælde. Beregningerne foretages vha. programmerne HEAT2 og HEAT3. I tabel 6 er opstillet resultaterne for de 1-dimensionale bidrag og i tabel 7 er opstillet resultaterne for de 2-dimensionale bidrag.

Tabel 6: U-værdier for false og armeret bjælke ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Lodret fals U-værdi [W/m ² K]	Vandret fals U-værdi [W/m ² K]	Arm.bjælke U-værdi [W/m ² K]
125	0,347	0,347	0,370
150	0,333	0,333	0,358
200	0,307	0,307	0,335
250	0,285	0,285	0,314
300	0,266	0,266	0,297

Tabel 7: ψ -værdier ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Fundament ψ -værdi [W/mK]	Lodret fals ψ -værdi [W/mK]	Vandret fals ψ -værdi [W/mK]	Arm.bjælke ψ -værdi [W/mK]	Rem ψ -værdi [W/mK]	Hushjørne ψ -værdi [W/mK]
125	0,088	0,022	0,039	0,023	0,041	0,049
150	0,083	0,026	0,041	0,026	0,039	0,046
200	0,079	0,031	0,045	0,032	0,037	0,042
250	0,075	0,037	0,049	0,038	0,035	0,039
300	0,073	0,042	0,053	0,043	0,034	0,036

For at fastlægge den totale U-værdi for ydervæggen ved de forskellige isoleringsniveauer, vægtes de forskellige kuldebroer efter nøglen givet i hhv. tabel 8 og tabel 9. I rapporten "Udvikling af klimaskærmskonstruktioner" fordeles kun halvdelen af linietabet ved samlingen mellem ydervæg og loftskonstruktion til den totale ækvivalente U-værdi for ydervæggen, og i nærværende sammenhæng fastholdes denne fordeling.

Tabel 8: Arealer benyttet i forbindelse med fastlæggelse af ækvivalente U-værdier.

Bygn. del	Areal [m ²]
Ren hulmur	64,63
Lodret fals	7,60
Vandret fals	1,29
Arm.bjælke	3,11

Tabel 9: Linielængder benyttet i forbindelse med fastlæggelse af ækvivalente U-værdier.

Bygn. del	Længde [m]
Fundament	46,42
Lodret fals	53,84
Vandret fals	12,87
Arm.bjælke	20,78
Rem	46,42
Hushjørne	7,05

Ved at multiplicere U-værdier og ψ -værdier med de respektive arealer og linielængder fastlægges de totale U-værdier for ydervæggen ved de forskellige isoleringsniveauer. Resultaterne er givet i tabel 10.

Tabel 10: Totale U-værdier ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Ækvivalent U-værdi [W/m ² K]
125	0,360
150	0,330
200	0,290
250	0,265
300	0,248

Ud fra disse værdier kan den forventede besparelse beregnes i kWh. Besparelsen udregnes i forhold til det laveste isoleringsniveau, således at dette vælges som udgangspunkt for beregningerne. Der tages udgangspunkt i gradtimetallene givet i "Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner", og herved kan besparelserne for de forskellige isoleringsniveauer bestemmes. Resultaterne er givet i tabel 11.

Tabel 11: Besparelser i forhold til isoleringstykkelse på 125 mm.

Isolerings- tykkelse [mm]	Besparelse [kWh/m ² år]
125	0,00
150	2,70
200	6,33
250	8,55
300	10,08

Ved hjælp af metoderne beskrevet i "Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner" kan der nu opstilles en økonomisk oversigt for ydervæggen i afhængighed af isoleringsniveauet, se tabel 12. Meranlægspriser i det efterfølgende er taget fra "Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner".

Tabel 12: Økonomisk oversigt for ydervæg.

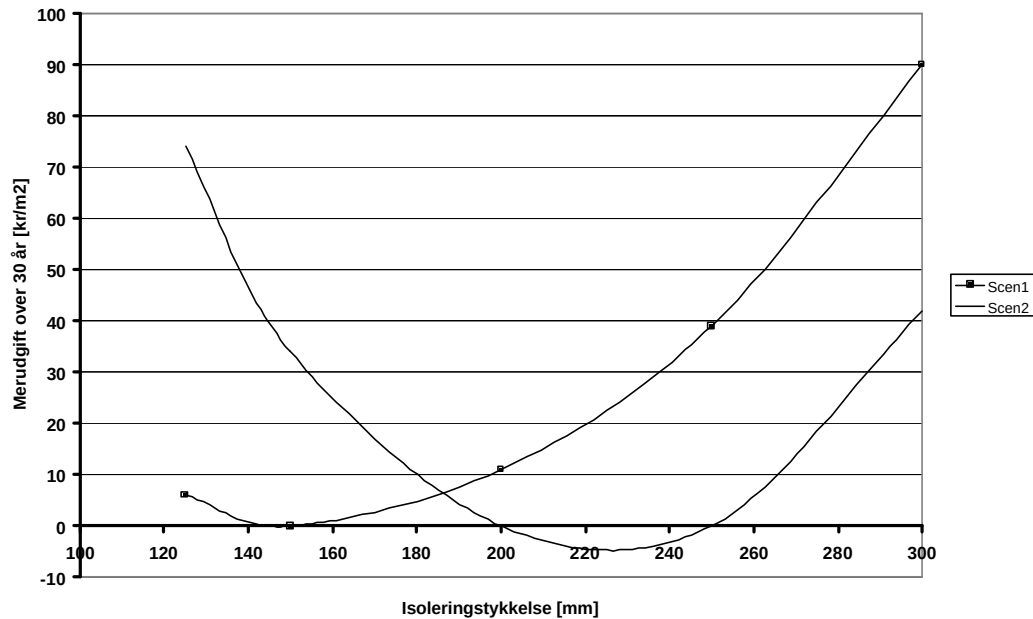
Isolerings- tykkelse [mm]	Besparelse [kWh/m ² år]	Meranlægs- pris [kr/m ²]	Nuværdi af rest- værdi af merpris efter 30 år/ nuværdi af energibesparelse i 30 år [kr/m ²]		Besparelse over 30 år/ merudgift ift. største besparelse [kr/m ²]		Simpel tilbage- betalingstid [år]
			Scen1	Scen2	Scen1	Scen2	Scen1/Scen2
125	0,00	0	0/0	0/0	0/6	0/74	-
150	2,70	42	14/34	14/68	6/0	40/34	26/13
200	6,33	126	42/80	42/159	-5/11	74/0	33/17
250	8,55	211	70/107	70/215	-33/39	74/0	41/21
300	10,08	301	100/127	100/253	-84/90	32/42	54/27

Den optimale isoleringstykkelse vælges som den situation hvor besparelsen over 30 år er størst i forhold til det valgte udgangspunkt (her 125 mm isolering). Det er således ikke nødvendigvis optimalt at vælge den korteste simple tilbagebetalingstid.

De to scenarier som betragtes er ligeledes taget fra "Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner". Den eneste forskel på scenarierne er energiprisen, som i scenario 1 er 0,60 kr/kWh og i scenario 2 er 1,20 kr/kWh. De øvrige data som benyttes i beregningerne er som følger.

Realrente: 2,5 %, Beregningsperiode: 30 år, Nuværdifaktor: 21.

Hvis der optegnes en graf over merudgiften over 30 år som funktion af isoleringstykkelsen for hvert af de to scenarier fås resultatet vist i figur 1.



Figur 1: Merudgift ift. største besparelse som funktion af isoleringstykkelse for ydervæg.

2.6.2. Terrændæk

Der udvælges en række forskellige isoleringsniveauer for terrændækket, og for hvert enkelt tilfælde fastlægges først den rene 1-dimensionale U-værdi. Værdierne er opstillet i tabel 13.

Tabel 13: U-værdier for terrændæk ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Terrændæk U-værdi [W/m²K]
100	0,227
150	0,176
200	0,143
225	0,131
250	0,121
300	0,105

I terrændækket indregnes ingen kuldebroer og derfor kan U-værdierne benyttes direkte i forbindelse med beregningerne af den optimale isoleringstykkelse. Ud fra U-værdierne kan den forventede besparelse beregnes i kWh. Besparselsen udregnes i forhold til det laveste isoleringsniveau. Besparselserne er anført i tabel 14.

Tabel 14: Beparelser i forhold til isoleringstykkelse på 100 mm.

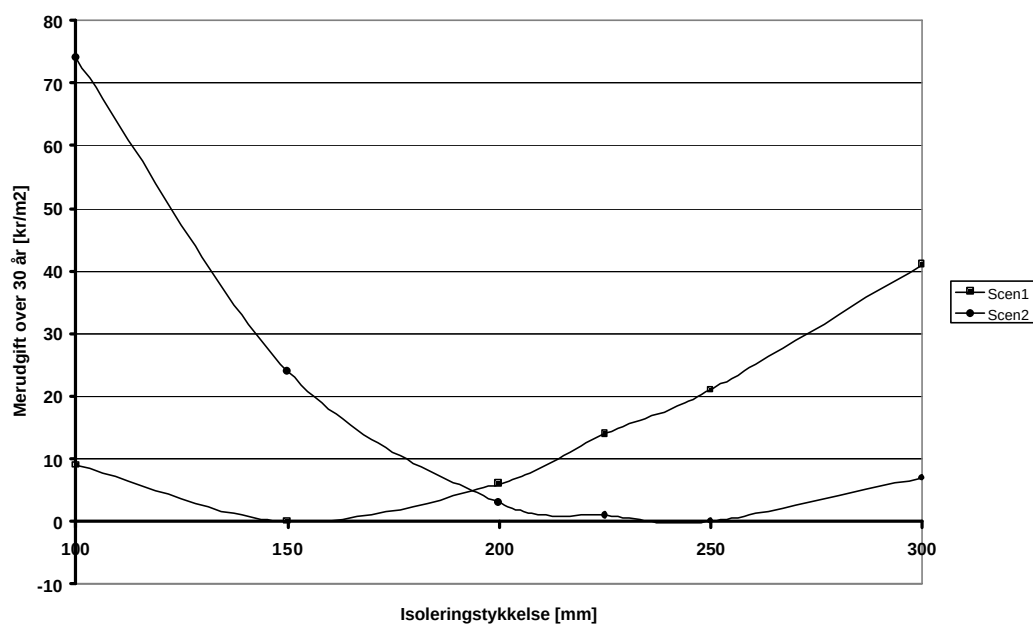
Isolerings- tykkelse [mm]	Besparelse [kWh/m²år]
100	0,00
150	3,32
200	5,46
225	6,24
250	6,89
300	7,93

I tabel 15 er vist en økonomisk oversigt for terrændækket i afhængighed af isoleringsniveauet.

Tabel 15: Økonomisk oversigt for terrændæk.

Isolerings- tykkelse	Besparelse	Meranlægs- pris	Nuværdi af restværdi af merpris efter 30 år/ nuværdi af energibesparelse i 30 år		Besparelse over 30 år/ merudgift ift. største besparelse		Simpel tilbage- betalingstid
[mm]	[kWh/m ² /år]	[kr/m ²]	[kr/m ²]		[kr/m ²]		[år]
			Scen1	Scen2	Scen1	Scen2	Scen1/Scen2
100	0,00	0	0/0	0/0	0/9	0/74	-
150	3,32	49	16/42	16/83	9/0	51/24	25/12
200	5,46	99	33/69	33/137	3/6	71/3	30/15
225	6,24	125	41/78	41/157	-5/14	73/1	33/17
250	6,89	148	49/87	49/173	-12/21	74/0	36/18
300	7,93	198	66/100	66/199	-32/41	67/7	42/21

Hvis der optegnes en graf over merudgiften over 30 år som funktion af isoleringstykkelsen for hvert af de to scenarier fås resultatet vist i figur 2.



Figur 2: Merudgift ift. største besparelse som funktion af isoleringstykkelse for terrændæk.

2.6.3. Loftskonstruktion

Igen udvælges en række forskellige isoleringsniveauer for loftskonstruktionen, og for hvert enkelt tilfælde fastlægges den rene 1-dimensionale U-værdi. Værdierne er opstillet i tabel 16.

Tabel 16: U-værdier for loftskonstruktion ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Loft U-værdi [W/m ² K]
250	0,147
300	0,124
350	0,107
400	0,094
500	0,076
600	0,066

I loftskonstruktionen indgår udelukkende kuldebroen ved tilslutningen til ydervæggen. Det antages at der ikke ændres på denne samlings generelle opbygning ved de forskellige isoleringstykkelser. Beregningerne foretages vha. programmet HEAT3. I tabel 17 er opstillet resultaterne for de 2-dimensionale bidrag.

Tabel 17: ψ -værdier ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Rem ψ -værdi [W/mK]
250	0,039
300	0,038
350	0,037
400	0,037
500	0,038
600	0,038

For at fastlægge den ækvivalente U-værdi for loftskonstruktionen ved de forskellige isoleringsniveauer, vægtes U-værdien for den rene konstruktion med ψ -værdien for remmen efter følgende funktion.

$$U_{\text{ækv}} = \frac{U_{\text{ren}} \cdot 110,6\text{m}^2 + \psi_{\text{rem}} \cdot 46,42\text{m} \cdot 0,5}{110,6\text{m}^2}$$

Heraf fastlægges de ækvivalente U-værdier for loftskonstruktionen ved de forskellige isoleringsniveauer. Resultaterne er givet i tabel 18.

Tabel 18: Ækvivalente U-værdier ved forskellige isoleringsniveauer.

Isolerings- tykkelse [mm]	Ækvivalent U-værdi [W/m ² K]
250	0,163
300	0,140
350	0,123
400	0,110
500	0,092
600	0,074

Ud fra disse værdier kan den forventede besparelse beregnes i kWh. Besparelsen udregnes i forhold til det laveste isoleringsniveau. Resultaterne er givet i tabel 19.

Tabel 19: Besparelser i forhold til isoleringstykkelse på 250 mm.

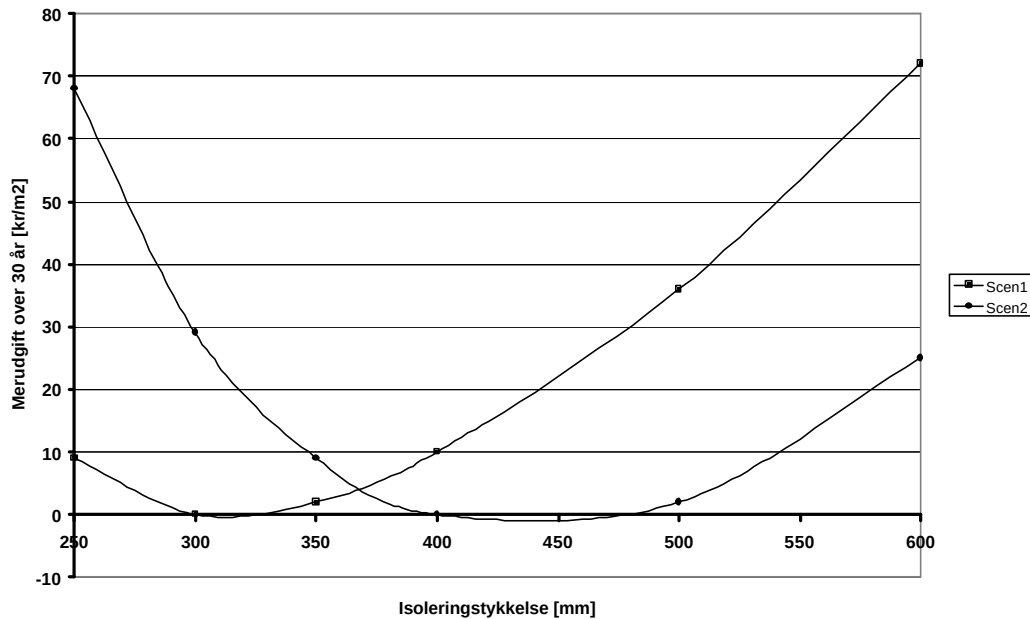
Isolerings- tykkelse [mm]	Besparelse [kWh/m ² år]
250	0,00
300	2,40
350	4,21
400	5,56
500	7,39
600	8,43

Tabel 20 viser en økonomisk oversigt for loftskonstruktionen som funktion af isoleringsniveauet.

Tabel 20: Økonomisk oversigt for loftskonstruktion.

Isolerings- tykkelse [mm]	Besparelse [kWh/m ² år]	Meranlægs- pris [kr/m ²]	Nuværdi af restværdi af merpris efter 30 år/ nuværdi af energibesparelse i 30 år [kr/m ²]		Besparelse over 30 år/ merudgift ift. største besparelse [kr/m ²]		Simpel tilbage- betalingstid [år]
			Scen1	Scen2	Scen1	Scen2	
250	0,00	0	0/0	0/0	0/9	0/68	-
300	2,40	31	10/30	10/60	9/0	39/29	22/11
350	4,21	68	23/53	23/106	7/2	59/9	27/14
400	5,56	105	35/70	35/140	-1/10	68/0	32/16
500	7,39	179	60/93	60/186	-27/36	66/2	40/20
600	8,43	253	84/106	84/212	-63/72	43/25	50/25

En graf over merudgiften over 30 år som funktion af isoleringstykkelsen er vist i figur 3.



Figur 3: Merudgift ift. største besparelse som funktion af isoleringstykkelse for loftskonstruktion.

2.6.4. Vinduer

I forbindelse med valg af vinduer til typehuset er der flere faktorer som er af betydning. Vinduernes varmetekniske kvalitet afhænger således af både af U- og ψ -værdier for henholdsvis ramme/karm, glas og afstandsprofil, men også af vinduernes glasprocent og total solenergi-transmittans.

For at opnå så gode forhold som muligt skal der vælges vinduer som har lave U- og ψ -værdier, en stor glasprocent og en høj soltransmittans. Af denne grund kan man ikke på baggrund af varmetabsberegninger alene, afgøre hvilken kombination af de omtalte værdier der giver den optimale udformning af vinduerne. For at kunne vurdere dette er det nødvendigt at foretage simuleringer af vinduerne, hvori transmissionstab og solindfald vægtes realistisk. Af denne grund vil vinduesvalget først behandles sidst i rapporten, efter gennemgangen af de tsbi3-simuleringer der er gennemført.

2.6.5. Diskussion

Betragtes først figur 1 er det tydeligt at den optimale isoleringstykkelse for ydervæggen er ca. 150 mm og mellem 200 mm og 250 mm i hhv. scenario 1 og scenario 2. Betragtes derefter kolonne 6 og 7 i tabel 12 er det ligeledes tydeligt, at man ved at vælge den optimale løsning ud fra scenario 1 står i en mindre hensigtsmæssig situation, hvis det skulle vise sig at energiprisen viser sig at blive højere end udgangspunktet for dette scenario (0,60 kr/kWh), end hvis man omvendt havde valgt den optimale isoleringstykkelse efter scenario 2. I første situation risikerer man at gå glip af en besparelse på 34 kr/m² hvis man undervurderer udviklingen af energipriserne. I den anden situation risikerer man at gå glip en besparelse på mellem 11 kr/m² og 39 kr/m², ved at overvurdere udviklingen af energipriserne. For sidstnævnte situation løber man altså den mindste risiko ved at vælge 200 mm fremfor 250 mm isolering.

Med usikkerheden i hvad der er optimalt, afhængigt af forudsætningerne for beregningerne, er der i huset generelt valgt rimelige isoleringstykkelser, svarende til de optimale for en blanding af de to scenarier. For ydervæggen er der således valgt en løsning med 190 mm isolering fremfor en

større isoleringstykkelse. Denne isoleringstykkelse var også både byggeteknisk og arkitektonisk acceptabel for typehusfirmaet.

Betragtes figur 2 kan det ses at den optimale isoleringstykkelse for terrændækket er ca. 150 mm og ca. 250 mm i hhv. scenario 1 og scenario 2. Betragtes kolonne 6 og 7 i tabel 15 er det tydeligt at der ikke er stor forskel på om man vælger det 'forkerte' scenario. Ved at vælge efter scenario 1 risikerer man at gå glip af en besparelse på 24 kr/m² hvis man undervurderer udviklingen af energipriserne mens man ved at vælge scenario 2 risikerer at gå glip af en besparelse på 21 kr/m², ved at overvurdere udviklingen af energipriserne.

I huset er der valgt en løsning med 225 mm isolering, og valget ligger således tættest på den optimale isoleringstykkelse beregnet efter scenario 2. Huset anvender gulvvarme som opvarmning og derfor er det fornuftigt at vælge en relativt stor isoleringstykkelse således at varmetabet til det underliggende jordvolumen reduceres så meget som muligt. Byggeteknisk ville det være vanskeligt at øge isoleringstykkelsen ud over de 225 mm, idet der ville være risiko for sætninger i isoleringslaget ved større tykkelser.

Betragtes figur 3 er det tydeligt at den optimale isoleringstykkelse for loftskonstruktionen er ca. 300 mm og mellem 400 mm og 500 mm i hhv. scenario 1 og scenario 2. Betragtes kolonne 6 og 7 i tabel 20 er det ligeledes tydeligt at man ved at vælge den optimale løsning ud fra scenario 1 står i en mindre hensigtsmæssig situation hvis det skulle vise sig at energiprisen viser sig at blive højere end udgangspunktet for dette scenario, end hvis man omvendt havde valgt den optimale isoleringstykkelse efter scenario 2. I første situation risikerer man at gå glip af en besparelse på 29 kr/m² hvis man undervurderer udviklingen af energipriserne mens man i den anden kun risikerer at gå glip af en besparelse på 10 kr/m², ved at overvurdere udviklingen af energipriserne.

I huset er der valgt en løsning med 350 mm isolering i loftet fremfor at gå højere op. For denne løsning vil man uanset hvilken udvikling der er i energipriserne risikere mindst muligt af besparelspotentialet, og valget kan derfor ses som den mindst risikable. Udvikler energipriserne sig efter scenario 1 vil man højst gå glip af en besparelse på 2 kr/m² hvis man har valgt 350 mm isolering, mens man højst går glip af en besparelse på 9 kr/m² hvis energipriserne udvikler sig efter scenario 2.

3. BEREGNING AF ENERGIFORBRUG

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede simuleringer af husets forventede energiforbrug. Der foretages en simulering af byggeriet som helhed, hvor effekten af effektiv varmekapacitet, solindfald samt detaljerede beskrivelser af de anvendte systemer indgår.

3.1. Beskrivelse af model

Bygningsmodellen opbygges som tidligere omtalt i simuleringsprogrammet tsbi3.

3.1.1. Zoner

Indledningsvist opdeles bygningen i 11 forskellige zoner, svarende til rumopdelingen vist i bilag 1. Bygningen består således af følgende zoner:

Zone nr.	Benævnelse
1	Værelse 1
2	Børnebad
3	Gang
4	Værelse 2
5	Bryggers
6	Entré
7	Værelse 3
8	Forældrebåd
9	Soveværelse
10	Opholdsstue
11	Køkken/alrum

I hver enkelt zone defineres de omkringliggende konstruktioner svarende til ydervæg, terrændæk, tagkonstruktion, vinduer, døre og glasfacade. For hver enkelt konstruktion defineres et areal, en lagdeling, en orientering samt hvilken zone der befinder sig på modsatte side af konstruktionen. For vinduer, døre og glasfacades vedkommende defineres disse som særlige komponenter (alle som vinduer), som herefter tilknyttes en bestemt flade (typisk ydervæg).

3.1.2. Kuldebroer

For vinduer, døre og glasfacadens vedkommende fastlægges der en ækvivalent U-værdi for ramme/karmarealet, således at der herved tages højde for kuldebroen som forekommer i forbindelse med glassets afstandsprofil.

De øvrige kuldebroer, f.eks. fundaments- og fælsøsningerne, defineres i form af en fiktiv flade uden varmekapacitet i hver enkelt zone. De fiktive flader beskrives som et homogent materiale med samme varmeledningsevne for hver enkelt zone, og antallet og størrelsen af kuldebroer i hver enkelt zone defineres således ud fra de respektive fiktive fladers tykkelse.

3.1.3. Infiltration

Bygningen antages af hensyn til effektiviteten af varmegenvindingen at være rimeligt tæt mht. infiltration af udeluft og der fastsættes derfor et luftskifte på $0,1 \text{ h}^{-1}$ for samtlige zoner. Zone 3 er dog en undtagelse idet den udelukkende indeholder loftsareal og intet ydervægsareal. Det vurderes at infiltrationen for denne zone er minimal, og den sættes således til $0,0 \text{ h}^{-1}$.

I forbindelse med anvendelsen af varmegenvinding i bygninger er det af særdeles stor betydning at disse opbygges således at de er meget tætte. Tidligere erfaringer fra andre lavenergibyggerier har vist, at det er muligt at udføre konstruktionerne meget tætte og derfor bliver der i de senere beskrevne beregninger gennemført en parametervariation hvoraf det vil fremgå hvilken betydning det har for bygningens opvarmningsbehov såfremt infiltrationen reduceres til $0,05 \text{ h}^{-1}$.

3.1.4. Intern varmelast fra personer, belysning og eludstyr

Den gennemsnitlige interne varmelast fra personer, belysning og eludstyr fastsættes med udgangspunkt i SBI-anvisning 184 [11] til 5 W/m^2 opvarmet etageareal.

Projektet har, som tidligere omtalt, til formål at fastlægge samt eftervise baggrunden for at kunne reducere opvarmningsbehovet for et typehus med hhv. 33 % og 50 % i forhold til nuværende energiramme. Ved en fremtidig skærpelse af energirammekravet kunne det meget vel tænkes at der samtidig ville blive stillet skærpede krav til forbruget af elektricitet, og af denne grund gennemføres der en parametervariation hvor den interne varmelast fra personer, belysning og eludstyr reduceres til 3 W/m^2 opvarmet etageareal. Herved bliver det samlede interne varmetilskud reduceret, hvilket bevirker at opvarmningsbehovet tilsvarende forøges.

3.1.5. Udluftning

I bygningen antages det at der foretages en udluftning, f.eks. ved åbne vinduer, af alle temperaturer over $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$. I simuleringen modelleres dette så der så vidt muligt ikke forekommer temperaturer over $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nogen steder i bygningen, svarende til at der i tilfælde af en for høj temperatur igangsættes en udluftning af det pågældende rum med et luftskifte på 5 h^{-1} .

3.1.6. Opvarmning

I samtlige rum defineres opvarmning svarende til en maksimal effekt på $2,5 \text{ kW}$. 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 vil naturligvis have en højere temperatur end rumluften, og derfor defineres zonen under bygningen (den fiktive zone 'jord') som havende en temperatur på $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i stedet for de normalt anvendte $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Den reducerede jordtemperatur svarer altså til at der haves en temperaturdifferens mellem oversiden af betondækket og jorden på $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, som igen svarer til den dimensionerende gulvvarmeslangetemperatur på $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ minus jordtemperaturen på $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kuldebroen i forbindelse med fundamentet vil ligeledes skulle fastlægges på baggrund af en temperaturforskel på $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

Gulvvarmeslangerne vil formentlig have en temperatur som ligger noget under $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, og for at kunne vurdere dette gennemføres en parametervariation hvor der i stedet regnes med en temperatur i gulvvarmeslangerne på $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ud fra resultatet af denne beregning vil man, på baggrund af den faktiske gulvvarmeslangetemperatur kunne fastlægge det faktiske opvarmningsbehov med en rimeligt god nøjagtighed.

3.1.7. Ventilation og varmegenvinding

Ventilationen foregår med udeluft der ledes gennem en varmegenvinder. Elvirkningsgraden for ventilatoren antages at være 0,5, og varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad er 90 %.

I overensstemmelse med SBI-anvisning 189 foretages der mekanisk udsugning i hhv. køkken/alrum, forældrebade, børnebade og bryggere. 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.

I forbindelse med varmegenvindingen gennemføres der en parametervariation for at fastlægge hvor stor en betydning det ville have haft hvis man havde anvendt en genvinder med en lavere effektivitet. I dette tilfælde fastsættes effektiviteten til 75 %.

3.2. Simulering

Simuleringen med bygningsmodellen foretages på baggrund af programmets indbyggede rutiner og der anvendes i denne forbindelse referenceåret Design Reference Year (DRY) 1990 som udvendigt klima. Resultaterne som præsenteres i det efterfølgende er værdier for fyringssæsonen, svarende til perioden fra uge 1 til uge 18 og uge 38 til uge 52, dvs. fra midt i september måned til begyndelsen af maj måned.

3.2.1. Grundmodel

Grundmodellen svarer til huset som det blev bygget, idet der dog er enkelte parametre, f.eks. infiltrationens nøjagtige størrelse, som på forhånd er svære at fastsætte helt præcist. Udgangspunktet er således en model med vinduer hvor U-værdien er ca. $1,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ i gennemsnit, infiltrationen er fastsat som $0,10 \text{ h}^{-1}$, det interne varmetilskud er fastsat som 5 W/m^2 opvarmet etageareal og varmegenvindingsenhedens effektivitet er fastsat til 90 %.

Energirammen for bygningen ifølge gældende regler kan bestemmes som:

$$Q_{\text{VTR}} = \frac{250 \text{ MJ/m}^2}{3,6 \text{ kWh/J}} \cdot 133 \text{ m}^2 = 9236 \text{ kWh}$$

Det forventes dog at der efter indførslen af kuldebroer i forbindelse med DS418 vil blive indført en lempelse af energirammekravet¹⁾, således at man i stedet tager udgangspunkt i et forbrug til opvarmning på 280 MJ/m^2 , hvilket resulterer i et krav for bygningen på:

$$Q_{\text{VTR}} = \frac{280 \text{ MJ/m}^2}{3,6 \text{ kWh/J}} \cdot 133 \text{ m}^2 = 10344 \text{ kWh}$$

Der tages for nærværende udgangspunkt i sidstnævnte værdi, idet der dog ligeledes sammenlignes med førstnævnte i sammenstillingen af resultaterne.

I forbindelse med analyser af det oprindelige typehus skal energirammen jf. Bygningsreglementet forøges idet afkastningsluftens overskud af varme ikke kan nyttiggøres. Tillægget beregnes som:

$$400 \cdot (q_{\text{vm}} - 0,3) \text{ MJ/m}^2 \text{ pr. år}$$

hvor q_{vm} er volumenstrømmen i udsugningsanlægget i varmesæsonen i l/s pr. m^2

¹⁾ Energirammekravet er pr. 1/2-2001 lempet i "Tillæg 2 til Bygningsreglement 1995".

Energirammen forhøjes herved til 340 MJ/m² pr. år, hvilket svarer til et opvarmningsbehov på 12578 kWh pr. år.

Projektets formål er at udvikle et typehus som har et opvarmningsbehov som svarer til en reduktion af energirammen på 33 %, og samtidig belyse mulighederne for at reducere opvarmningsbehovet til 50 % i forhold til de nugældende regler. Nedenfor er beregnet de to mål for projektet.

$$Q_{33\%} = 10344 \text{ kWh} \cdot 67\% = 6930 \text{ kWh}$$

$$Q_{50\%} = 10344 \text{ kWh} \cdot 50\% = 5172 \text{ kWh}$$

Det kan diskuteres hvorvidt man i forbindelse med skærpelse af Bygningsreglementets krav vedrørende energiforbrug til opvarmning, samtidig vil skærpe kravene som stilles i forbindelse med energiforbruget til belysning og eludstyr. Af denne grund gennemføres, som beskrevet kort i det efterfølgende, en parametervariation hvor bygningens energibalance betragtes i forbindelse med en situation hvor det interne varmetilskud fra personer, belysning og eludstyr fastsættes til 3 W/m² i stedet for de nugældende 5 W/m².

3.2.2. Parametervariationer

Der gennemføres en række parametervariationer i forbindelse med simuleringen af bygningen, svarende til at der foretages ændringer i hhv. typen af vinduer, døre og glasfacade, størrelsen af infiltrationen, størrelsen af det interne varmetilskud fra personer, belysning og eludstyr samt effektiviteten af varmegenvindingsenheden. Ud over grundmodellen, som svarer til udformningen af bygningen som den teoretisk blev bygget, findes således i alt 4 forskellige parametre som varieres. Parametrene kan teoretisk set sammensættes på i alt 24 forskellige måder, men for ikke at ende med en uoverskuelig datamængde er blot udvalgt en mindre andel af disse til præsentation i nærværende rapport. I det efterfølgende er variationerne kort beskrevet.

Modelnavn	Vinduestype [Type]	Infiltration [h ⁻¹]	Internt varmetilskud [W/m ²]	VGV- effektivitet [%]	Dimensionerende varmetab (tsbi3) [W]
Grundmodel	VF200E	0,10	5	90	4857
JORD	VF200E	0,10	5	90	4857
VF200F	VF200F	0,10	5	90	4445
VF400	VF400	0,10	5	90	4973
INF5	VF200E	0,05	5	90	4857
TIL3	VF200E	0,10	3	90	4857
VGV75	VF200E	0,10	5	75	4857
INF5VF2F	VF200F	0,05	5	90	4445
VF2FVÆG	VF200F	0,10	5	90	4399
VF2FGULV	VF200F	0,10	5	90	4419
VF2FLOFT	VF200F	0,10	5	90	4392
VF2FVINA	VF200F	0,10	5	90	4399
VF2FVINB	VF200F	0,10	5	90	4445
Opr. typehus	RA	1,16	5	-	5571

Årsagen til at det dimensionerende varmetab i ovenstående tabel ikke er det samme som beregnet i kapitel 2 er, at tsbi3 beregner det dimensionerende varmetab med et fast luftskifte på 0,5 h⁻¹, og at der ikke tages højde for varmegenvinding i denne beregning.

Grundmodel

Grundmodellen svarer som tidligere omtalt til bygningen som den blev udført, dvs. svarende til den optimerede udformning af bygningen. Bygningen er beskrevet i de tidligere afsnit og der henvises til disse for en uddybende gennemgang af konstruktioner og systemer.

JORD

I denne model fastsættes jordtemperaturen således at gulvvarmeslangernes temperatur regnes som værende 25 °C fremfor de oprindelige 30 °C. Ved at gennemføre beregningen kan det forventede opvarmningsbehov for bygningen bestemmes som en funktion af gulvvarmeslangernes temperatur, således at der kan gives en rimeligt korrekt vurdering af dette når slangernes temperatur er endeligt fastlagt.

VF200F

I denne model er de oprindelige vinduer udskiftet med en anden type vinduer som har en betydeligt bedre U-værdi for ramme/karmkonstruktionen. Den gennemsnitlige U-værdi for vinduer, døre og glasfacade reduceres herved fra ca. 1,58 W/m²K til ca. 1,26 W/m²K. Ramme/karmkonstruktionen er, som tidligere omtalt, under udvikling og det var desværre ikke muligt at benytte denne vinduestype i det endelige byggeri.

VF400

I denne model er de oprindelige vinduer udskiftet med en anden type vinduer som har en lidt dårligere U-værdi for ramme/karmkonstruktionen. Den gennemsnitlige U-værdi for vinduer, døre og glasfacade øges herved fra ca. 1,58 W/m²K til ca. 1,66 W/m²K.

INF5

I denne model er infiltrationen af udeluft gennem klimaskærmen reduceret fra de oprindelige 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Ud fra denne model er det muligt at vurdere hvor stor en betydning lufttætheden af klimaskærmskonstruktionerne har for varmebehovet for bygningen.

TIL3

I denne model er det interne varmetilskud reduceret fra de ny gældende 5 W/m² til 3 W/m². Denne model simuleres for at belyse forholdene i det tilfælde hvor man i forbindelse med de kommende skærper af Bygningsreglementet vedrørende energiforbrug til opvarmning, samtidig forestiller sig en skærpelse af kravene for energiforbruget til belysning og eludstyr.

VG75

I forbindelse med valget af varmegenvindingsenhed blev overvejet forskellige alternativer, blandt andet en varmegenvindingsenhed med en forventet effektivitet på 75 %. Med denne model belyses det hvor stor en forøgelse af opvarmningsbehovet der ville kunne forventes i det tilfælde at man havde valgt denne enhed fremfor enheden med en effektivitet på 90 %.

INF5VF2F

I denne model er det forsøgt, ud fra de parametre som er gennemgået tidligere, at sammensætte den bedst tænkelige situation, svarende til at bygningens opvarmningsbehov minimeres. Dette opnås ved at der for det første anvendes vinduer, døre og glasfacade med en U-værdi på gennemsnitligt 1,26 W/m²K og for det andet sørges for en god tætning af bygningen således at infiltrationen højst bliver 0,05 h⁻¹. Denne model er således den bedst tænkelige mht. energibesparelser, i forhold til de muligheder som er analyseret i nærværende rapport.

VF2FVÆG

Denne model svarer til *VF200F* idet der dog ændres på isoleringstykkelsen i ydervæggen således at der opnås et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af nugældende energiramme. Parametervariationen er medtaget for at give en idé om hvor meget ekstra isolering der skal anvendes i ydervæggen for at opnå projektets teoretiske formål vedrørende en reduktion af energirammen på 50 %. Tilsammen med de efterfølgende to modeller vil man kunne vurdere hvorvidt det bedst kan betale sig at tilføje en ekstra isolering i hhv. ydervæg, gulvkonstruktion eller tagkonstruktion.

VF2FGULV

Denne model svarer til *VF200F* idet der dog ændres på isoleringstykkelsen i gulvkonstruktionen således at der opnås et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af nugældende energiramme. Parametervariationen er medtaget for at give en idé om hvor meget ekstra isolering der skal anvendes i gulvkonstruktionen for at opnå projektets teoretiske formål vedrørende en reduktion af energirammen på 50 %.

VF2FVÆG

Denne model svarer til *VF200F* idet der dog ændres på isoleringstykkelsen i loftskonstruktionen således at der opnås et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af nugældende energiramme. Parametervariationen er medtaget for at give en idé om hvor meget ekstra isolering der skal anvendes i loftskonstruktionen for at opnå projektets teoretiske formål vedrørende en reduktion af energirammen på 50 %.

VF2FVINA

Denne model svarer til modellen *VF200F* idet der dog ændres på vinduernes soltransmittans således at opvarmningsbehovet når et niveau svarende til 50 % af energirammen. For at opnå dette resultat er det nødvendigt at øge soltransmittansen fra de oprindelige 0,59 til 0,63. Parametervariationen er medtaget for at give en idé om hvor meget bedre vinduer der skulle anvendes for at opnå projektets teoretiske formål vedrørende en reduktion af energirammen på 50 %.

VF2FVINB

Denne model svarer til modellen *VF200F* idet der dog ændres på vinduernes U-værdier således at opvarmningsbehovet når et niveau svarende til 50 % af energirammen. For at opnå dette resultat er det nødvendigt at reducere den gennemsnitlige U-værdi for vinduer, døre og glasfacade fra de oprindelige ca. 1,26 W/m²K til 1,23 W/m²K, hvilket svarer til at glassets U-værdi ændres fra de oprindelige 1,1/1,2 W/m²K til 1,06 W/m²K. Parametervariationen er ligesom *VF2FVINA* medtaget for at give en idé om hvor meget bedre vinduer der skulle anvendes for at opnå projektets teoretiske formål vedrørende en reduktion af energirammen på 50 %.

Ud over disse modeller gennemføres der ligeledes en beregning af typehuset som de var opbygget før nogen af de energibesparende tiltag blev implementeret. Enkelte dele af modellen er dog, af hensyn til sammenligningsgrundlaget, ikke helt svarende til det oprindelige typehus, f.eks. er geometrien defineret svarende til geometrien i den nye bygning således at dette forhold ikke påvirker sammenligningsgrundlaget. Modellen medtages for at kunne vurdere hvor stor en forskel der er mellem den oprindelige og den optimerede udformning af typehuset.

3.3. Resultater

I dette afsnit gennemgås resultaterne af de detaljerede simuleringer. I hvert underafsnit er kort angivet hvilke ændringer der er i den pågældende model i forhold til grundmodellen.

3.3.1. Grundmodel

Energibalancen for grundmodellen er anført i tabel 21.

Tabel 21. Resultater for *Grundmodel*

Energibalance	[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	6375
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-799
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-124
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10440
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-386
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-697

Heraf vinduer 5241

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 62 % af energirammen.

3.3.2. Oprindeligt typehus

Energibalancen for det oprindelige typehus ses i tabel 22.

Tabel 22. Resultater for *Oprindeligt typehus*

Energibalance	[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	14124
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-6593
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-37
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	2506
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-12632
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-440
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	0

Heraf vinduer 5474

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 112 % af energirammen.

3.3.3. JORD

I denne model simuleres jordtemperaturen således at det svarer til at gulvvarmeslangerne har en temperatur på 25 °C fremfor de oprindeligt anvendte 30 °C. Energibalancen er anført i tabel 23.

Tabel 23. Resultater for model *JORD*

Energibalance	[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	6262
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-798
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-114
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10350
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-386
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-686

Heraf vinduer 5241

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 61 % af energirammen.

3.3.4. VF200F

I denne model er vinduerne udskiftet således at U-værdien ændres fra de oprindelige 1,58 W/m²K til 1,26 W/m²K, svarende til at ramme/karmkonstruktionen er udskiftet. Energibalancen for model VF200F er anført i tabel 24.

Tabel 24. Resultater for model VF200F

Energibalance		[kWh]	
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5289	
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-802	
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-165	
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9266	Heraf vinduer 4180
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-385	
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-742	

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 51 % af energirammen.

3.3.5. VF400

I denne model er vinduerne udskiftet således at U-værdien ændres fra de oprindelige 1,58 W/m²K til 1,66 W/m²K, svarende til at ramme/karmkonstruktionen er udskiftet. Energibalancen for model VF400 er anført i tabel 25.

Tabel 25. Resultater for model VF400

Energibalance		[kWh]	
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	6759	
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-798	
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-102	
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	2893	
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10761	Heraf vinduer 5507
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-389	
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-674	

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 65 % af energirammen.

3.3.6. INF5

I denne model er luftskiftet ved infiltration ændret fra de oprindelige 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Energibalancen for model INF5 er anført i tabel 26.

Tabel 26. Resultater for model *INF5*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	6012	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-400	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-135	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10453	Heraf vinduer 5241
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-386	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-708	

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 58 % af energirammen.

3.3.7. TIL3

I denne model er det interne varmetilskud fra personer, belysning og eludstyr ændret fra de oprindelige 5 W/m² til 3 W/m². Energibalancen for model *TIL3* er anført i tabel 27.

Tabel 27. Resultater for model *TIL3*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	7469	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-795	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-86	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	1843	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10387	Heraf vinduer 5241
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-386	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-657	

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 72 % af energirammen.

3.3.8. VGV75

I denne model anvendes en varmegenvindingsenhed med en effektivitet på 75 % i stedet for en enhed med effektivitet på 90 %. Energibalancen for model *VGV75* er anført i tabel 28.

Tabel 28. Resultater for model *VGV75*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	7324	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-797	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-116	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-10418	Heraf vinduer 5241
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-408	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-1656	

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 71 % af energirammen.

3.3.9. INF5VF2F

I denne model er vinduerne udskiftet således at U-værdien ændres fra de oprindelige 1,58 W/m²K til 1,26 W/m²K, svarende til at ramme/karmkonstruktionen er udskiftet og luftskiftet ved infiltration er ændret fra de oprindelige 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Energibalancen er anført i tabel 29.

Tabel 29. Resultater for model *INF5VF2F*

Energibalance		[kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	4935
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-402
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-180
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9280
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-385
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-759

Heraf vinduer 4180

Energiforbruget til opvarmning svarer i dette tilfælde til ca. 48 % af energirammen.

3.3.10. VF2FVÆG

I denne model er vinduerne udskiftet således at U-værdien ændres fra de oprindelige 1,58 W/m²K til 1,26 W/m²K. I ydervæggen anvendes en 220 mm isolering, dvs. en forøgelse på 30 mm. Denne model og de resterende modeller er udformet således at de netop har et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af energirammen. Energibalancen er anført i tabel 30.

Tabel 30. Resultater for model *VF2FVÆG*

Energibalance		[kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5169
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-802
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-168
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9139
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-384
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-746

Heraf vinduer 4180

3.3.11. VF2FGULV

Denne model svarer til *VF2FVÆG*, dog er det i stedet gulvkonstruktionens isoleringstykkelser som varierer, og der anvendes i denne forbindelse 255 mm, dvs. en forøgelse på 30 mm. Energibalancen er anført i tabel 31.

Tabel 31. Resultater for model *VF2FGULV*

Energibalance		[kWh]
Q _{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5179
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-802
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	-170
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000
Q _{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9146
Q _{mix}	Vent. tab til naborum	-385
Q _{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-747

Heraf vinduer 4180

3.3.12. VF2FLOFT

Denne model svarer til *VF2FVÆG*, dog er det i stedet loftskonstruktionens isoleringstykkelser som varieres, og der anvendes i denne forbindelse 400 mm, dvs. en forøgelse på 50 mm. Energibalancen er anført i tabel 32.

Tabel 32. Resultater for model *VF2FLOFT*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5164	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-802	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-170	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9131	Heraf vinduer 4180
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-385	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-747	

3.3.13. VF2FVINA

Denne model svarer til *VF200F*, dog er der anvendt bedre glas i vinduerne som har en soltransmittans på 0,63 i stedet for de oprindelige 0,59. Energibalancen er anført i tabel 33.

Tabel 33. Resultater for model *VF2FVINA*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5173	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-804	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-207	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3203	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9286	Heraf vinduer 4180
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-383	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-769	

3.3.14. VF2FVINB

Denne model svarer til *VF200F*, dog er glasarealernes U-værdi ændret til 1,06 W/m²K fremfor de oprindelige 1,1/1,2 W/m²K. Energibalancen er anført i tabel 34.

Tabel 34. Resultater for model *VF2FVINB*

Energibalance		[kWh]	
Q_{opv}	Energiforbrug til opvarmning	5169	
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-802	
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	-171	
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3000	
Q_{udst}	Varme tilført fra udstyr	3071	
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-9133	Heraf vinduer 4180
Q_{mix}	Vent. tab til naborum	-386	
Q_{vent}	Vent. tab via ventilationsanlæg	-748	

3.4. Sammenfatning og diskussion af resultater

Resultaterne af beregningerne er sammenfattet i tabel 35.

Tabel 35. Sammenfatning af resultater for parametervariationer.

Modelnavn	Opvarmningsbehov [kWh]	Ift. 'ny' energiramme [%]	Ift. gl. energiramme [%]
Grundmodel	6375	62	69
Oprindeligt typehus	14124	112	123
JORD	6262	61	68
VF200F	5289	51	57
VF400	6759	65	73
INF5	6012	58	65
TIL3	7469	72	81
VG75	7324	71	79
INF5VF2F	4935	48	53
VF2FVÆG	5169	50	56
VF2FGULV	5179	50	56
VF2FLOFT	5164	50	56
VF2FVINA	5173	50	56
VF2FVINB	5169	50	56

Betragtes resultaterne opstillet i tabel 35 ses det at typehuset i den endelige udformning, *Grundmodel*, opfylder kravet om et opvarmningsbehov mindre end 67 % af nuværende energiramme. I forhold til den oprindelige udformning af typehuset er opvarmningsbehovet reduceret med ca. 55 %, og det er altså ved denne sammenligning tydeligt at der er sket store forbedringer af husets varmetekniske forhold.

Betragtes resultatet for modellen svarende til det oprindelige typehus er det klart at denne opbygning ikke har overholdt energirammen. Dette skyldes naturligvis primært det relativt store ventilationstab ved infiltration af udeluft som forekommer ved denne model i modsætning til den nye udformning hvor der anvendes varmegenvindingsenhed, men det har ligeledes en stor betydning at konstruktioner og ikke mindst kuldebroer er mindre velisolerede. Den oprindelige udformning af typehuset overholder U-værdi kravene jf. BR95.

Modellen *JORD* viser at gulvvarmeslangernes temperatur er af mindre betydning for det samlede opvarmningsbehov, og ved at ændre disses temperatur opnås en besparelse på ca. 110 kWh. Det er i denne forbindelse vigtigt at bemærke at dette forhold naturligvis ikke afspejler at gulvvarmeslangernes temperatur er uden betydning for opvarmningsbehovet, men blot viser at varmetabet gennem terrændækket udgør en relativt lille del af det samlede opvarmningsbehov. Gulvvarmeslangerne er ikke medtaget i modellen og det er udelukkende jordtemperaturen der justeres samt temperaturforholdet der ganges på linietabskoefficienten for fundamentet der er ændret i forhold til grundmodellen.

Modellerne *VF200F* og *VF400* er som tidligere omtalt modeller hvori den eneste forskel i forhold til grundmodellen er, at der anvendes en anden type vinduer i bygningen. Af resultaterne for disse er det tydeligt at dette område giver mulighed for yderligere kraftig reduktion af opvarmningsbehovet, og det kan derfor diskuteres hvorvidt man burde have satset kraftigere på at anvende bedre vinduer end de som blev valgt. Modellen *VF200F* svarer udelukkende til at der skiftes ramme/karmkonstruktion for vinduerne og sammenlignes opvarmningsbehovene for denne model og grundmodellen, er det tydeligt at det ville kunne betale sig at gøre mere ved denne del af bygningen. Vinduerne anvendt i modellen *VF400* er en del dårligere end de som anvendes i grundmodellen og opvarmningsbehovet bliver således betydeligt højere og solindfaldet mindre hvis disse vinduer anvendes i bygningen.

Sammenlignes resultaterne for modellerne *VF200F* og *VF2FVINA*, hvor forskellen på modellerne er, at solenergitransmittansen for glasset i vinduer, døre og glasfacade er hhv. 0,59 og 0,63, kan det ses at denne ændring medfører en besparelse på ca. 110 kWh. Hvis man samtidig også betragter resultaterne for modellen *VF2FVINB*, som svarer til modellen *VF200F* med den ændring at glassets U-værdi i vinduer, døre og glasfacade reduceres til 1,06 W/m²K i stedet for 1,1/1,2 W/m²K, ses det at man herved sparer ca. 120 kWh. Hvis man således havde valgt glas med en U-værdi på 1,06 W/m²K og en solenergitransmittans på 0,63, ville man kunne forvente en samlet besparelse i opvarmningsbehovet på mere end 230 kWh.

Resultaterne fra de modeller hvor vinduerne varieres vidner klart om, at man kunne opnå en betydeligt bedre løsning ved at vælge en anden og bedre type vinduer. Kombinationen af en bedre isoleret ramme/karmkonstruktion og en lavere U-værdi samt højere solenergitransmittans for glasset, ville medføre en samlet besparelse på op mod 1300 kWh eller hvad der svarer til ca. 13 % af den nugældende energiramme. Man kunne altså nemt nå ned under 50 % af energirammen ved blot at vælge bedre vinduer end de som er benyttet i grundmodellen.

Modellen *INF5* blev simuleret for at undersøge hvor meget der ville være at spare hvis man gjorde virkeligt meget ud af at tætte bygningen således at varmetabet ved infiltration blev minimeret. Betragtes resultatet for denne model kan det ses at man sparer ca. 360 kWh ved at reducere infiltrationen af udeluft med 0,05 h⁻¹, og der er således tale om en betydelig gevinst. Det er vigtigt at bemærke at man i samme omfang vil forøge opvarmningsbehovet i tilfælde af at infiltrationen øges, og dette understreger vigtigheden af at sørge for at bygningen er så tæt som overhovedet muligt, specielt når der anvendes varmegenvindingsenhed som er tilfældet i den pågældende bygning. Hvis ikke infiltrationen holdes på 0,1 h⁻¹ eller derunder er det vanskeligt at opfylde projektets formål om at reducere opvarmningsbehovet med 33 %.

Modellen *TIL3* blev simuleret for at undersøge hvilken betydning det ville have for bygningens opvarmningsbehov hvis der i forbindelse med en fremtidig skærpelse af energirammekravet samtidig blev indført en tilsvarende skærpelse af kravet vedrørende elforbrug til belysning mv. I grundmodellen haves et internt varmetilskud på 3071 kWh som funktion af personer, belysning og eludstyr, mens man ved at ændre det interne varmetilskud fra 5 W/m² til 3 W/m² kommer ned på et internt varmetilskud på 1843 kWh. Det er således tydeligt at man i denne situation, for at opretholde en besparelse på 33 % i forhold til nugældende energiramme, må reducere opvarmningsbehovet tilsvarende på andre punkter. Differensen mellem opvarmningsbehovet fra dette tilfælde til grundmodellen er på 1100 kWh, hvilket er ensbetydende med at der skal foretages relativt drastiske ændringer i grundmodellen for at opveje effekten af et skærpet krav til elforbruget i forbindelse med belysning og eludstyr. Hvis der således foretages en ændring af Bygningsreglementet på dette område, vil typehuset ikke længere leve op til det forventede energirammekrav.

Modellen *VG75* viser at man ved at have anvendt en dårligere varmegenvindingsenhed ville have haft et opvarmningsbehov som lå ca. 950 kWh højere end det er tilfældet med den valgte enhed. Dette vidner om at varmegenvinderens effektivitet har en meget stor betydning for det samlede opvarmningsbehov, og det er derfor vigtigt at man i forbindelse hermed nøje overvejer de muligheder der er på området.

I modellen *INF5VF2F* er infiltrationen reduceret til 0,05 h⁻¹. Ydermere er vinduer, døre og glasfacade udskiftet således at man i forhold til den oprindelige U-værdi for disse på gennemsnitligt 1,58 W/m²K nu har en gennemsnitlig U-værdi på 1,26 W/m²K. Modellen giver det laveste opvarmningsbehov af samtlige modeller svarende til ca. 48 % af energirammen, og

det er hermed tydeligt at det er muligt at opbygge et typehus med et opvarmningsbehov som er under 50 % af den nugældende energiramme. Hvis der samtidig indføres en skærpelse af kravet til elforbrug til belysning og andet eludstyr ville modellen have haft et opvarmningsbehov på omkring 58 % af den nugældende energiramme.

De tre modeller, *VF2FVÆG*, *VF2FGULV* og *VF2FLOFT* er som tidligere nævnt medtaget for at vurdere hvor langt man behøver at gå for at nå et opvarmningsbehov som svarer til 50 % af nugældende energiramme. De tre modeller viser at målet er indenfor rækkevidde, hvis man altså kan udvikle nogle nye vinduestyper som har en betydeligt bedre isolerende ramme/karmkonstruktion end er tilfældet for de i grundmodellen valgte vinduer. For at opnå de tre resultater anført i tabel 13 er det nødvendigt at tilføje enten 30 mm isolering i ydervæggen, hvilket giver en samlet isoleringstykkelse på 220 mm, 30 mm isolering i gulvkonstruktionen, hvilket giver en samlet isoleringstykkelse på 255 mm eller 50 mm isolering i loftskonstruktionen, hvilket giver en samlet isoleringstykkelse på 400 mm.

Af resultaterne gennemgået i dette afsnit kan der opstilles en række simple konklusioner:

1. En reduktion af gulvvarmeslangernes temperatur på 5 °C giver en besparelse på ca. 110 kWh, svarende til et lavere varmetab gennem terrændæk og fundament.
2. En ændring af ramme/karmkonstruktionen i vinduer, døre og glasfacade, således at U-værdien ændres fra 1,58 W/m²K til 1,26 W/m²K giver en besparelse på ca. 1090 kWh. Besparselsen opstår dels som et reduceret transmissionstab og dels som et forøget solindfald.
3. En ændring af ramme/karmkonstruktionen i vinduer, døre og glasfacade, således at U-værdien ændres fra 1,58 W/m²K til 1,66 W/m²K giver et merforbrug på ca. 380 kWh. Merforbruget opstår dels som et forøget transmissionstab og dels som et reduceret solindfald.
4. Anvendes vinduer med en kombination af en bedre isolerende ramme/karmkonstruktion og en solenergitransmittans for glaspartierne på 0,63 fremfor 0,59, opnås en besparelse på ca. 1200 kWh.
5. Anvendes vinduer med en kombination af en bedre isolerende ramme/karmkonstruktion og en U-værdi for glaspartierne på 1,06 W/m²K fremfor 1,1/1,2 W/m²K, opnås også en besparelse på ca. 1200 kWh.
6. En reduktion af infiltrationen på 0,05 h⁻¹ giver en besparelse på ca. 360 kWh.
7. En skærpelse af Bygningsreglementet mht. forbruget af el til belysning mv. giver et merforbrug til opvarmning på ca. 1100 kWh, men samtidig reduceres elforbruget med samme størrelse.
8. En reduktion af varmegenvinderens effektivitet fra 90 % til 75 % giver et merforbrug på omkring 950 kWh.
9. Der skal anvendes 30 mm ekstra isolering i ydervæggen for at reducere opvarmningsbehovet til 50 % af nuværende energiramme, hvis der tages udgangspunkt i modellen, *VF200F*, hvor der er anvendt vinduer, døre og glasfacade med en gennemsnitlig U-værdi på 1,26 W/m²K.
10. Der skal anvendes 30 mm ekstra isolering i terrændækket for at reducere opvarmningsbehovet til 50 % af nuværende energiramme, hvis der tages udgangspunkt i modellen, *VF200F*, hvor der er anvendt vinduer, døre og glasfacade med en gennemsnitlig U-værdi på 1,26 W/m²K.
11. Der skal anvendes 50 mm ekstra isolering i loftskonstruktionen for at reducere opvarmningsbehovet til 50 % af nuværende energiramme, hvis der tages udgangspunkt i modellen, *VF200F*, hvor der er anvendt vinduer, døre og glasfacade med en gennemsnitlig U-værdi på 1,26 W/m²K.
12. Hvis der tages udgangspunkt i modellen *VF200F* skal man for at reducere opvarmningsbehovet til 50 % af nugældende energiramme, enten forøge solenergitransmittansen fra 0,59 til 0,63 eller reducere U-værdien for glasset fra 1,1/1,2 W/m²K til 1,06 W/m²K.

4. Konklusion

Denne rapport har beskrevet hvorledes der med udgangspunkt i et konkret typehus er gennemført en totaløkonomisk optimering af klimaskærm samt varme- og ventilationsanlæg i et parcelhus for forskellige energirammekrav. Med udgangspunkt i den nuværende energiramme på 280 MJ/m² er der udviklet og optimeret samlede løsninger, der holder sig inden for energirammer på hhv. 67 % og 50 % af ovennævnte. Parcelhusets oprindelige form og indvendige areal er bibeholdt, og der er generelt kun foretaget ændringer i dele af huset der har indflydelse på dettes energiforbrug til opvarmning.

4.1. Dimensionerende varmetab og kuldebroer

Den endelige udformning af typehuset har et dimensionerende transmissionstab på 3459 W, hvoraf de 559 W udgøres af 1- og 2-dimensionale kuldebroeffekter. I den oprindelige udformning af typehuset er det dimensionerende transmissionstab 4192 W hvoraf 826 W udgøres af kuldebroeffekter. Optimeringen af husets konstruktioner har således medført en reduktion i det dimensionerende transmissionstab på ca. 18 %, og kuldebroernes andel er reduceret fra 22 % til 16 %. Dette vidner om at der har været en god balance mellem merisolering og reduktion af kuldebroeffekter i forbindelse med optimeringen. Det dimensionerende ventilationstab er reduceret fra 2621 W til 516 W pga. varmegenvindingen.

4.2. Optimale isoleringstykkelser

For ydervæggen, terrændækket og loftskonstruktionen er der gennemført beregninger af den optimale isoleringstykkelse. Beregningerne er gennemført under to sæt forskellige forudsætninger, og de optimale isoleringstykkelser bestemmes således som en funktion af energiprisens udvikling.

For ydervæggens vedkommende fastlægges den optimale isoleringstykkelse til ca. 150 mm ved en energipris på 0,60 kr/kWh og mellem 200 mm og 250 mm ved en energipris på 1,20 kr/kWh. I den endelige udformning af huset er der valgt 190 mm isolering, da det af beregningerne fremgår at man løber en mindre risiko ved at tage udgangspunkt i en høj energipris.

For terrændækkets vedkommende fastlægges den optimale isoleringstykkelse til ca. 150 mm ved en energipris på 0,60 kr/kWh og ca. 250 mm ved en energipris på 1,20 kr/kWh. I den endelige udformning af huset er der valgt 225 mm isolering, dels fordi det af beregningerne fremgår at man løber en mindre risiko ved at tage udgangspunkt i en høj energipris, og dels fordi man af hensyn til risikoen for sætninger i isoleringsmaterialet ikke kan øge isoleringstykkelsen ud over de 225 mm.

For loftskonstruktionens vedkommende fastlægges den optimale isoleringstykkelse til ca. 300 mm og mellem 400 mm og 500 mm ved energipriser på hhv. 0,60 kr/kWh og 1,20 kr/kWh. I den endelige udformning af huset er det valgt at benytte 350 mm isolering, idet risikoen herved er mindst mulig uanset hvordan energiprisen udvikler sig.

4.3. Opvarmningsbehov : 67 % af nuværende energiramme

For at opnå et opvarmningsbehov som svarer til 67 % af den nugældende energiramme foretages der følgende ændringer i forhold til typehusets oprindelige udformning. Konstruktionerne beskrives indefra-ud.

	Oprindelig løsning	Optimeret løsning
Ydervæg :	100 mm porebeton 150 mm mineraluld 108 mm tegl	- 190 mm mineraluld -
Terrændæk :	100 mm beton 125 mm ekspanderet polystyren 100 mm beton 200 mm singels	- 225 mm ekspanderet polystyren - -
Loft :	16 mm brædder 19 mm spredt forskalling - Dampspærre 100 mm mineraluld + spærfod 200 mm mineraluld	- - 50 mm mineraluld + forskalling - - -
Falsisolering :	20 mm kuldebroafbrydelse	70 mm kuldebroafbrydelse
Vinduer, døre, glasfacade :	$U_{\text{glas}} = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{ramme}} = 2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,060 \text{ W/mK}$ Rudens totale solenergitransmittans = 0,59 Ramme/karmbredde = 0,100 m	- $U_{\text{ramme}} = 2,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,051 \text{ W/mK}$ - Ramme/karmbredde = 0,054 m
Ventilation :	Ingen mekanisk ventilation Ingen varmegenvinding	Mekanisk ventilation = $0,83 \text{ h}^{-1}$ Varmegenvinding = 90 %
Infiltration :	Naturlig ventilation = $0,93 \text{ h}^{-1}$	Naturlig ventilation = $0,10 \text{ h}^{-1}$

Ved at foretage de ovenfor beskrevne ændringer i hhv. ydervæg, terrændæk, loft og vinduer, falder transmissionstabet for fyringssæsonen fra 12632 kWh til 10440 kWh, dvs. en besparelse på 2192 kWh. Af denne besparelse udgør reduktionen af transmissionstabet gennem vinduerne ca. 11 %.

Det forhold at vinduernes ramme/karmbredde reduceres væsentligt medfører at solindfaldet i fyringssæsonen øges fra 2506 kWh til ca. 3000 kWh, dvs. en forøgelse af gratisvarmen på 494 kWh. Dette svarer til at solindfaldet i bygningen er øget med ca. 20 %, og hermed står det klart at der kan hentes ikke ubetydelige gevinster ved meget simple tiltag. Udover reduktionen af ramme/karmbredden for vinduerne kunne der ligeledes opnås besparelser ved at anvende færre men større vinduer i huset, men dette tiltag er ikke undersøgt i nærværende sammenhæng og skal derfor ikke behandles nærmere.

Ved at der indføres varmegenvinding på ventilationen i huset opnås en reduktion af ventilations- og infiltrationstabet fra ca. 6600 kWh til ca. 1500 kWh, dvs. en besparelse på ca. 5100 kWh.

Denne besparelse viser tydeligt at varmegenvinding er en nødvendighed i fremtidens bygninger, idet besparelspotentialt langt overgår hvad der kan hentes på andre områder.

Det samlede opvarmningsbehov for typehuset reduceres fra ca. 14120 kWh til ca. 6380 kWh, svarende til ca. 7740 kWh eller ca. 58 kWh/m². Reduktionen i opvarmningsbehovet svarer således til ca. 55 %.

I den endelige udformning har typehuset et opvarmningsbehov som svarer til ca. 62 % af den nugældende energiramme, og projektets primære formål er således opfyldt.

4.4. Opvarmningsbehov : 50 % af nuværende energiramme

I rapporten er der undersøgt flere forskellige muligheder for at reducere opvarmningsbehovet for typehuset til et niveau svarende til 50 % af nugældende energiramme, men fælles for dem alle er at vinduerne, døre og glasfacade udskiftes til bedre isolerende typer.

Nedenfor er opstillet to eksempler på bedre vinduer som bevirker at opvarmningsbehovet reduceres med 50 % i forhold til nugældende energiramme. Det er en forudsætning at de øvrige tiltag nævnt tidligere i dette kapitel alle indføres (svarende til den optimerede udformning af typehuset).

Eksempel 1 :

	Oprindelig udformning	Forslag til udformning
Vinduer :	$U_{\text{glas}} = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{ramme}} = 2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,060 \text{ W/mK}$ Rudens totale solenergitransmittans = 0,59 Ramme/karmbredde = 0,100 m	$U_{\text{glas}} = 1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{ramme}} = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,028 \text{ W/mK}$ - Ramme/karmbredde = 0,054 m

Eksempel 2 :

	Oprindelig udformning	Forslag til udformning
Vinduer :	$U_{\text{glas}} = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{ramme}} = 2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,060 \text{ W/mK}$ Rudens totale solenergitransmittans = 0,59 Ramme/karmbredde = 0,100 m	- $U_{\text{ramme}} = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_{\text{afst.profil}} = 0,028 \text{ W/mK}$ Rudens totale solenergitransmittans = 0,63 Ramme/karmbredde = 0,054 m

De to vinduer er for så vidt ens idet det udelukkende er rudetyperne der varierer. Hvis man bibeholder en U-værdi for glasset på 1,10 W/m²K og en solenergitransmittans på 0,59, vil man have et opvarmningsbehov som svarer til ca. 51 % af den nugældende energiramme. For at reducere opvarmningsbehovet med yderligere 1 % kan man altså enten benytte glas med en lavere U-værdi eller glas med en højere solenergitransmittans.

Alternativt til dette kunne man i stedet øge isoleringstykkelsen i enten ydervæg, terrændæk eller loft. Ydervæggens isoleringstykkelse kan således forøges med 30 mm, således at den samlede isoleringstykkelse bliver 220 mm, terrændækkets isoleringstykkelse kan forøges med 30 mm, således at den samlede isoleringstykkelse bliver 255 mm eller også kunne loftets isoleringstykkelse forøges med 50 mm, således at den samlede isoleringstykkelse bliver 400 mm.

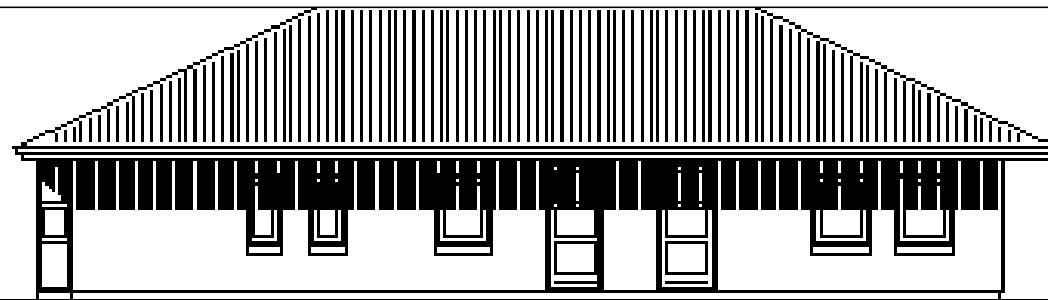
Der er altså ingen vanskeligheder forbundet med at reducere opvarmningsbehovet for typehuse til et niveau svarende til 50 % af den nugældende energiramme, det kræver dog at bedre vinduer, som på nuværende tidspunkt er under udvikling, kommer i handlen. Hermed er projektets sekundære formål opfyldt.

REFERENCER

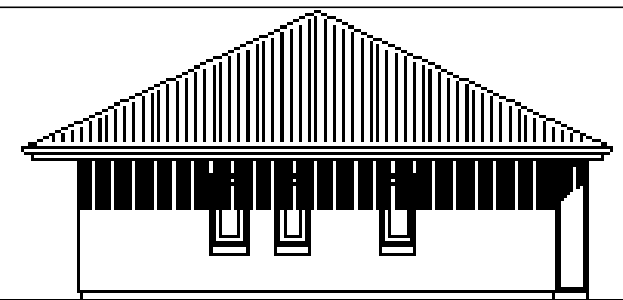
- [1] Bygningsreglementet 1995 (BR95). 1995.
Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. 1995. København, Danmark.
- [2] HEAT2. Blomberg, T. 1999.
A PC-program for heat transfer in two dimensions. Manual with brief theory and examples. HEAT2 version 4.0. Lund Group for Computational Building Physics, Lund University, Sweden.
- [3] HEAT3. Blomberg, T. 1998.
A PC-program for heat transfer in three dimensions. Manual with brief theory and examples. HEAT3 version 3.0. Lund Group for Computational Building Physics, Lund University, Sweden.
- [4] DS418. Dansk Standard. 1986.
"Beregning af bygningers varmetab", 5. udgave december 1986, Teknisk forlag København, Normstyrelsens publikationer NP-186-S.
- [5] tsbi3. Johansen, K., Grau, K. og Christensen, J. E. 1993.
"tsbi3 Brugervejledning", Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1993.
- [6] THERM. Finlayson, E. et al. 1996.
THERM. A PC-program for analysing two-dimensional heat transfer through building products. THERM version 2.0. Windows and daylighting group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
- [7] Analyse af Beregnede og Målte Energimærkningsdata. Duer, K. og Svendsen, S. 1999.
Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1999.
- [8] DS418 tillæg 4. Høringsudkast, marts 1999.
"Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og -vægge samt samlinger omkring vinduer og døre". Dansk Standard. 1999.
- [9] DS418 tillæg 1. August 1997.
"Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre". 1. udgave. Dansk Standard. August 1997.
- [10] Udvikling af Klimaskærmskonstruktioner, 2000.
Rapport R-042. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 2000.
- [11] SBI-Anvisning 184. 1995.
Bygningers energibehov. Varmeisolering, Konstruktionseksempler, Ventilation, Belysning. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Danmark. 1995.

BILAG

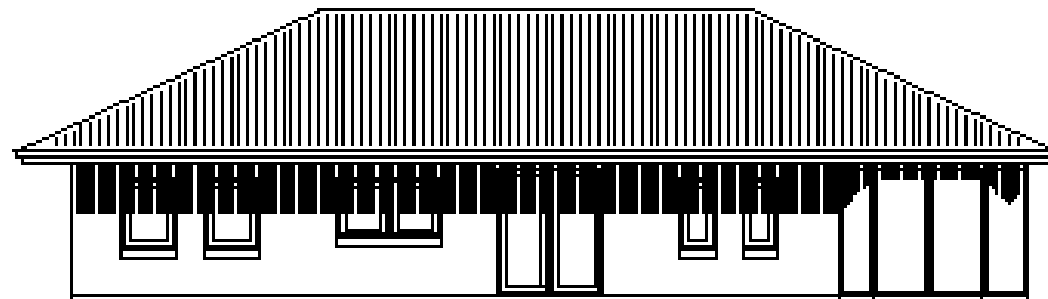
På de efterfølgende sider er der vist tegninger af typehuset i sin endelige udformning. Tegningerne er generelt ikke målfaste og det er ikke intentionen at tekst på tegningerne skal kunne læses, idet der i stedet henvises til beskrivelsen af typehuset givet i rapportens kapitel 2.



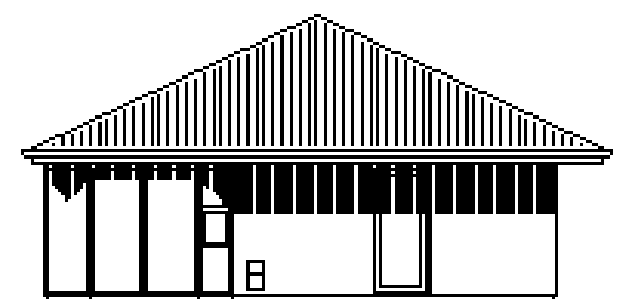
West facade



North facade

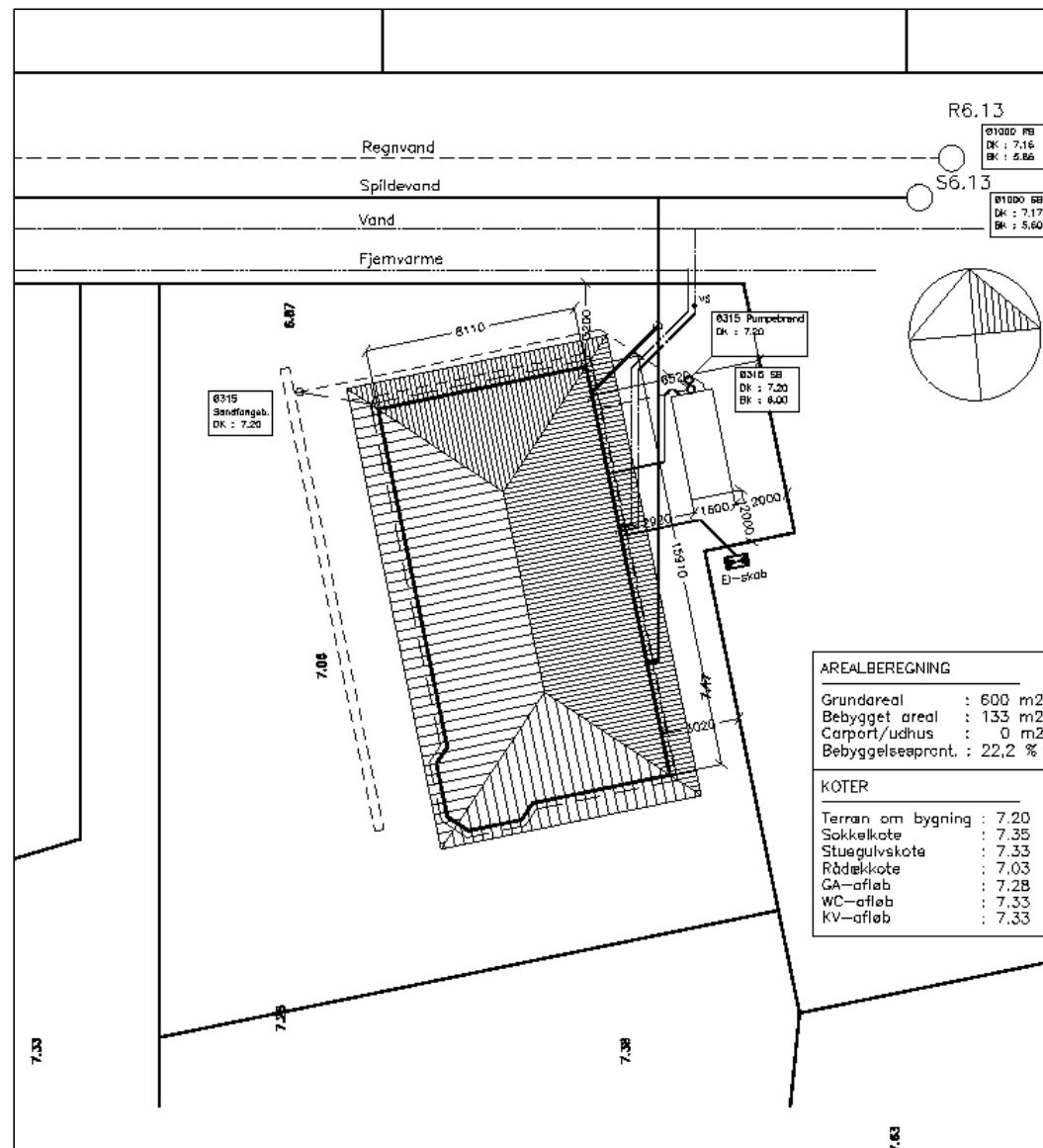


East facade



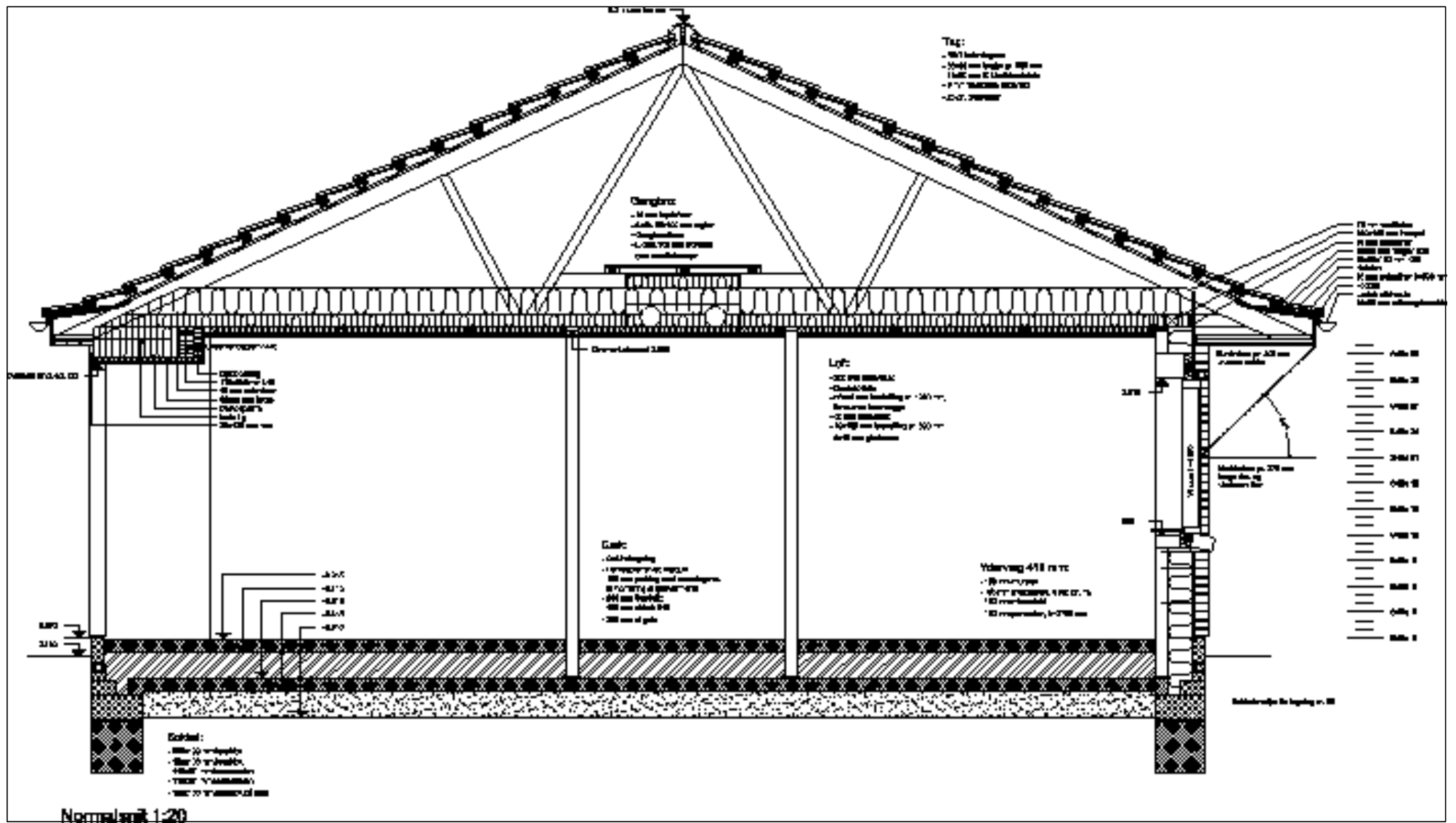
South facade

Bilag 1 : Facader

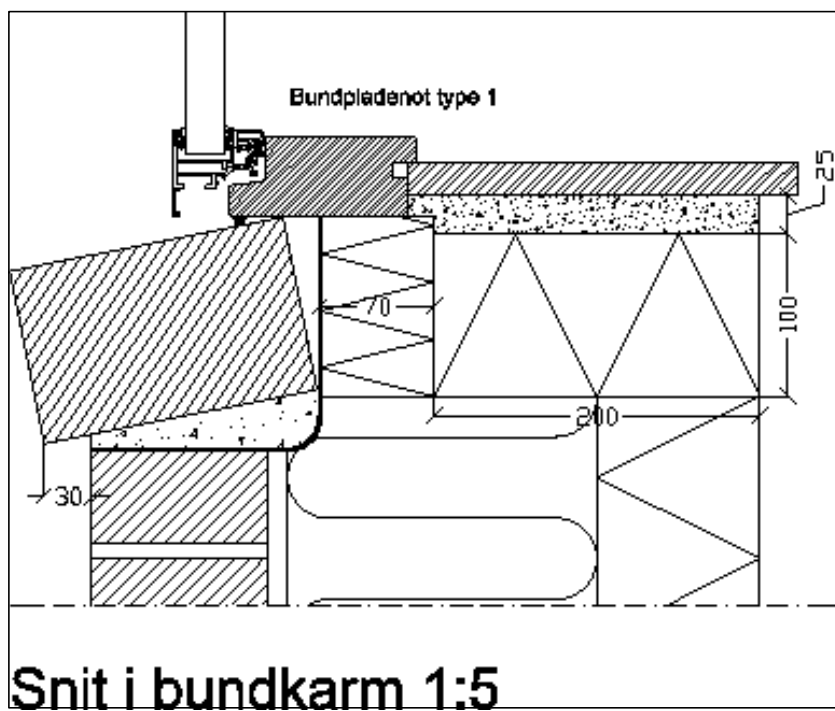


Bilag 2 : Situationsplan

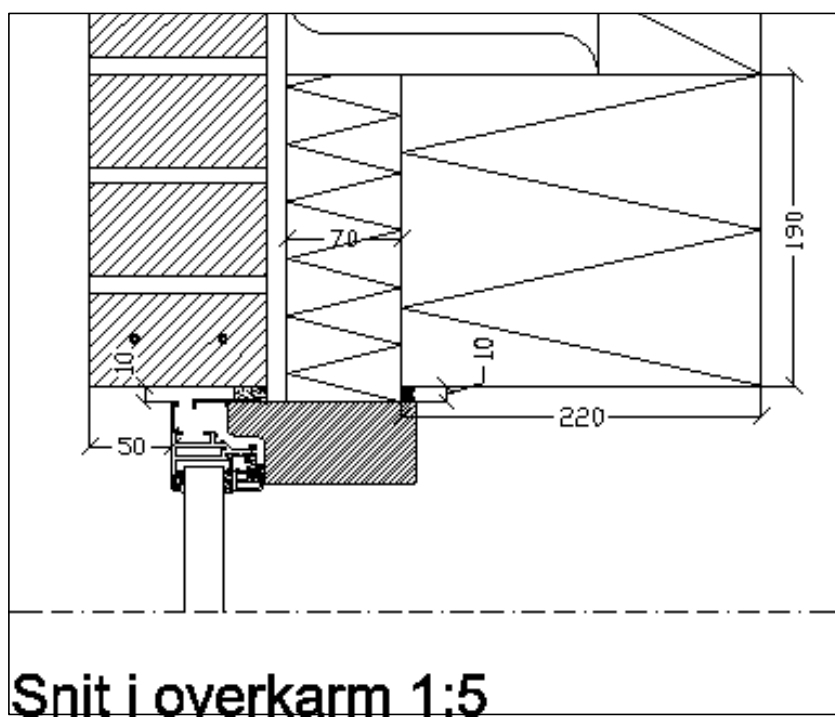
Side 55



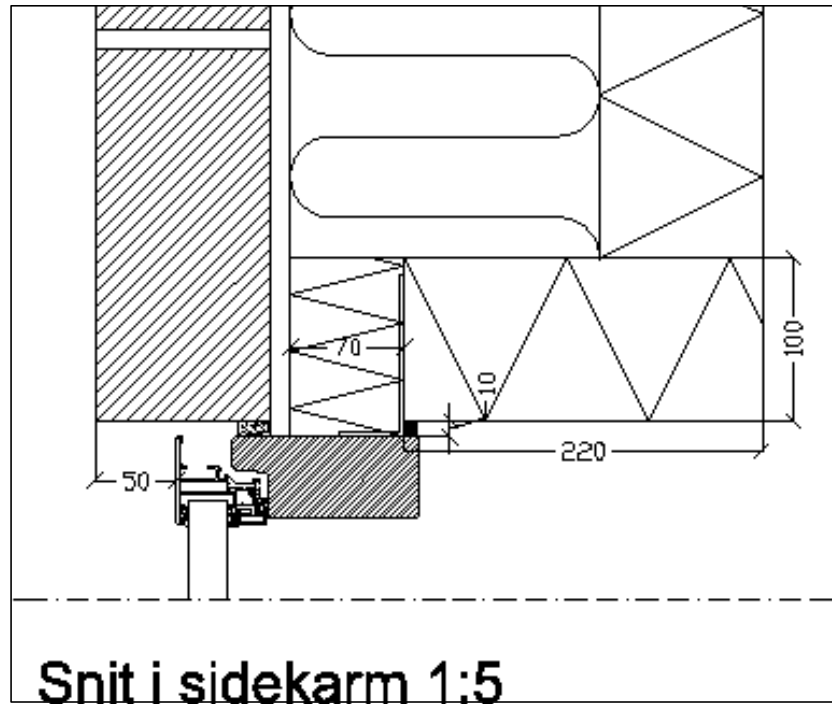
Bilag 4 : Normalnit (ikke målfast)



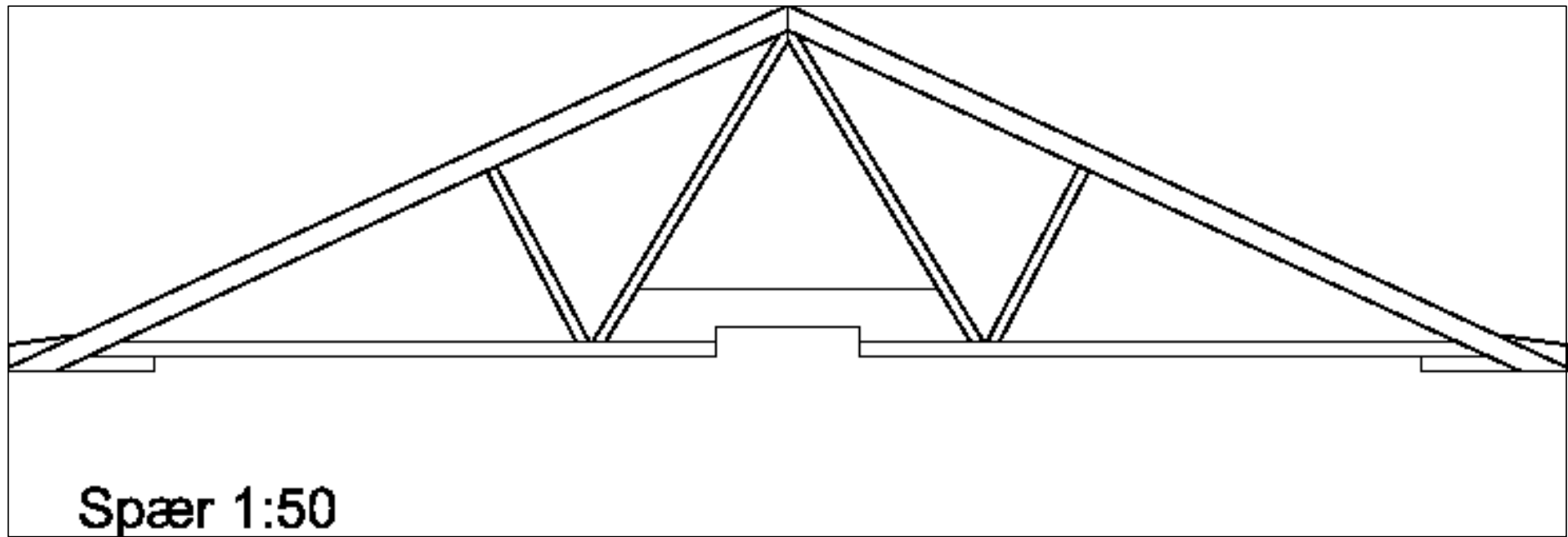
Bilag 5 : Snit i bundkarm (ikke målfast)



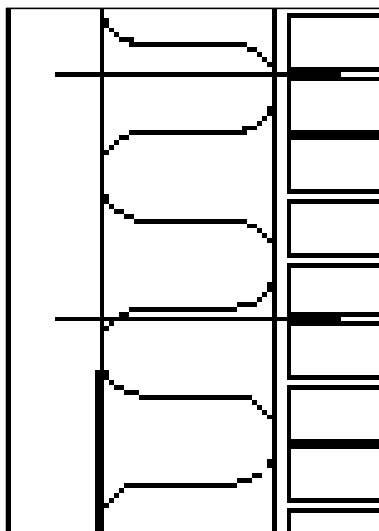
Bilag 6 : Snit i overkarm (ikke målfast)



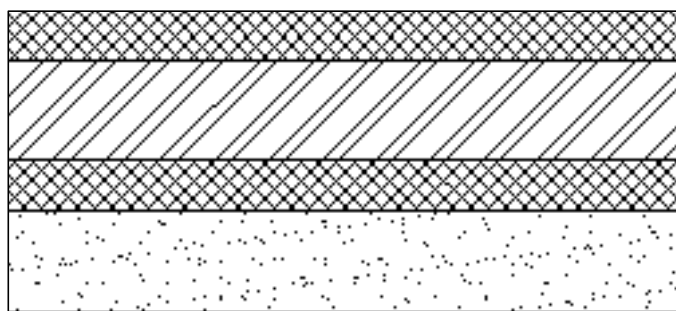
Bilag 7 : Snit i sidekarm (ikke målfast)



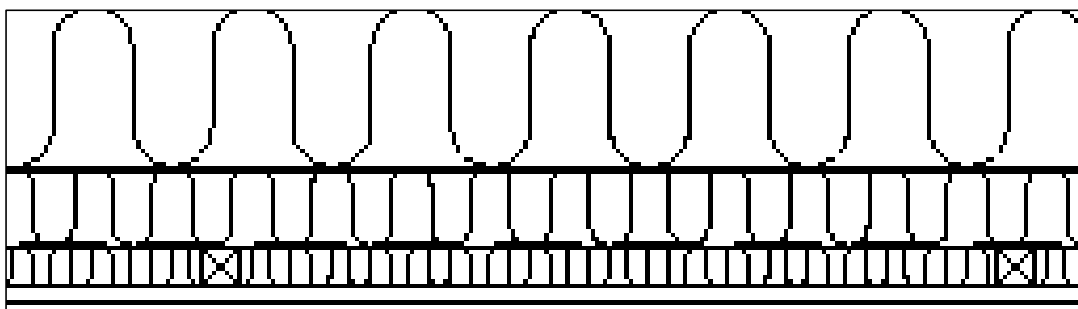
Bilag 8 : Spærløsning (ikke målfast)



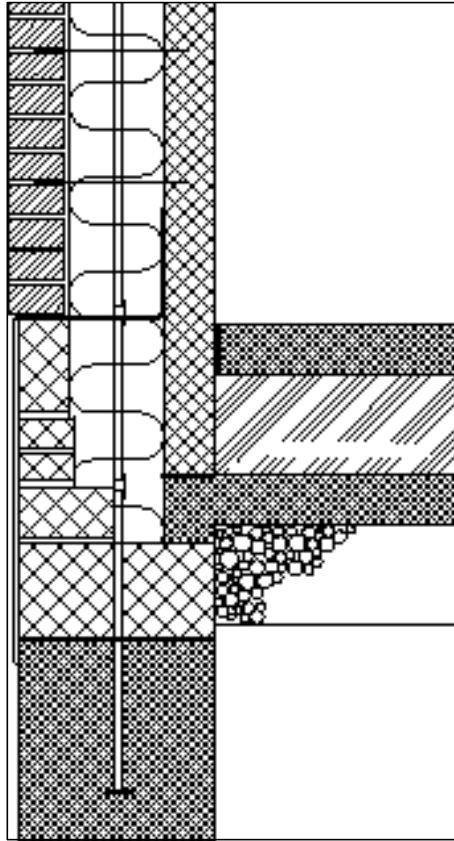
Bilag 9 : Ydervæg (ikke målfast)



Bilag 10 : Terrændæk (ikke målfast)



Bilag 11 : Loftskonstruktion (ikke målfast)



Bilag 12 : Fundamentsdetalje (ikke målfast)