

BYG · DTU

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Henrik Tommerup

Energirenovering af murermesterhus

Rapport
BYG · DTU
R-102
2004
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-168-4

Energirenovering af murermesterhus

Henrik Tommerup



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

2004

Forord

Denne rapport beskriver konstruktioner og systemer samt varmetabsberegninger og simuleringer af energiforbrug for et typisk ”murermeisterhus” fra 1927 med et opvarmet etageareal på 161 m². Der er tale om beregninger af det eksisterende hus og huset med en række energibesparende tiltag, herunder hulmursisolering og nye forsatsvinduer med energiglas.

Rapporten er udarbejdet af BYG•DTU for Rockwool International A/S i forbindelse med projektet ”Energy Project Villa”, der også omfatter detaljerede målinger af energiforbrug mm.

Der har i projektet været fokus på de energibesparende tiltag, som giver største effekt i forhold til investeringen, og som ikke ændrer væsentligt på husets udseende, idet der er set bort fra tiltag som udvendig efterisolering og mekanisk ventilation med varmegenvinding. Murermeisterhuse udgør generelt et stort potentiale for energibesparelser og dermed CO₂ reduktioner.

Rapporten dokumenterer ved detaljerede beregninger, hvor stor en energibesparelse, der kan forventes ved umiddelbare energibesparende tiltag, der ikke ændrer på husets udseende.

Rapporten er udarbejdet af forskningsadjunkt Henrik Tommerup, BYG•DTU. Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder. Tegninger i bilagssektionen er udført af Kristoffer Volsing og Nicolaj Mac i forbindelse med eksamensprojekt om energirenovering af parcelhuse.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, november 2004.

Indholdsfortegnelse

FORORD	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
SAMMENFATNING	3
SUMMARY	5
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	7
2 BEREGNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER	8
2.1 BESKRIVELSE AF KONSTRUKTIONER OG SYSTEMER	8
2.2 BESKRIVELSE AF SAMLINGSDETALJER	11
2.3 BEREGNING AF KONSTRUKTIONER, U-VÆRDIER	11
2.4 BEREGNING AF SAMLINGSDETALJER, PSI- OG L-VÆRDIER.....	18
2.5 SAMMENFATNING AF RESULTATER	19
3 BEREGNING AF ENERGIFORBRUG	26
3.1 BESKRIVELSE AF MODEL	26
3.2 SIMULERING	27
3.3 RESULTATER.....	29
REFERENCER	32
BILAG	33

Sammenfatning

Denne rapport beskriver, med udgangspunkt i et typisk ældre ”murermesterhus”, detaljerede varmetabsberegninger og simuleringer af energiforbrug til rumopvarmning for huset før og efter en energirenovering.

Der er tale om et hus med fuld kælder (uopvarmet), stue og 1. sal og et opvarmet etageareal på 161 m². Huset oprindelige konstruktioner består af ydervægge af 30 cm uisolerede hulmure med trådbindere. Vinduer er traditionelle gamle småsproset trævinduer, der i stueetagen er delvist udstyret med forsatsglas. Skunk, skråvægge og hanebåndsloft er isoleret med gamle 50 mm isoleringsmætter.

De energibesparende tiltag er valgt baseret på en række løsningsmuligheder og tilhørende cost-benefit analyser og vurderinger samt hensyntagen til bl.a. byggetekniske og anvendelsesmæssige forhold. De energibesparende tiltag der gennemføres er:

- Hulmursisolering (indblæsning i ca. 80 mm hulrum).
- Isolering af brystninger/radiatornicher (75 mm).
- Nye forsatsvinduer med energiglas.
- Isolering af skunk (250 mm).
- Isolering af skråvæg (75 mm).
- Isolering af loft (300 mm).
- Delvis nye radiatorer og termostatventiler.

Tiltagene ændrer ikke på husets udseende

Dimensionerende varmetab og kuldebroer

De nævnte tiltag medfører at det dimensionerende varmetab reduceres fra 15,0 kW (93 W/m²) til 7,1 kW (44 W/m²), svarende til en reduktion på 53 %. Det er forudsat at luftskiftet reduceres fra 1,0 gange i timen til 0,5 gange i timen på grund af nye forsatsvinduer og indvendige vinduesfuger.

I den oprindelige udformning af huset er det dimensionerende transmissionstab 11,4 kW hvoraf 1,2 kW udgøres af kuldebroeffekter, mens det dimensionerende transmissionstab for det renoverede hus er 5,2 kW, hvor kuldebroerne udgør ca. 1,3 kW. Det dimensionerende transmissionstab reduceres således med 54 % og kuldebroandelen forøges fra 11 % til 25 %. Den forholdsvis lille andel for renoveringen kan tilskrives at klimaskærmskonstruktionerne generelt er dårligt isoleret, mens den betydelige andel efter energirenoveringen er udtryk for at kuldebroer generelt får en øget betydning ved øget isoleringsgrad. I den renoverede løsning er der betydelige kuldebroer ud for bl.a. de massive ydervægspartier omkring vinduer og døre.

Simulering af nettoenergiforbrug til rumopvarmning

Beregningerne er foretaget med programmet BSIM2002, hvor der er opbygget en detaljeret model af huset. Der er som udgangspunkt antaget et normalt internt varmetilskud fra personer, el-udstyr og belysning på 5 W/m², et naturligt luftskifte på 1,0 gange i timen og en rumtemperatur på 20°C. Der er desuden simuleret med et udeklima svarende til det Danske Design Reference år (DRY) og der er regnet på fyringssæsonen, svarende til september til maj (inkl.).

Beregningerne viser at nettovarmebehovet til rumopvarmning - svarende til den energimængde der skal tilføres for at opretholde den ønskede rumtemperatur - reduceres fra 40,2 MWh/år til 21,3 MWh/år ved de omtalte energibesparende tiltag, svarende til omtrent en halvering.

Hvis det antages at luftskiftes samtidig reduceres fra 1,0 gange i timen til et indeklimamæssigt forsvarligt niveau på 0,5 gange i timen bliver varmebehovet 15,3 MWh/år, svarende til en reduktion på 62 %. I dette tilfælde er reduktionen i det samlede bruttovarmebehov til opvarmning på 48 %. Udover energibesparelsen er en positiv effekt af energirenoeringen at husets indeklima forbedres.

Yderligere varmebesparelser vil som oftest kunne opnås ved efterisolering af kedel, varmtvandsrør og varmtvandsbeholder (typisk placeret i kælderen). Udvendig efterisolering og mekanisk ventilation med varmegenvinding er eksempler på effektive tiltag, der også vil kunne give yderligere besparelser. Det vurderes at rumopvarmningsbehovet således vil kunne reduceres med ca. 75 %.

Bruttoenergiforbrug til opvarmning

Tabel 1 viser husets samlede bruttoenergiforbrug til opvarmning. Dette inkluderer nettoenergiforbrug til rumopvarmning, nettoenergiforbruget til varmt brugsvand, ikke-nyttiggjorte varmetab fra varmerør og varmtvandsbeholder samt årsnyttevirkningen for den oliefyrede kedel. Der er forudsat en årsnyttevirkning på 70 % før energirenoeringen og 65 % efter.

Det ses at bruttoenergiforbruget for grundmodellen reduceres med 35 %, idet der er forudsat et luftskifte på 1,0 gange i timen både før og efter energirenoeringen, mens reduktionen er 48 %, hvis luftskiftet antages reduceret til 0,5 gange i timen efter renoeringen.

Beregningerne viser med andre ord at husets samlede energiforbrug til opvarmning kan reduceres betydeligt ved forholdsvis beskedne klimaskærmsrelaterede efterisoleringstiltag.

Tabel 1. Bruttoenergiforbrug til opvarmning [kWh/år] før og efter de energibesparende tiltag.

Modelnavn	Før	Efter	Besparelse	Reduktion (pct.)
Grundmodel	67,8	44,2	23,6	35
IV3	70,6	47,2	23,4	33
VENT0,5	59,0	35,0	24,0	41
VENT1,5	75,7	53,4	22,3	29
WCS	78,2	56,5	21,7	28

Summary

Report R-102: Energy renovation of an old single-family house.

Taking a typical, rather old master builder house as a starting point, this report describes detailed heat loss calculations and simulations of energy consumption for space heating for the house before and after an energy renovation.

It is a house with a full basement (not heated), a ground floor and a first floor and a heated area of 161 m². The original structures of the house are composed of external walls of 30 cm uninsulated cavity walls with steel ties. The windows are traditional, old windows with small wooden glazing bars, which, on the ground floor, are partly equipped with a second frame with ordinary glass. The space under the roof slope, the sloping walls and the collar-beam roof are insulated with old 50 mm insulation mats.

The energy conservation measures have been chosen based on a number of solution possibilities and corresponding cost-benefit analyses and estimations and also, among other things, consideration for construction and employment conditions. The energy conservation measures that are carried out are:

- Cavity wall insulation (injection in roughly 80 mm cavity).
- Insulation of window walls/radiator recesses (75 mm).
- New second window-frame with energy-saving glass.
- Insulation of space under the roof slope (250 mm).
- Insulation of sloping wall (75 mm).
- Insulation of collar-beam roof (300 mm).
- Partially new radiators and thermostat valves.

The measures do not alter the appearance of the house.

Dimensioning heat loss and thermal bridges

The mentioned measures result in a reduction of the dimensioning heat loss from 15.0 kW (93 W/m²) to 7.1 kW (44 W/m²), corresponding to a reduction of 53%. This is provided that the air change rate is reduced from 1.0 times an hour to 0.5 times an hour primarily because of sealing of windows.

In the original design of the house, the dimensioning transmission heat loss is 11.4 kW, of which 1.2 kW are thermal bridge effects, whereas the dimensioning transmission heat loss of the renovated house is 5.2 kW, where the thermal bridges are about 1.3 kW. The dimensioning transmission heat loss is thus reduced by 54% and the thermal bridge part is increased from 11% to 25%. The relatively small share before the renovation is due to the generally poor insulation of the thermal envelope constructions, whereas the considerable share after the energy renovation reflects that thermal bridges generally become more important when the insulation rate is increased. In the renovated solution there are considerable thermal bridges, for instance outside the massive exterior wall parts around windows and doors.

Simulation of net energy consumption for space heating

The calculations have been made by means of the program BSIM2002, where a detailed model of the house has been constructed. The calculation model has assumed a normal internal contribution of heat from persons and household electricity of 5 W/m², a natural air change rate of 1.0 times an hour and a room temperature of 20°C. Furthermore, simulations have been made with an outdoor

climate corresponding to the Danish Design Reference Year (DRY) and the heating season, September to May (incl.), has been calculated.

The calculations show that the space heating demand can be reduced from 40.2 MWh/year to 21.3 MWh/year through the mentioned energy conservation measures, corresponding to almost a 50% reduction. Assuming that the air change rate is reduced from 1.0 times an hour to 0.5 times an hour the space heating demand is only 15,3 MWh/year equivalent to a reduction of 62%. In this case the reduction in the final total heating demand is 48%. Furthermore, the indoor climate of the house is improved.

It will usually be possible to obtain additional energy savings through subsequent insulation of boiler, hot water pipes and hot water tank (typically placed in the basement). Outside subsequent insulation and mechanical ventilation with heat recovery are examples of effective measures, which will also be able to yield additional savings. It is estimated that in this way it would be possible to reduce the room heating demand by about 75%.

Gross energy consumption for heating

Table 1 shows the total energy consumption for heating. This includes the net energy consumption for space heating and hot water, non-utilized heat losses from heating pipes, hot-water tank and also the efficiency of the oil-fired boiler. An average efficiency of 70% before the energy renovation and 65% after is assumed.

The total energy consumption for the basis model is reduced by 35%, assuming an air change rate of 1.0 times an hour in both the before and after situation, and a 48% reduction if the air change rate after the energy renovation is considered reduced to 0.5 times an hour.

In other words, the total energy consumption for heating can be reduced significantly by implementing modest envelope related insulation improvements.

Table 1. Total energy consumption for heating [kWh/year] before and after the energy renovation.

Model name	Before	After	Savings	Reduction (p.c.)
Basis model	67.8	44.2	23.6	35
IV3	70.6	47.2	23.4	33
VENT0.5	59.0	35.0	24.0	41
VENT1.5	75.7	53.4	22.3	29
WCS	78.2	56.5	21.7	28

1 Projektets baggrund og formål

I forbindelse med kommende skærpelse af energikravene i Bygningsreglementet stilles der som noget nye ligeledes krav til at man i forbindelse med renoveringer af eksisterende bygninger, skal efterleve nye krav til transmissionskoefficienter mv. for de renoverede dele. Der lægges altså op til at man skal inddrage energirenovering, når man foretager almindelig renovering af bygninger, hvilket skal sikre at de eksisterende bygninger ved renovering så vidt muligt bringes op på niveau svarende til krav til nybyggeri i Bygningsreglementet.

Flere rapporter dokumenterer at der er et stort potentiale for økonomisk rentable energibesparelser i eksisterende boliger. Projektets har på denne baggrund haft som formål at demonstrere i praksis, hvor stor en energibesparelse der kan opnås ved energirenovering af et typisk murermesterhus i energiklasse C5 opført før 1950, og hvilken totaløkonomi der er forbundet hermed. Projektet omfatter både detaljerede målinger af energibesparelser og beregninger af forventede energibesparelser. Denne rapport omhandler beregningsdelen.

2 Beregning af varmetabskoefficienter

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede beregninger af konstruktioner og samlingsdetaljers varmetabskoefficienter. Først gives en kortfattet beskrivelse af de enkelte konstruktioner, samlingsdetaljer, varme- og ventilationssystemer samt de energibesparende tiltag. Herefter foretages beregninger af varmetabskoefficienter for hhv. konstruktioner og samlingsdetaljer, og der opstilles en samlet oversigt over resultaterne. Med hensyn til varmetabskoefficienterne foretages der beregninger for alle konstruktioner som indgår i huset samt alle de vigtigste samlingsdetaljer, dvs. de detaljer som indeholder de største kuldebidrag til det samlede transmissionstab.

Varmetabsberegninger er gennemført på baggrund af indvendige mål. Dette svarer ikke til metoden angivet i DS418 [1], hvor visse konstruktioner regnes ud fra udvendige mål for at tage højde for kuldebroer som ikke direkte dækkes af beregningerne. I denne rapport medtages samtlige betydende kuldebroer direkte i beregningerne, og det er derfor ikke nødvendigt at justere arealerne for at tage højde for disse. Med undtagelse af dette, er grundlaget for beregningerne generelt DS418.

2.1 Beskrivelse af konstruktioner og systemer

Konstruktioner samt varme- og ventilationssystemerne beskrives kort i det følgende. Beskrivelsen er i overvejende grad baseret på opmålinger og inspektioner i huset, da det foreliggende tegningsmateriale har været meget sparsomt. Det har ikke været praktisk muligt at få fastlagt alle dimensioner og detaljer vedrørende konstruktionerne, men med hjælp fra litteratur mm. vedrørende den daværende gængse byggeteknik for murede huse, vurderes beskrivelsen at være fyldestgørende.

2.1.1 Etageadskillelse mod kælder

Etageadskillelse af træbjælkelag. Konstruktionen består, regnet indefra, af 28 mm gulvplanker ($\lambda = 0,130$ W/mK) på bærende bjælker med dimensionen $7 \cdot 7''$ og centerafstand på 1 m ($\lambda = 0,130$ W/mK), luftfyldt hulrum over lerindskud på ca. 20 mm ($R = 0,18$ m²K/W), ca. 70 mm lerindskud ($\lambda = 1,500$ W/mK) og 25 mm indskudsbrædder ($\lambda = 0,130$ W/mK). I en mindre del af stueetagen er der ovenpå gulvplanker tilføjet et parketgulv og en del af kælderloftet er pudset, men der ses bort fra dette ved beregninger af varmetabet.

Energibesparende tiltag: Der foretages ikke efterisolering af etageadskillelsen.

2.1.2 Ydervæg

Størstedelen af ydervæggen består af en 300 mm fuldmuret hulmur med ca. 80 mm hulrum (uisoleret) og 10 mm puds ($\lambda = 0,500$ W/mK). Formuren består af 110 mm teglsten ($\lambda = 0,730$ W/mK) og bagmuren af 110 mm teglsten ($\lambda = 0,620$ W/mK), som er forbundet med 3 mm ståltrådsbindere (9-10 stk. pr. m²).

Omkring vinduer/døre er udført $\frac{1}{2}$ stens ommuring. Over vinduer/døre er dog udført lige stik i $1\frac{1}{2}$ stens højde. I den ene gavl er vindue udmuret.

I opholdsstuer i stueetagen er radiatorer placeret i nicher under vinduerne (dybde på ca. 170 mm). Ydervæggen består her af formur i teglsten med puds.

Energibesparende tiltag: Hulmursisolering ved indblæsning af granulat i 80 mm hulrum ($\lambda = 0,044$ W/mK). Isolering af brystninger / radiatornicher med 75 mm Flexi A isoleringsbatts ($\lambda = 0,037$ W/mK) og 13 mm gipsplade ($\lambda = 0,200$ W/mK).

2.1.3 Hanebåndsløft

Konstruktionen består, regnet indefra af 15 mm puds ($\lambda = 0,500 \text{ W/mK}$), 25 mm forskallingsbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) på bjælker med dimensionen $4 \cdot 4''$ og centerafstand på 1 m ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), 100 mm luftfyldt hulrum mellem bjælker ($R = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$), 25 mm gulvbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) og 50 mm isoleringsmåtter ("Rockwool isoleringsmåtte 2", der er et ældre produkt med en varmeledningsevne på 45 Cal/mhK svarende til $0,052 \text{ W/mK}$). samt ventileret tagrum med tagsten med understrøgne fuger på lægter ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Energibesparende tiltag: Eksisterende isolering og gulvbrædder fjernes. Hulrum mellem hanebåndsbjælker fyldes ud med 100 mm Flexi A-isoleringsbatts ($\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$) og over hanebånd etableres 200 mm ubrudt isolering i to lag med forskudte samlinger (Flexi A isoleringsbatts, $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$). Der etableres gangbro.

2.1.4 Skråvæg

Konstruktionen består, regnet indefra, af 15 mm puds ($\lambda = 0,500 \text{ W/mK}$), 25 mm forskallingsbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) på bjælker med dimensionen $5 \cdot 5''$ og centerafstand på 1 m ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), 50 mm isoleringsmåtter ($\lambda = 0,052 \text{ W/mK}$) samt ventileret tagrum med tagsten med understrøgne fuger på lægter ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Energibesparende tiltag: Eksisterende isolering fjernes. 75 mm nye Flexi A-isoleringsbatts ($\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$).

2.1.5 Lodret skunk

Konstruktionen består, regnet indefra, af 15 mm puds ($\lambda = 0,500 \text{ W/mK}$), 25 mm forskallingsbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) på stolper med dimensionen $2 \cdot 4''$ og centerafstand på 1 m ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), 50 mm isoleringsmåtter ($\lambda = 0,052 \text{ W/mK}$) samt ventileret tagrum med tagsten med understrøgne fuger på lægter ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Energibesparende tiltag: Eksisterende isolering fjernes. 100 mm nye Super A-isoleringsbatts ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$) mellem stolper og 150 mm udenpå. Fastgøres med skruer.

2.1.6 Etageadskillelse mod stueetage / vandret skunk

Etageadskillelse af træbjælkelag. Konstruktionen består, regnet fra 1. sal, af 28 mm gulvplanker ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) på bærende bjælker med dimensionen $7 \cdot 7''$ og centerafstand på 1 m ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), ca. 70 mm lerindskud ($\lambda = 1,500 \text{ W/mK}$), 25 mm indskudsbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$), hulrum under lerindskud på ca. 80 mm ($R = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$), 25 mm forskallingsbrædder ($\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$) og 15 mm puds ($\lambda = 0,500 \text{ W/mK}$). I den vandrette skunk at der herudover udlagt 50 mm isoleringsmåtter ($\lambda = 0,052 \text{ W/mK}$).

Energibesparende tiltag: Fjernelse af eksisterende isolering og udlægning af 250 mm Super A isoleringsbatts ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$) i to lag med forskudte samlinger.

2.1.7 Kviste

Huset har to kviste, der består af et vindue, et tag og sider. Tag og sider (trekanter) består af et bræddelag med et tyndt isoleringslag på ca. 20 mm i mellem samt beklædning indvendigt (puds) og udvendigt (zink).

Energibesparende tiltag: Ingen, udover at sidedel og del under vinduer der vender mod skunk isoleres.

2.1.8 Vinduer og yderdøre

Vinduer er traditionelle gamle småsprosset trævinduer, der i stueetagen er delvist udstyret med forsatsglas.

Ramme-karmprofilet har dimensionen 120 mm x 98 mm (d x b). Lod- og tværpostprofil har dimensionen 120 mm x 126 mm (d x b), mens sprosseprofilet har dimensionen 24 mm x 21 mm (d x b). Dimensioner er inkl. glaslister i kit. Hvor ruden består af et enkelt lag glas er tykkelsen 3 mm, svarende til en U-værdi på 5,8 W/m²K. Den totale solenergitransmittans for glasset er 87 %. Med forsatsglas er rudens U-værdi 2,8 W/m²K, mens den totale soltransmittans er 76 %.

I Tabel 2 nedenfor er vist en oversigt over de enkelte vinduer og døre. Det fremgår heraf at det samlede areal af vinduer og døre i huset er 30,3 m², mens 23,1 m² findes i den opvarmede del af huset. Vindues- og dørarealet (hulmål) i den opvarmede del af huset udgør 15 % af det opvarmede etageareal. Set for huset under ét ligger glasandelen på ca. 53 % af det samlede vindues- og dørareal.

Tabel 2. Oversigt over vinduer og døre. Dimensioner og arealer er baseret på vinduesmål.

	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	A _g [m ²]	A _f [m ²]	A [m ²]	Samlet Areal [m ²]
Vindue (2 fag)	1	1,08	1,51	0,90	0,73	1,63	1,63
Vindue forsats (2 fag)	3	1,08	1,51	0,90	0,73	1,63	4,89
Vindue forsats nederst (2 fag)	2	1,08	1,51	0,90	0,73	1,63	3,26
Vindue (2 fag ingen tværpost)	4	1,08	1,13	0,71	0,51	1,22	4,88
Vindue forsats (3 fag)	1	1,59	1,51	1,36	1,04	2,40	2,40
Vindue (2 fag ingen tværpost)	2	1,08	0,87	0,51	0,43	0,94	1,88
Vindue (1 fag)	2	0,56	1,51	0,43	0,41	0,84	1,68
Hoveddør	1	0,92	2,3	1,10	1,02	2,12	2,12
Vindue i skråvæg	1	0,54	0,61	0,14	0,19	0,33	0,33
Kældervindue (2 fag)	6	1,08	0,69	0,37	0,37	0,75	4,47
Kældervindue (3 fag)	1	1,59	0,69	0,56	0,53	1,10	1,10
Kælderdør	1	0,92	1,85	0,00	1,70	1,70	1,70
Total							30,3

Energibesparende tiltag: Nye forsatsvinduer med energiglas i stueetage og 1. sal.

2.1.9 Indervægge

Konstruktionen består af 110 mm teglsten med ca. 10 mm puds.

2.1.10 Kælder

Kælderen er delvist nedgravet, idet ca. halvdelen af kælderydervæggen vender mod det fri.

Kælderydervæggen mod jord består af ca. 340 mm beton ($\lambda = 1,950$ W/mK), mens den øvrige væg er almindelig hulmur.

Kældergulvet antages at bestå af 100 mm beton ($\lambda = 1,950$ W/mK) og 200 mm singels ($\lambda = 0,700$ W/mK) mod jord.

2.1.11 Varmeanlæg

Varmeanlægget er et to strenget radiatoranlæg, baseret på naturligt drivtryk. Det varme vand produceres i en uisoleret oliefyret kedel placeret i kælderen.

Vandet fordeles i stålrør der er 2½" i fyrrummet og 1¼" i de strenge der forsyner opholdsstuerne, men dimensionen er ¾" i de øvrige strenge. Der er generelt tale om en isoleringstykkelse på ca. 20 mm.

Varmt vand produceres i en 200 liter varmtvandskappebeholder med ca. 30 mm isolering.

Energibesparende tiltag: Nye radiatorer i brystninger/nicher i stueetagen og nye termostatventiler.

2.1.12 Ventilation

Princippet for ventilation af huset er naturlig ventilation via primært utætheder omkring vinduer, aftrækskanaler i ydervæggen og åbning af vinduer og døre.

Energibesparende tiltag: Ingen. Nye forsatsvinduer og indvendige fuger vil betyde en væsentlig forbedring af huset lufttæthed. Derved kan ventilationen i højere grad styres ved oplukning af vinduer/døre. Der opsættes ventilator i køkken, monteret i vindue.

2.2 Beskrivelse af samlingsdetaljer

De vigtigste samlingsdetaljer er samlingen mellem ydervæg og vindue (kuldebro ved lodret og vandret vinduesfals), samlingen mellem tagkonstruktion og ydervæg (kuldebro ved tagfod), samlingerne mellem vandret og lodret skunk, skunk og skråvæg samt skråvæg og hanebåndsloft.

Disse samlingsdetaljer fremgår af tegningerne i bilag 8 og 9.

2.3 Beregning af konstruktioner, U-værdier

Beregningerne foretages på baggrund af DS418:6. udgave [1] (Beregning af bygningers varmetab). Denne relativt nye og reviderede standard, foreskriver nye principper for beregning af U-værdien, idet der tages udgangspunkt i den deklarerede varmeledningsevne for isoleringsmaterialet bestemt ifølge de harmoniserede europæiske produktstandarder. Der er desuden sket ændring af beregningen af U-værdien i relation til bl.a. varmeledningsevnen for andre byggematerialer, ventilerede og uventilerede hulrum, luftspalter i isoleringslaget og korrektionen for bindere for at bringe DS 418 i overensstemmelse med den tilsvarende europæiske standard.

Der foretages dog også beregninger af kuldebroeffekter vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 [2] og THERM [3].

2.3.1 Etageadskillelse mod kælder

Konstruktionen beregnes vha. detaljerede beregningsprogrammer, da konstruktion gennembyrdes af bærende bjælker. Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af etageadskillelsen, svarende til at der medtages 1,0 m af konstruktionen (svarende til centerafstanden for bjælkerne). Det antages at overgangsisolansen for fladen der vender mod kælder er den samme som for fladen der vender mod stueetagen (analogt til indervægge), dvs. 0,17 m²K/W.

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til: 1,12 W/m²K.

2.3.2 Ydervæg

U-værdien for ydervæggen fastlægges ved at der først bestemmes U-værdier for de rene 1-dimensionale snit, svarende til hulmur, snit i lodret fals, snit vandret fals, brystninger/radiatornicher og udmuret vindue.

30 cm uisoleret hulmur	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Puds	0,010	0,500	0,02
Bagmur af teglsten	0,110	0,620	0,18
Uisoleret ikke-ventileret hulrum	0,080	-	0,18
Formur af teglsten	0,110	0,730	0,15
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			1,43
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
Korrektion for bindere gennem et ikke-isoleret hulrum: ingen.			0,00
U			1,43

Udmuringer omkring vinduer/døre	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Puds	0,010	0,500	0,02
Teglsten	0,300	0,675	0,44
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			1,58
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			1,58

Brystninger/radiatornicher	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Puds	0,030	0,500	0,06
Teglsten	0,110	0,675	0,16
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			2,54
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			2,54

Udmuret vindue	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Puds	0,010	0,500	0,02
Hulrum	0,015	-	0,17
Teglsten	0,220	0,675	0,33
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			1,46
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			1,46

Der foretages efterisolering af hulmur og brystninger. I tilfældet med isoleret hulmur gives et tillæg for murbindere, der er skønnet ud fra tabel A.3.2 i DS418.

30 cm isoleret hulmur	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Puds	0,010	0,500	0,02
Bagmur af teglsten	0,110	0,620	0,18
Isolering (hulrumsfyld)	0,080	0,044	1,82
Formur af teglsten	0,110	0,730	0,15
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,43
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
Korrektion for bindere (estimeret)			0,02
U			0,45

Isoleret brystninger/radiatornicher	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Pladebeklædning, gips	0,013	0,200	0,07
Isolering (flexi A)	0,075	0,037	2,03
Puds	0,030	0,500	0,06
Teglsten	0,110	0,675	0,16
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,40
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			0,40

2.3.3 Hanebåndsløft

Konstruktionen beregnes vha. detaljerede beregningsprogrammer, da konstruktion gennembyrdes af bærende bjælker. Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af loftkonstruktionen, svarende til at der medtages 1,0 m af konstruktionen (svarende til centerafstanden for bjælkerne).

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til: $0,539 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der er tale om ét isoleringslag uden fastklemning, og derfor skal der korrigeres for luftspalter i isoleringen (niveau 2 korrektion). Korrektionen kan beregnes til $0,011 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den resulterende U-værdi bliver derved:

U-værdi for hanebåndsloft: $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Den efterisolerede konstruktion beregnes på tilsvarende vis. Der skal ikke korrigeres for luftspalter i isoleringen, idet isolering antages lagt ud i to lag, hvor det øverste lag ligger med forskudte samlinger hen over hanebånd og isoleringen mellem hanebåndene (niveau 0). Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for efterisoleret hanebåndsloft: $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.3.4 Skråvæg

Konstruktionen beregnes vha. detaljerede beregningsprogrammer, da konstruktion gennembyrdes af tagspærene. Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af loftkonstruktionen, svarende til at der medtages 1,0 m af konstruktionen (svarende til centerafstanden for bjælkerne).

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til: $0,677 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der er tale om ét isoleringslag uden fastklemning, og derfor skal der korrigeres for luftspalter i isoleringen (niveau 2 korrektion). Korrektionen kan beregnes til $0,017 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den resulterende U-værdi bliver derved:

U-værdi for skråvæg: $0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Den efterisolerede konstruktion beregnes på tilsvarende vis. Der skal korrigeres for luftspalter i isoleringen, idet isolering antages lagt ud i ét lag mellem bjælkerne (niveau 0). Korrektionen kan beregnes til $0,008 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den beregnede U-værdi kan fastlægges til: $0,433 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for efterisoleret skråvæg: $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.3.5 Lodret skunk

Konstruktionen beregnes vha. detaljerede beregningsprogrammer, da konstruktion gennembyrdes af stolper. Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af konstruktionen, svarende til at der medtages 1,0 m af konstruktionen (svarende til centerafstanden for stolperne).

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til: $0,660 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der er tale om ét isoleringslag uden fastklemning, og derfor skal der korrigeres for luftspalter i isoleringen (niveau 2 korrektion). Korrektionen kan beregnes til $0,016 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for lodret skunk: $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Den efterisolerede konstruktion beregnes på tilsvarende vis. Der korrigeres ikke for luftspalter i isoleringen, idet de to lag isolering antages placeret med forskudte samlinger og fastholdes tæt mod bagbeklædningen (niveau 0). Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for efterisoleret lodret skunk: $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.3.6 Vandret skunk

Konstruktionen beregnes vha. detaljerede beregningsprogrammer, da konstruktion gennembrydes af bærende bjælker. Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af konstruktionen, svarende til at der medtages 1,0 m af konstruktionen (svarende til centerafstanden for bjælkerne).

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til: 0,495 W/m²K. Der er tale om ét isoleringslag uden fastklemning, og derfor skal der korrigeres for luftspalter i isoleringen (niveau 2 korrektion). Korrektionen kan beregnes til 0,009 W/m²K. Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for lodret skunk: 0,50 W/m²K.

Den efterisolerede konstruktion beregnes på tilsvarende vis. Der skal ikke korrigeres for luftspalter i isoleringen, idet de to lag isolering antages lagt ud med forskudte samlinger. Den korrigerede U-værdi bliver derved:

U-værdi for efterisoleret vandret skunk: 0,12 W/m²K.

2.3.7 Kviste

Varmetabskoefficienter for de dele af kvisten, der ikke tidligere er blevet bestemt, beregnes nedenfor. Isoleringen i kvisttag og –sider antages at have samme varmeledningsevne som huset eksisterende isolering.

Kvisttag	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans			0,14
Puds	0,015	0,500	0,03
Forskalling	0,019	0,130	0,15
Hulrum			0,16
Isolering	0,020	0,052	0,38
Brædder	0,025	0,130	0,19
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,95
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			0,95

Kvistsider (trekanter)	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans (0,13+0,04)			0,17
Puds	0,015	0,500	0,03
Forskalling	0,019	0,130	0,15
Isolering	0,020	0,052	0,38
Brædder	0,025	0,130	0,19
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			1,09
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			1,09

2.3.8 Kælder

Varmetabskoefficienter for kælderydervæg og kældergulv er beregnet nedenfor.

Kælderydervæg mod jord	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans, jord			0,50
Overgangsisolans, inde			0,13
Beton	0,340	1,950	0,17
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			1,24
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			1,24

Kældergulv	s	λ	R
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Overgangsisolans, jord			2,00
Overgangsisolans, inde			0,17
Beton	0,100	1,950	0,05
Singels	0,200	0,700	0,29
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,45
Korrektion for luftspalter i isoleringslaget: ingen.			0,00
U			0,45

2.3.9 Vinduer og yderdøre

I huset findes vinduer med både enkelt lag glas og forsatsvinduer. Varmetekniske data for glas/rude og de enkelte vinduesprofilsnit er baseret på beregnede værdier som anført på hjemmesiden www.byg.dtu.dk/vinduer (forsatsvinduer). Der er anvendte værdier for ”referencevindue” (vinduer med enkelt lag glas) og forsatsvinduer svarende til ”Trehøje”.

Følgende beregnede værdier anført i Tabel 2 anvendes generelt til bestemmelse af U-værdierne for de konkrete vinduer.

Tabel 3. U-værdier for vinduer.

Vindueskomponent	Referencevinduer	Forsatsvinduer med alm. glas	Forsatsvinduer med energiglas
Rude	5,8	2,8	1,9
Ramme-karm	2,2	1,4	1,2
Lod- og tværpost	2,4	1,5	1,3

Den samlede U-værdi beregnes på følgende måde:

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Beregnete U-værdier for vinduer og døre er anført i Tabel 4, hvor også gennemsnitlige U-værdier for glas-del (U_g) og træ-del (U_f) er vist. De anførte linietafskoefficienter gælder for

midtersprosserne, og den negative værdi betyder at varmetabet er mindre end i glasdelen. Når der er forsatsvinduer, er varmetabet stort set det samme i de to snit. Vinduesfugen (kalfatringsfugen) tillægges iht. DS418 samme transmissionskoefficient som selve vinduet eller døren.

Det ses at den gennemsnitlige U-værdi i den opvarmede del af huset er beregnet til ca. 3,3 W/m²K.

Tabel 4. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	U _g [W/m ² K]	U _f [W/m ² K]	Ψ _g [W/mK]	U [W/m ² K]
Vindue (2 fag)	1	1,08	1,51	5,80	2,27	-0,032	4,13
Vindue forsats (2 fag)	3	1,08	1,51	2,80	1,44	-	2,19
Vindue forsats nederst (2 fag)	2	1,08	1,51	3,79	1,71	-	2,86
Vindue (2 fag ingen tværpost)	4	1,08	1,13	5,80	2,25	-0,032	4,20
Vindue forsats (3 fag)	1	1,59	1,51	2,80	1,45	-	2,21
Vindue (2 fag ingen tværpost)	2	1,08	0,87	5,80	2,24	-0,032	4,08
Vindue (1 fag)	2	0,56	1,51	5,80	2,22	-0,032	3,95
Hoveddør	1	0,92	2,3	5,80	1,48	-	3,73
Vindue i skråvæg	1	0,54	0,61	2,80	1,45	-	2,03
Kældervindue (2 fag)	6	1,08	0,69	5,80	2,23	-0,032	3,95
Kældervindue (3 fag)	1	1,59	0,69	5,80	2,25	-0,032	4,00
Kælderdør	1	0,92	1,85	0,00	1,80	-	1,80
Total/middelværdi (ekskl. kælder)							3,27

Som energibesparende tiltag opsættes nye forsatsvinduer med energiglas. Resultaterne af tilsvarende beregninger som ovenfor er vist i Tabel 5.

Tabel 5. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre med nye forsatsvinduer med energiglas.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	U _g [W/m ² K]	U _f [W/m ² K]	Ψ _g [W/mK]	U [W/m ² K]
Vindue (2 fag)	1	1,08	1,51	1,90	1,24	-	1,60
Vindue forsats (2 fag)	3	1,08	1,51	1,90	1,24	-	1,60
Vindue forsats nederst (2 fag)	2	1,08	1,51	1,90	1,24	-	1,60
Vindue (2 fag ingen tværpost)	4	1,08	1,13	1,90	1,22	-	1,62
Vindue forsats (3 fag)	1	1,59	1,51	1,90	1,25	-	1,61
Vindue (2 fag ingen tværpost)	2	1,08	0,87	1,90	1,22	-	1,59
Vindue (1 fag)	2	0,56	1,51	1,90	1,21	-	1,56
Hoveddør	1	0,92	2,3	5,80	1,48	-	3,73
Vindue i skråvæg	1	0,54	0,61	2,80	1,45	-	2,03
Kældervindue (2 fag)	6	1,08	0,69	5,80	2,23	-	4,03
Kældervindue (3 fag)	1	1,59	0,69	5,80	2,25	-	4,07
Kælderdør	1	0,92	1,85	0,00	1,80	-	1,80
Total/middelværdi (ekskl. kælder)							1,80

Beregningerne viser at nye forsatsvinduer med energiglas vil reducere den gennemsnitlige U-værdi fra 3,27 til 1,80 W/m²K, svarende til en reduktion på 45 %. Solindfaldet vil reduceres en smule pga. en nedsat solenergitransmittans.

2.4 Beregning af samlingsdetaljer, Psi- og L-værdier

Beregninger af samlingsdetaljer foretages vha. det detaljerede beregningsprogram HEAT2 [2] og THERM [3]. I hvert af de efterfølgende afsnit er der givet en kortfattet gennemgang af hvordan beregningerne er gennemført (forudsætninger, randbetingelser osv.)

2.4.1 Vindue/ydervæg (kuldebro ved lodret og vandret fals)

Der opbygges en 2-dimensional model af et vandret snit (lodret fals) hhv. lodret snit (vandret snit) i samlingen mellem vindue og ydervæg. Beregningsteknisk findes kuldebroeffekten ved at regne på den fulde detalje (vindue, fuge og 1000 mm af ydervæggen) og herudfra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges adiabatisk snit på hver side af gennemmuringen i falsen. Herved bortskæres 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 differencen mellem resultaterne af de to beregninger og dividere med den påtrykte temperaturdifferens fremkommer linietafet for samlingen.

Kuldebro ved vandret fals over vinduer i facaden er medtaget i linietafet for samlingen mellem tagkonstruktion og ydervæg (se beskrivelse nedenfor). Beregning af samlingen mellem vindue og radiatorniche er ligeledes beskrevet separat.

2.4.2 Ydervæg/radiatorniche (lodret fals)

Denne samling er en samling mellem hulmur og formur. Hulmurens fals der grænser op mod radiatornichen er gennemmuret. Princippet for beregning af linietafet er som for beregning af samlingen mellem vindue og ydervæg.

2.4.3 Vindue/radiatorniche (vandret fals)

Beregninger af denne detalje ligner beregninger af samlingen mellem vindue og ydervæg. Forskellen ligger primært i at det kun er nødvendigt med et enkelt adiabatisk snit mellem ydervæg (formur) og vinduesfuge for at bortskære de ønskede kuldebroeffekter og derved kunne beregne linietafet i samlingen.

2.4.4 Tagkonstruktion/ydervæg (kuldebro ved tagfod)

Der findes to varianter af denne samling; ved vinduer og mellem vinduer. Der opbygges 2-dimensionale modeller af et typisk udsnit af samlingen mellem ydervæg og loft-/tagkonstruktion. Det typiske udsnit ved vinduer svarer til at der modelleres vindue, stik, gesims og 1,5 m af den vandrette skunk (fra indersiden af ydervæggen), mens der mellem vinduer modelleres 1,0 m af ydervæggen under loftets underside og 1,5 m af den vandrette skunk. Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk snit således at hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen samt at der ved vinduer indlægges et adiabatisk snit mellem vindue og væg, så også denne geometriske effekt inkluderes. For begge de to varianter regnes på snit imellem og i bjælkerne i etageadskillelsen. Linietafet bestemmes ved vægtning af de to linietaf.

2.4.5 Skunk (kuldebro ved vandret og lodret skunk)

Der opbygges en 2-dimensional model af et lodret snit i samlingen mellem vandret og lodret skunk - både imellem og i bjælkerne. Beregningsteknisk findes kuldebroeffekten ved at regne på den fulde detalje, svarende til 1 m af begge konstruktioner, og herudfra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages beregninger af den 1-dimensionale varmestrøm gennem hver af de to konstruktionsdele. Ved at tage differencen mellem resultaterne af de to beregninger og dividere med den påtrykte

temperaturdifferens samt vægte linietafet for snittene imellem og i bjælkerne fremkommer linietafet for samlingen.

2.4.6 Skunk/skråvæg (kuldebro ved lodret skunk og skråvæg)

Beregningerne foretages analogt til beregningerne for skunk.

2.4.7 Skråvæg/hanebåndsloft

Beregningerne foretages analogt til beregningerne for skunk.

2.4.8 Ydervæg/ydervæg

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen ved ydervægshjørnet. Af ydervæggen modelleres 1,0 m op til hjørnet (indvendige mål). Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk snit, så 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.

2.5 Sammenfatning af resultater

På baggrund af varmetransmissionskoefficienterne fastlagt i det foregående, kan der nu gennemføres en beregning af husets samlede varmetabskoefficient, og samtidig kan det dimensionerende varmetab og kuldebroandelen bestemmes. I Tabel 6 er den samlede varmetabskoefficient for huset beregnet og i Tabel 7 er det dimensionerende varmetab beregnet.

Huset samlede varmetabskoefficient er den summerede værdi af de stationære varmestrømme i bygningsdele/samlinger divideret med temperaturforskellen mellem omgivelserne på hver side af bygningsdelen/samlingen. Ved varmestrømme i samlinger forstås de 2-dimensionale varmestrømme i samlinger mellem bygningsdele forårsaget af de aktuelle geometriske og konstruktive forhold.

Det dimensionerende varmetab for huset er den varmeeffekt, der skal ydes for at opretholde den fastlagte indetemperatur ved de fastlagte ydre temperaturbetingelser. Det dimensionerende varmetab består af transmissionstabet og ventilationstabet. Transmissionstabet er den varmemængde, der pr. tidsenhed strømmer gennem husets begrænsningsflader (klimaskærm) på grund af temperaturforskelle, mens ventilationstabet er den varmemængde pr. tidsenhed, som på grund af luftfornyelse i huset medgår til opvarmning af indstrømmende luft.

Kuldebroandelen er de 2-dimensionale og ekstra 1-dimensionale varmestrømmes andel af det samlede dimensionerende transmissionstab. De ekstra 1-dimensionale varmestrømme fremkommer som forskellen mellem den 1-dimensionale varmestrøm ud for kuldebroen (f.eks. ommuringer ved vinduer for en isoleret hulmur) og den 1-dimensionale varmestrøm i et normalsnit i bygningsdelen.

Tabel 6. Samlede varmetabskoefficient - hus før energireovering.

Konstruktioner	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]
Etagedæk mod kælder	1,12	83,6	93,8
Hulmur	1,43	82,9	118,8
Vandret fals (stik)	1,58	5,2	8,2
Vandret fals (under vinduer)	1,58	1,5	2,4
Lodret fals	1,58	4,6	7,2
Brystninger (radiatornicher)	2,54	5,9	14,9
Udmuret vindue	1,46	2,5	3,6
Hanebåndsloft	0,55	39,4	21,7
Skråvæg	0,69	22,7	15,7
Lodret skunk (skabs-side)	0,68	19,1	12,9
Lodret skunk (kvist-side)	0,68	16,6	11,2
Vandret skunk	0,50	24,0	12,1
Kvisttag	0,95	1,7	1,6
Kvistsider	1,09	1,3	1,5
Vindue enkelt (1,11x1,54), 1 stk.	4,13	1,7	7,1
Vindue forsats (1,11x1,54), 3 stk.	2,19	5,1	11,2
Vindue forsats nederst (1,11x1,54), 2 stk.	2,86	3,4	9,8
Vindue (1,11x1,16), 4 stk.	4,20	5,2	21,6
Vindue forsats (1,62x1,54), 1 stk.	2,21	2,5	5,5
Vindue kvist (1,11x0,95), 2 stk.	4,08	2,0	8,1
Vindue (0,585x1,54), 2 stk.	3,95	1,8	7,1
Hoveddør (0,95x2,30), 1 stk.	3,73	2,2	8,1
Vindue i skråvæg (0,54x0,61), 1 stk.	2,03	0,3	0,7
		ΣU·A =	404,9
Samlinger	Ψ [W/mK]	l [m]	Ψ·l [W/K]
Vandret fals (over gavlvinduer stueetage)	0,097	2,2	0,2
Vandret fals (bund)	0,103	6,7	0,7
Vandret fals (radiatornicher)	0,032	7,2	0,2
Lodret fals (vinduer)	0,099	41,6	4,1
Lodret fals (radiatornicher)	0,139	9,4	1,3
Tagfod (facader ved vinduer)	0,286	8,2	2,3
Tagfod (facader mellem vinduer)	0,189	10,8	2,0
Skunk (vandret/lodret)	0,049	24,6	1,2
Skunk / skråvæg	0,028	17,2	0,5
Skråvæg / loft	0,057	19,0	1,1
Tagfod (gavl ved vinduer)	0,317	4,4	1,4
Tagfod (gavl mellem vinduer)	0,209	3,9	0,8
Hushjørne	0,189	10,6	2,0
		ΣΨ·l =	17,9
		ΣU·A + Ψ·l =	422,8

Tabel 7 Dimensionerende varmetab, hus før energireovering.

Konstruktioner	U·A [W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Etagedæk mod kælder	93,8	20-16	375
Hulmur	118,8	20-(-12)	3.802
Vandret fals (stik)	8,2	20-(-12)	262
Vandret fals (under vinduer)	2,4	20-(-12)	77
Lodret fals	7,2	20-(-12)	231
Brystninger (radiatornicher)	14,9	50-(-12)	925
Udmuret vindue	3,6	20-(-12)	116
Hanebåndsloft	21,7	20-(-12)	694
Skråvæg	15,7	20-(-12)	504
Lodret skunk (skabs-side)	12,9	20-(-12)	412
Lodret skunk (kvist-side)	11,2	20-(-12)	360
Vandret skunk	12,1	20-(-12)	386
Kvisttag	1,6	20-(-12)	50
Kvistsider	1,5	20-(-12)	47
Vindue enkelt (1,11x1,54), 1 stk.	7,1	20-(-12)	226
Vindue forsats (1,11x1,54), 3 stk.	11,2	20-(-12)	359
Vindue forsats nederst (1,11x1,54), 2 stk.	9,8	20-(-12)	313
Vindue (1,11x1,16), 4 stk.	21,6	20-(-12)	692
Vindue forsats (1,62x1,54), 1 stk.	5,5	20-(-12)	176
Vindue kvist (1,11x0,95), 2 stk.	8,1	20-(-12)	261
Vindue (0,585x1,54), 2 stk.	7,1	20-(-12)	228
Hoveddør (0,95x2,30), 1 stk.	8,1	20-(-12)	261
Vindue i skråvæg (0,54x0,61), 1 stk.	0,7	20-(-12)	21
		ΣKonstruktioner=	10.778
Samlinger	Ψ·1 [W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Vandret fals (over gavlvinduer stueetage)	0,2	20-(-12)	7
Vandret fals (bund)	0,7	20-(-12)	22
Vandret fals (radiatornicher)	0,2	50-(-12)	14
Lodret fals (vinduer)	4,1	20-(-12)	131
Lodret fals (radiatornicher)	1,3	50-(-12)	81
Tagfod (facader ved vinduer)	2,3	20-(-12)	75
Tagfod (facader mellem vinduer)	2,0	20-(-12)	65
Skunk (vandret/lodret)	1,2	20-(-12)	38
Skunk / skråvæg	0,5	20-(-12)	16
Skråvæg / loft	1,1	20-(-12)	35
Tagfod (gavl ved vinduer)	1,4	20-(-12)	45
Tagfod (gavl mellem vinduer)	0,8	20-(-12)	26
Hushjørne	2,0	20-(-12)	64
		ΣSamlinger =	620
		ΣKonstruktioner + Samlinger =	11.398
Ventilationstab: $0,34 \cdot n \cdot V \cdot (T_{\text{inde}} - T_{\text{ude}}) = 0,34 \cdot 1,0 \cdot 334 \cdot (20 - (-12)) =$			3.637
Dimensionerende varmetab			15.034

Det fremgår af beregningerne at det samlede dimensionerende varmetab (inkl. ventilationstab) i den opvarmede del af huset er ca. 15 kW.

Kuldebroandelen af det dimensionerende varmetab er større end samlingernes andel, idet f.eks. kuldebroerne i brystninger og vandret fals (stik) ikke er medtaget heri. Den samlede kuldebroandel er beregnet i Tabel 8.

Tabel 8. Kuldebroandel, hus før energirenovering.

Konstruktioner og samlinger	[W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Vandret fals (stik), 1D	0,7	20-(-12)	24
Vandret fals (under vinduer), 1D	0,2	20-(-12)	7
Lodret fals, 1D	0,7	20-(-12)	21
Brystninger (radiatornicher), 1D	6,5	50-(-12)	404
Udmuret vindue, 1D	0,1	20-(-12)	2
Etagedæk mod kælder, 2D	8,0	20-16	32
Hanebåndsloft, 2D	0,6	20-(-12)	19
Skråvæg, 2D	1,1	20-(-12)	35
Lodret skunk (skabs-side), 2D	0,6	20-(-12)	18
Lodret skunk (kvist-side), 2D	0,5	20-(-12)	16
Vandret skunk, 2D	0,8	20-(-12)	27
Vandret fals (gavlvinduer), 2D	0,2	20-(-12)	7
Vandret fals (bund), 2D	0,7	20-(-12)	22
Vandret fals (radiatornicher), 2D	0,2	50-(-12)	14
Lodret fals (vinduer), 2D	4,1	20-(-12)	131
Lodret fals (radiatornicher), 2D	1,3	50-(-12)	81
Tagfod (facader ved vinduer), 2D	2,3	20-(-12)	75
Tagfod (facader mellem vinduer), 2D	2,0	20-(-12)	65
Skunk (vandret/lodret), 2D	1,2	20-(-12)	38
Skunk / skråvæg, 2D	0,5	20-(-12)	16
Skråvæg / loft, 2D	1,1	20-(-12)	35
Tagfod (gavl ved vinduer), 2D	1,4	20-(-12)	45
Tagfod (gavl mellem vinduer), 2D	0,8	20-(-12)	26
Hushjørne	2,0	20-(-12)	64
Total			1224

Det samlede dimensionerende transmissionstab er således ca. 11.398 W, mens kuldebroerne udgør ca. 1.224 W, svarende til ca. 11 %. Kuldebroerne udgør altså en forholdsvis lille del af det dimensionerende transmissionstab, hvilket er forventeligt, da klimaskærmskonstruktionerne generelt er dårligt isoleret.

Til sammenligning med ovenstående resultater er der i Tabel 9 og Tabel 10 angivet varmetabskoefficienter og dimensionerende varmetab for huset med de skitserede energibesparende tiltag.

Tabel 9. Samlede varmetabskoefficient - hus efter energireovering.

Konstruktioner	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]
Etagedæk mod kælder	1,12	83,6	93,8
Hulmur	0,45	82,9	37,2
Vandret fals (stik)	1,58	5,2	8,2
Vandret fals (under vinduer)	1,58	1,5	2,4
Lodret fals	1,58	4,6	7,2
Brystninger (radiatornicher)	0,41	5,9	2,4
Udmuret vindue	1,46	2,5	3,6
Hanebåndsloft	0,12	39,4	4,8
Skråvæg	0,44	22,7	10,0
Lodret skunk (skabs-side)	0,13	15,6	2,0
Lodret skunk (kvist-side)	0,13	14,2	1,8
Vandret skunk	0,12	21,0	2,5
Kvisttag	0,95	1,7	1,6
Kvistsider	1,09	1,3	1,5
Vindue enkelt (1,11x1,54), 1 stk.	1,60	1,7	2,7
Vindue forsats (1,11x1,54), 3 stk.	1,60	5,1	8,2
Vindue forsats nederst (1,11x1,54), 2 stk.	1,60	3,4	5,5
Vindue (1,11x1,16), 4 stk.	1,62	5,2	8,3
Vindue forsats (1,62x1,54), 1 stk.	1,61	2,5	4,0
Vindue kvist (1,11x0,95), 2 stk.	1,59	2,0	3,2
Vindue (0,585x1,54), 2 stk.	1,56	1,8	2,8
Hoveddør (0,95x2,30), 1 stk.	3,73	2,2	8,1
Vindue i skråvæg (0,54x0,61), 1 stk.	2,03	0,3	0,7
		ΣU·A =	222,5
Samlinger	Ψ [W/mK]	l [m]	Ψ·l [W/K]
Vandret fals (over gavlvinduer stueetage)	0,142	2,2	0,3
Vandret fals (bund)	0,123	6,7	0,8
Vandret fals (radiatornicher)	0,073	7,2	0,5
Lodret fals (vinduer)	0,123	41,6	5,1
Lodret fals (radiatornicher)	0,108	9,4	1,0
Tagfod (facader ved vinduer)	0,373	8,2	3,1
Tagfod (facader mellem vinduer)	0,322	10,8	3,5
Skunk (vandret/lodret)	0,019	24,6	0,5
Skunk / skråvæg	0,034	17,2	0,6
Skråvæg / loft	0,046	19,0	0,9
Tagfod (gavl ved vinduer)	0,301	4,4	1,3
Tagfod (gavl mellem vinduer)	0,276	3,9	1,1
Hushjørne	0,091	10,6	1,0
		ΣΨ·l =	19,6
		ΣU·A + Ψ·l =	242,1

Tabel 10. Dimensionerende varmetab, hus efter energireovering.

Konstruktioner	U·A [W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Etagedæk mod kælder	93,8	20-16	375
Hulmur	37,2	20-(-12)	1.189
Vandret fals (stik)	8,2	20-(-12)	262
Vandret fals (under vinduer)	2,4	20-(-12)	77
Lodret fals	7,2	20-(-12)	231
Brystninger (radiatornicher)	2,4	50-(-12)	149
Udmuret vindue	3,6	20-(-12)	116
Hanebåndsloft	4,8	20-(-12)	152
Skråvæg	10,0	20-(-12)	320
Lodret skunk (skabs-side)	2,0	20-(-12)	64
Lodret skunk (kvist-side)	1,8	20-(-12)	58
Vandret skunk	2,5	20-(-12)	80
Kvisttag	1,6	20-(-12)	50
Kvistsider	1,5	20-(-12)	47
Vindue enkelt (1,11x1,54), 1 stk.	2,7	20-(-12)	88
Vindue forsats (1,11x1,54), 3 stk.	8,2	20-(-12)	263
Vindue forsats nederst (1,11x1,54), 2 stk.	5,5	20-(-12)	175
Vindue (1,11x1,16), 4 stk.	8,3	20-(-12)	266
Vindue forsats (1,62x1,54), 1 stk.	4,0	20-(-12)	129
Vindue kvist (1,11x0,95), 2 stk.	3,2	20-(-12)	102
Vindue (0,585x1,54), 2 stk.	2,8	20-(-12)	90
Hoveddør (0,95x2,30), 1 stk.	8,1	20-(-12)	261
Vindue i skråvæg (0,54x0,61), 1 stk.	0,7	20-(-12)	21
		ΣKonstruktioner=	4.566
Samlinger	Ψ·1 [W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Vandret fals (over gavlvinduer stueetage)	0,3	20-(-12)	10
Vandret fals (bund)	0,8	20-(-12)	26
Vandret fals (radiatornicher)	0,5	50-(-12)	33
Lodret fals (vinduer)	5,1	20-(-12)	163
Lodret fals (radiatornicher)	1,0	50-(-12)	63
Tagfod (facader ved vinduer)	3,1	20-(-12)	98
Tagfod (facader mellem vinduer)	3,5	20-(-12)	111
Skunk (vandret/lodret)	0,5	20-(-12)	15
Skunk / skråvæg	0,6	20-(-12)	19
Skråvæg / loft	0,9	20-(-12)	28
Tagfod (gavl ved vinduer)	1,3	20-(-12)	43
Tagfod (gavl mellem vinduer)	1,1	20-(-12)	34
Hushjørne	1,0	20-(-12)	31
		ΣSamlinger =	673
		ΣKonstruktioner + Samlinger =	5.239
Ventilationstab: $0,34 \cdot n \cdot V \cdot (T_{\text{inde}} - T_{\text{ude}}) = 0,34 \cdot 0,5 \cdot 334 \cdot (20 - (-12)) =$			1.818
Dimensionerende varmetab			7058

Det fremgår af beregningerne at det samlede dimensionerende varmetab (inkl. ventilationstab) i den opvarmede del af huset er ca. 7,1 kW, svarende til at det er reduceret med 53 %. Det er antaget at luftskiftet reduceres fra 1,0 h⁻¹ til 0,5 h⁻¹, som følge af energirenoveringen (primært pga. mere tætte vinduer).

Kuldebroandelen fremgår af Tabel 11.

Tabel 11. Kuldebroandel, hus efter energirenovering.

Konstruktioner og samlinger	[W/K]	ΔT [K]	Φ [W]
Vandret fals (stik), 1D	6,0	20-(-12)	191
Vandret fals (under vinduer), 1D	1,8	20-(-12)	56
Lodret fals, 1D	5,3	20-(-12)	168
Brystninger (radiatornicher), 1D	-0,1	50-(-12)	-7
Udmuret vindue, 1D	2,6	20-(-12)	82
Etagedæk mod kælder, 2D	8,0	20-16	32
Hulmur, bindere	1,7	20-(-12)	53
Hanebåndsloft, 2D	0,2	20-(-12)	7
Skråvæg, 2D	1,3	20-(-12)	43
Lodret skunk (skabs-side), 2D	0,0	20-(-12)	1
Lodret skunk (kvist-side), 2D	0,0	20-(-12)	1
Vandret skunk, 2D	0,0	20-(-12)	1
Vandret fals (gavlvinduer), 2D	0,3	20-(-12)	10
Vandret fals (bund), 2D	0,8	20-(-12)	26
Vandret fals (radiatornicher), 2D	0,5	50-(-12)	33
Lodret fals (vinduer), 2D	5,1	20-(-12)	163
Lodret fals (radiatornicher), 2D	1,0	50-(-12)	63
Tagfod (facader ved vinduer), 2D	3,1	20-(-12)	98
Tagfod (facader mellem vinduer), 2D	3,5	20-(-12)	111
Skunk (vandret/lodret), 2D	0,5	20-(-12)	15
Skunk / skråvæg, 2D	0,6	20-(-12)	19
Skråvæg / loft, 2D	0,9	20-(-12)	28
Tagfod (gavl ved vinduer), 2D	1,3	20-(-12)	43
Tagfod (gavl mellem vinduer), 2D	1,1	20-(-12)	34
Hushjørne	1,0	20-(-12)	31
Total			1.302

Det samlede dimensionerende transmissionstab er ca. 5.239 W, mens kuldebroerne udgør ca. 1.302 W, svarende til ca. 25 %. Efter energirenoveringen udgør kuldebroerne altså en forholdsvis større del af det dimensionerende transmissionstab, hvilket ikke er overraskende, da kuldebroer generelt får en øget betydning ved øget isoleringsgrad. Konkret er varmemstrømmen fortsat betydelig ud for bl.a. de massive ydervægspartier omkring vinduer og døre, der ikke efterisoleres.

Dermed er det også tydeligt at det er vigtigt at have fokus på kuldebroernes betydning i forbindelse med energirenovering.

3 Beregning af energiforbrug

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede simuleringer af det forventede energiforbrug til rumopvarmning før og efter energirenoveringen. Der foretages en simulering af huset som helhed, hvor effekten af effektiv varmekapacitet, solindfald samt detaljerede beskrivelser af de anvendte systemer indgår.

3.1 Beskrivelse af model

Beregningsmodellen opbygges i BSIM2002 [4].

3.1.1 Zoner

Huset opdeles i termiske zoner svarende til rumopdelingen. Kælderen opdeles dog kun i to zoner, svarende til fyrrum og øvrig kælder. I hver af de enkelte zoner defineres de omkringliggende konstruktioner svarende til ydervæg, indervæg, kælderdek mod jord, etageadskillelser, skunkkonstruktioner, loft-/tagkonstruktion og vinduer og døre. Alle rum (ekskl. kælder) forudsættes opvarmet til 20 °C, svarende til den normale dimensionerende indetemperatur i boliger.

3.1.2 Kuldebroer

De beregnede kuldebroeffekter, f.eks. ved vinduestilslutninger og tagfod, beskriver det ekstra varmetab som opstår i samlingerne set i forhold til en ideel samling, hvor kun U-værdien for vindue, væg, loft/tag osv. indgår. Disse kuldebroer opgøres for hvert rum/zone og medtages i beregningsmodellen i form af en forhøjelse af varmeledningsevnen af isoleringen i udvalgte ydervægsflader. Nogle kuldebroer er udsat for en større temperaturforskel end mellem ude og inde, hvilket gælder vandret og lodret fals ved radiatornicher. For at medtage dette forhold i beregningerne øges kuldebroens størrelse med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold.

3.1.3 Ventilation / Infiltration

Ventilationen i huset er baseret på naturlig ventilation. Bygningsreglementet for småhuse foreskriver at ventilationen i ethvert beboelsesrum og i huset totalt skal være et luftskifte på mindst 0,5 gange i timen. Der regnes med dette luftskifte for samtlige zoner (inkl. kælder).

3.1.4 Intern varmelast fra personer, belysning og eludstyr

Det gennemsnitlige interne varmetilskud fra personer, belysning og el-udstyr fastsættes med udgangspunkt i SBI-anvisning 184 [5] til 5 W/m² opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af huset og hele døgnet i fyringssæsonen. Varmetilskuddet fordeles på de enkelte zoner baseret på det indvendige gulvareal, hvilket er en simpel og rimelig måde at medtage den interne varmelast. En mulighed er også at specificere et brugsmønstre for huset, men indvirkningen på opvarmningsbehovet skønnes at være minimal.

3.1.5 Varmetilskud fra varmeinstallationer i kælder

Huset kælder er ikke direkte opvarmet i traditionel forstand via radiatorer, men indirekte pga. et betydeligt varmetab fra især kedel (uisoleret) og varmerør. Varmeafgivelsen indvirker på varmebehovet i den øvrige del af huset via varmetransmission gennem etageadskillelsen.

På baggrund af indsamlede oplysninger om rørdimensioner, rørlængder, isoleringsgrad, vandtemperatur mm., er der beregnet varmetilskud i de to termiske zoner, som kælderen er opdelt i (se Tabel 12). Dette er gjort under antagelse af at de ca. 20 mm rørisolering svarer til

isoleringsværdien af 20 mm lamelmåtter (og at de 30 mm isolering af varmtvandsbeholderen svarer til 30 mm lamelmåtte). Der kan dog konkret ikke være tale om lamelmåtter, da produktet er kommet på markedet efter 1952, hvor den nuværende isolering formodes at være etableret, men det antages at isoleringsværdien vil svare meget godt til den eksisterende isolering. I lamelmåtter går uldens fibre vinkelret på isotermerne, hvilket gør produktet bøjeligt og giver en god trykstyrke, men dette er ikke optimalt mht. isoleringsevnen. Den anvendte isolering har sandsynligvis fibrene parallelt på isotermerne og har derfor nok en lidt bedre isoleringsevne end lamelmåtte. Hvis der antages at isoleringsarbejdet er udført normalt, vil beregninger med lamelmåtter give et lidt for stort varmetab. Bøjninger er udført i asbest isolering med en væsentlig dårligere isoleringsevne end mineraluldsisolering, hvilket til dels opvejer det for store varmetab. Alt i alt antages beregningerne at være lidt på den sikre side. Det vurderes ikke at være nødvendigt med en parametervariation mht. varmetabet i kælderen.

Tabel 12. Beregnede varmetab (kW) fra varmeinstallationer i kælder (kedel, rør og varmtvandsbeholder).

Fyrrum:	0,95
Øvrig kælder:	0,61
Total	1,46

Det at varmetab fra varmeinstallationerne medtages direkte i beregningsmodellen betyder at beregningerne direkte og detaljeret fastlægger hvor meget af varmetabet der nyttiggøres til rumopvarmning.

3.1.6 Udluftning

I den opvarmede del af huset antages det at der foretages udluftning (f.eks. ved at åbne vinduer) ved temperaturer over 24 °C. I simuleringen modelleres dette så der så vidt muligt ikke forekommer temperaturer over 24 °C nogen steder i huset, svarende til at der i tilfælde af en høj temperatur igangsættes en udluftning af det pågældende rum med et luftskifte på mellem 3 h⁻¹ og 5 h⁻¹, afhængig af vind- og temperaturforhold.

3.1.7 Opvarmning

I samtlige rum (undtagen gang på 1. sal.) defineres opvarmning svarende til en samlet maksimal effekt på 13 kW (jf. beregning af dimensionerende varmetab).

3.2 Simulering

Simuleringen med bygningsmodellen foretages på baggrund af programmets rutiner og der anvendes i denne forbindelse udeklimadata svarende til referenceåret Design Reference Year (Danmark.DRY). Data i Danmark.DRY omfatter udover udetemperatur og solstråling også data for skydækket om natten og vindretningen. Skydækket om natten er relevante, idet der regnes med langbølget strålingsudveksling til himlen. Som model for beregning af solindfald er anvendt Perez.

Resultaterne som præsenteres i det følgende er værdier for fyringssæsonen, defineret som september til maj (inkl.). Udetemperaturen i denne periode er 5,0 °C.

3.2.1 Grundmodel

Grundmodellen svarer til huset som det er bygget, idet der dog er enkelte parametre, f.eks. det naturlige luftskiftes størrelse, som på forhånd er svære at fastsætte helt præcist. Udgangspunktet er således en model hvor det interne varmetilskud er fastsat som 5 W/m² og det naturlige luftskifte er

1,0 h⁻¹. Luftskiftes på 1,0 fastholdes også i efter-situationen for grundmodellen, selvom der må forventes en forbedring af husets lufttæthed, men dette er gjort for bedre at kunne vurdere betydningen af isoleringstiltagene.

3.2.2 Parametervariationer

Der gennemføres parametervariationer på de to usikre parametre i forbindelse med simuleringen af huset, svarende til det interne varmetilskud og størrelsen af luftskiftet. I Tabel 13 er vist en oversigt og nedenfor en kort forklaring.

Tabel 13. Beskrivelse af parametervariationer.

Modelnavn	Internt varmetilskud [W/m ²]	Naturligt luftskifte [h ⁻¹]
Grundmodel	5	1,0
IV3	3	1,0
VENT0,5	5	0,5
VENT1,5	5	1,5
WCS	3	1,5

IV 3: I denne model er det interne varmetilskud reduceret fra 5 W/m² til 3 W/m². Et niveau på 3 W/m² svarer til en situation hvor der benyttes energirigtige apparater og lavenergibelysning.

VENT0,5: I denne model er luftskiftet mindsket med 50 % i forhold til det forventede niveau før energirenoeringen (1,0 h⁻¹), svarende til 0,5 h⁻¹. Dette luftskifte kan forventes at svare omtrent til niveauet efter renoeringen, men er næppe et realistisk luftskifte for huset før energirenoeringen.

VENT1,5: I denne model er luftskiftet forøget med 50 % i forhold til det forventede niveau før energirenoeringen (1,0 h⁻¹), svarende til 1,5 h⁻¹. Ud fra denne model er det muligt at vurdere betydningen af et større luftskifte før energirenoeringen end forventet.

WCS (Worst Case Scenario): I denne model varieres de to parametre til ugunst for varmebehovet, dvs. der regnes med et internt varmetilskud på 3 W/m² og et luftskifte på 1,5 h⁻¹.

3.3 Resultater

I dette afsnit gennemgås resultaterne af de detaljerede simuleringer. De resulterende energibalancer er vist i Tabel 14 og Tabel 15.

Det skal bemærkes at de beregnede energiforbrug til rumopvarmning er nettoenergiforbrug, dvs. at der er regnet med ideel opvarmning, svarende til at energiforbruget er netop den energimængde der skal tilføres i den opvarmede del af huset for at opretholde den ønskede rumtemperatur.

Bruttoenergiforbruget opgøres efterfølgende og er defineret som det total energiforbrug, dvs. inkl. tab i forbindelse med forbrændingen af olie i kedlen. Bruttoenergiforbrug til opvarmning (inkl. varmt brugsvand) indbefatter således nettoenergiforbruget til rumopvarmning, nettoenergiforbruget til varmt brugsvand, ikke-nyttiggjorte varmetab fra varmerør og varmtvandsbeholder i den uopvarmede kælder samt kedelvarmetab (udtrykt ved årsnyttevirkningen).

3.3.1 Rumopvarmning - nettoenergiforbrug

Det ses af Tabel 14 at rumopvarmningsbehovet for grundmodellen er 40,2 MWh/år. Et mindre internt gratisvarmetilskud, svarende til brug af lavenergi-apparatur og belysning, forøger varmebehovet med ca. 5 %, mens et luftskifte på $1,5 \text{ h}^{-1}$ i stedet for $1,0 \text{ h}^{-1}$ resulterer i et varmebehov der er ca. 14 % større end for grundmodellen. Det ses også ved sammenligning af G-model og WCS, at varmebehovet forøges med 18 % for dette scenarie.

Tabel 14. Resultater for modeller før energibesparende tiltag [MWh/år].

Energibalance		G-model	IV3	VENT0,5	VENT1,5	WCS
Q_{opv}	Energiforbrug til rumopvarmning	40,2	42,1	34,0	45,7	47,5
Q_{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-15,2	-15,2	-7,8	-22,1	-22,0
Q_{udl}	Varmetab ved udluftning	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_{sol}	Energi tilført ved solindfald	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Q_{udst}	Varme tilført fra el-udstyr og pers.	5,3	3,2	5,3	5,3	3,2
$Q_{\text{kælder}}$	Varme tilført i kælder (instal.)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
Q_{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-43,7	-43,6	-44,9	-42,3	-42,1

I Tabel 15 er opgjort varmebalancer for modellerne med energibesparende tiltag. Det ses at nettovarmebehovet kan reduceres til ca. 21.3 MWh for grundmodellen, svarende til en reduktion på 47 % i forhold til situationen før de energibesparende tiltag. Der er ikke taget højde for at luftskiftet alt andet lige vil være mindre efter energirenoeringen (primært pga. tættere vinduer). Hvis det antages at luftskiftet reduceres til $0,5 \text{ h}^{-1}$ i efter-situationen (udgangspunktet er $1,0 \text{ h}^{-1}$), reduceres varmebehovet til 15.3 MWh, svarende til en reduktion i varmebehovet på 62 %.

En reduktion i det interne gratisvarmetilskud vil slå igennem med 93 % på varmebehovet (også i før-situationen), der vil forøges med 9 %. Et 50 % større luftskifte svarende til $1,5 \text{ h}^{-1}$, vil alene forøge varmebehovet med hele 28 %. Beregningerne viser også at hvis der antages både et mindre internt varmetilskud og et større luftskifte (Model WCS), vil varmebehovet øges med 38 %.

Tabel 15. Resultater for modeller efter energibesparende tiltag [MWh/år].

Energibalance		G-model	IV3	VENT0,5	VENT1,5	WCS
Q _{opv}	Energiforbrug til rumopvarmning	21,3	23,2	15,3	27,3	29,3
Q _{inf}	Nettobidrag ved infiltration	-15,4	-15,3	-8,0	-22,4	-22,4
Q _{udl}	Varmetab ved udluftning	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
Q _{sol}	Energi tilført ved solindfald	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q _{udst}	Varme tilført fra el-udstyr og pers.	5,3	3,2	5,3	5,3	3,2
Q _{kælder}	Varme tilført i kælder (instal.)	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Q _{trans}	Trans. tab via klimaskærm	-24,3	-24,2	-25,7	-23,2	-23,2

I Tabel 16 er oversigtsmæssigt opgjort de beregnede nettoenergiforbrug til rumopvarmning og den resulterende energibesparelse. Det ses at besparelsen er ret konstant og kun påvirkes ganske lidt ved ændrede forudsætninger svarende til de omtalte parametervariationer. Den procentvise reduktion varierer som forventet en del.

Tabel 16. Nettoenergiforbrug til rumopvarmning [MWh/år] før og efter de energibesparende tiltag.

Modelnavn	Før	Efter	Besparelse	Reduktion (pct.)
Grundmodel	40,2	21,3	18,9	47
IV3	42,1	23,2	18,9	45
VENT0,5	34,0	15,3	18,7	55
VENT1,5	45,7	27,3	18,4	40
WCS	47,5	29,3	18,2	38

Rumopvarmningsbehovet efter energirenoeringen for en model med et luftskifte på 0,5 h⁻¹ og internt varmetilskud på 5 W/m² (VENT0,5), svarer til 141 % af den nugældende energiramme (68 kWh/m²/år) for nyt byggeri, idet anvendte forudsætninger mht. luftskifte og varmetilskud er som ved energiramme-beregning. Der kan altså med de skitserede energibesparende tiltag opnås et isoleringsniveau, der nærmer sig isoleringsniveauet for nye parcelhuse. Med mere omfattende renoveringstiltag som udvendig efterisolering og mekanisk ventilation med varmegenvinding, vurderes det at nettovarmebehovet kan reduceres med ca. 75 %, og derved komme ned på et niveau svarende til skærpede krav til nye huse i kommende nye energibestemmelser i 2005.

3.3.2 Rumopvarmning - bruttoenergiforbrug

De i BSIM 2002 beregnede energiforbrug til rumopvarmning er som omtalt nettoenergiforbrug (= tilført energimængde for at sikre den ønskede rumtemperatur). De resulterende bruttoenergisparelser afhænger af kedelens årsnyttevirkning (= nyttiggjort effekt i forhold til indfyret effekt). Kedelens varmetab indgår heri. Ved en årsnyttevirkning på f.eks. 75 %, bliver bruttobesparelsen 33 % større end nettobesparelsen, mens bruttobesparelsen er lig med nettobesparelsen ved en årsnyttevirkning på 100 %.

Den aktuelle kedels årsnyttevirkning er vurderet til ca. 65-70 %, hvilket er baseret på målinger af en lignende kedel på Teknologisk Institut. I situationen efter de energibesparende tiltag er den nødvendige kedeffect reduceret, så tomgangstabet vil udgøre en relativt større del, og derfor vil årsnyttevirkningen reduceres lidt. Idet der antages en nyttevirkning på 70 % før energirenoeringen og 65 % efter, fås bruttoenergisparelser som vist i Tabel 17.

Det ses at reduktionen for grundmodellen er 43 %. Hvis det antages at luftskiftet reduceres fra 1,0 h⁻¹ i før situationen (Grundmodel) til 0,5 h⁻¹ efter energirenoeringen (model VENT0,5), vil reduktionen være 59 %.

Tabel 17. Bruttoenergiforbrug til rumopvarmning [MWh/år] før og efter de energibesparende tiltag.

Modelnavn	Før	Efter	Besparelse	Reduktion (pct.)
Grundmodel	57,4	32,7	24,7	43
IV3	60,2	35,7	24,4	41
VENT0,5	48,6	23,5	25,1	52
VENT1,5	65,3	42,0	23,3	36
WCS	67,8	45,1	22,8	34

3.3.3 Opvarmning - bruttoenergiforbrug

I Tabel 18 er beregnet husets samlede bruttoenergiforbrug til opvarmning. Dette inkluderer således energiforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand samt varmetab fra varmerør og varmtvandsbeholder. Nettoenergiforbruget til varmt brugsvand fastsættes på baggrund af nyt bilag 7 til bygningsreglementet (Beregning af bygningers energibehov) til 0,25 m³ pr. m² opvarmet etageareal, hvilket svarer til 2.093 kWh/år (ekskl. tab fra beholder) ved opvarmning fra 10 °C til 55 °C. Det gennemsnitlige varmetab fra beholderen er beregnet til ca. 65 W, svarende til ca. 569 kWh/år. Nettovarmetabet fra varmerør (kun fyringssæson) er beregnet til ca. 5.250 kWh.

Beregningerne viser at det samlede energiforbrug for grundmodellen reduceres med 35 %. Hvis det antages at luftskiftet reduceres fra 1,0 h⁻¹ i før situationen (Grundmodel) til 0,5 h⁻¹ efter energirenoveringen (model VENT0,5), vil reduktionen være 48 %

Tabel 18. Bruttoenergiforbrug til opvarmning [kWh/år] før og efter de energibesparende tiltag.

Modelnavn	Før	Efter	Besparelse	Reduktion (pct.)
Grundmodel	67,8	44,2	23,6	35
IV3	70,6	47,2	23,4	33
VENT0,5	59,0	35,0	24,0	41
VENT1,5	75,7	53,4	22,3	29
WCS	78,2	56,5	21,7	28

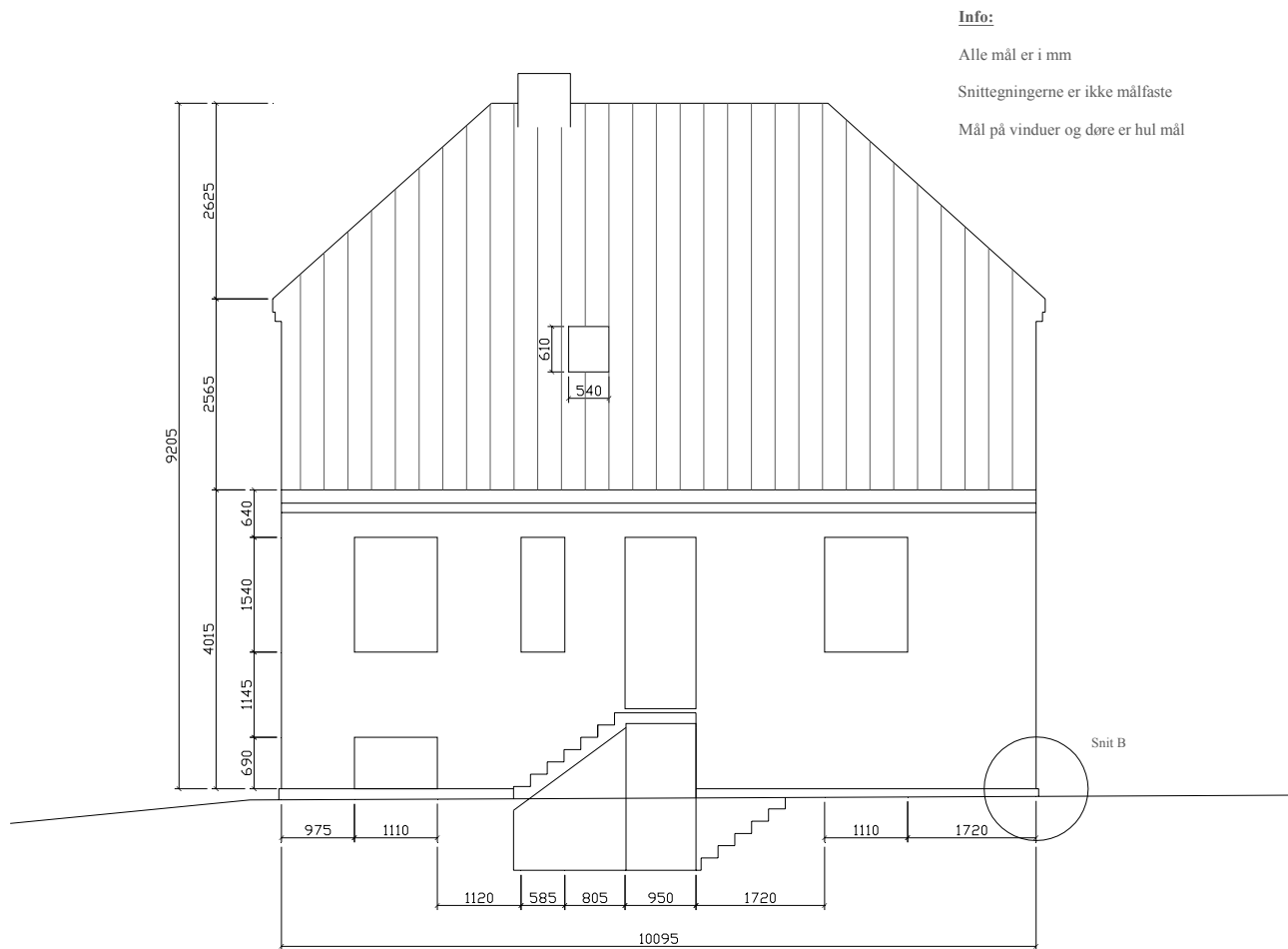
Beregninger viser altså at husets energiforbrug til opvarmning kan reduceres betydeligt ved forholdsvis beskedne klimaskærmsrelaterede efterisoleringstiltag.

Referencer

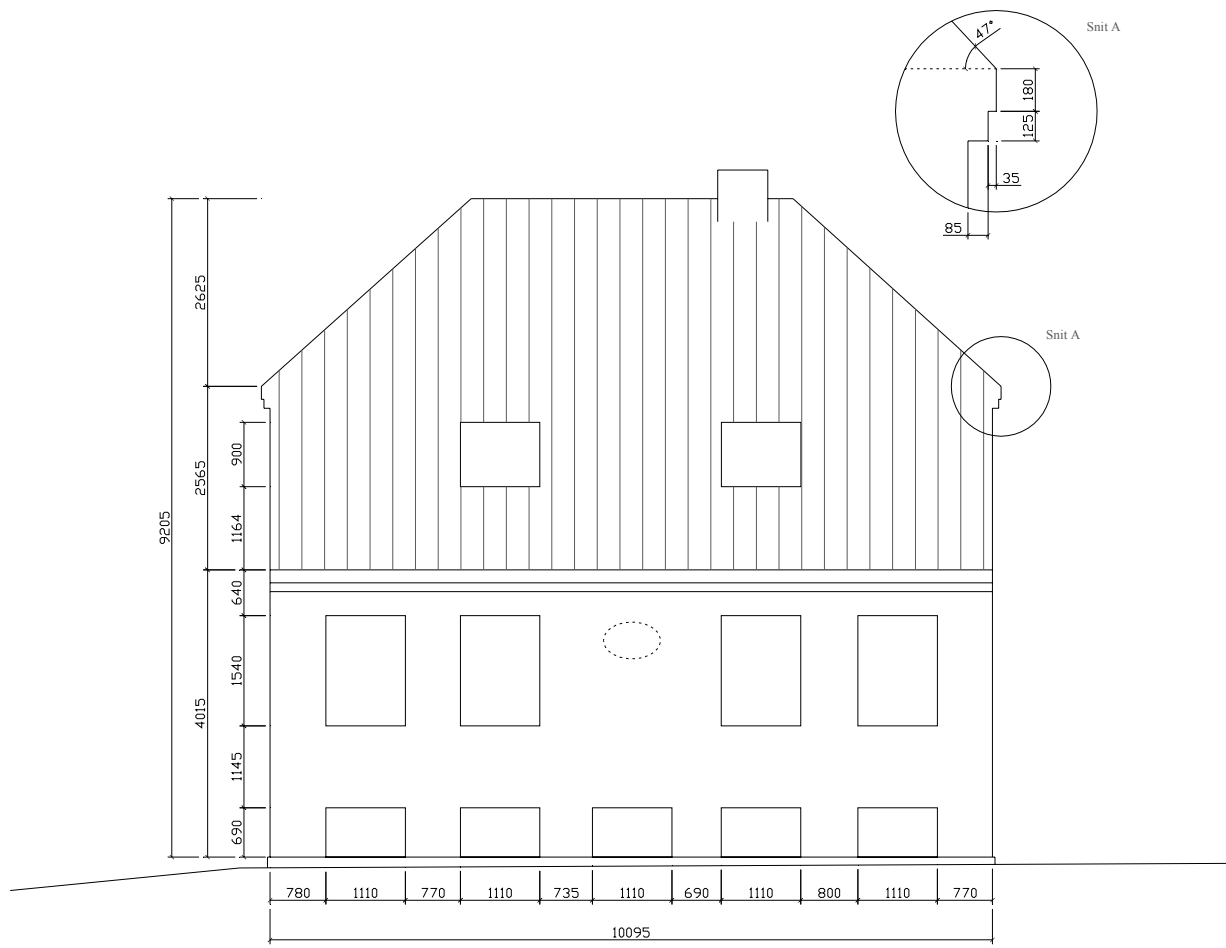
- [1] DS418: Beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard. 2002. 6.udgave.
- [2] HEAT2 (version 5.0). PC-program til beregning af 2-dimensionale varmemstrømme (differens-metode). Blomberg, T. Department of Building Physics, Lund University.
- [3] THERM (version 5.2). Finite Element program til beregning af to-dimensionale varmemstrømme. Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley, USA). 2003.
- [4] BSIM2002 (version 3.4.8.11): Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer. Statens Byggeforskningsinstitut (By og Byg), 2004.
- [5] SBI-anvisning 184. Bygningers varmebehov. Varmeisolering. Konstruktionseksempler, ventilation, belysning. Statens Byggeforskningsinstitut (SBI). 1995.

Bilag

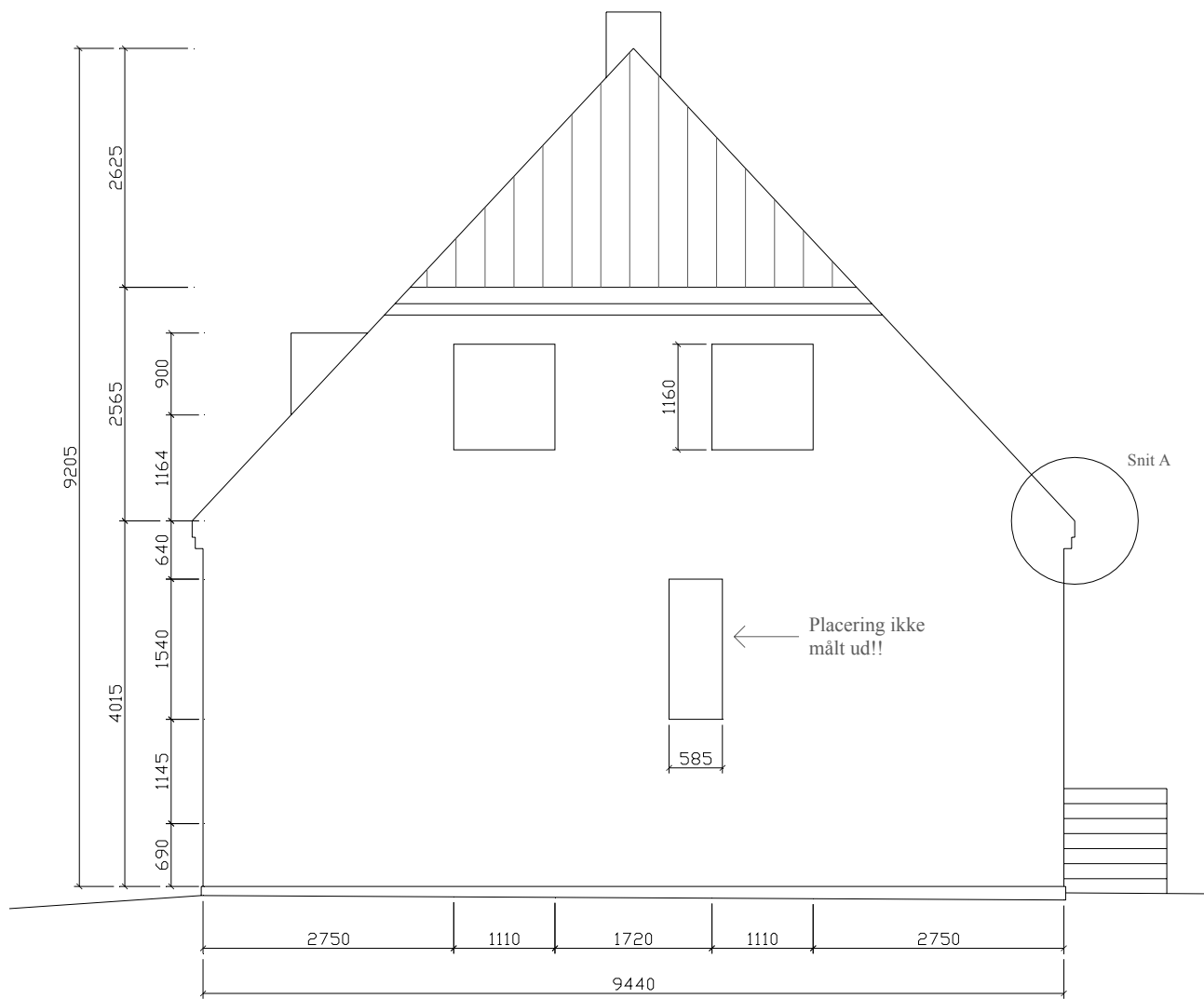
På de efterfølgende sider er der vist tegninger af huset. Tegningerne er generelt ikke målfaste og det er ikke intentionen at tekst på tegningerne skal kunne læses, idet der i stedet for henvises til beskrivelsen af huset i rapportens kapitel 2.



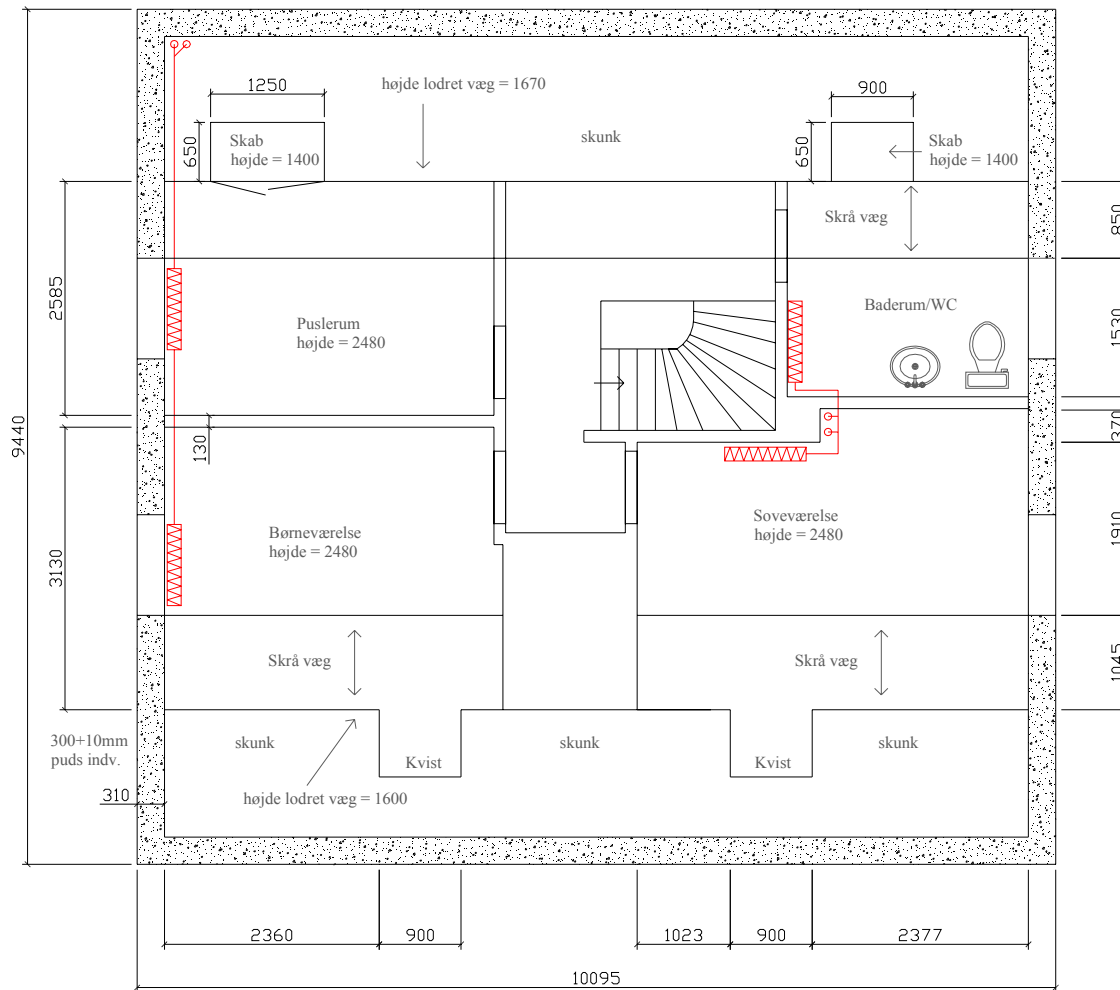
Bilag 1: Nordfacade.



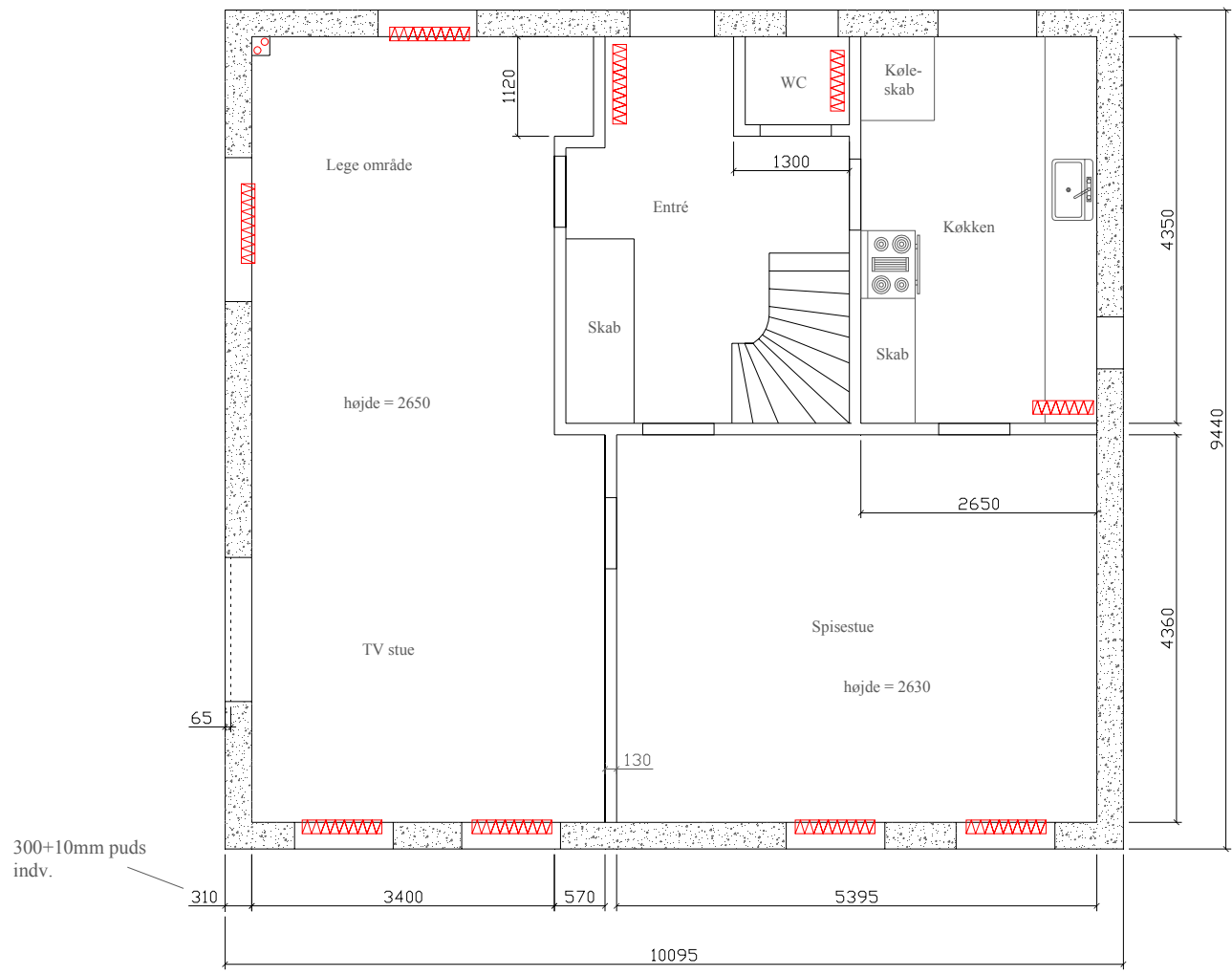
Bilag 2: Sydfacade.



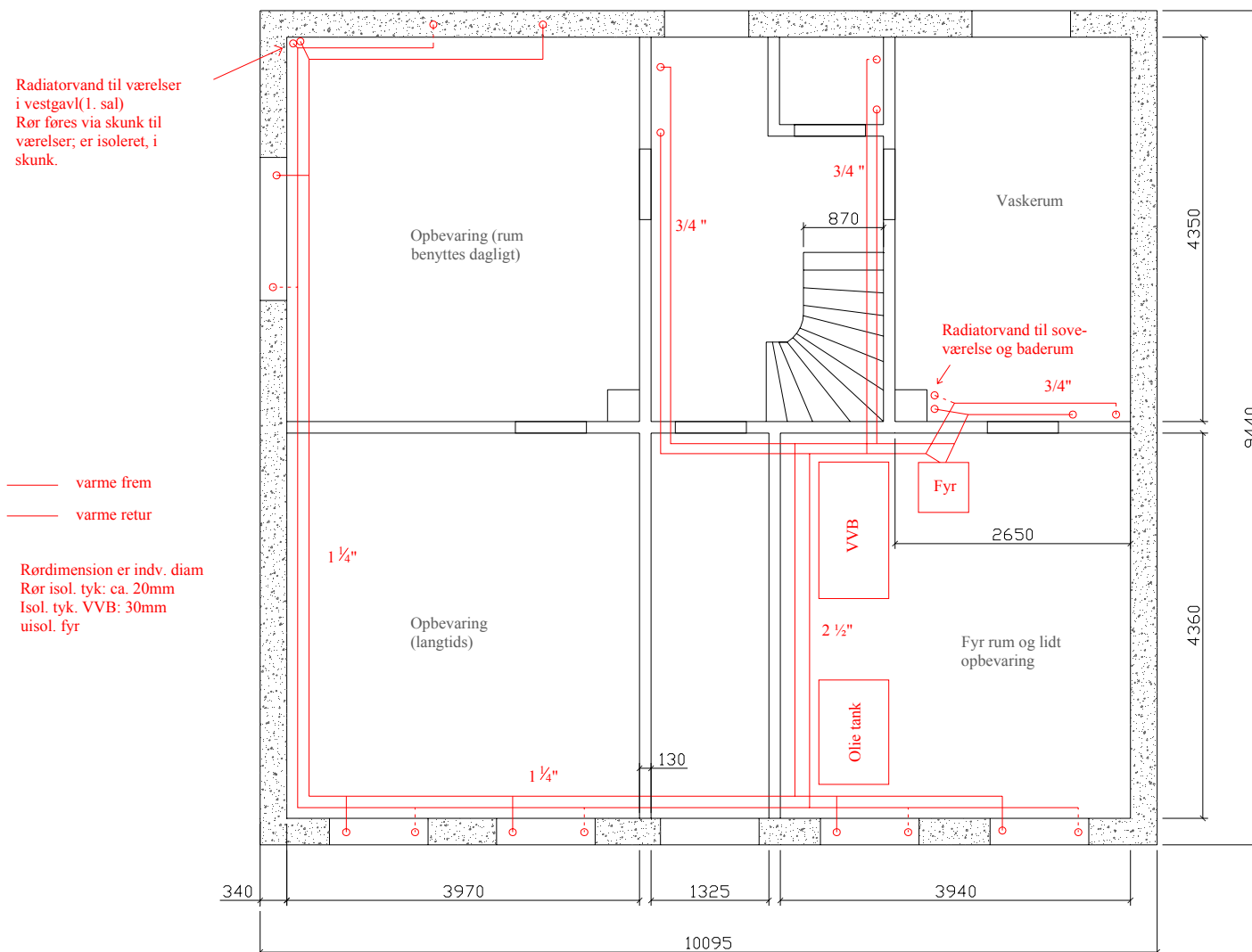
Bilag 4: Østfacade.



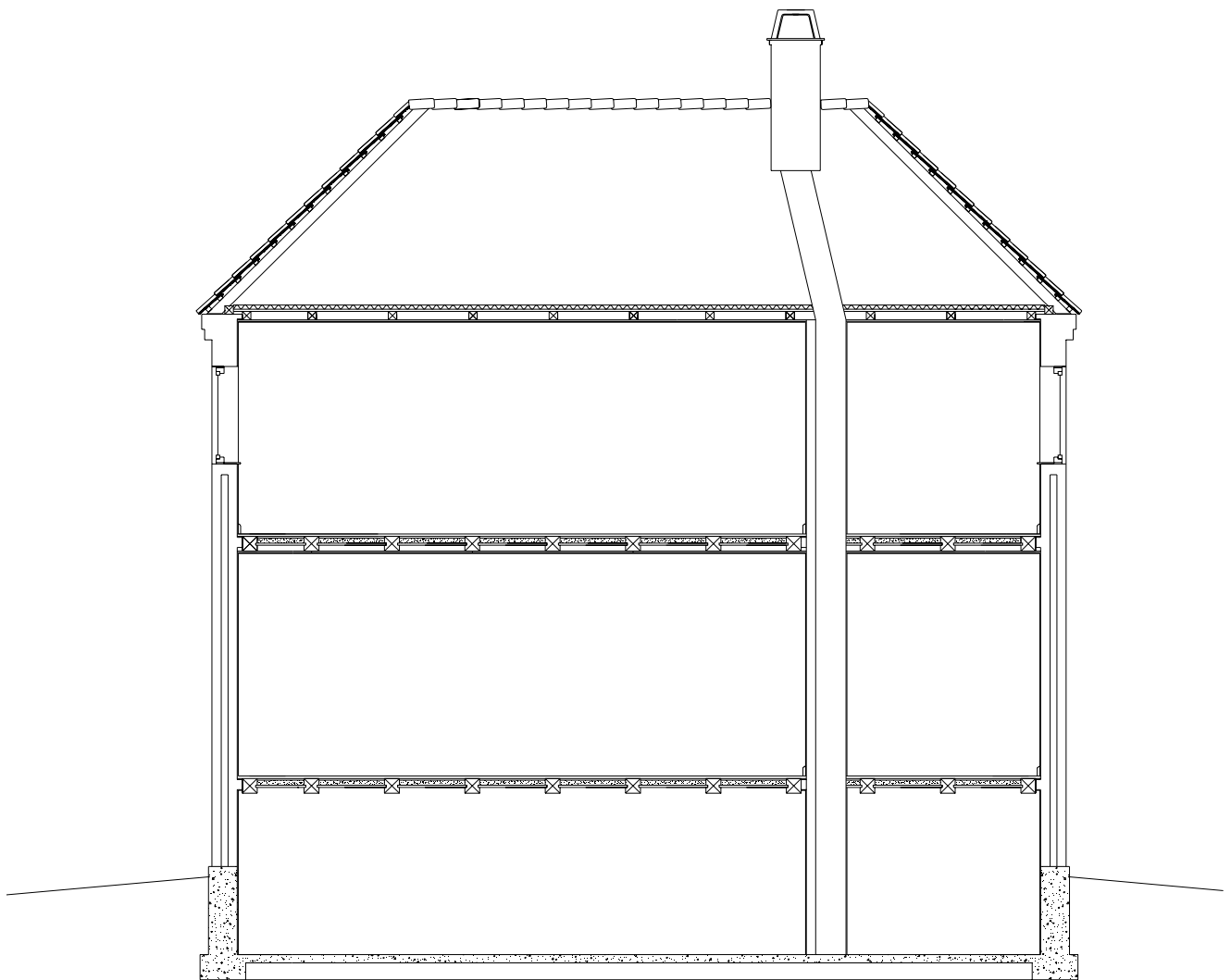
Bilag 5: Plan 1.Sal.



Bilag 6: Stueplan.

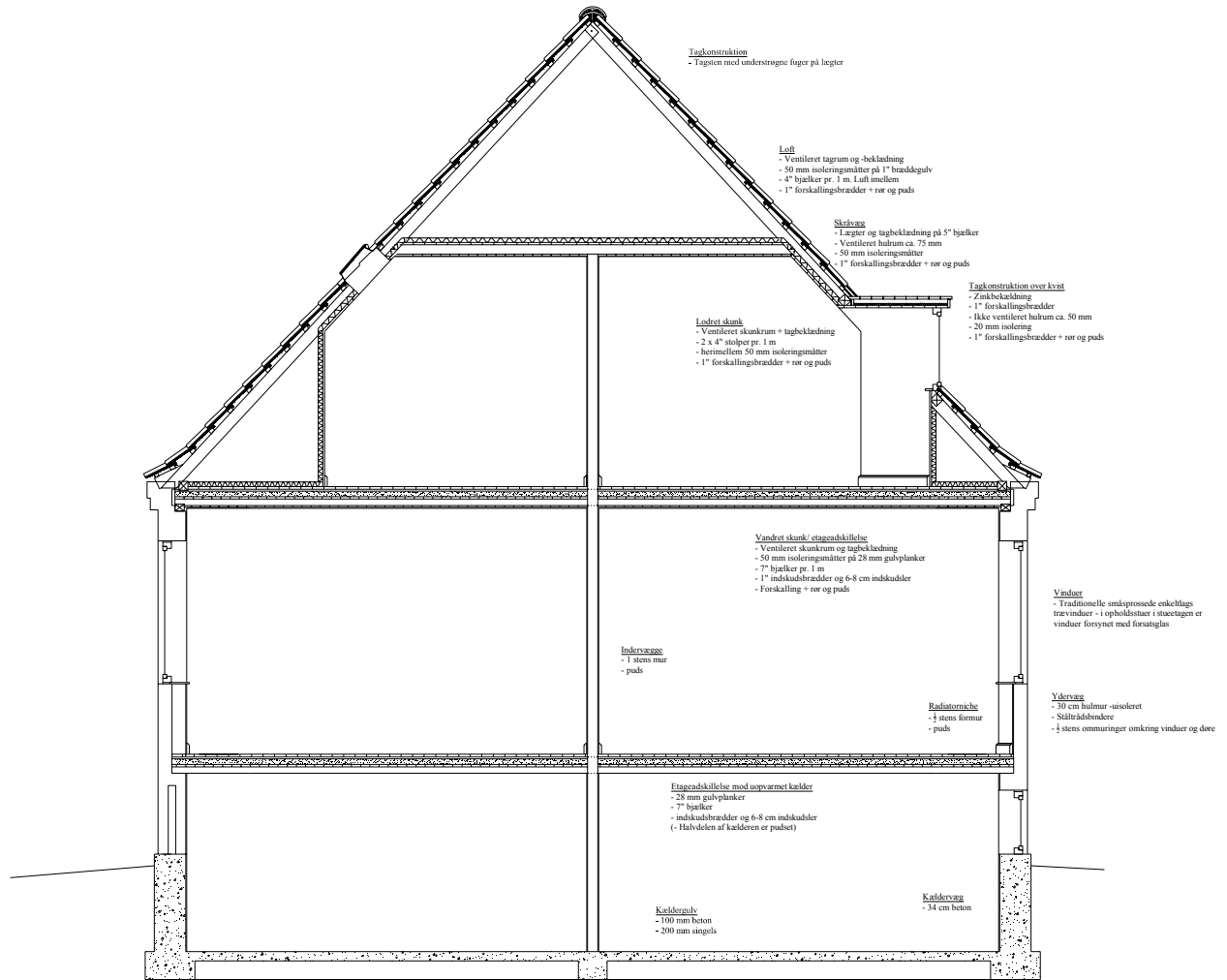


Bilag 7: Kælderplan.



Snit i gavl

Bilag 8: Tværsnit, gavl.



Snit i facade (syd)

Bilag 9: Tværsnit, facader.