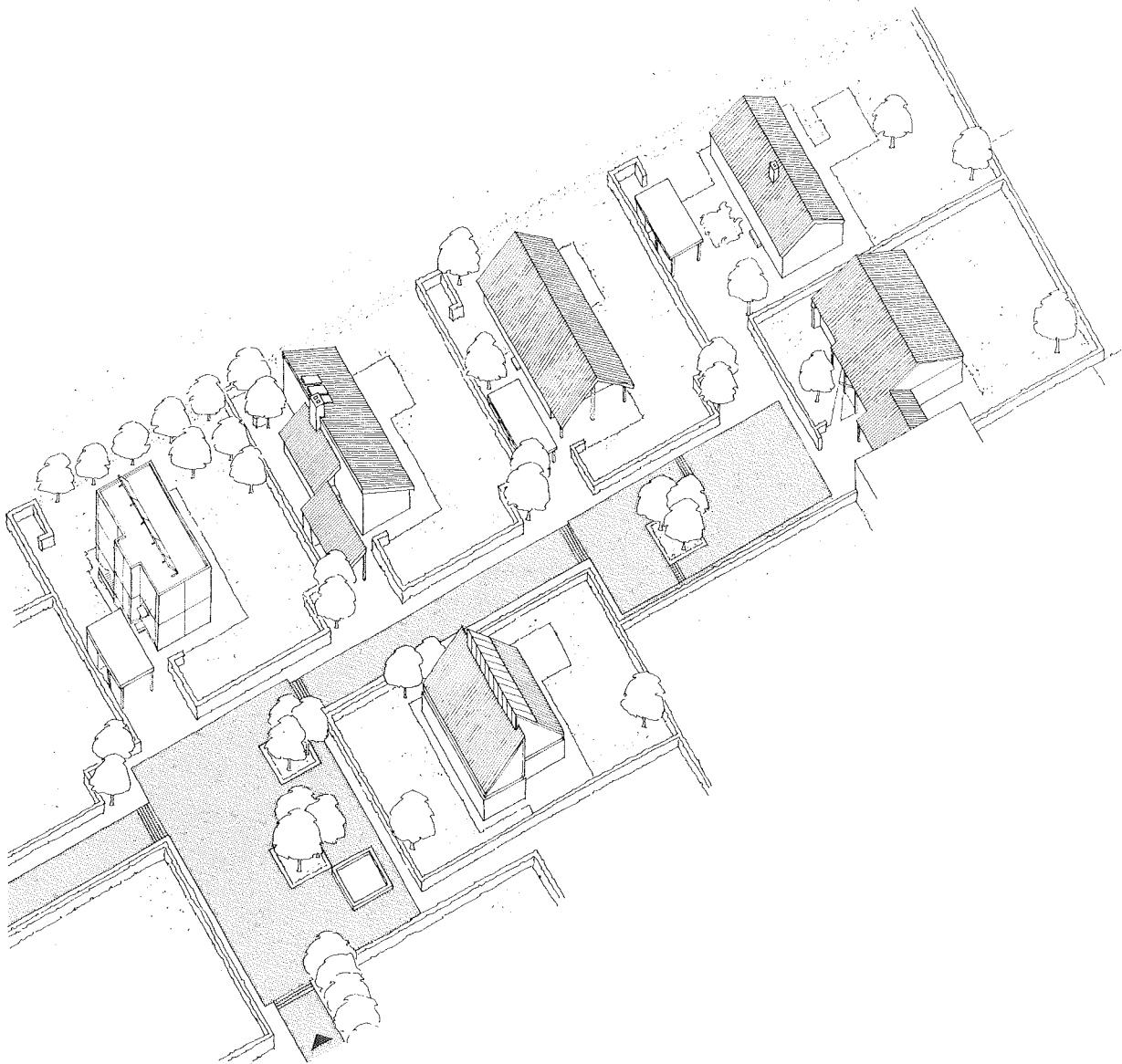


Lavenergihusprojektet under Energiministeriet



6 LAVENERGIHUSE I HJORTEKÆR

Konstruktioner - arbejdsudførelse og erfaringer

MOGENS R. BYBERG - BJARNE SAXHOF

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Højskole
November 1982

meddelelse nr. 120

Lavenergihusprojektet

Projektgruppe

Mogens R. Byberg, lektor, civ.ing.,
projektleder

Rolf G. Djurtoft, civ.ing.

Allan Aasbjerg Nielsen, civ.ing.

Gad Nissenbaum, akademiingeniør

Johannes Poulsen, civ.ing.

Kirsten Engelund Poulsen, civ.ing.

Niels Henrik Rasmussen, civ.ing.

Bjarne Saxhof, civ.ing.

Illustrator

Marianne Skjold-Jørgensen, cand.arch.

Forord

Lavenergihusprojektet under Energiministeriet (tidligere Handelsministeriet) omfatter seks lavenergihuse med et projekteret lavt energiforbrug. Husene er alle enfamiliehuse. De er opført i Hjortekær i Lyngby-Tårnbæk Kommune. Siden opførelsen har husene været genstand for detaljerede energimålinger, såvel under simuleret som under reel beboelse.

Projektet er gennemført som et samarbejde mellem på den ene side seks grupper af private firmaer og på den anden side Laboratoriet for Varmeisolering (LfV), Danmarks Tekniske Højskole. Laboratoriet varetager projektledelsen.

Projektet blev startet i foråret 1977 på basis af et initiativ taget allerede i 1975 af professor V. Korsgaard. Af de seks huse stod de fem færdige i sep. 78, hvor de blev præsenteret for indbudte fagfolk. Det sjette hus stod færdigt i marts 79.

I juni 79 var husene i ti dage åbne for publikum. Til denne udstilling forelå en kortfattet beskrivelse af husene (LfV meddelelse nr. 83) samt en beskrivelse af udstyret til den simulerede beboelse og et resumé af de første fem måneders energimålinger i de første fem huse (LfV meddelelse nr. 84).

Denne rapport omhandler husenes konstruktive udformning, den valgte udførelse samt erfaringer fra byggeperioden. Rapporten er udarbejdet af projektledelsen, men oplysningerne om de enkelte huse er gennemgået og suppleret af de respektive firmagrupper.

I samme rapportserie vil senere udkomme en rapport om husenes energisystemer og rapporter over husenes energiforbrug under simuleret og under reel beboelse. Herudover forventes rapporter over mere specifikke emner.

M.R. Byberg, projektleder

Indholdsfortegnelse

Forord	1
Resumé	5
1. Projektets baggrund og formål	8
1.1 Baggrund	8
1.2 Formål	9
1.3 Gennemførelse	9
1.4 Energimål	10
2. Indbydelse til samarbejde	11
2.1 Oplægget	11
2.2 Indbydelse til deltagelse	15
2.3 Valg af deltagende firmagrupper	15
2.4 Deltagende firmagrupper	16
3. Samarbejdsaftalen	17
4. Beliggenhed	18
5. Lavenergihusene	20
5.1 Projekteringen	20
5.2 Godkendte beregnede energiforbrug	21
5.3 Udformningen	24
5.4 Arealer og rumindhold	24
5.5 Vinduesarealer	25
5.6 Solafskærmning	26
6. Byggetekniske løsninger	28
6.1 Hus A	30
6.2 Hus B	38
6.3 Hus C	46
6.4 Hus D	54
6.5 Hus E	62
6.6 Hus F	72
6.7 Vindueskonstruktioner	79

7.	Installationer	86
7.1	Ventilation	86
7.2	Varmeanlæg	86
7.3	Varmt brugsvand	88
8.	Lufttæthed	90
9.	Energimæssige forhold	92
9.1	Beregnete k-værdier	92
9.2	Dimensionerende varmetab	93
10.	Energibesparende foranstaltninger	95
10.1	Isolering	95
10.2	Natskodder	95
10.3	Ventilation	95
10.4	Varmt brugsvand	96
10.5	Udnyttelse af gratisvarme	96
10.6	Varmeakkumulering	96
10.7	Varmegenvinding fra spildevand	97
10.8	Varmepumper med luft som varmekilde	97
10.9	Varmepumpe med jorden som varmekilde	97
10.10	Solvarmeanlæg	97
11.	LfV's erfaringer fra projekterings- og byggefase	99
11.1	Projekteringsfasen	99
11.2	Håndværkernes motivation	99
11.3	Byggefasen	100
12.	Firmagruppernes erfaringer og kommentarer	104
12.1	Hus A	104
12.2	Hus B	104
12.3	Hus C	105
12.4	Hus D	105
12.5	Hus E	105
12.6	Hus F	106

13. Økonomi	107
13.1 Husenes opførelsespris	107
13.2 Merudgifter til energibesparende foranstaltninger	108
14. Litteraturliste	111
14.1 Referencer	111
14.2 Supplerende materiale	112
Summary	113
Vocabulary of building technique expressions	117
"Acknowledgement"	122

Resumé

Lavenergihusprojektet under Energiministeriet omfatter seks lavenergihuse med projekteret lavt energiforbrug. Husene er opført som prototyper. De er beliggende i Hjortekær, nord for København, og de er opført 1978/79.

Projektets 1. formål er at demonstrere, at det er muligt at bygge enfamiliehuse på 120 m² med et energiforbrug til opvarmning, ventilation og varmt brugsvand på ca. 5000 kWh/år - uden at det medfører nogen reduktion af komfortniveauet.

Projektets 2. formål er efter husenes opførelse gennem en årrække at foretage detaljerede målinger af husenes energiforbrug.

Husene er opført i et snævert samarbejde mellem private, aktive firmaer inden for byggesektoren og LfV. Firmaerne er samlet i grupper om de enkelte huse, med et firma fra hver gruppe som bygherre. LfV varetager projektledelsen og gennemfører energimålingerne.

Rapporten beskriver hvorledes og under hvilke forudsætninger dette samarbejde blev etableret. Det understreges, at et delmål for projektet var, at de seks lavenergihuse blev så forskellige som muligt, både hvad bygningskonstruktioner og hvad energisystemer angår. Denne rapport beskriver konstruktionerne og giver - for fuldstændigheds skyld - en kort omtale af energisystemerne.

Projekteringsforudsætningerne, formuleret som krav til husene, beskrives. Heraf skal foruden kravet om lavt energiforbrug fremhæves kravet om stor lufttæthed (tilstræbt luftskifte mindre end 0,03 h⁻¹ sammen med kravet om et kontrolleret friskluftskifte på ca. 200 m³/h).

I skematisk form giver rapporten oversigter over de af projektledelsen godkendte beregnede energiforbrug for husene,

samt arealer, rumindhold, vinduesarealer, antal glaslag og natskodder, afsluttet med en oversigt over tagudhængenes skyggegivende virkning for sydfacaden.

Herefter følger rapportens væsentligste afsnit om de byggetekniske løsninger. Her gives hus for hus en detaljeret beskrivelse af de valgte konstruktioner, hvorledes varmeisoleringen er opnået og kuldebroer undgået. Der er lagt særlig vægt på beskrivelsen af husenes lufttæthed, både hvor det umiddelbart er lykkedes og hvor der senere har måttet foretages udbedring.

Konstruktionernes damptæthed er ikke analyseret, fordi den lufttætte konstruktion med lufttætheden på den varme side af isoleringen i sig selv giver sikkerhed mod uønsket fugtkondensation.

Afsnittet er gennemillustreret med tekst til hver figur, således at disse kan læses uafhængigt af rapportteksten.

Afsnittet afsluttes med en beskrivelse af husenes vindueskonstruktioner uden/med skodder, hvor der igen er fokuseret på lufttætheden ved tilslutningerne til ydervæggen.

Efter husenes konstruktioner omtales dels varmeanlæggene, dels brugsvandsanlæggene. I skematisk form redegøres for forsyningen såvel under normaldrift som under spidsbelastning, idet der i en række tilfælde er supplerende installationer til at klare spidsbelastningen.

Der er i alle husene installeret anlæg for kontrolleret friskluftskifte med varmegenvinding fra afkastluften.

Da husenes lufttæthed er ofret så megen opmærksomhed medtages resultaterne fra infiltrations- og trykmålinger. Husene er meget tætte, et enkelt endog særdeles lufttæt.

Husenes beregnede k-værdier og dimensionerende varmetab efter DS418 er angivet skematisk. De efterfølges af en gennemgang af hvilke energibesparende foranstaltninger, der er anvendt. Disse er opdelt i foranstaltninger der sparer, dvs. nedsætter energibehovet, og foranstaltninger der udnytter gratis energi. Gennemgangen er ordnet systematisk, så den skulle virke som et katalog.

Under husenes projektering og opførelse har såvel firmagrupperne som LfV høstet en række erfaringer. Disse er samlet i to afsnit.

Rapportens sidste afsnit omhandler husenes økonomi. Der gives en oversigt over husenes opførelsespris (håndværkerudgifter 1978) og i nogle tilfælde et skøn over forventet pris ved serieproduktion.

Yderligere er anført skøn over merudgifterne til isolering og tætning samt merudgifterne til ændrede/udvidede installationer i forhold til tilsvarende huse bygget efter BR77. Tendensen synes at være 15-45.000 kr. til isolering og 50-85.000 kr. til installationer, men der er meget stor spredning.

1. Projektets baggrund og formål

1.1. Baggrund

Da energiforsyningskrisen ramte bl.a. Danmark i 1973/74 havde professor V. Korsgaard, Laboratoriet for Varmeisolering, allerede gennem et af en studerende udført eksamensarbejde undersøgt de teoretiske muligheder for gennem forøget varmeisolering af bygningskonstruktionerne, gennem lufttætte konstruktioner suppleret med styret ventilation med varmegenvinding og gennem tilskud fra solvarmeanlæg at nedbringe enfamiliehusets betalte energiforbrug til opvarmning til et minimum.

På denne baggrund projekteredes og opførtes i 1974/75 DTH-NUL-ENERGIHUSET på Danmarks Tekniske Højskole. Huset blev finansieret af Statens teknisk-videnskabelige Forskningsråd. Projekteringen skete gennem et samarbejde mellem tre DTH-afdelinger, Instituttet for Husbygning, Laboratoriet for Varme- og Klimateknik samt Laboratoriet for Varmeisolering.

I 1977 kom et nyt bygningsreglement, BR77, som bl.a. angav, at boliger m.v. fra feb. 79 skulle udføres med betydelig forøget varmeisolering i forhold til tidligere. Hensigten hermed var klart at spare valuta til brændselsimport gennem formindskelse af bygningernes energiforbrug.

Mange private bygherrer havde allerede taget forskud på de strengere isoleringskrav. Skive kommune afholdt en udstilling af lavenergihuse, lavenergi Skive-77, hvor 9 lavenergihuse blev vist.

Handelsministeriet startede i 1977 det første større danske energiforskningsprogram på i alt 50 mio. kr., hvoraf forskning og udvikling vedrørende energibesparende foranstaltninger i bygninger fik tildelt 7,55 mio. kr. Herunder blev afsat 4,05 mio. kr. til lavenergihuse, og LfV blev anmodet om at gennemføre projektet for ministeriet.

Senere er dette forskningsprogram fortsat. Der er indtil 1982 bevilget godt 14 mio. kr. til Lavenergihusprojektet, heraf ca. 9 mio. kr. til Hjortekær-husene.

1.2. Formål

I ministeriets forskningsprogram fra 1976 anføres om lavenergihuse:

Programmet iværksættes med henblik på at udvikle og demonstrere, at det er muligt at bygge egentlige lavenergihuse egnede til typehusfabrikation til byggeudgifter, der ikke overstiger de normale kvadratmeterpriser med større beløb, end at disse kan forrentes og afskrives på rimelig måde igennem de opnåede besparelser i varmeudgiften.

På grundlag af de indvundne resultater forventes det at kunne anvise en eller flere løsninger på udformning af enfamiliehuse som lavenergihuse til brug for dansk byggeindustri m.v.

1.3. Gennemførelse

Den praktiske gennemførelse af projektet blev lagt i hænderne på LfV og en styregruppe på ti medlemmer (1).

Projektets økonomiske rammer begrænsede antallet af lavenergihuse til 4-6. Det var for styregruppen magtpåliggende, at de opførte huse skulle give et bredt billede af de tekniske muligheder for egentlige lavenergihuse. Dette ville give projektet den største demonstrationsværdi.

Gennem et snævert samarbejde med private, aktive firmaer inden for byggesektoren ville en hurtig afsmittende virkning sikres. Ved samtidig at lade private firmaer stå som byggherrer og ejere af husene, løstes det problem, at LfV som del af en statsinstitution ikke umiddelbart må eje fast ejendom.

1.4. Energimål

For at understrege betydningen af, at husene fik et lavt energiforbrug, skulle der dels stilles krav til husenes størrelse (120 m² boligareal) og dels sættes et mål i form af lavt energiforbrug.

Energimålet blev: 5000 kWh/år (læs købt energi leveret til huset) til dækning af opvarmning, ventilation og varmt brugsvand. Energi til lys og husholdning medregnes ikke, og det er underordnet, om de 5000 kWh leveres som elektricitet, olie, gas eller fast brændsel.

Den valgte måde at beregne energiforbruget på tager således ikke hensyn til hvilken mængde af primærenergi i form af kul eller olie, der medgår til produktion af den leverede elektricitet. Der er alene set på forbruget i det enkelte hus.

Yderligere er de 5000 kWh/år valgt alene ud fra et energihensyn. Der er ikke taget hensyn til, om dette mål ville føre til økonomisk optimale løsninger - straks eller i en nærmere fremtid. Hensigten har været at vise hvilke veje, der kunne betrædes, hvis vi i Danmark engang blev tvunget til - måske gennem en rationering - at klare os med så lille en energimængde.

Den valgte fremgangsmåde findes ikke at være i uoverensstemmelse med ministeriets intentioner: -- "at merudgifterne kan forrentes gennem de opnåede energibesparelser". Først når man er gået et skridt for langt ved man, hvor langt man kunne være gået.

De viste løsninger skal således i højere grad være en rettesnor end en forskrift.

2. Indbydelse til samarbejde

2.1. Oplægget

For at give et alsidigt billede af mulighederne for at udforme lavenergihuse var det magtpåliggende for LfV, at så mange forskellige hustyper som muligt blev repræsenteret. Af de hensyn, som ønskedes tilgodeset kan nævnes:

a. Varmeakkumulering.

For at undersøge varmeakkumuleringens indflydelse på varmekonsumet og komforttilstanden i huset ønskedes såvel lette konstruktioner (træ med pladebeklædning) som tunge konstruktioner (tegl, letbeton og beton) anvendt.

b. Husets form.

Forskellige husformer ønskedes repræsenteret.

Som eksempler kan nævnes: fritliggende hus, rækkehus, hus med lav facadehøjde kompenseret af større rumhøjde inde i huset, d.v.s. skrå lofter, toetages huse med lille grundflade.

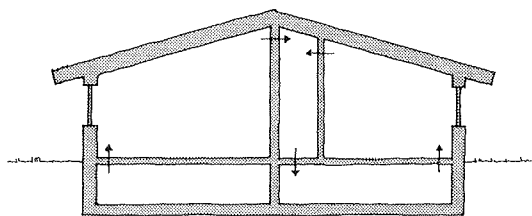
c. Opvarmningsform.

F.eks. Radiatorvarme. Gulvvarme. Luftvarme.

d. Varmeforsyning.

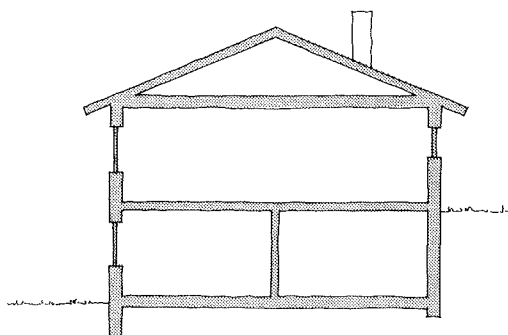
Forskellige varmforsyningssystemer ønskedes repræsenteret. Oliefyr. El-varme. Varmepumpeanlæg. Solvarmeanlæg. I realiteten oftest en kombination af de nævnte systemer.

For at give et mere konkret indtryk af i hvilken retning LfV ønskede at styre projektet, udarbejdedes kortfattede beskrivelser af fem oplægshuse suppleret med en enkelt skitse. Fra disse oplæg skal citeres:



Figur 1.
Et-planshus for tæt-lav be-
byggelse.
Akkumulering i Leca-magasin.

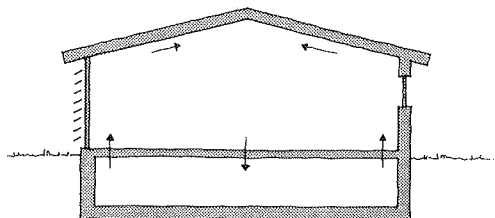
Etplans rækkehus med rektangulær grundplan. Lav facadehøjde og skrå lofter. Ca. 20 m² vinduer og døre, som placeres under hensyntagen til gratisvarme fra solindfald. Overskudsvarme akkumuleres i Leca-magasin under gulv v.h.a. en varmepumpe. Vinduerne forsynes med natisolering. Der foretages varmegenvinding på såvel afkastluft som på spildevand. Opvarmningen sker ved en kombination af lunt gulv og et varmluftanlæg. Derved undgås de høje temperaturer, som ned sætter varmepumpens effektfaktor. Indeklimaet styres af hurtigtvirkende følere, der tager hensyn til alle betydende klimaparametre. Tagudhænget udformes således, at solindfaldet tilpasses indeklimaet.



Figur 2.
Fleretageshus med olie eller
gasfyr.
Akkumulering i vandtanke.

Hus i to etager med rektangulær (næsten kvadratisk) grundplan. Godt halvdelen af underste etage udnyttes som kælder. Hustypen er særlig egnet til skrånende terræn. Den skal bl.a. vise lavenergikonstruktioner ved kombination af flere etager. Er tænkt udført med tunge konstruktioner (muret byggeri).

Vinduer med 2+1 lag glas og skoddeisolering. Huset udstyres med olie- eller gasfyrket kedel med stor varmtvandsbeholder som akkumulator. Friskluftanlæg kombineret med luftvarmeanlæg med små lokalt placerede varmeblæser. Varmevekslergenvinding på afkastluft og på det grå spildevand. Nogen varmeakkumulering i spildevandstank.

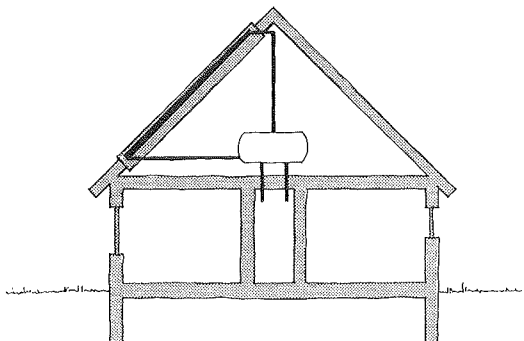


Figur 3.
Etplanshus med sydvendt glas-
facade.
Akkumulering i stenmagasin.

Etplanshus med rektangulær grundplan. Sydfacaden udformes som en glasvæg med indstillelig solafskærmning. Vinduer med skoddeisolering eller anden mobil natisolering. Solindfaldet gennem glasvæggen udnyttes i størst muligt omfang, idet der under huset anlægges et varmeisoleret stenmagasin. Den nødvendige luftmængde til fjernelse af solvarmen fra rummene i sydsiden cirkuleres mellem magasinet og rummene. Et friskluftsystem med varmepumpegenvinding installeres. Varmeindholdet i det grå spildevand udnyttes til opvarmning af brugsvandet.

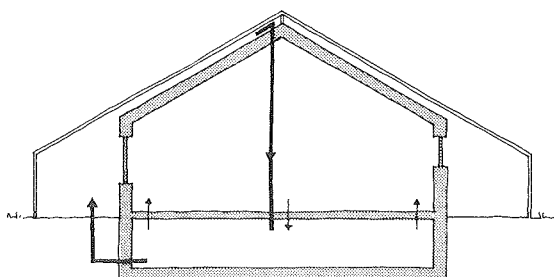
Et eventuelt varmeunderskud til rumopvarmning og brugsvand tages fra stenmagasinet.

Spidsbelastning dækkes eventuelt af el-varme.



Figur 4.
Etplanshus med væskesolfan-
ger.
Akkumulering i vand-/saltla-
ger.

Etplanshus med rektangulær grundplan. Tag med høj rejsning for indbygning af væskesolfanger i sydsiden. Varmeakkumuleringen foregår, dels i en varmtvandsbeholder (buffertank) i loftsrummet, og dels i en salt- eller vandak-
kumulator i stueplan. Vinduerne forsynes med skodder eller anden mobil isolering. Friskluftanlæg med varmevekslergenvinding. Varmevekslergenvinding på det grå spildevand. Spidsbelastning dækkes af varmeakkumulator gennem varme-
pumpe.



Figur 5.
Etplanshus med udv. glasbe-
klædning, evt. drivhus.
Akkumulering i stenmagasin.

Etplanshus med rektangulær grundplan. Ydervægge og tag forsynes med en glasbeklædning, eventuelt i form af en drivhus-overdækning, anvendt som drivhus mod syd og redskabsrum mod nord. Glasoverdækningen medfører udnyttelse af stråling med meget lav intensitet. Under solindfald cirkuleres luft fra sydsiden til stenmaga-
sin under huset. Brugsvand opvarmes af stenmagasin gennem varmepumpe.

2.2. Indbydelse til deltagelse

Gennem annoncering i fagblade blev interesserede firmaer opfordret til at rekvirere forannævnte materiale og de nærmere betingelser for deltagelse, hvoraf det bl.a. fremgik, at firmaerne skulle finde sammen i grupper, som ikke alene kunne påtage sig projektering af et lavenergihus, men som også kunne bekoste opførelsen af huset.

Trods en meget kort frist meldte over tredive seriøse grupper, at de var interesserede. Herudover modtog LfV adskillige tilbud fra enkeltpersoner eller fra mindre grupper, der endnu ikke var helt udbygget til at varetage arkitekt-, ingeniør-, entreprenør- eller bygherreopgaven, således som LfV forudsatte.

2.3. Valg af deltagende firmagrupper

Det viste sig ret vanskeligt for styregruppen og LfV at udvælge de firmagrupper, der skulle forhandles videre med. Projektets økonomiske rammer begrænsede antallet til seks, hvorved mange velkvalificerede grupper måtte meddeles afslag. Af væsentlige kvalifikationer for deltagelse kan nævnes:

- a. tidligere arbejder inden for byggesektoren.
- b. forventet deltagelse i fremtidens byggeri til sikring af en hurtig afsmittende virkning.
- c. mulighed for opfølgning af oplæggets intentioner.
- d. mulighed for at påtage sig bygherreforpligtigheden.
- e. grupperne skulle supplere hinanden, således at typehusproducenter, entreprenørfirmaer og materialefabrikanter m.v. var repræsenteret.

2.4. Deltagende firmagrupper

Følgende firmagrupper blev valgt. De er nævnt i den rækkefølge, det tilsvarende hus angiver.

Hus A: A/S Johan Christensen & Søn (bygherre)
P.E. Malmstrøm, rådgivende ingeniørfirma A/S

Hus B: Rockwool A/S (bygherre)
Rut Speyer, arkitekt
Birch & Krogboe, rådgivende ingeniørkontor K/S

Hus C: Høm Huse A/S (bygherre)
Vibe-Hansen & Lomborg A/S, arkitekter m.a.a.
Dansk Solvarme K/S
Berg Bach & Kjeld Egmosen A/S,
civilingeniører og entreprenører

Hus D: H+H Industri A/S (Bygherre)
Bertel Udsen, arkitekt m.a.a.
Rådgivende ingeniørfirma Johs. Jørgensen A/S

Hus E: K.A.B. (bygherre)
Fællestegnestuen
Dominia A/S

Hus F: Højgaard & Schultz A/S (bygherre)
Aalborg Portland
Instituttet for Husbygning, DTH
Cowiconsult, rådgivende ingeniører A/S

3. Samarbejdsaftalen

Med hver firmagruppe har LfV indgået en samarbejdsaftale til fastlæggelse af parternes rettigheder og pligter. Aftalerne er enslydende. Af aftalerne fremgår:

A. Firmagrupperne varetager

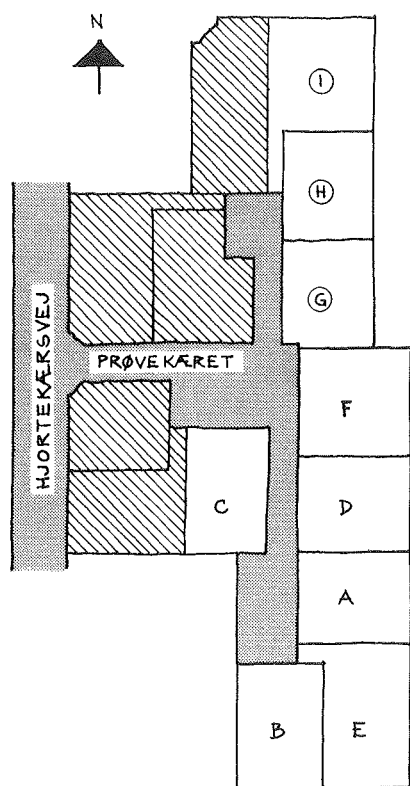
1. køb af den anviste parcel i udstykningen,
2. skitseprojektering således, at LfV kan beregne husets energiforbrug,
3. detailprojektering i.h.t. skitseprojektet,
4. opførelse af huset i.h.t. detailprojektet, herunder tilsyn med byggeriet,
5. husets færdiggørelse i.h.t. tidsplanen,
6. afholdelse af fælles lavenergihus-udstilling efter nærmere aftale med LfV,
7. afholdelse af husets faste omkostninger i første måleår.

B. Laboratoriet for Varmeisolering varetager

1. styring af lavenergihusprojektet,
2. energiberegninger og fastlæggelse af disses forudsætninger,
3. målingernes omfang, målesystem og simuleringsudstyr,
4. afholdelse af omkostninger til olie, gas, el m.v.,
5. drift af måle- og simuleringsudstyr i hele måleperioden,
6. indsamling og bearbejdning af måleresultater,
7. rapportering.

4. Belliggenhed

Lavenergihusene er beliggende i Lyngby-Tårnbæk Kommune i en lille, særlig udstykning i et i øvrigt udbygget ældre villakvarter. Området er præget af den umiddelbare tilknytning til Jægersborg Dyrehave, et forhold som har haft en vis indflydelse på husenes udformning og vel især på materialevalget.

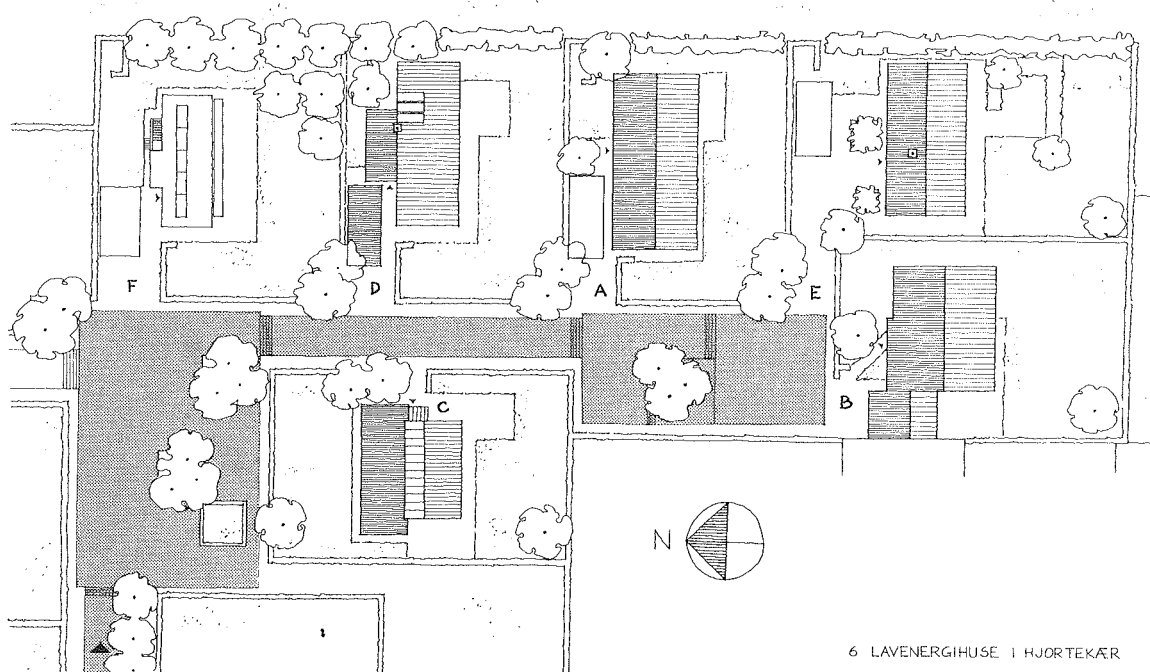


Figur 6.
Udstykningsplan.

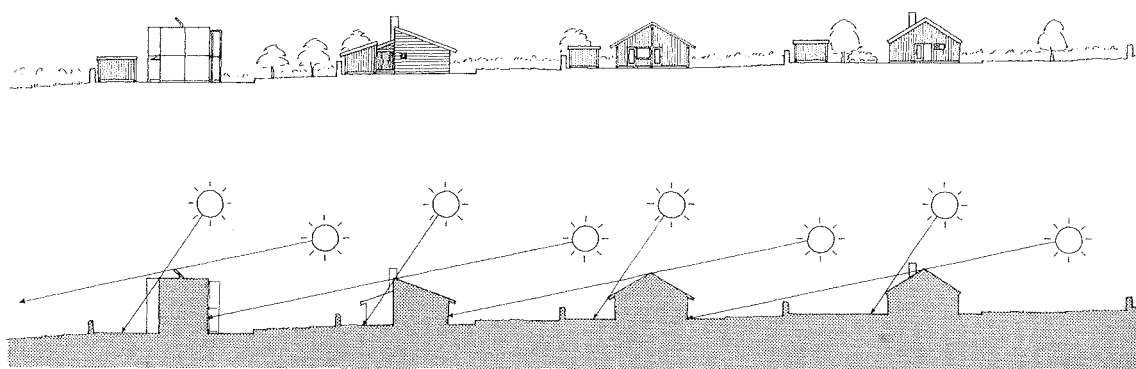
Udstykningen har kun kunnet gennemføres ved Lyngby-Tårnbæk Kommunes velvillige mellemkomst, idet kommunen købte hele arealet af Undervisningsministeriet, foretog udstykningen og videresolgte seks parceller til de seks lavenergihuse, mrk. A, B, C, D, E og F.

Yderligere tre parceller blev reserveret til kommende lavenergihuse, mrk. G, H og I. De resterende parceller kunne kommunen frit disponere over.

Parcellernes størrelse varierer fra 750 m² til 930 m². De er således orienteret, at alle seks huse har kunnet få facade direkte mod syd. Terrænet skråner svagt mod nord, dog ikke mere end at alle husene har kunnet få fuldt solindfald gennem sydvinduerne. Der er udarbejdet en fælles plan for anlæg af veje, indkørsler, træer på fællesarealer samt for hækbeplantningen.



Figur 7. Beplantningsplan for fællesarealer m.v.



Figur 8. Længdesnit i de fire huse mod øst. Solhøjder mid-sommer og midvinter.

5. Lavenergihusene

5.1. Projekteringen

Gennem sit idéoplæg og sin projektstyring har LfV påvirket firmagrupperne i valg af hustype, konstruktioner og energisystemer således, at de seks huse repræsenterer en stor bredde i spektret af kombinationsmuligheder.

Derimod har planløsninger, materialevalg og husenes arkitektoniske udformning været overladt til firmagrupperne. Hensynet til god byggeskik og til husenes salgbarhed har her spillet en afgørende rolle.

I samarbejdsaftalen er anført følgende mål for husenes projektering, hvoraf energimålet og målet for lufttæthed bør bemærkes:

"Gennem samarbejdet tilstræber LfV og firmagruppen at opfylde nedenstående:

Generelle krav

Lufttætheden skal være bedre end svarende til luftskiftet $n = 0,03/h$ ved en vindhastighed på 5 m/sek.

Det kontrollerede friskluftskifte skal være ca. 200 m³/h.

Rumtemperaturen skal i opholdsrum ligge mellem 21 og 26 °C i dagtimerne i varmesæsonen, og rumtemperaturen skal individuelt kunne sænkes i nattimerne.

Det årlige energitilskud skal nedbringes til ca. 5000 kWh/år.

Varmtvandsforbruget regnes til 250 l/døgn ved 45 °C, svarende til 3700 kWh/år."

5.2. Godkendte beregnede energiforbrug

På basis af firmagruppernes skitseforslag til husenes konstruktioner og energisystemer har LfV beregnet det forventede årlige energiforbrug.

Hertil er anvendt EDB-programmet BA4 (2); som klimaparameter er benyttet det modificerede referenceår (3), og som inde-temperatur 21 °C.

Efter de første beregningsresultater forelå har LfV kontaktet de enkelte firmagrupper for gennem forhandling enten at finde veje til reduktion af energiforbruget hvis de ønskede 5000 kWh/år ikke kunne holdes eller for at søge en bestemt idé fastholdt måske på bekostning af et større energiforbrug.

Som eksempel på det sidste kan nævnes Hus E, hvor firmagruppen gerne ville supplere udnyttelsen af solenergien ved et brugsvandssolvarmeanlæg. På LfV's anmodning accepteredes at undlade solvarmeanlægget for at stenlagersystemet kunne stå så rent som muligt.

Af mange forskellige årsager blev der således forskel fra hus til hus på det godkendte beregnede energiforbrug. En skematisk oversigt over forbrugene fremgår af tabel 1.

Til tabellen skal knyttes følgende bemærkninger:

1. Tabellen udtrykker en balance mellem den forbrugte og den tilførte energimængde angivet i kWh/år uanset hvilken energiform (el, olie, gas, sol, etc.) der er tale om.
2. Transmissionstabet afhænger af husets størrelse, isoleringsgrad, vinduesareal o.s.v.

3. Ventilationstabet er baseret på det kontrollerede friskluftskifte, 200 m³/h. Forbruget er ens i alle husene.
4. Forbruget til varmt brugsvand er fikseret til 3700 kWh/år for alle husene.
5. Gratisvarmen er sammensat af tre bidrag:
 - a. solindfald gennem vinduer
 - b. varme afgivet fra personer 2500 kWh/år
 - c. varme afgivet fra el til lys og husholdning 4100 kWh/år

Af disse bidrag afhænger solindfaldet af husets udformning medens bidraget fra personer og el er fastsat af LfV (1).

På grund af solindfaldets store vægt om sommeren, hvor det ikke modsvares af et forbrug i huset, kan gratisvarmen ikke udnyttes fuldt ud. Tabellen angiver den udnyttelige del af gratisvarmen.

For Hus E er stenlagerets bidrag medregnet i den udnyttelige del af gratisvarmen.

6. Genvinding fra afkastluft via varmeveksler er beregnet under forudsætning af en forventet effektivitet på ca. 60%. Genvindingen er regnet ens i alle husene.
7. Under de efterfølgende punkter er anført hvad de forskellige energisystemer forventes at yde. Bemærk at for varmpumpeanlæg er her kun anført energimængden fra varmekilden medens kompressorens optagne elektricitet er opført under den købte energi.
8. For Hus D og Hus F er der under posten "købt energi" ikke medregnet det forventede lille skorstenstab.

Tabel 1. Beregnet energibalance (kWh/år)

Hus	A	B	C	D	E	F
<u>Energiforbrug:</u>						
transmission	10700	9400	9700	12000	9000	14800
ventilation excl. genv.	8300	8300	8300	8300	8300	8300
varmt brugsvand	3700	3700	3700	3700	3700	3700
	22700	21400	21700	24000	21000	26800
<u>Energitilførsel:</u>						
udnyttet gratisvarme	8700	7900	6900	8500	7900	10200
genvinding veksler	5000	5000	5000	5000	5000	5000
besparelse fra skodder	-	-	-	2700	2000	2200
varmepumpe, luft/luft	3000	-	-	-	-	-
varmepumpe, luft/vand	1500	-	700	-	-	-
varmepumpe, jordvarme	-	3500	-	-	-	-
solvarme	-	-	4200	2000	-	4200
genvinding, spildevand	-	-	-	800	-	-
købt energi, netto	4500	5000	4900	5000	6100	5200
	22700	21400	21700	24000	21000	26800
<u>Ikke udnyt. gratisvarme</u>						
	4100	4500	6100	5600	4900	8600

5.3. Udformningen

Som det fremgår af efterfølgende facader, planer og snit kan de seks huse opdeles i:

- 4 huse i ét plan, heraf 2 kælderløse
 - 1 med krybekælder
 - 1 med kælder under en del af huset.
- 1 hus i 1 1/2 plan uden kælder
(kun ét plan indgår i undersøgelsen)
- 1 hus i 2 etager + fuld kælder.

Et af étplanshusene er direkte projekteret som et rækkehus, medens huset i 2 etager uden vanskelighed kan tilpasses en rækkehusbebyggelse. De resterende fire huse er tænkt som fritliggende.

5.4. Arealer og rumindhold

Husenes bebyggede areal varierer mellem 88 m² og 143 m² excl. carport, udhus m.v., medens boligarealet varierer mellem 105 m² og 126 m² excl. overetagen i Hus C.

Tabel 2. Husenes arealer og rumindhold

Hus	m ² bebygget	m ² bolig	m ² udv. væg	m ³ indv.
A	122,9	105,1	128,0	247
B	143,2	122,6	134,8	292
C	130,6	114,9	139,7	268
D	137,9	112,1	191,5	345
E	135,8	116,6	129,7	359
F	88,0	126,2	241,2	349

Boligareal: Gulvareal for husets rum. Bryggers m.v. medregnes, da de brugsmæssigt og energimæssigt er nært knyttede til resten af huset. Følgende arealer er ikke medregnet: Hus C: Vindfang, teknikrum; Hus E: Kælder; Hus F: Kælder.

5.5. Vinduesarealer

Reglerne i BR77 (4) angiver (fra feb. 79) for to lag glas et maksimalt tilladeligt vinduesareal på 15% af bruttoetagearealet, med mindre der gennem forøgede isoleringstykkelser kompenseres for ekstra varmetab gennem større vinduesarealer (udnyttelse af varmetabsrammen).

Lavenergihusene har væsentlig større isoleringstykkelser end foreskrevet i BR77, således at de anvendte vinduesarealer nemt kan opfylde kravene i BR77. Da yderligere en stor del af vinduerne er placeret i husenes sydfacader, vil de give et positivt bidrag til husenes energibalancer. Dette er særlig udtalt i Hus E, hvis sydvendte glasarealer indgår som en del af varmesystemet, idet solvarmen akkumuleres i et stenmagasin, og i Hus F, hvor solindfaldet gennem store sydvendte glasarealer bevares i huset, bl.a. ved automatisk betjente udvendige natskodder for vinduerne.

Tabel 3. Vindues-/dørarealer, antal glaslag og natskodder

Hus	m ² S	m ² V	m ² N	m ² Ø	glaslag	natskodder
A	11,6	6,2	6,3	1,5	2 a)	-
B	7,0	5,6	5,1	1,8	3	-
C	13,3	2,1	9,4	2,1	3 og 3+1	-
D	13,6	3,2	3,7	0	2 b)	+
E	13,7	2,4	3,7	2,3	2 c)	+
F	26,9	0	3,2	1,0	3	+

a) Climaplus 1,4 (coated og gasfyldt)

b) dog 3 lag for glasarealer uden skodder

c) Thermoplas 1,6 mod syd, 1,4 øvrige (coated og gasfyldt)

Hus C: vindfang regnet som 1 dør.

5.6. Solafskærmning

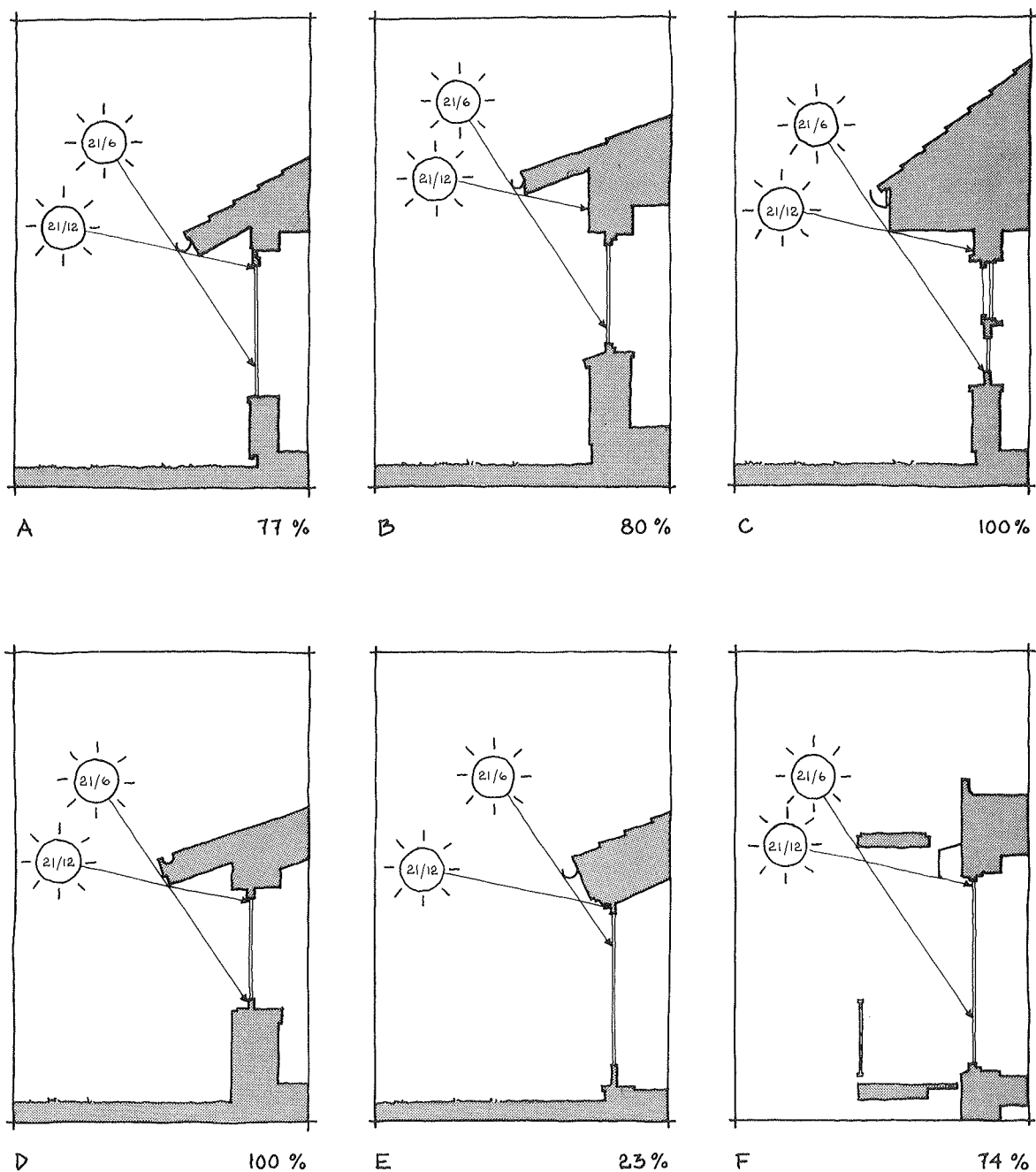
Sydvendte vinduer giver som nævnt et positivt bidrag til husenes energibalance. Stort solindfald kan imidlertid også give anledning til ubehagelig overophedning af rummene - især om sommeren. Ved hensigtsmæssig udformning af tagudhæng eller anden solafskærmning kan vinterens varmetilskud udnyttes uden nogen gene om sommeren.

Figur 9 viser den solafskærmende virkning kl. 12 ved midvinter og ved midsommer med angivelse af, hvor stor en del af glassets højde der midsommer er i skygge. Gennem monterede beslag i tagudhænget er Hus E forberedt for solafskærmning.

For øst- og vestvendte vinduer er det ikke på tilsvarende måde muligt at foretage solafskærmning. Mod disse verdenshjørner er en bevægelig solafskærmning at foretrække (markise, persienne m.v.).

Tabel 4. Vinduesarealer relateret til facade- og etageareal

Hus	m ² i alt	% af udvendig væg	% af brutto- etageareal
A	25,6	20,0	20,8
B	19,5	14,5	13,6
C	26,9	19,3	20,6
D	20,5	10,7	14,9
E	22,0	17,0	16,2
F	31,1	12,9	17,7



Figur 9. Solbestrålning af sydvendte vinduer kl. 12 midsommer og midvinter. Tallene angiver den skyggede del af glasset ved midsommer.

6. Byggetekniske løsninger

I dette afsnit beskrives hus for hus de valgte byggetekniske løsninger. Efter en side med facader, snit og plan i mål 1:200 følger mere detaljerede snit med forklarende tekst. Afsnittet afsluttes med en samlet gennemgang af husenes vindues- og skoddekonstruktioner.

De enkelte huses konstruktioner er baseret på firmagruppernes ideer og skitseprojekt. Det har stået grupperne frit for, om det lave mål for husenes energiforbrug skulle opnås gennem forøgede isoleringstykkelser ("sparevejen") eller gennem udnyttelse af gratisvarme i form af solindfald, jordvarme, solvarme etc.

LfV har gennemgået skitseprojekterne, dels for beregningsmæssigt at sikre, at det lave energiforbrug skulle kunne nås, og dels for at sikre færrest mulige kuldebroer og et maksimum af lufttæthed. Hvor isoleringsmateriale er anbragt i mere end et lag er forskudte fuger anvendt, hvor det har været muligt.

Især er lufttætheden afset megen opmærksomhed - ikke alene i projekteringsfasen, men også under husenes opførelse. Det hænger sammen med, at stor lufttæthed (= ringe infiltration) er:

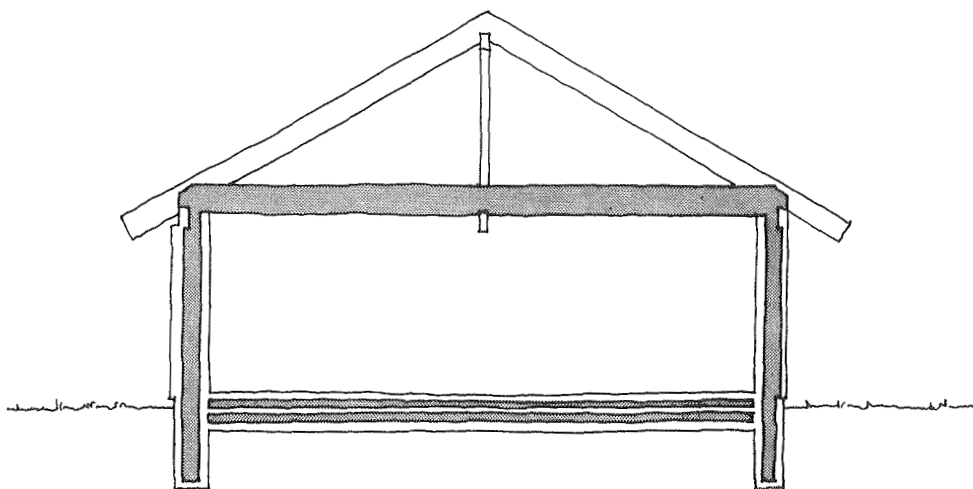
1. ønskelig for at begrænse ventilationstabet til det, der knytter sig til det kontrollerede friskluftskifte, og
 2. absolut nødvendig for at opnå en god effektivitet på de installerede varmevekslere til genvinding fra afkastluften.
- Utætheder i huset kan direkte virke som "kortslutning" af genvindingen.

Lufttætheden er tillagt større betydning end diffusions-tætheden, dog følges disse ved folieløsninger oftest ad.

LfV's gennemgang af lufttætheden har drejet sig om:

- a. de store fladers egentæthed, f.eks. overlæg og klemning af foliebaner i væg, tag og gulv.
- b. samlingen mellem de store flader. Her sker der ofte skift i materialevalg og dermed i tætningsmetode.
- c. tilslutning ved vinduer og døre, hvor der oftest forekommer spring i tæthedsplanet. F.eks. kan væggens tæthedsplan udgøres af plastfolien, der ligger lige op mod den indvendige beklædningsplade, medens vinduets tæthedsplan er glasset, der kan ligge midt i vægtykkelsen. Hvordan sikres en lufttæt forbindelse?
- d. oplukkelige vinduers (og døres) egen lufttæthed gennem valg og placering af tætningsliste. Tætningslisten skal ubetinget ligge i samme plan hele vejen rundt om vinduet!
- e. gennemføringer af kanaler, rør og kabler. En særlig (ganske enkel) metode er udviklet til lufttætte gennemføringer i folier (dampspærre). Eneste - og nødvendige - forudsætning er, at gennemføringen fastlægges under projekteringen, se side 50.
- f. vurdering af sårbarheden af den udførte (folie) tætning. Det klassiske eksempel er her den udspændte plastfolie i loftet, som for en tid sidder ubeskyttet af loftsbeklædning, bl.a. fordi el-installatøren skal have tid til at montere dåser og rør. Der skal kun et lille uheld til, for at en grat på et el-rør river hul i folien. Bliver hullet opdaget og lukket?
Under denne gennemgang er det ofte lykkedes LfV at flytte folien fra en sårbar til en mindre sårbar placering.

6.1. Hus A

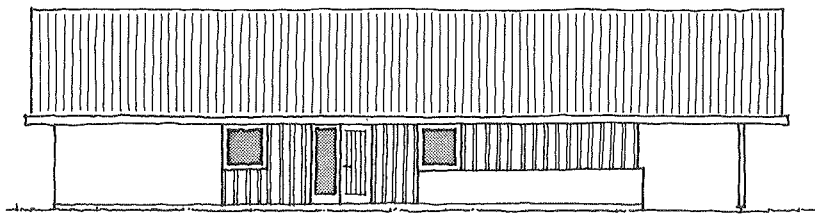


Figur 10. Lavenergihus A.

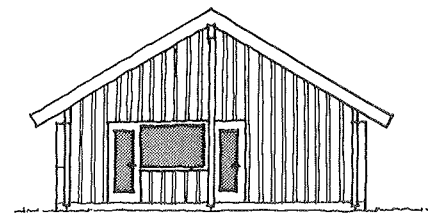
Hustype 15,2 x 8,1 m² fritliggende længehus.
Gulv på jord. Sadeltag.

Traditionel håndværksmæssig opførelse på
stedet.

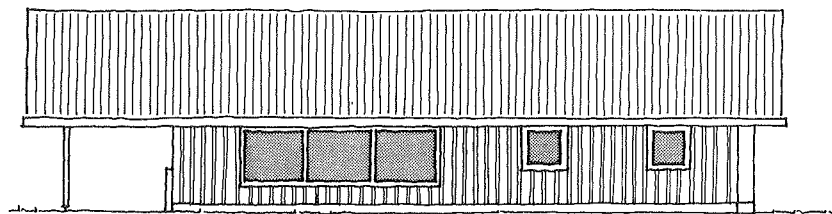
Firmagruppe A/S Johan Christensen & Søn
P.E. Malmstrøm, rådgivende ingeniørfirma A/S



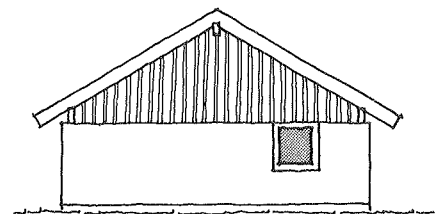
NORDFACADE



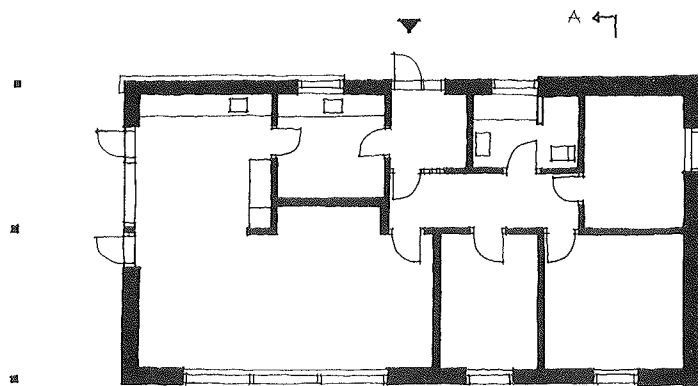
VESTGAVL



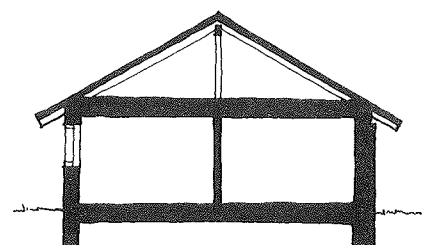
SYDFACADE



ØSTGAVL

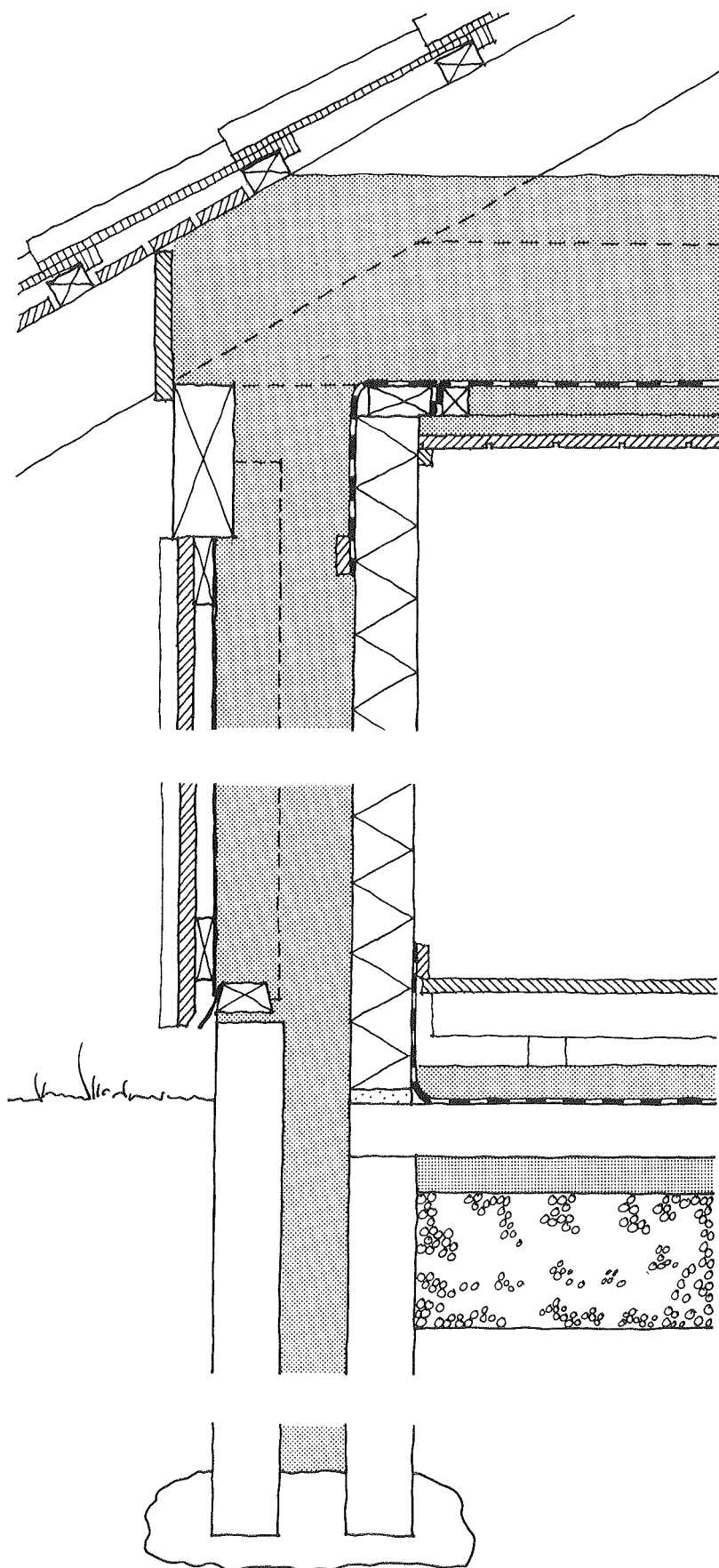


PLAN



SNIT A-A

Fundament	100 mm præfabrikerede, armerede betonbjælker på punktfundamenter. Bjælkerne er monteret to og to og i bunden sammenstøbt med ca. 100 mm beton afrettet med løse letklinker. Isoleret på stedet med 100 eller 225 mm mineraluld.
	NB! ny konstruktion, prototype udviklet til lavenergihuset.
Gulv	200 mm løse letklinker, 50 mm stiv mineraluld, 80 mm beton støbt sammen med fundaments indre vange, 0,15 mm plastfolie, 50 mm mineraluld, 22 mm strøgulv på opklodninger.
Væg	En-på-to træbeklædning (mahogni) på lægter, vindtæt pap på stolper ophængt i drager - eller 1/2-stens skalmur - 200 mm mineraluld og 100 mm letbetonelementer, spartlet og malet.
Loft	200 x 75 mm bjælker med 300 mm mineraluld, 0,15 mm plastfolie, 50 x 50 mm lægter med 50 mm mineraluld, 32 x 50 mm lægter med 30 mm mineraluld, el-varmefolie i elementer, 19 mm høvlede, pløjede loftsbrædder.
Tag	Cementtegl på lægter og spær.
Kuldebro-afbrydelse	Fundamentskonstruktionen afbryder effektivt den traditionelle kuldebro på dette sted. I ydervæggen er der kun de nødvendige stål-trådsbindere mellem letbetonelementerne og udvendig skalmur. I den træbeklædte del af facaden er stolpekonstruktionen helt adskilt fra letbetonelementerne.



TAG :

CEMENTTAGSTEN PÅ
LÆGTER

LOFT :

BJÆLKER
300 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
LÆGTER
50 mm MINERALULD
LÆGTER
30 mm MINERALULD
EL-VARMEFOLIE
LOFTSBRÆDDER

YDERVÆG :

BRÆDDEBEKLÆDNING
LÆGTER
VINDTÆT PAP
STOLPER (OPHÆNGT I
DRAGER)
200 mm MINERALULD
LETBETONELEMENTER
(SPARTLET OG MALET)

GULV :

GULVBRÆDDER
STRØER PÅ OPKLØDS.
50 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
BETON
50 mm STIV MINERALULD
LØSE LETKLINKER

FUNDAMENT :

BETONELEMENTER PÅ
PUNKTFUNDAMENTER
100 mm MINERALULD

Figur 11. Hus A. Snit i ydervæg - sydfacade.

I loftet medfører det dobbelte, krydsende lægtesystem samt isoleringens overhøjde i forhold til loftsbjælkerne en effektiv kuldebroafbrydelse. I facaden - ved vægelementernes toprem - er der en mindre kuldebro til bjælkerne.

Lufttæthed

Gulvets dampspærre udlægges efter vægelementerne er spartlet. Folien føres ca. 1/2 m op ad væggen og hæftes. Når trægulvet er lagt, klemmes folien mod væggen af fodpanelet, der er påklæbet en skumnylonliste på bagsiden.

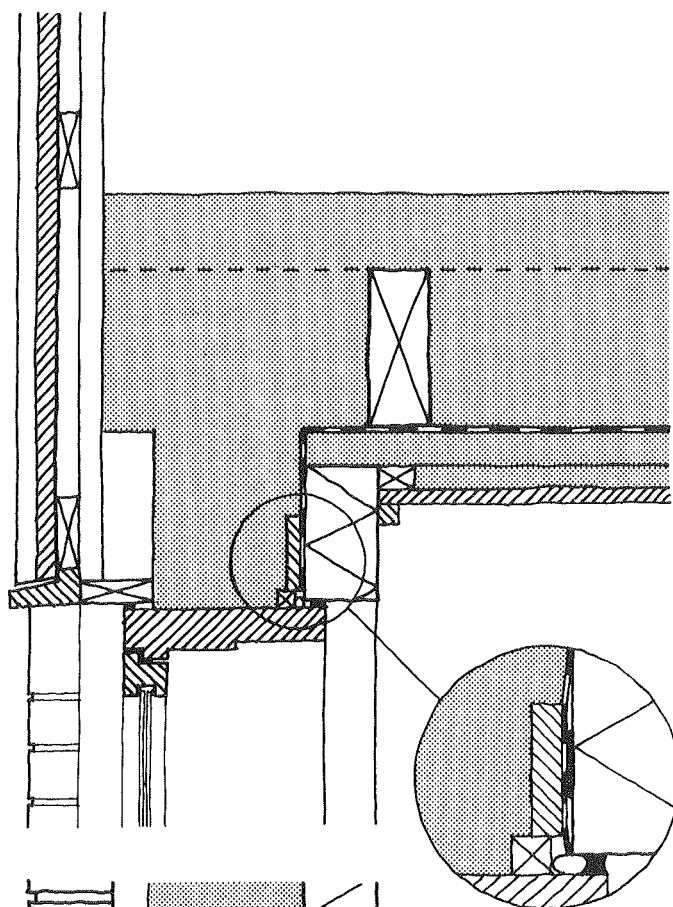
Væggens spartling og maling udgør lufttættheden og fugtspærren.

Vindueselementerne er udvendigt tætnet mod vægelementerne med fugemasse.

Loftets dampspærre er i projektet ført ned ad vægelementernes yderside og klemt mod en strimmel fugemasse. En alternativ udførelse i praksis er: Folien føres ca. 1/2 m ned ad væggens inderside. Ved opsætning af de 32 mm lægter (langs alle ydervægge!) rulles folien til en pølle, der klemmes mod topremnen (se fig. 13).

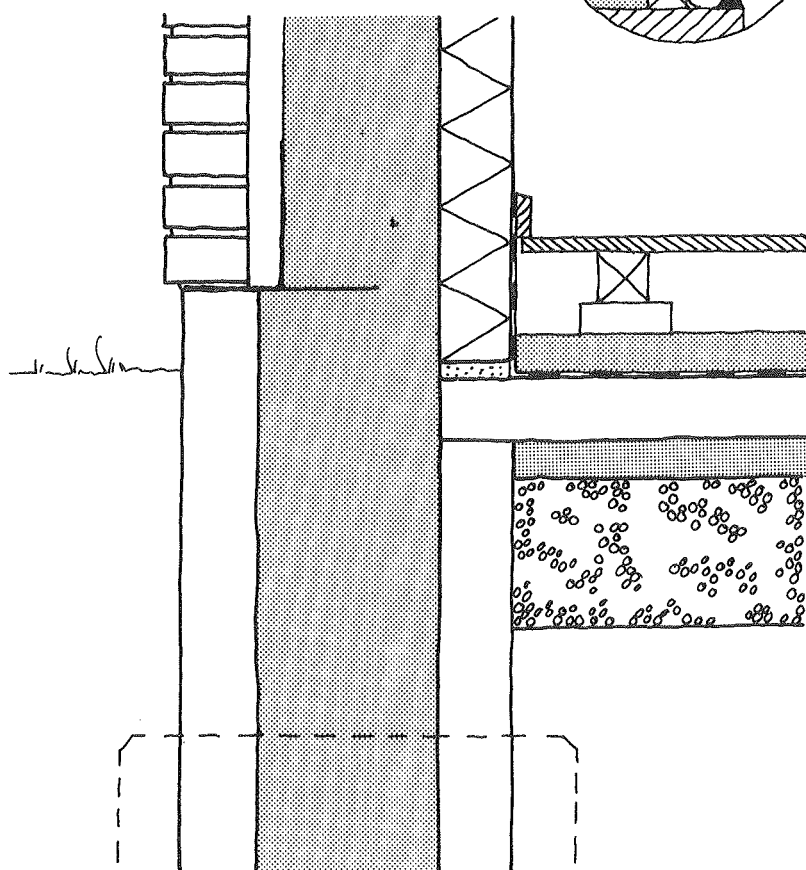
Foliebanerne er lagt med min. 150 mm overlæg, der i loftet er klemt. Der er ikke anvendt tape.

Over den gennemgående limtræsdrager i husets midte er der inden oplægningen af bjælkerne lagt en folie, som siden klemmes mod den øvrige loftsfolie.



DAMPSPÆRRE :

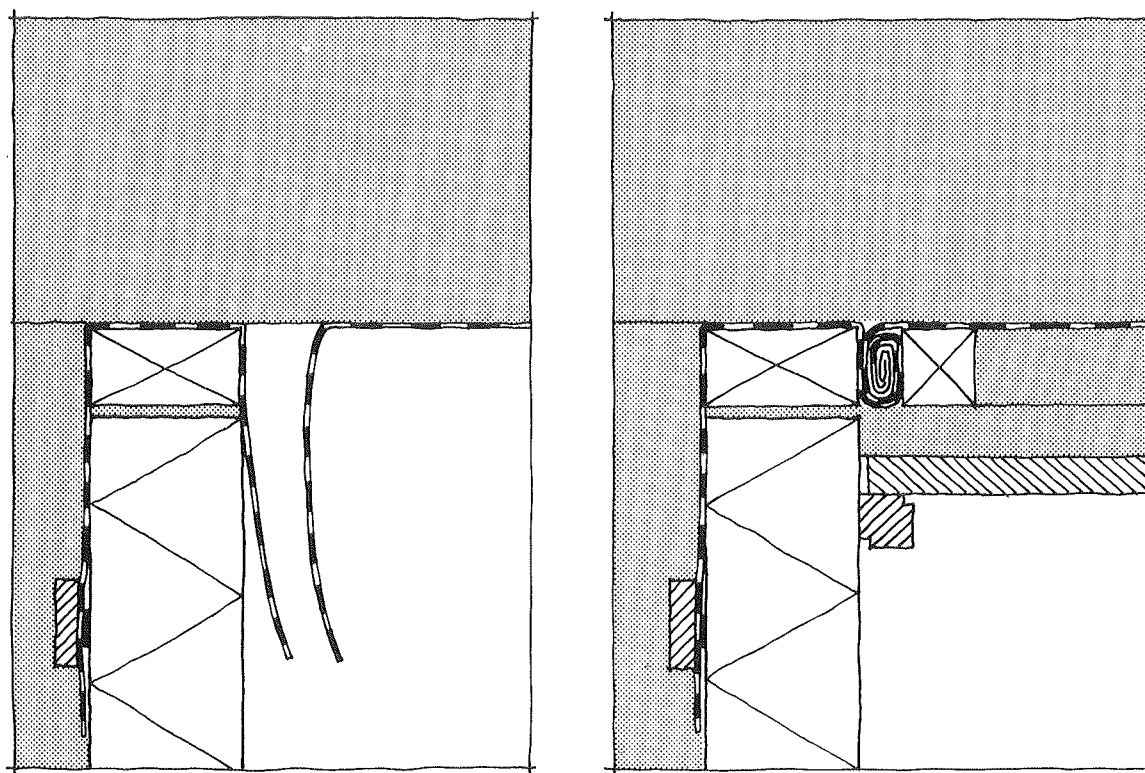
FOLIEN KLEMMES MOD
FUGEMASSE PÅ LET-
BETONVÆGGEN, FAST-
HOLDES AF LISTE



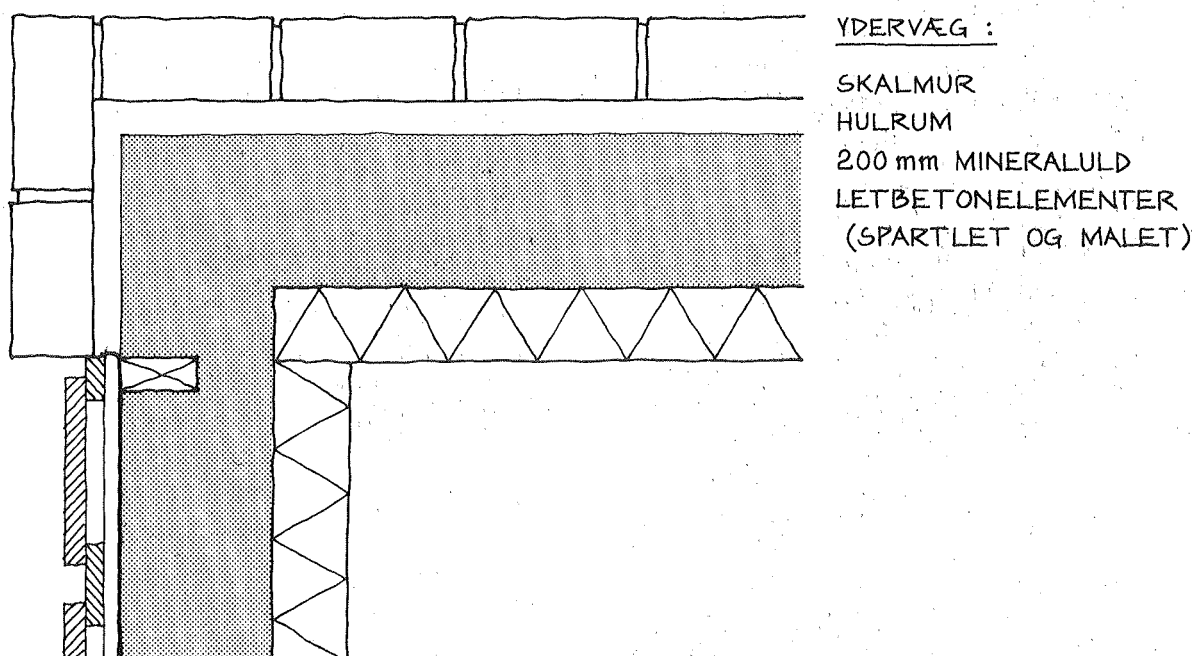
FOLIEN KLEMMES MOD
LETBETONVÆGGEN MED
FODPANEL PÅKLÆBET
EN SKUMNYLONLISTE

Figur 12. Hus A. Snit i ydervæg - gavl mod vest.

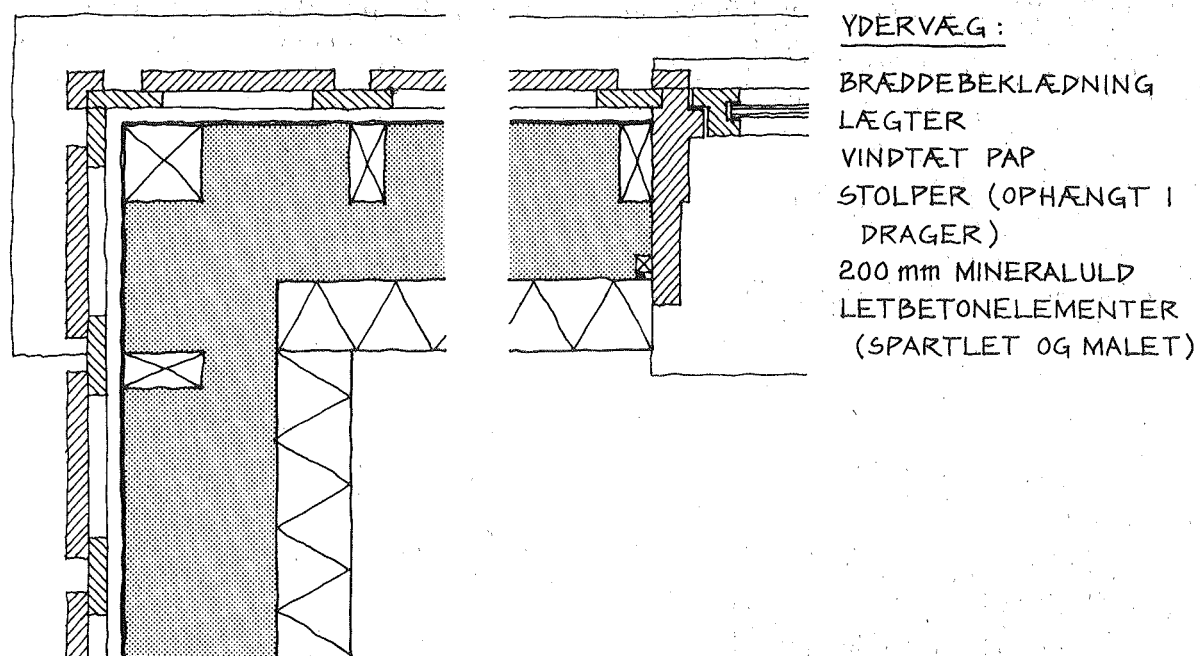
Bemærk i øvrigt, at loftets folie er anbragt beskyttet, således at installationen af den elektriske loftsvarme (varmefolie) har kunnet foretages uhindret uden risiko for at ødelægge dampspærren.



Figur 13. Hus A. Foliepølle klemte mod toprem.

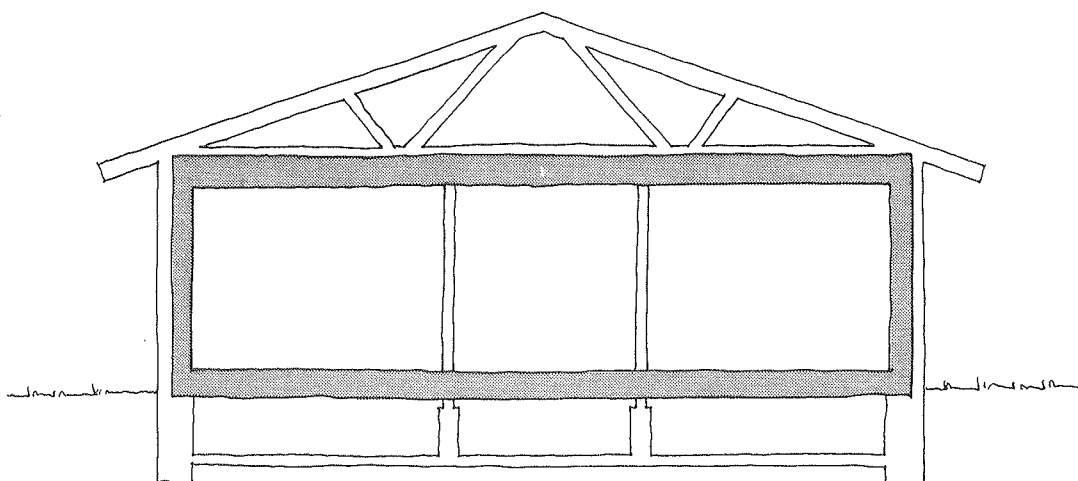


Figur 14. Hus A. Vandret snit i ydervæg med skalmuret hjørne.



Figur 15. Hus A. Vandret snit i ydervæg ved vindue og træbeklædt hjørne.

6.2. Hus B

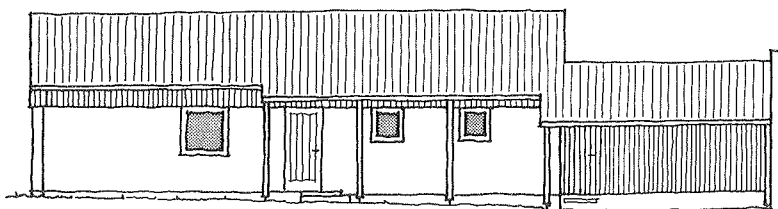


Figur 16. Lavenergihus B.

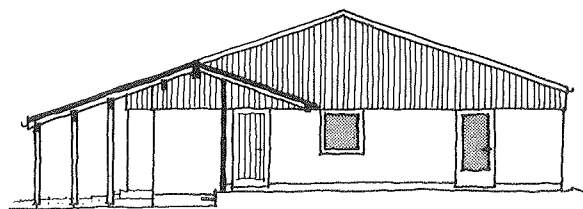
Hustype 14,0 x 10,0 m² fritliggende længehus.
Krybekælder. Sadeltag.

Husets isolerende skal er udført af store,
præfabrikerede stressed-skin elementer.

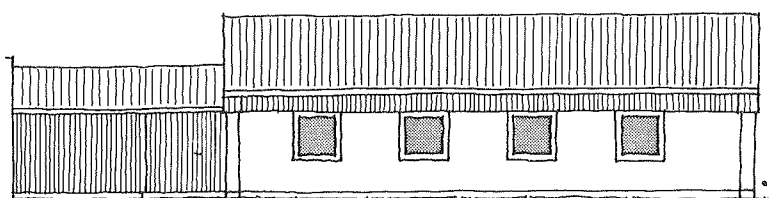
Firmagruppe Rockwool A/S
Rut Speyer, arkitekt
Birch & Krogboe, rådgivende ingeniørkontor K/S



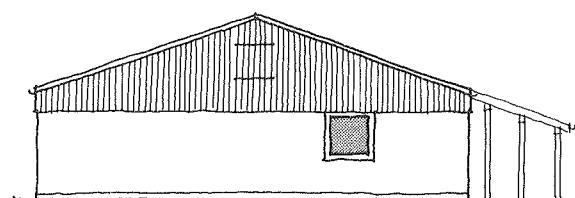
NORDFACADE



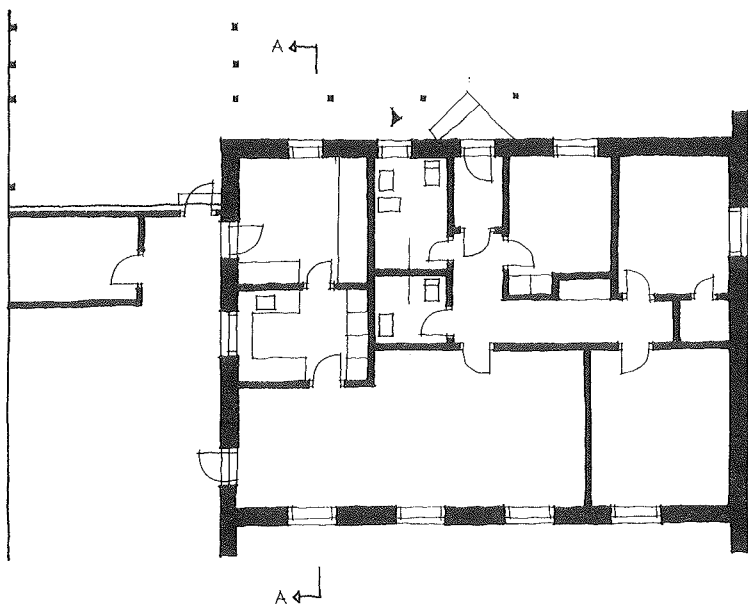
VESTGAVL



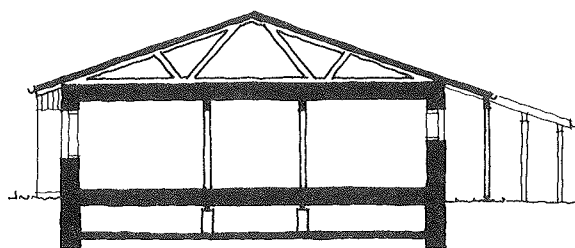
SYDFACADE



ØSTGAVL

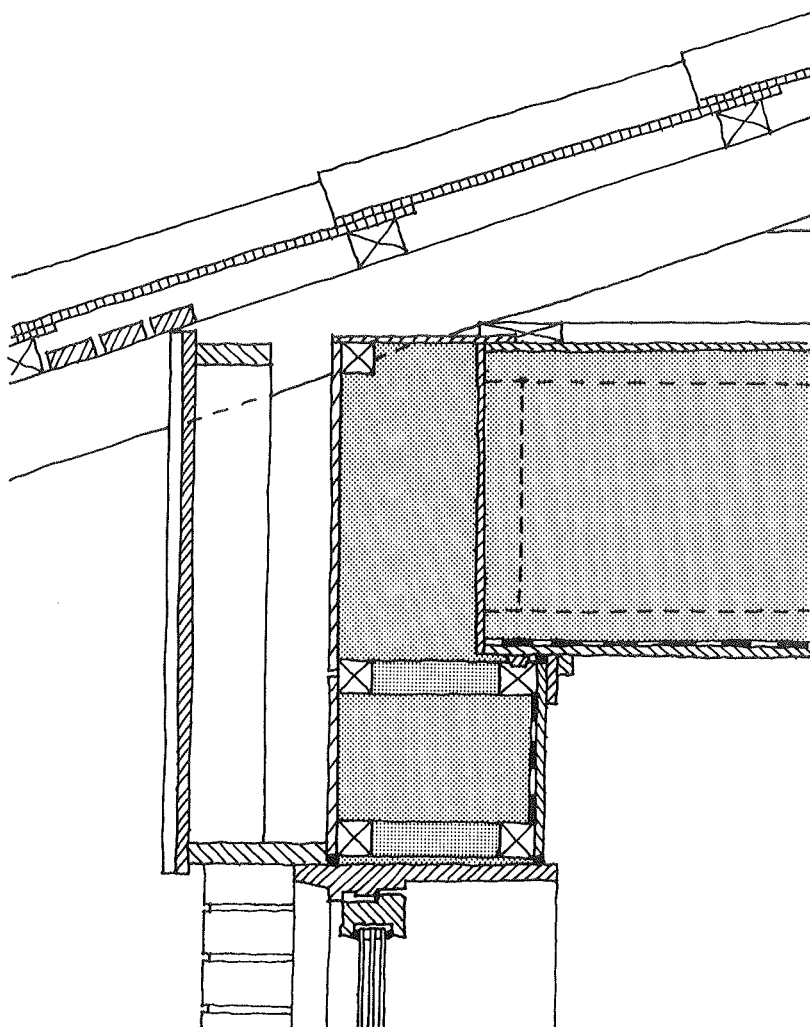


PLAN



SNIT A-A

Fundament	480 mm rendefundament af beton, 100 mm klap-lag i krybekælder,
Gulv	Stressed-skin element, med længde svarende til husets bredde, oplagt på to langsgående remme som mellemunderstøtning og på indstillelige specialbeslag på fundamenter. Elementet er bygget over Rockwool-bjælker (se fig. 21) med 6,5 mm krydsfinér underplade, 300 mm mineraluld, dampspærre og 15 mm krydsfinér overplade. Efter tætning af elementernes fuger i oversiden med fugemasse er udlagt 65 mm stiv mineraluld og 22 mm svømmende parketgulv.
Væg	1/2-stens skalmur, hulrum (ventileret til krybekælderen), præfabrikeret vægelement. Elementet er bygget over Rockwool-stolper (se fig. 20) med udvendig 12 mm asfaltboard, 250 mm mineraluld, dampspærre og 15 mm indvendig krydsfinér.
Loft	Samme konstruktion som vægelementet, dog med 400 mm mineraluld og med folie og 15 mm krydsfinér vendt nedad.
Tag	Bølgetagplader på lægter, gitterspærfag.
Kuldebro-afbrydelse	De kraftigt isolerede stressed-skin elementer bygget over den specielle Rockwool-stolpe medfører, at huset er renset for væsentlige kuldebroer.

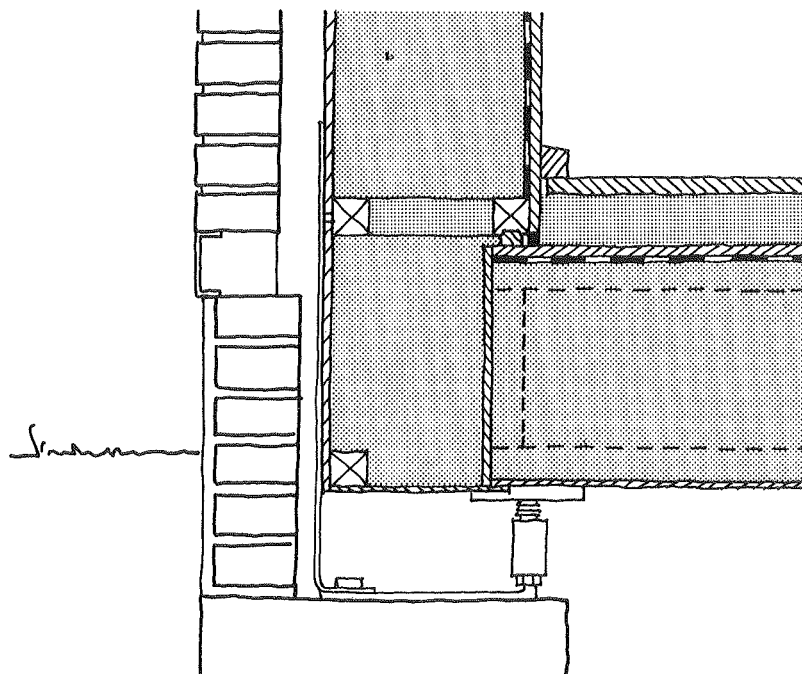


TAG :

BØLGETAGPLADER
LÆGTER
GITTERS PÆR
TOPREM
LOFTSELEMENT :
6,5 mm KRYDSFINER
400 mm MINERALULD
BJÆLKER
DAMPSPÆRRE
15 mm KRYDSFINER

YDERVÆG :

FØROVEN : BRÆDDEBEKL.
PÅ TRÆSKELET
I ØVRIGT : SKALMUR
HULRUM
VÆGELEMENT :
12 mm ASFALTBOARD
250 mm MINERALULD
STOLPER
DAMPSPÆRRE
15 mm KRYDSFINER



GULV :

PARKETGULV (SVØMMENDE)
65 mm STIV MINERALULD
GULVELEMENT :
15 mm KRYDSFINER
DAMPSPÆRRE
300 mm MINERALULD
BJÆLKER
6,5 mm KRYDSFINER

OPKLØDSNING OG
FORANKRING

KRYBEKÆLDER

Figur 17. Hus B. Snit i ydervæg - facade.

Rockwool-
stolpe

Rockwool-stolpen (se fig. 20) består af to lægter 45 x 45 mm limet til en strimmel 45 mm kantstillet pladebatts. Stolpen har stor stivhed, den kan bearbejdes på samme måde som en massiv træstolpe. 2 stolper sømlimet om en 6,5 mm krydsfinér krop giver en bjælke (se fig. 21).

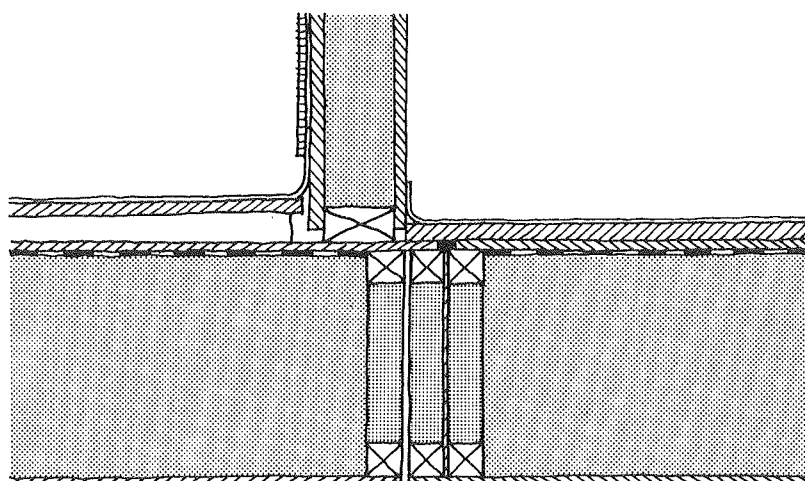
NB! Ny konstruktion, færdigudviklet til lavenergihuset.

Lufttæthed

Huset har opnået en meget høj grad af lufttæthed, idet den indvendige 15 mm krydsfinér har kunnet leveres i elementstørrelse. Således er gavlen lavet som ét element, facaden som to elementer og gulv og loft som 6 elementer, hvoraf det ene er i halv bredde.

Denne konstruktionsmetode har medført meget få fuger, som så til gengæld har kunnet ofres mere omhu. Efter en mekanisk fastholdelse af fugens bredde ved sømning af nabo-elementets overrørende pladekant (se fig. 18) er der udført en sædvanlig forsegling med fugemasse på bundstopning. Som forberedelse til fugningen er alle fugeflader renset og primet. Ved særlige udsparinger i husets indre vægge har forseglingen kunnet udføres som ét sammenhængende hele (se også fig. 17, hvor væggenes forsegling til gulv og loft er vist). Alle fuger har direkte kunnet inspiceres. Det skal bemærkes, at rejsningen af husets elementer var begunstiget af tørt sommervejr, således at de pladekanter, der skulle fuges imod, hele tiden har været tørre.

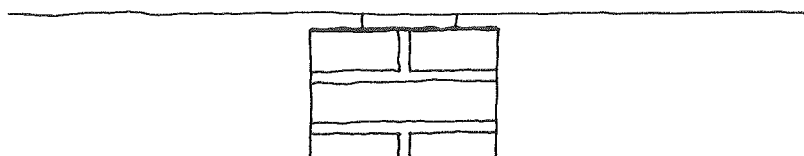
Vindueselementerne er indvendigt forseglet med fugemasse til væggenes 15 mm krydsfinér.



BAD / BRYGGERS

VINYL
SPÅNPLADE

GULVELEMENT

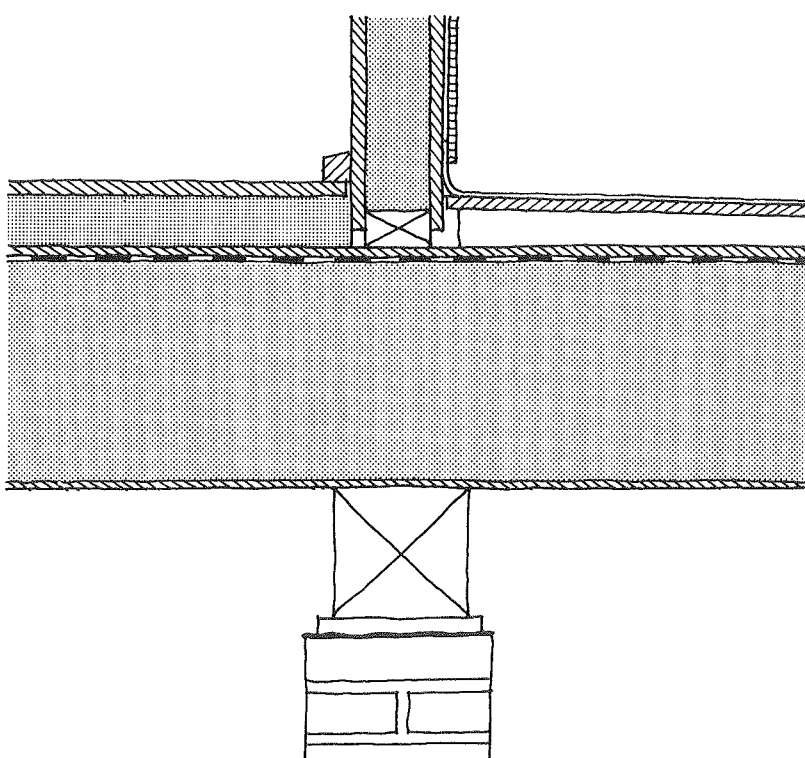


REM

OPKLØDSNING PÅ
TAGPAP

MURPILLE

Figur 18. Hus B. Lodret snit i gulv ved samling af gulv-
elementer.



STUE / BAD

VINYL
SPÅNPLADE PÅ STRØER
- FALD MOD AFLØB

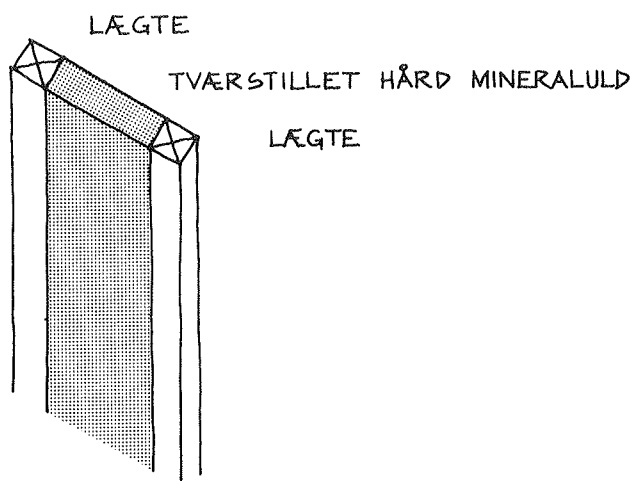
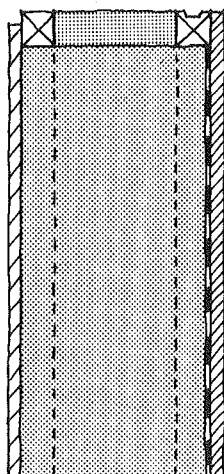
GULVELEMENT

REM

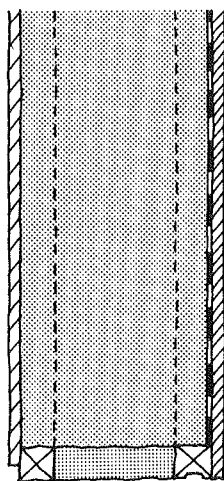
OPKLØDSNING PÅ
TAGPAP

MURPILLE

Figur 19. Hus B. Lodret snit i gulv ved ikke-bærende skil-
levæg.

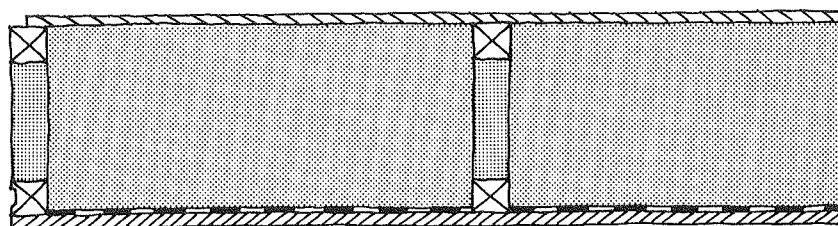


ROCKWOOL STOLPE

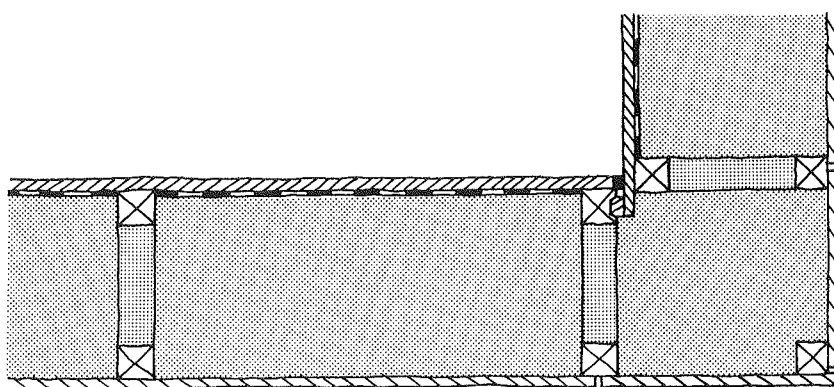


LODRET SNIT

VÆGELEMENT

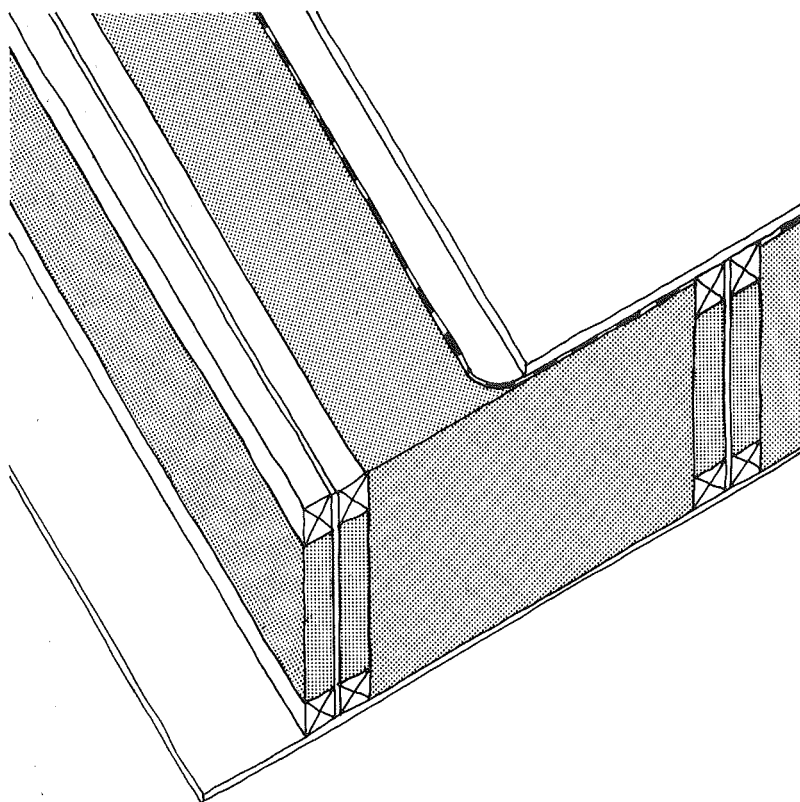


VANDRET SNIT



VANDRET SNIT AF HJØRNESAMLING - "HJØRNEPOSE" PÅSAT
(SKALMUR IKKE VIST)

Figur 20. Hus B. Opbygning af vægelement og samlingsdetalje.



GULVELEMENT:

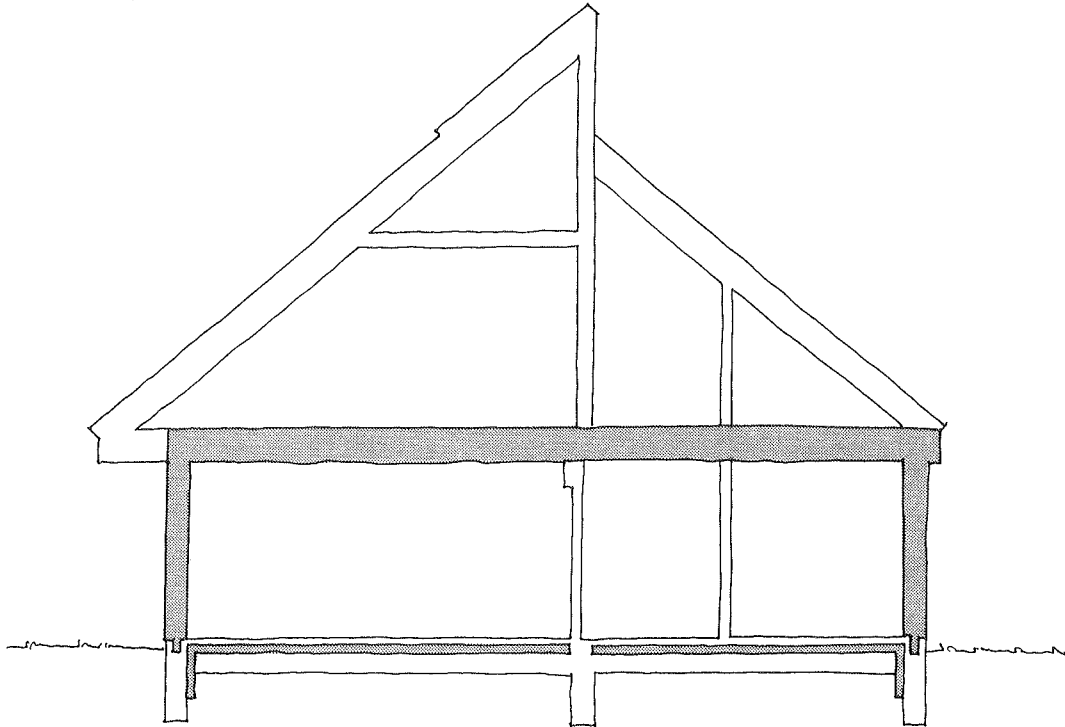
15 mm KRYDSFINER
 DAMPSPÆRRE
 300 mm MINERALULD
 ROCKWOOL BJÆLKE
 PR. 600 mm
 6,5 mm KRYDSFINER

ROCKWOOL BJÆLKE:

2 STK ROCKWOOL STOL-
 PER SØMLIMET OM
 1 STK 6,5 mm KRYDS-
 FINER

Figur 21. Hus B. Gulvelement.

6.3. Hus C



Figur 22. Lavenenergihus C.

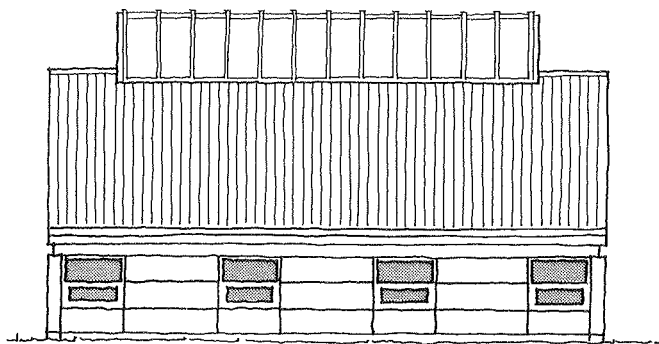
Hustype Sammensat af to længer: 11,0 x 5,5 m² mod
syd + 14,6 x 4,5 m² mod nord.

Da begge længer har 45° tag med ensidigt fald, medfører forskellen i husbredden og i udhængene forskudt kip.

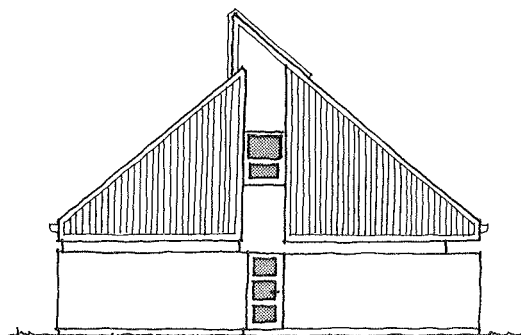
Huset er fritliggende med gulv på jord. Overetagen indgår ikke i undersøgelsen, derfor den kraftige isolering i etageadskillelsen.

Traditionel håndværksmæssig opførelse på stedet.

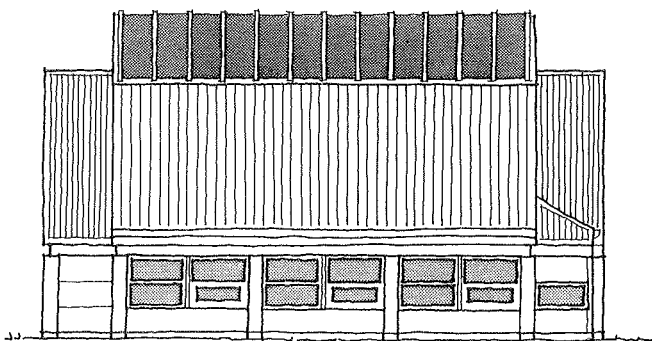
Firmagruppe Høm Huse A/S, nu videreført af NBS-Huse
Vibe-Hansen & Lomborg A/S, arkitekter m.a.a.
Dansk Solvarme K/S
Berg Bach & Kjeld Egmose A/S,
civilingeniører og entreprenører



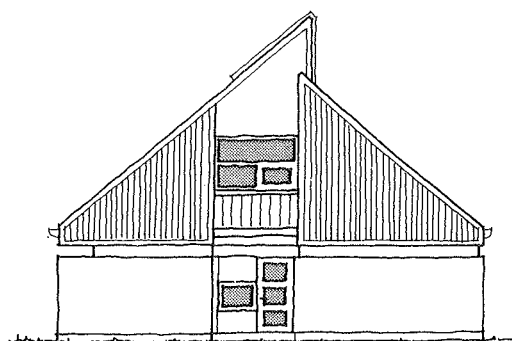
NORDFACADE



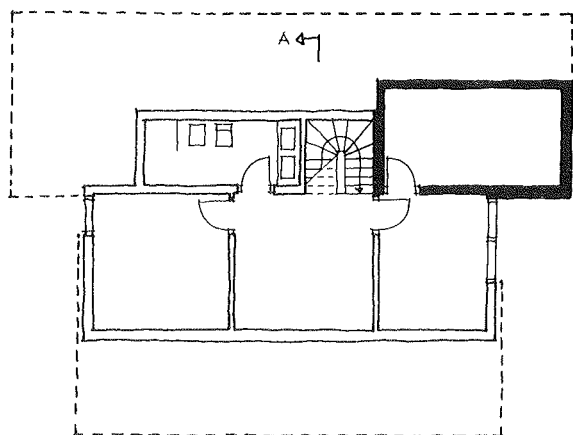
VESTGAVL



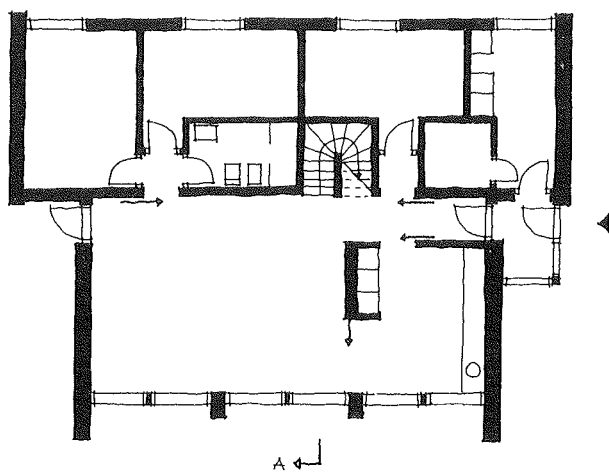
SYDFACADE



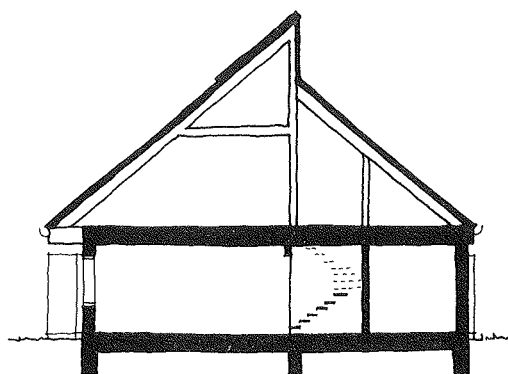
ØSTGAVL



PLAN 1. SAL

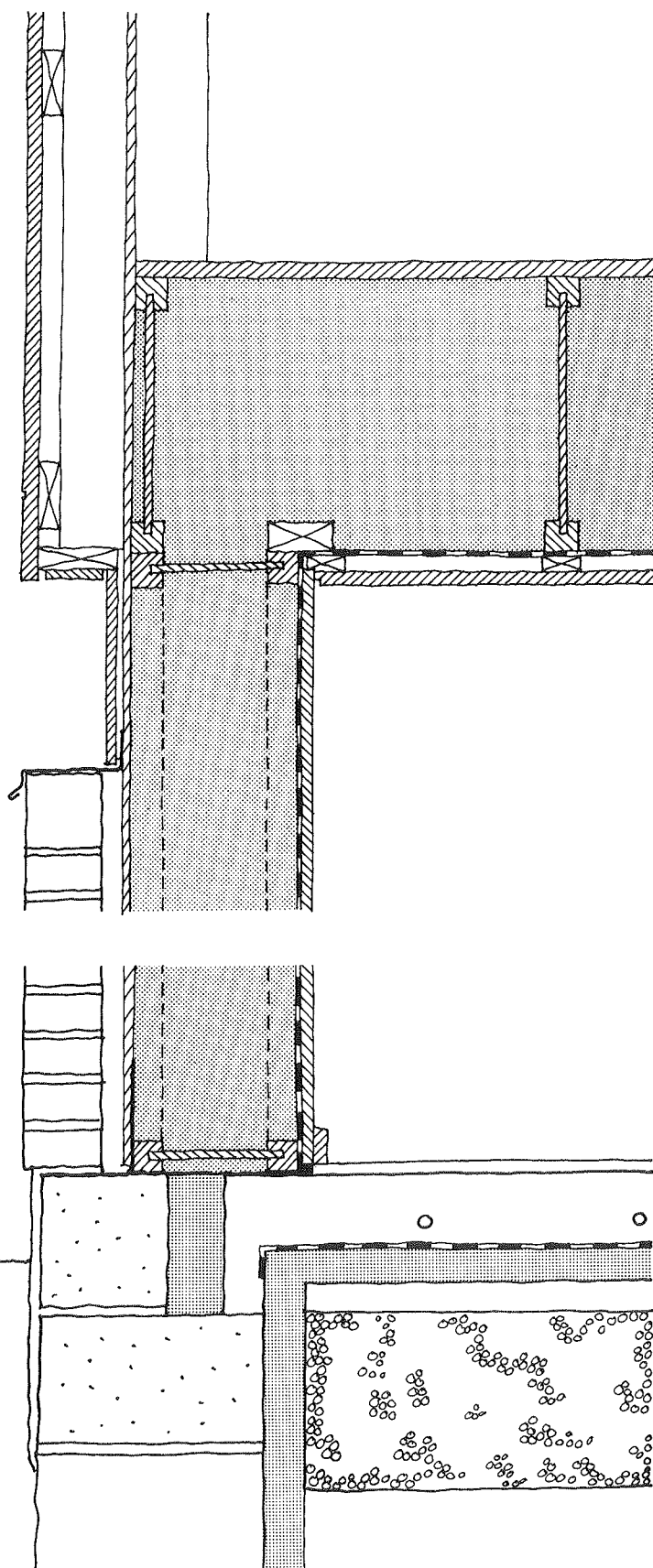


PLAN



SNIT A-A

Fundament	330 mm rendefundament af beton afsluttet med 2 skifter letklinkerblokke.
Gulv	250 mm løse letklinker, 40 mm klaplag, 50 mm stiv mineraluld, 0,15 mm dampspærre, 100 mm beton med indstøbte varmeslanger af plast, tæppebelægning. Det bemærkes, at gulvets mineraluld er ført 0,6 m ned på fundamentets indvendige side.
Væg	1/2-stens skalmur med ventilerede hulrum eller 12 mm bodexbeklædning på 22 mm vandret underlag, asfaltboard, H-Masonite-søjler med 240 mm mineraluld dampspærre, 12 mm træfiber beklædningsplade.
Etage- adskillelse	22 mm spån-gulvplade (i den del af huset, hvor overetagen senere kan tillades indrettet). 400 mm H-Masonite-bjælker med 400 mm mineraluld, dampspærre, spredt forskalling, 19 mm høvlede pløjede loftsbrædder.
Tag	Vingetegl på lægter, undertag af armeret plastfolie, H-Masonite-bjælker som spær.
Kuldebro- afbrydelse	De anvendte Masonite-stolper og -bjælker giver kun uvæsentlige kuldebroer. Fundamentsdetaljen viser en udpræget kuldebro, hvis virkning yderligere forstærkes, da betonpladen indgår i gulvvarmeanlægget. Også gulvets isolering burde have været meget kraftigere. LfV må erkende ikke ved gennemgangen af projektmaterialet at have gjort opmærksom på disse forhold.



GAVL :

BRÆDDEBEKLÆDNING
UNDERLAGSBRÆDDER
STOLPER
ASFALTBOARD

ETAGEADSKILLELSE :

SPÅN-GULVPLADE
MASONITEBJÆLKER
H-400
400 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
FORSKALLINGSBRÆDDER
LOFTSBRÆDDER

YDERVÆG :

SKALMUR
HULRUM
ASFALTBOARD
MASONITE STOLPER
H 240
240 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
TRÆFIBERPLADE

GULV :

TÆPPEBELÆGNING
BETON m/VARMERØR
DAMPSPÆRRE
50 mm STIV MINERALULD
BETONKLAPLAG
LØSE LETKLINKER

SOKKEL :

FUNDAMENTSBLOKKE
AF LETKLINKER
75 mm STIV MINERALULD
50 mm STIV MINERALULD

Figur 23. Hus C. Snit i ydervæg - gavl.

Lufttæthed

Gulvets overbeton er støbt i ét stykke.

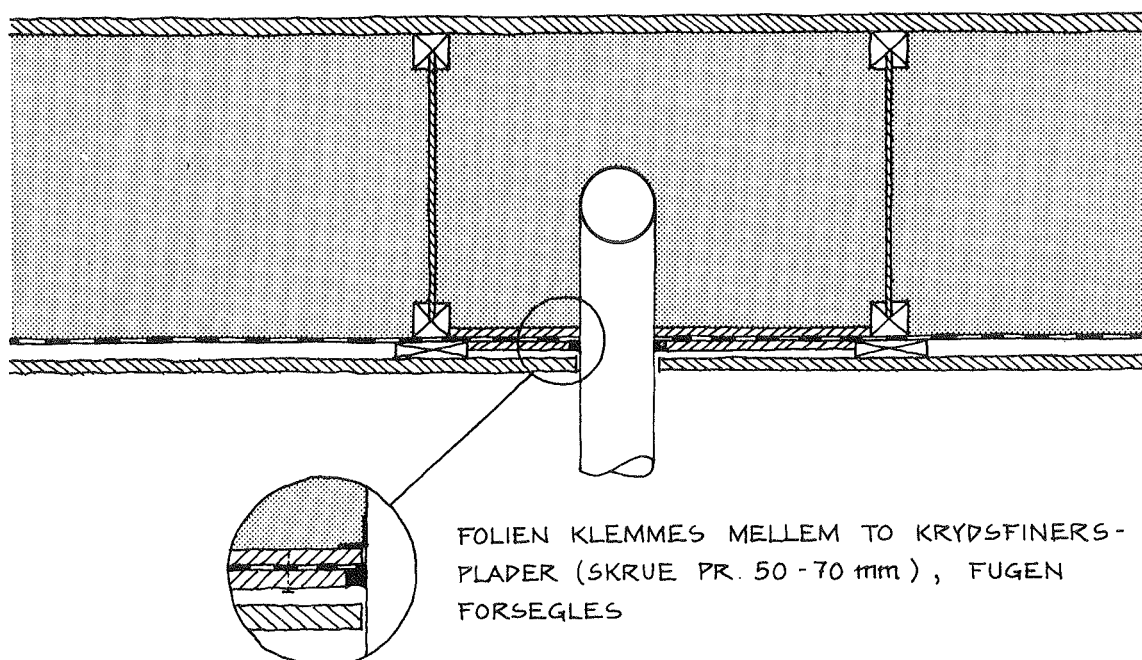
Væggens folie og beklædningsplade er afskåret ca. 12 mm over betonen. Fugen er forseglet med fugemasse på sædvanlig måde. Væggens folie er opsat i baner med rigelige overlæg, der klemmes mod stolperne af beklædningspladen, der er sømmet pr. maks. 150 mm. Langs fod- og toprem klemmes folien på tilsvarende måde.

Loftets folie er ført min. 150 mm ned ad væggen og klemmes til væggens folie af beklædningspladen.

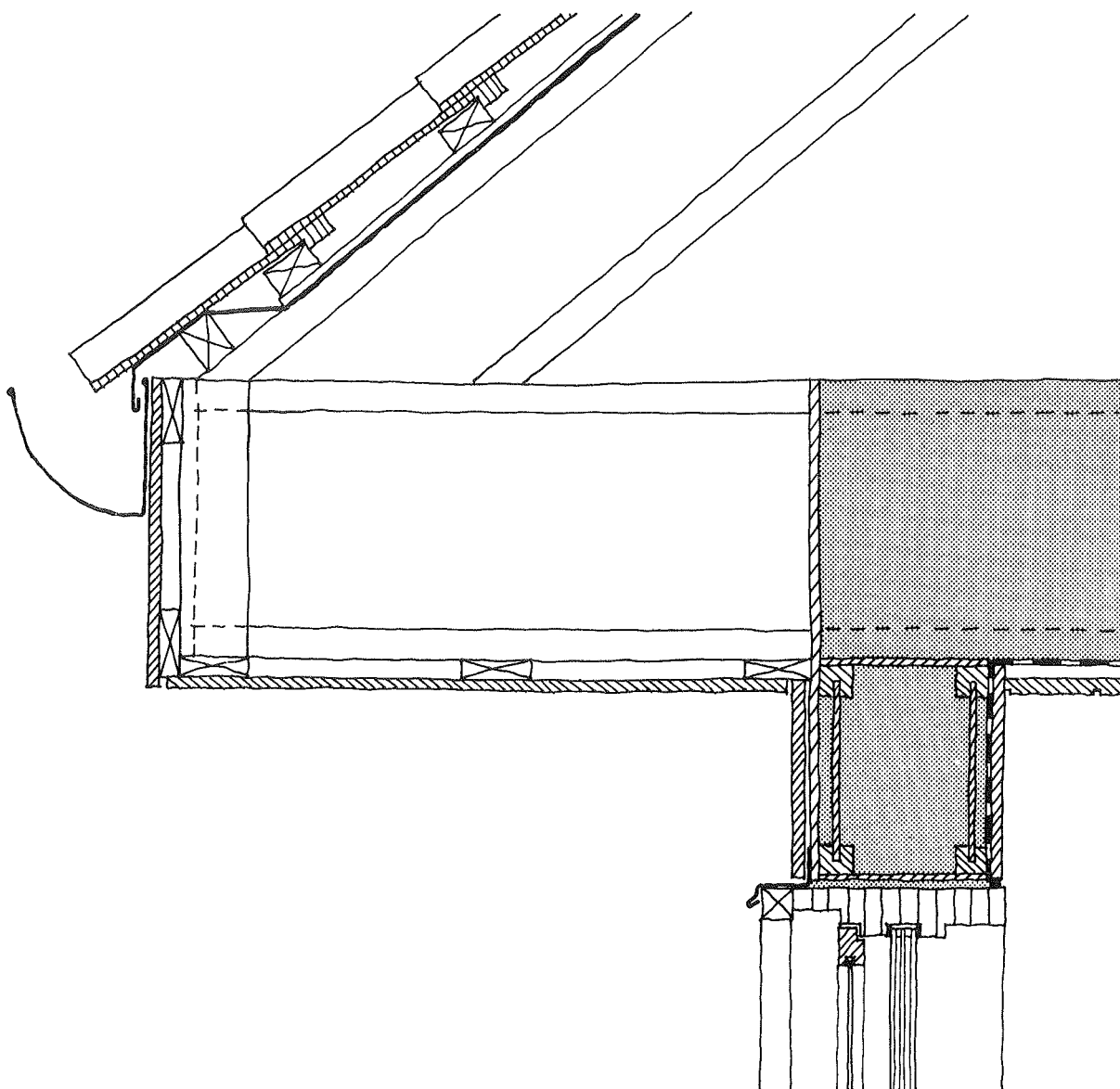
Ved at placere folien over de 19 mm forskallingsbrædder i loftet er opnået en vis frihed til fremføring af el-kabler og -rør uden at beskadige folien, men der skal udvises stor forsigtighed!

Vedr. gennemføringer se figur 24.

Vindueselementerne er indvendigt forseglet med fugemasse til væggens beklædningsplade.



Figur 24. Hus C. Rørgennemføring i loftsfolie. Folien klemmes mellem to krydsfinérplader, fugen omkring røret forsegles.



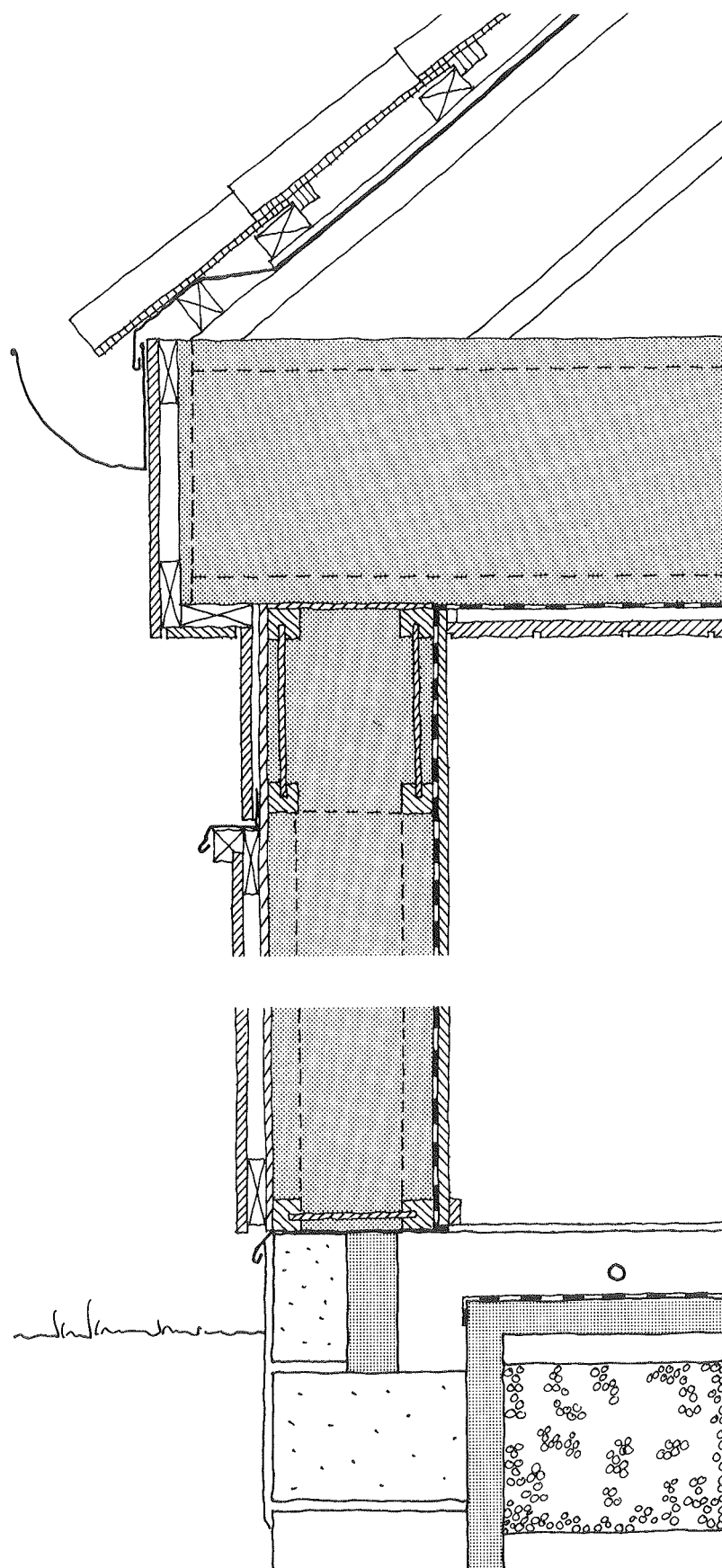
UDHÆNG :

MASONITESPÆR H 300
 MASONITEBJÆLKER H 400 } (KNUDEPLADE IKKE VIST)
 BODEXPLADE PÅ UNDERLAGSBRÆDDER

TOPREM :

2 STK MASONITEBJÆLKER H 300
 240 mm MINERALULD

Figur 25. Hus C. Snit i tagfod - sydfacade.



TAG :

TEGLTAGSTEN PÅ
LÆGTER
AFSTANDSLISTE
ARMERET PLASTFOLIE
MASONITESPÆR H 300
(KNUDEPLADE IKKE VIST)

LOFT :

MASONITEBJÆLKER
H 400
400 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
FORSKALLINGSBRÆDDER
LOFTSBRÆDDER

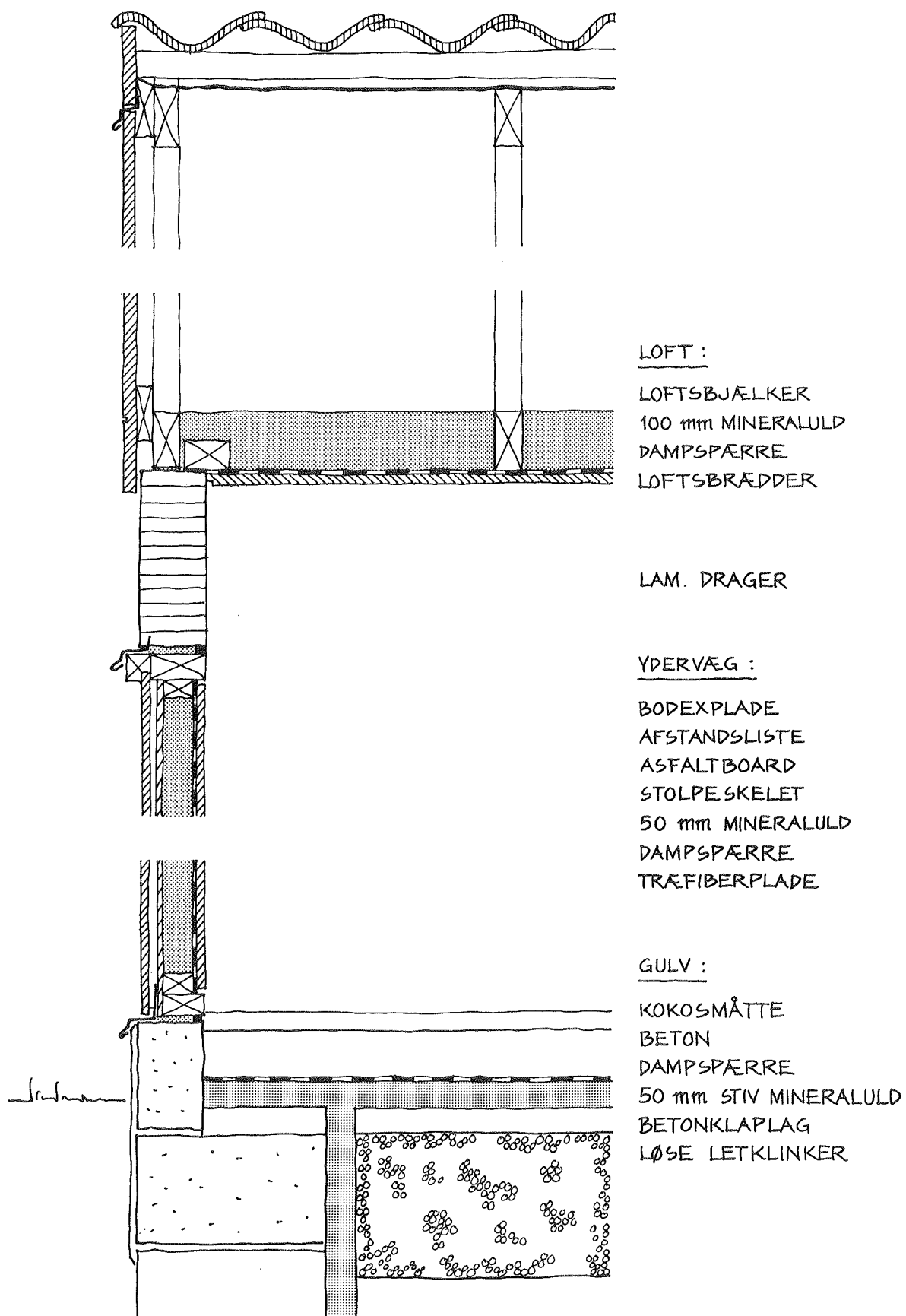
TOPREM :

2 STK MASONITE -
BJÆLKER H 300
240 mm MINERALULD

YDERVÆG :

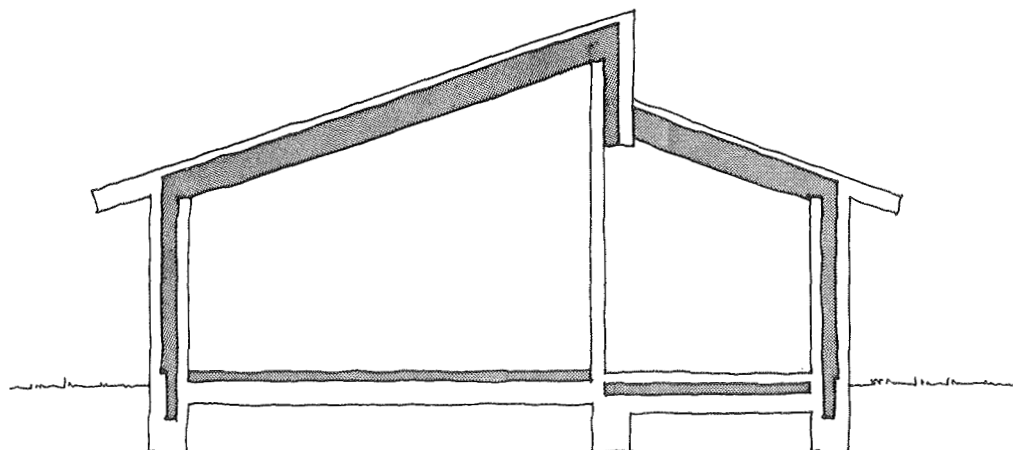
BODEXPLADE
UNDERLAGSBRÆDDER
ASFALTBOARD
MASONITE STOLPER
H 240
240 mm MINERALULD
DAMPSPÆRRE
TRÆFIBERPLADE

Figur 26. Hus C. Snit i ydevæg - nordfacade.



Figur 27. Hus C. Snit i ydervæg - vindfang.

6.4. Hus D.



Figur 28. Lavenergihus D.

Hustype 18,2 x 6,4 m² rækkehus med 7,0 x 2,8 m²
vindfang og bryggers i en tilbygning på
nordsiden.

Rækkehusets tag og loft har ensidigt fald
mod syd.

Gulv på jord.

Traditionel håndværksmæssig opførelse på
stedet.

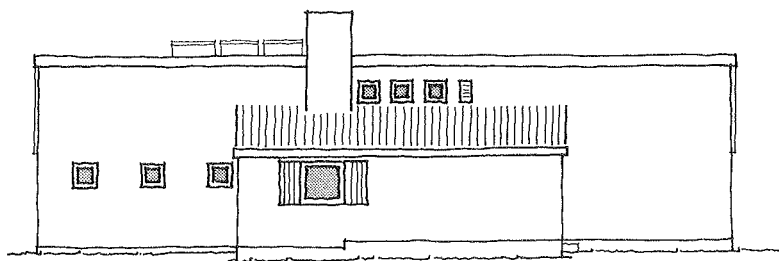
Huset er projekteret som rækkehus, men
opført som fritliggende hus.

Firmagruppe

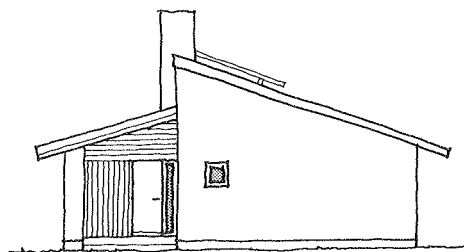
H+H Industri A/S

Bertel Udsen, arkitekt m.a.a.

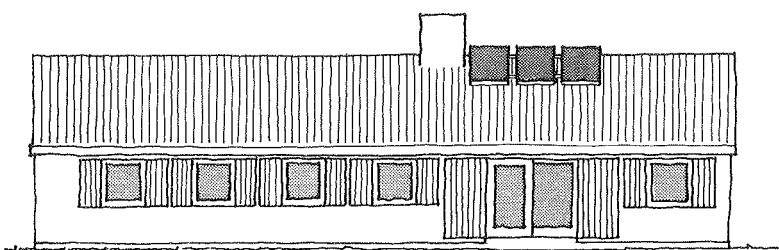
Rådgivende ingeniørfirma Johs. Jørgensen A/S



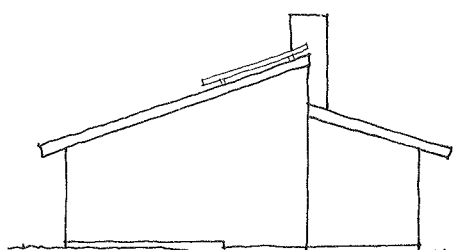
NORDFACADE



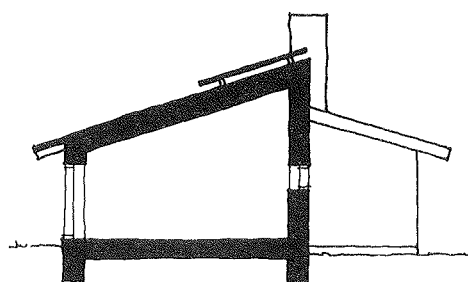
VESTGAVL



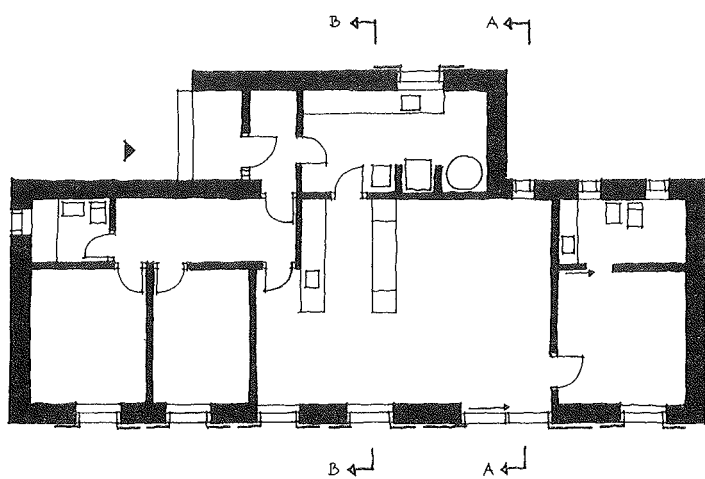
SYDFACADE



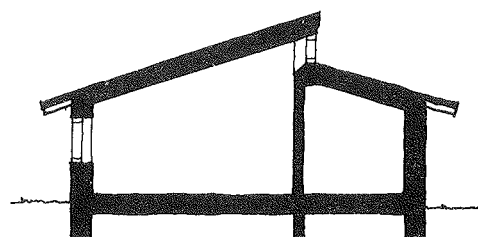
ØSTGAVL



SNIT A-A

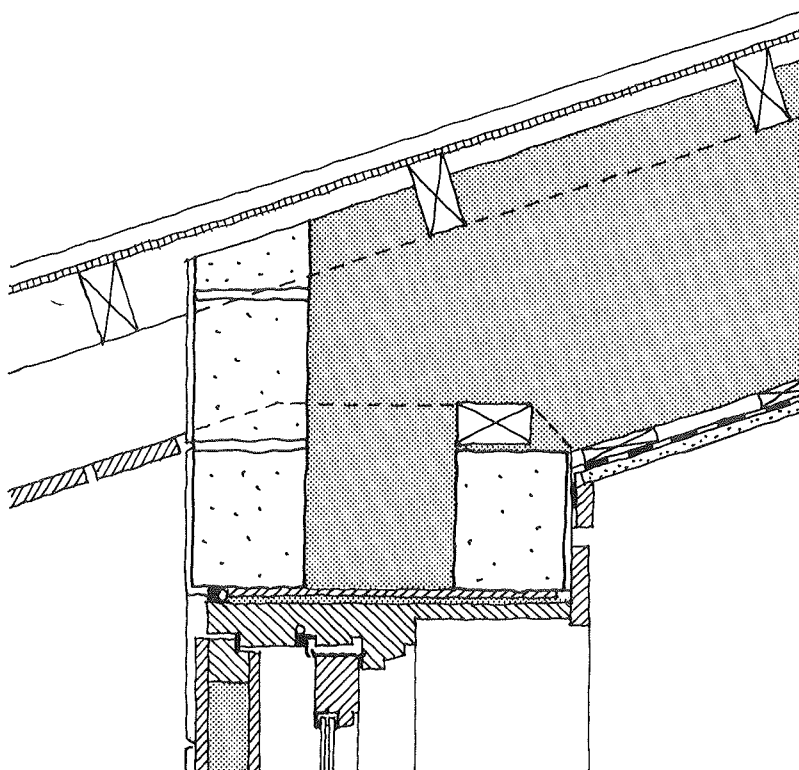


PLAN



SNIT B-B

Fundament	På et 480 mm rendefundament af beton med overside ca. 1/2 m under færdigt terræn er opmuret to fundamentsvanger af letbetonblokke i tre skifters højde. Mellem den udvendige 200 mm og den indvendige 150 mm vange er udskummet med 130 mm polyurethan-skum (PUR-skum). Fundamentet er pudset på ydersiden og holdes tørt af en lodretstående bølgeplade (se fig. 31).
Gulv	200 mm løse letklinker, 90 mm beton + 40 mm afretningslag, 0,15 mm plastfolie, 100 mm stiv mineraluld, 22 mm gulvspånplade/lamel-parket (svømmende gulv).
Væg	Opmuret af letbetonblokke (Poralet 500 kg/m ³ med isoleringsmørtel). Udvendig 150 mm, indvendig 150 mm vange med 200 mm mineraluld mellem vangerne. Tyndpudset på begge sider.
Tag og loft	Bølgetagplader på lægter, laminerede spær med 400 mm mineraluld, 25 mm spredt forskalling, 0,15 mm plastfolie, 12 mm gipsplader.
Kuldebro- afbrydelse	Fundamentets PUR-skum sammen med letbetonblokkene bryder effektivt den traditionelle kuldebro på dette sted. I væggene er udvendig og indvendig vange alene forbundet med bindere af plast, og disses antal er reduceret mest muligt. Således er der ingen bindere i den lave sydfacade. I vindues- og døråbninger er 6 mm vandfast krydsfinér sømmet og limet i letbetonvangen for at afslutte isoleringen, hvorved fulde udmuringer er undgået.

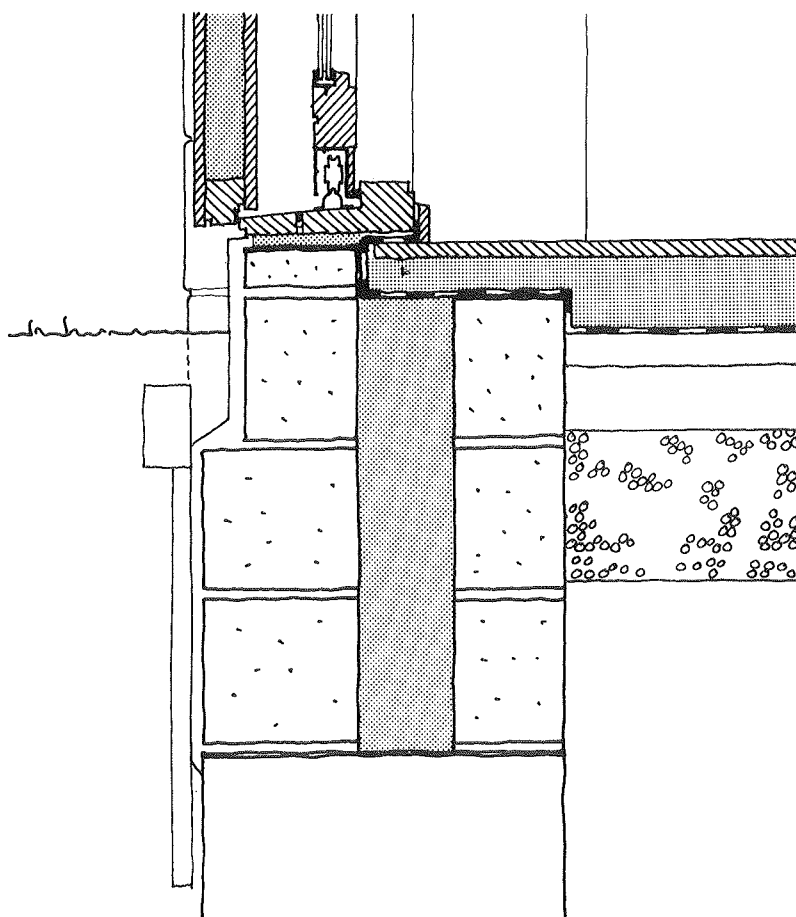


TAG :

TAGPLADER
LÆGTER
VENTILATIONSHULRUM
400 mm MINERALULD
LAM. SPÆR
FORSKALLINGSBRÆDDER
DAMPSPÆRRE
GIPSPLADER

YDERVÆG :

PUDSLAG
LETBETONBLOKKE
200 mm MINERALULD
LETBETONBLOKKE
PUDSLAG



GULV :

PARKETGULV (SVØMMENDE)
100 mm STIV MINERALULD
DAMPSPÆRRE
AFRETNINGSLAG
BETON
LØSE LETKLINKER

SOKKEL :

MURSTENSKLINKER
BØLGEPLADE
SOKKELPUDSLAG
LETBETONBLOKKE
130 mm POLYURETHAN-
SKUM
LETBETONBLOKKE

Figur 29. Hus D. Snit i ydervæg ved havedør - sydfacade.

I loftet udgør de massive spær en vis kuldebro. Ved overgang til sydfacadens udhæng ville denne kuldebro have været mærkbar, hvis ikke spærdimensionen var reduceret i udhænget.

I nordfacaden er der intet udhæng.

Lufttæthed

Gulvets folie er ved lægningen ført ca. 1/2 m op ad den pudsede væg og siden med en strimmel fugemasse klemmt mod væggen af fodpanelet med påklæbet skumnylon.

Loftets folie er på tilsvarende måde klemmt med fugemasse mod den pudsede væg af lister med påklæbet skumnylon.

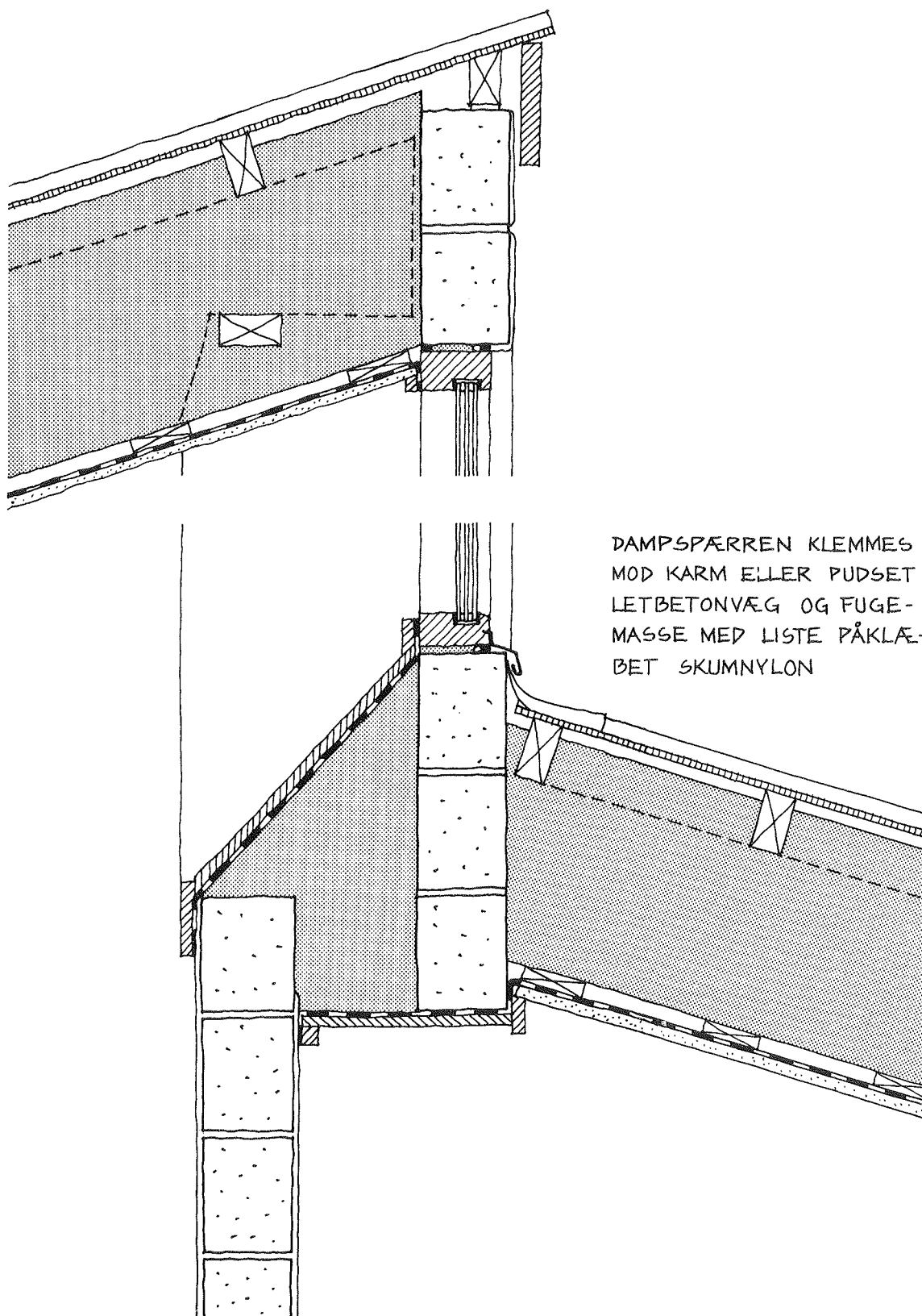
Listerne er skruet i letbetonvæggene.

Ved montage af såvel gulvets som loftets folie er alle samlinger tapede.

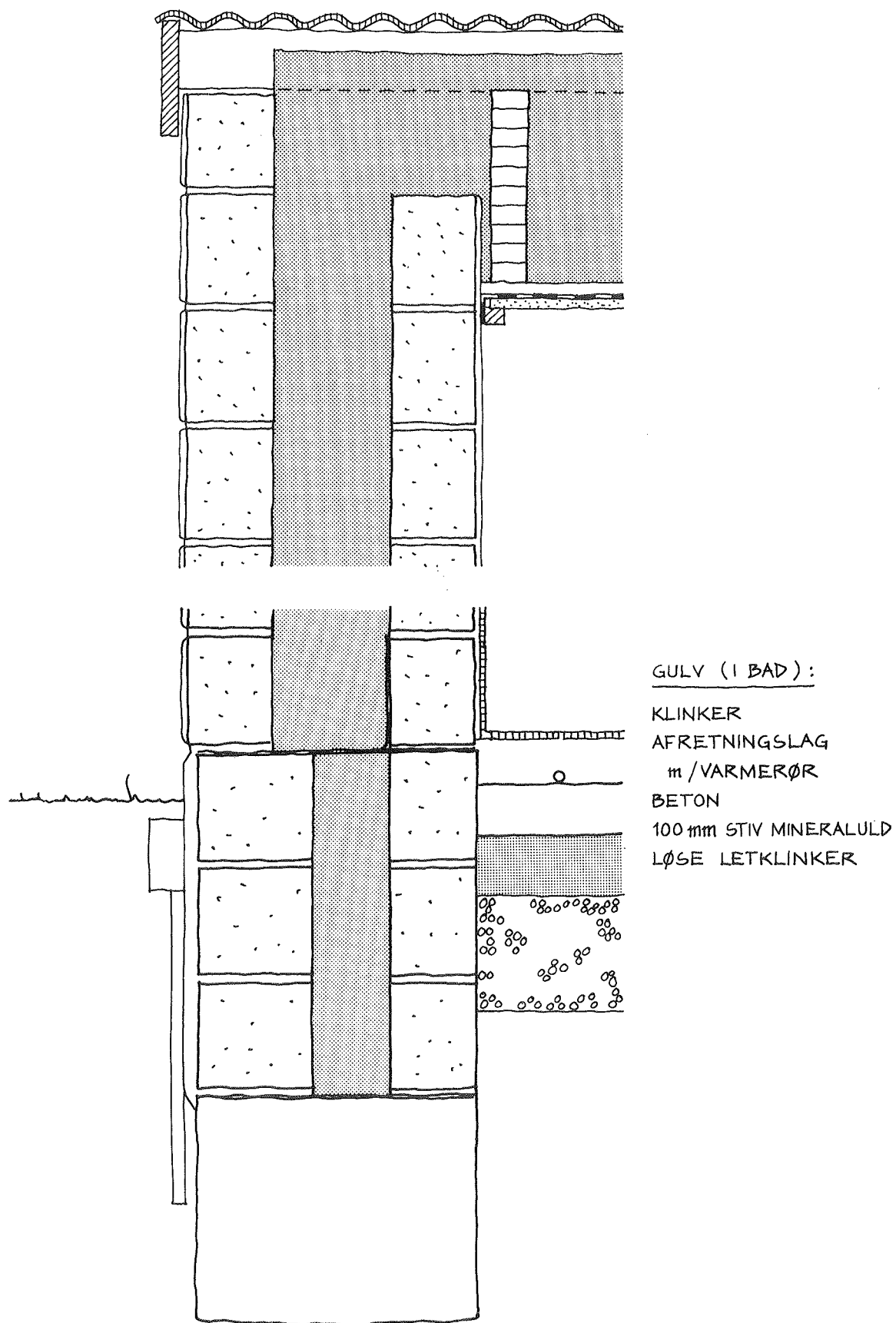
Da husets tværvægge af letbetonblokke af hensyn til lydreduktionen fra rum til rum er ført et stykke op i loftsisoleringen, er det nødvendigt at gøre hvert rum for sig lufttæt, se fig. 32.

Derfor er det vigtigt, at letbetonvæggene har jævne pudsede overflader.

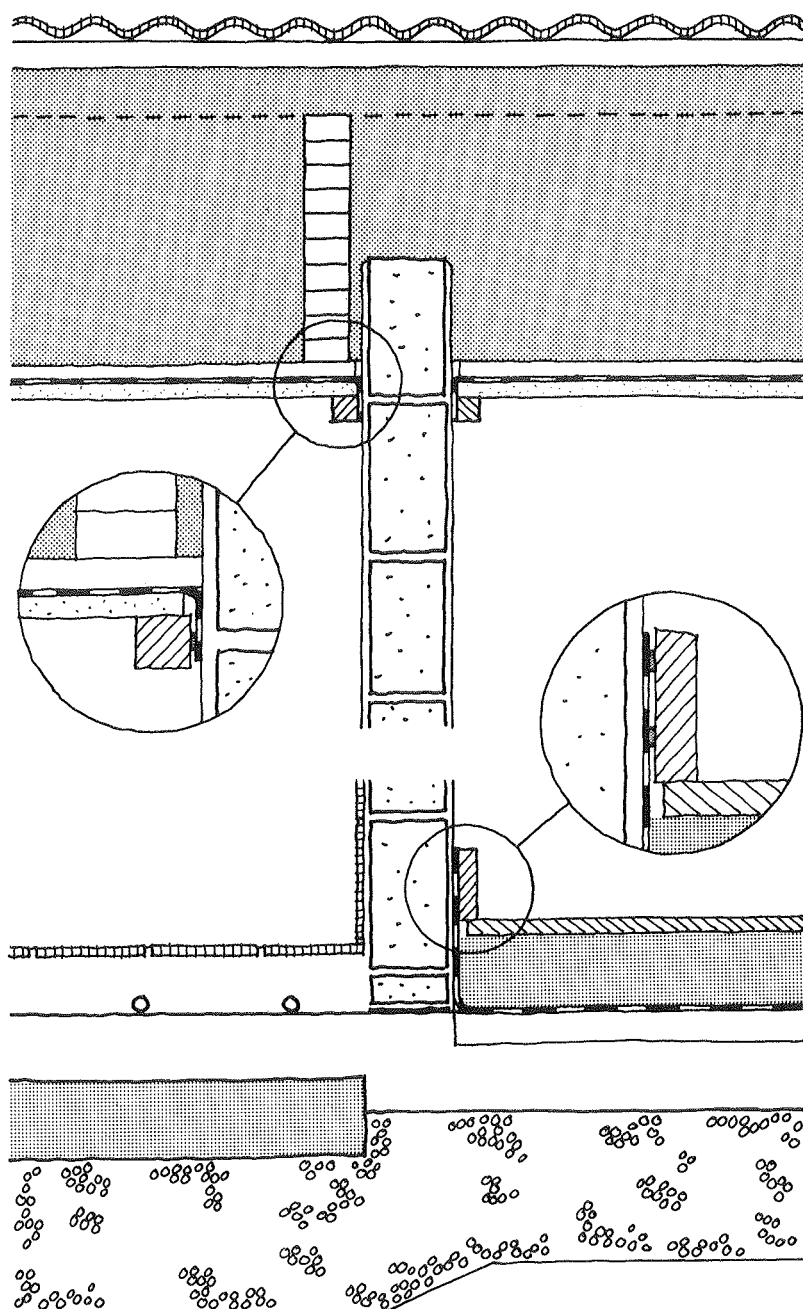
Vindueselementerne er indvendigt forseglet med fugemasse til letbetonvæggens puds.



Figur 30. Hus D. Snit i tagkant og ydervæg ved tilslutning af bryggerstag.



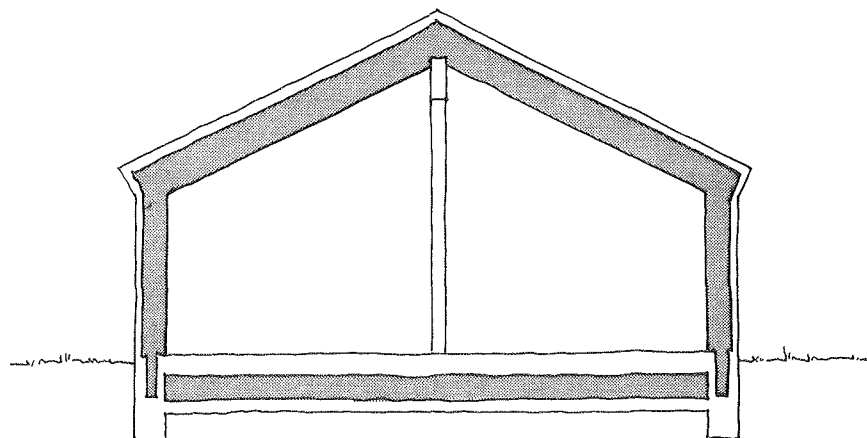
Figur 31. Hus D. Snit i ydervæg - gavl ved bad.



DAMPSPÆRREN KLEMMES
MOD PUDSET VÆG OG
FUGEMASSE MED LISTE
PÅKLÆBET SKUMNYLON

Figur 32. Hus D. Snit i skillevæg - bad/stue.

6.5. Hus E

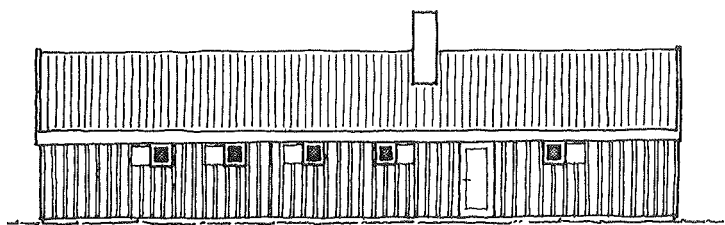


Figur 33. Lavenergihus E.

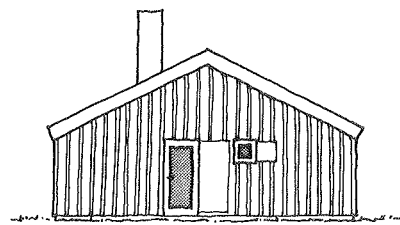
Hustype 16,7 x 7,9 m² fritliggende længehus.
Kælder under den midterste halvdel. Gulv på
jord for enderne. Sadeltag med skrå lofter.

Traditionel håndværksmæssig opførelse på
stedet.

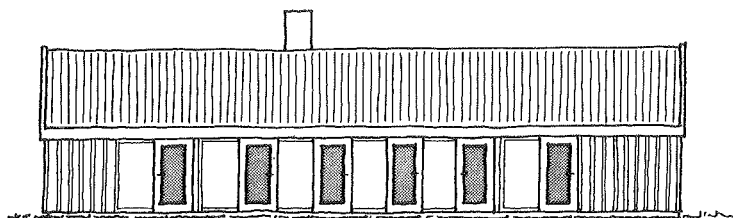
Firmagruppe K.A.B.
Fællestegnestuen
Dominia A/S.



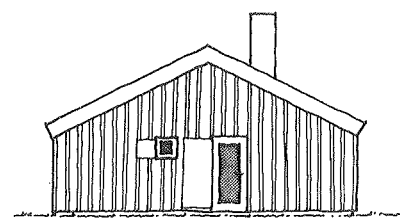
NORDFACADE



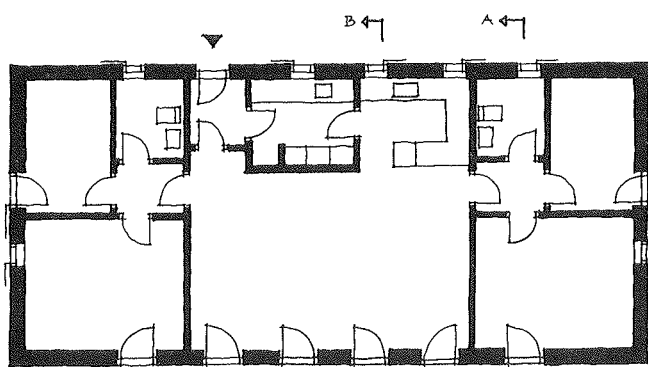
VESTGAVL



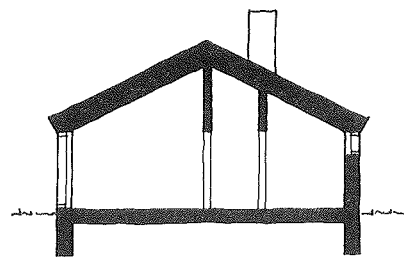
SYDFACADE



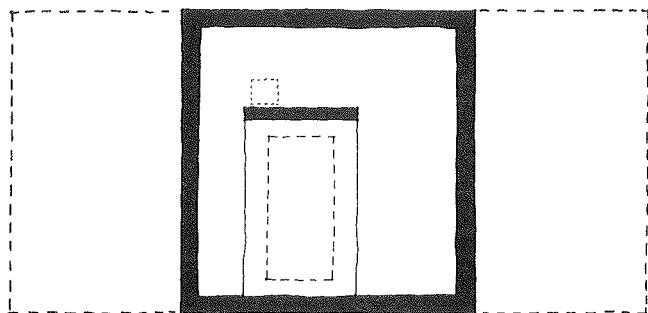
ØSTGAVL



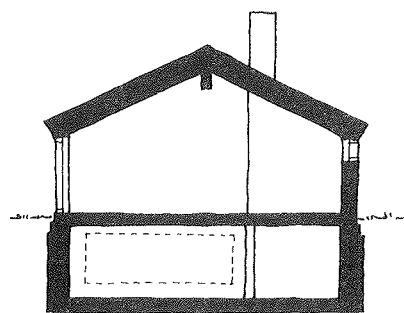
PLAN



SNIT A-A

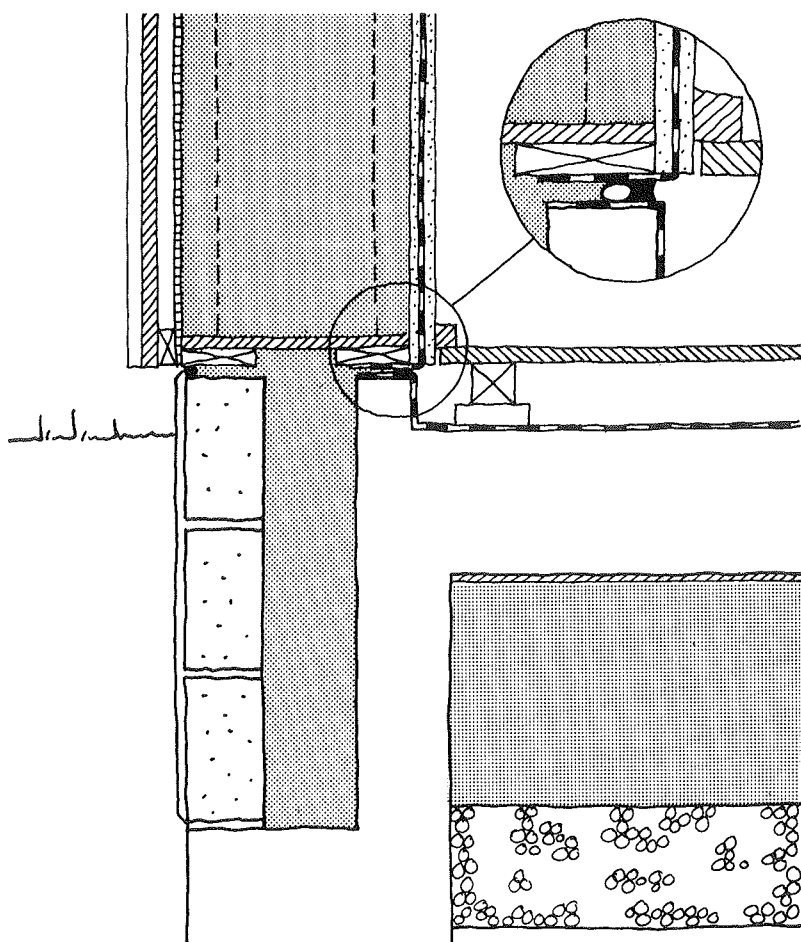
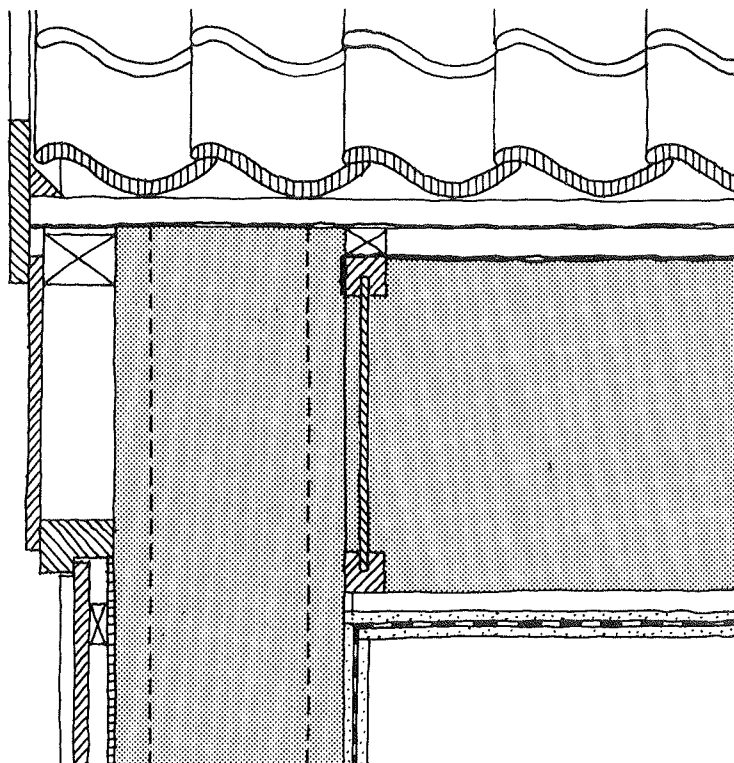


PLAN - KÆLDER



SNIT B-B

Fundament	<u>Gulv på jord:</u> 350 mm rendefundament af beton, på de øverste 0,6 m reduceret til 125 mm beton suppleret med 125 mm mineraluld + 100 mm murede letklinkerblokke med sokkel-puds. <u>Kældervæg:</u> 350 mm beton udvendig isoleret med 2 x 75 mm stiv mineraluld. På den øverste del: Samme fundament som til gulv på jord, (se fig. 34). <u>Kældergavlvæg:</u> 250 mm beton udvendigt isoleret med 2 x 75 mm stiv mineraluld.
Gulv	<u>Gulv på jord:</u> 150 mm nøddesten, 300 mm stiv mineraluld, 195 mm beton, 0,2 mm plastfolie, 22 mm strøgulv på opklodsninger. <u>Etagedæk over kælder:</u> 75 mm mineraluld klæbet på undersiden af 200 mm armeret betonplade, afretning, klinkegulv.
Væg	19 mm bræddebeklædning en-på-to, 25 mm vandrette lægter, 6 mm eternitplade, H-Masonite søjler med 300 mm mineraluld, 12 mm gipsplade, 0,2 mm plastfolie, 12 mm gipsplade.
Tag og loft	Vingetegl på lægter, undertag af armeret plastfolie, 38 mm afstandslægter sømmet på spær, vindtæt pap, H-Masonite spær med 400 mm mineraluld, 25 mm spredt forskalling, 12 mm gipsplade, 0,2 mm plastfolie, 12 mm gipsplade.



DAMPSPÆRREN SAMLES
OG TÆTNES MED EN
ELASTISK FUGEMASSE

GULV (I VÆRELSE):

PARKETGULV
STRØER PÅ OPKLODS-
NING
DAMPSPÆRRE
BETON
HÅRD FIBERPLADE
300 mm STIV MINERALULD
NØDDESTEN

SOKKEL:

SOKKELPUDSLAG
FUNDAMENTS BLOKKE
AF LETKLINKER
125 mm MINERALULD
BETON

Figur 34. Hus E. Snit i ydervæg - gavl.

Kuldebro- afbrydelse

I væg og tag giver de anvendte Masonitestolper og bjælker kun uvæsentlige kuldebroer. I fundamentsløsningen er kuldebroen søgt brudt med de 125 mm mineraluld, men sammenstøbningen med gulvets 195 mm beton udgør stadig - i relation til lavenergihuse - en betydelig kuldebro. Derved "kortslettes" i nogen grad virkningen af gulvets 300 mm isolering.

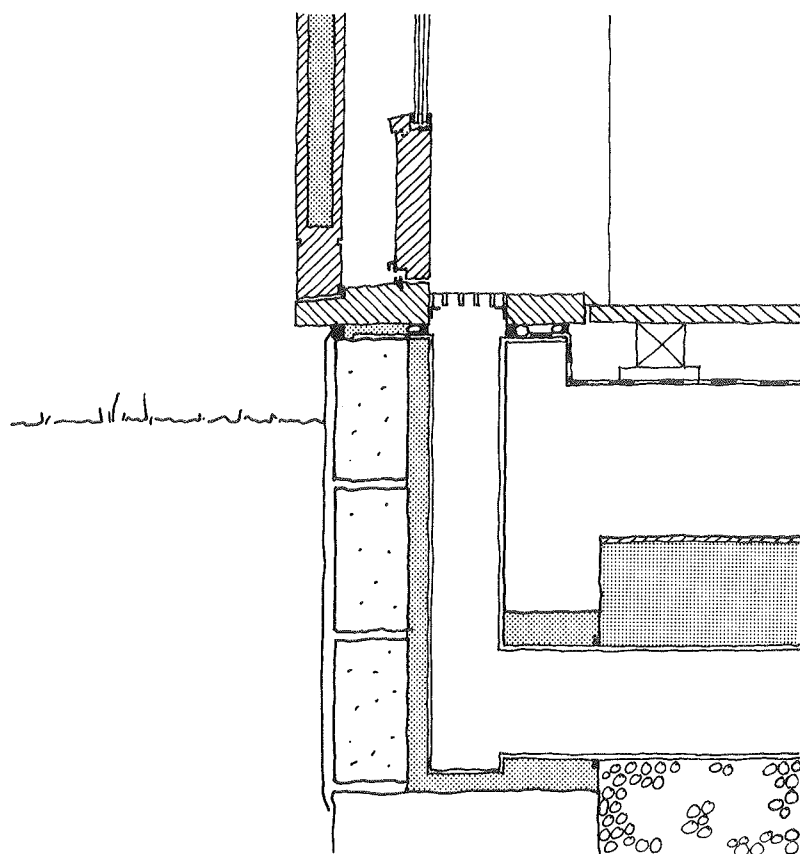
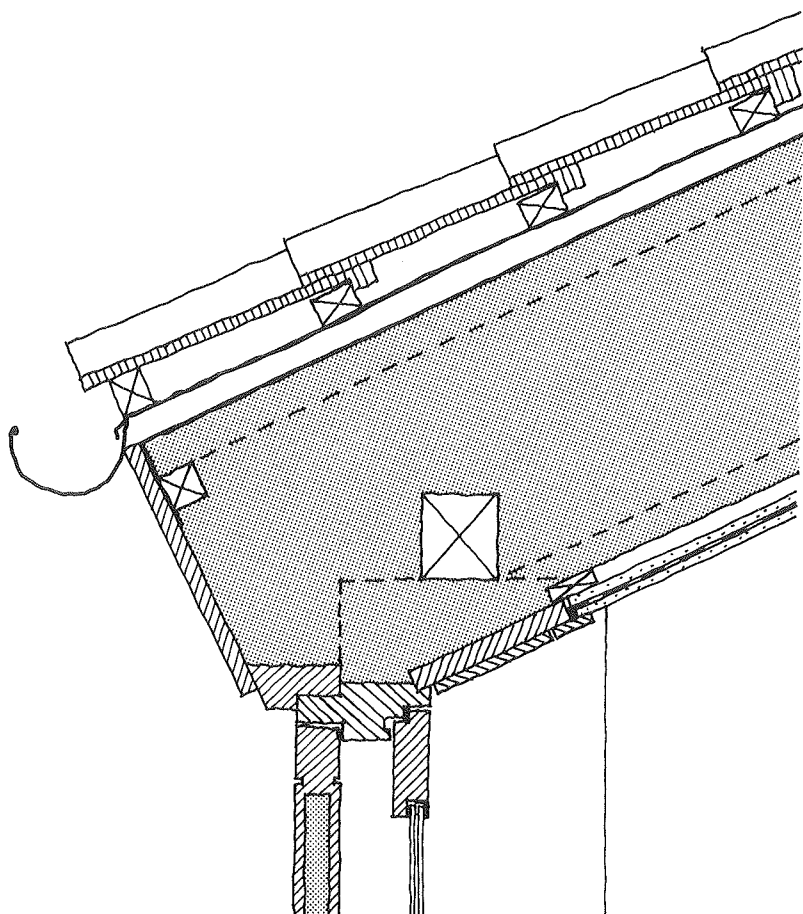
Lufttæthed

Gulvets folie er sammen med væggens folie bøjet ind på fundamentets overside, fastholdt af en fugesnor og forseglet med sædvanlig fugemasse.

Loftets folie er ført et stykke ned ad væggen og klemmt til væggens folie af den inderste gipsplade. Bemærk: En bane folie er lagt over topremnen inden spærene er monteret. Denne folie klemmes mod loftsfolien af den underste gipsplade. Samme fremgangsmåde er anvendt ved de murede tværvægges tilslutning til ydervæggen. Folien er her beskyttet af en hård træfiberplade, se fig. 38. Folierne er monteret med rigelige overlæg, men der er ikke anvendt tape. Der er anvendt svær folie.

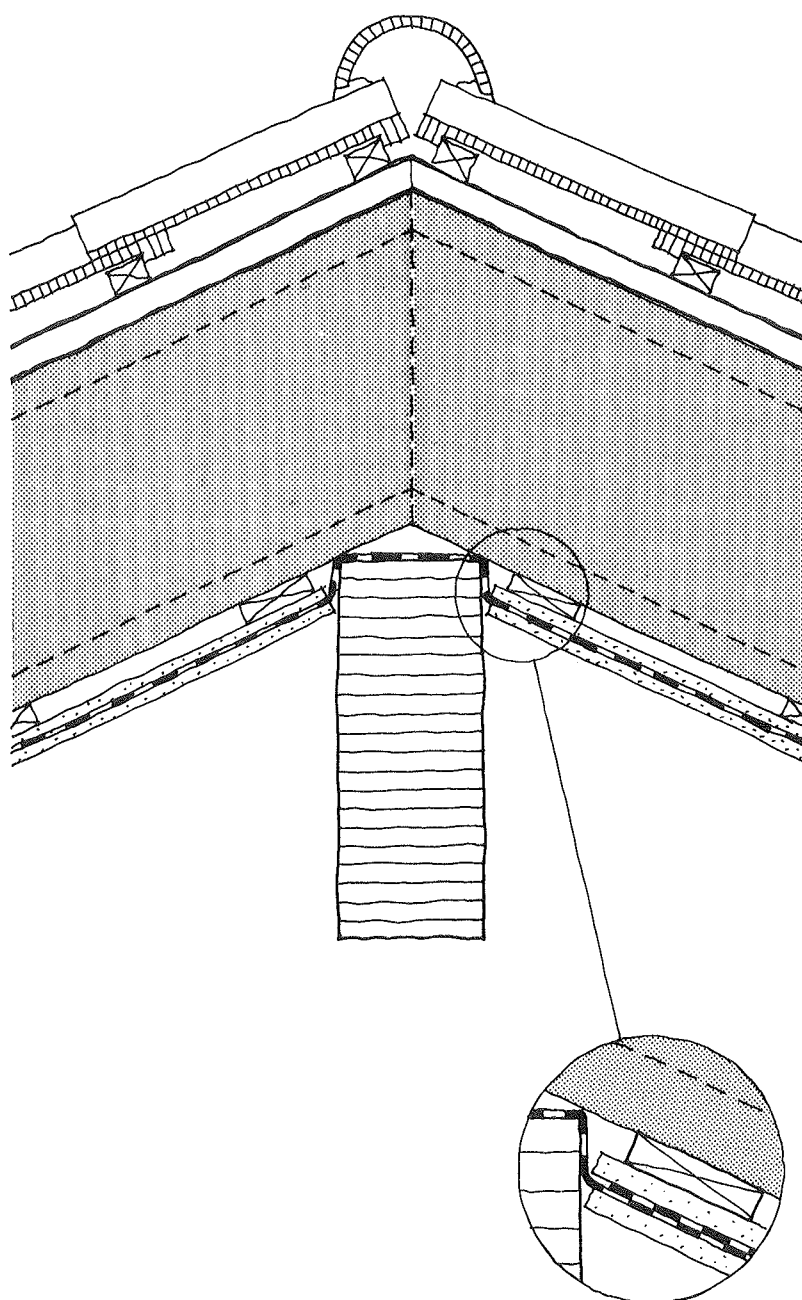
Vindueselementerne bestående af karme med indvendige tilsætninger er forseglet til væggens folie og gipsplader med fugemasse. Det viste sig efter husets opførelse nødvendigt at udføre forsegling mellem karme og tilsætninger på grund af gennemgående udskæringer for tilsætningerne (se fig. 40). Vedrørende husets brændeovn, se side 91.

Figur 35. Hus E. Snit i ydervæg ved havedør - sydfacade.
Vist med luftkanal til/fra stenmagasin.



GULV (I VÆRELSE):

PARKETGULV
STRØER PÅ OPKLØDS-
NING
DAMPSPÆRRE
BETON
HÅRD FIBERPLADE
300 mm STIV MINERALULD
LUFTKANAL TIL/FRA
STENMAGASIN
NØDDESTEN

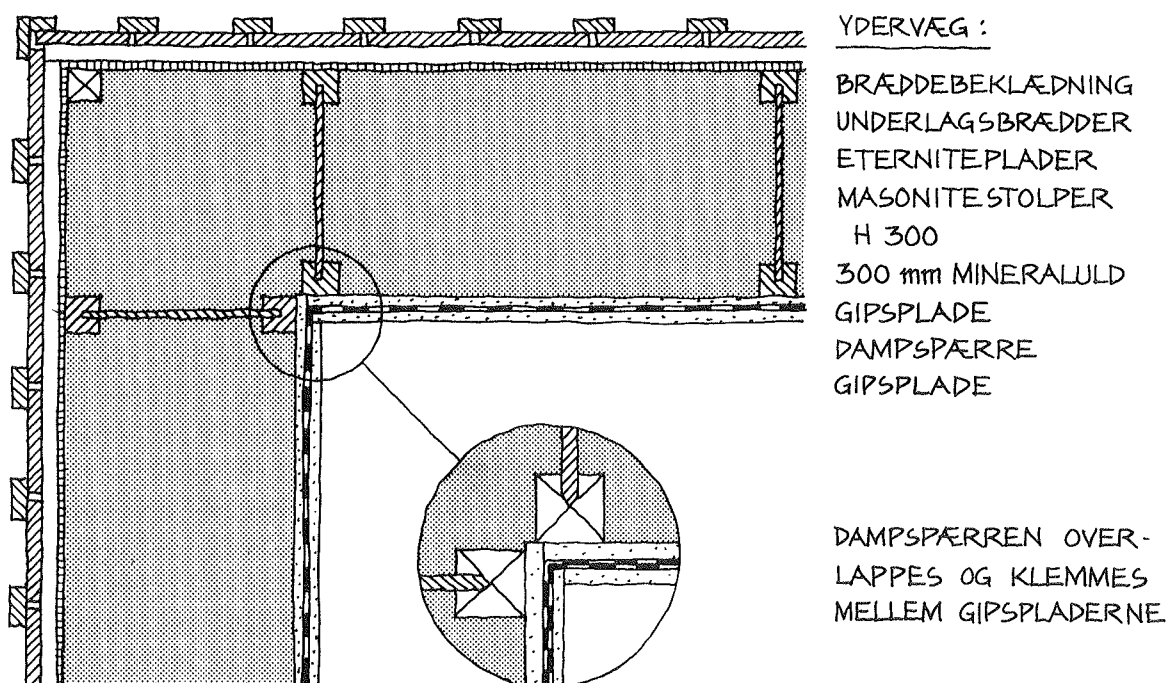


TAG:

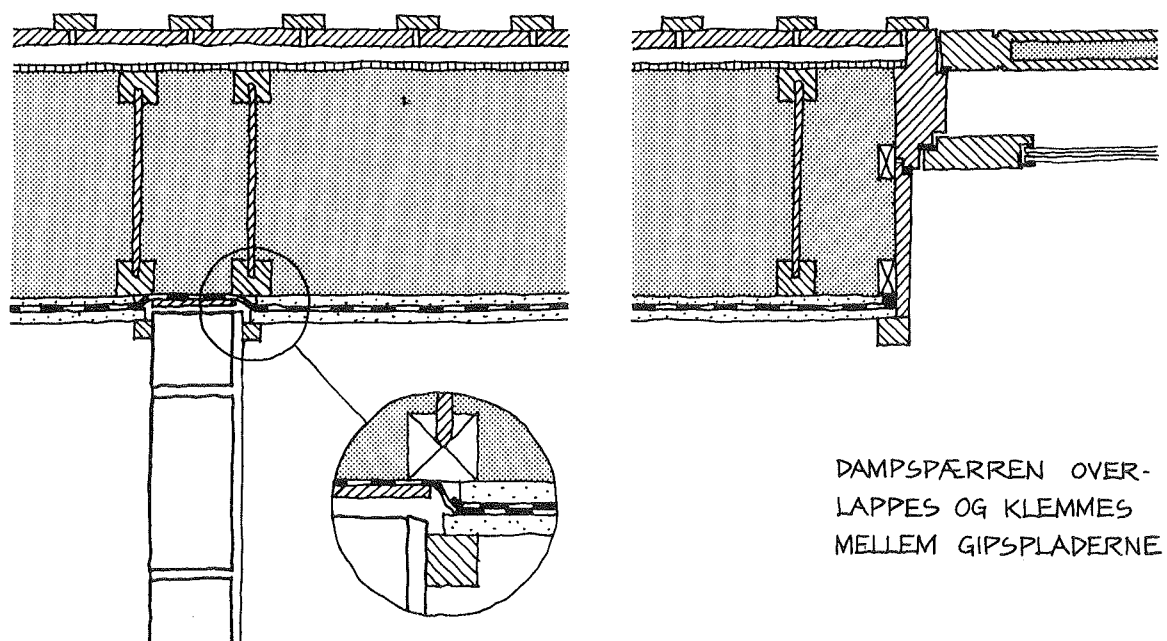
TEGLTAGSTEN
LÆGTER
ARMERET PLASTFOLIE
AFSTANDSLÆGTE
VINDTÆT PAP
MASONITESPÆR H 400
400 mm MINERALULD
FORSKALLINGSBRÆDDER
GIPSPLADE
DAMPSPÆRRE
GIPSPLADE
LAM. DRAGER

DAMPSPÆRREN OVER-
LAPPES OG KLEMMES
MELLEM GIPSPLADERNE

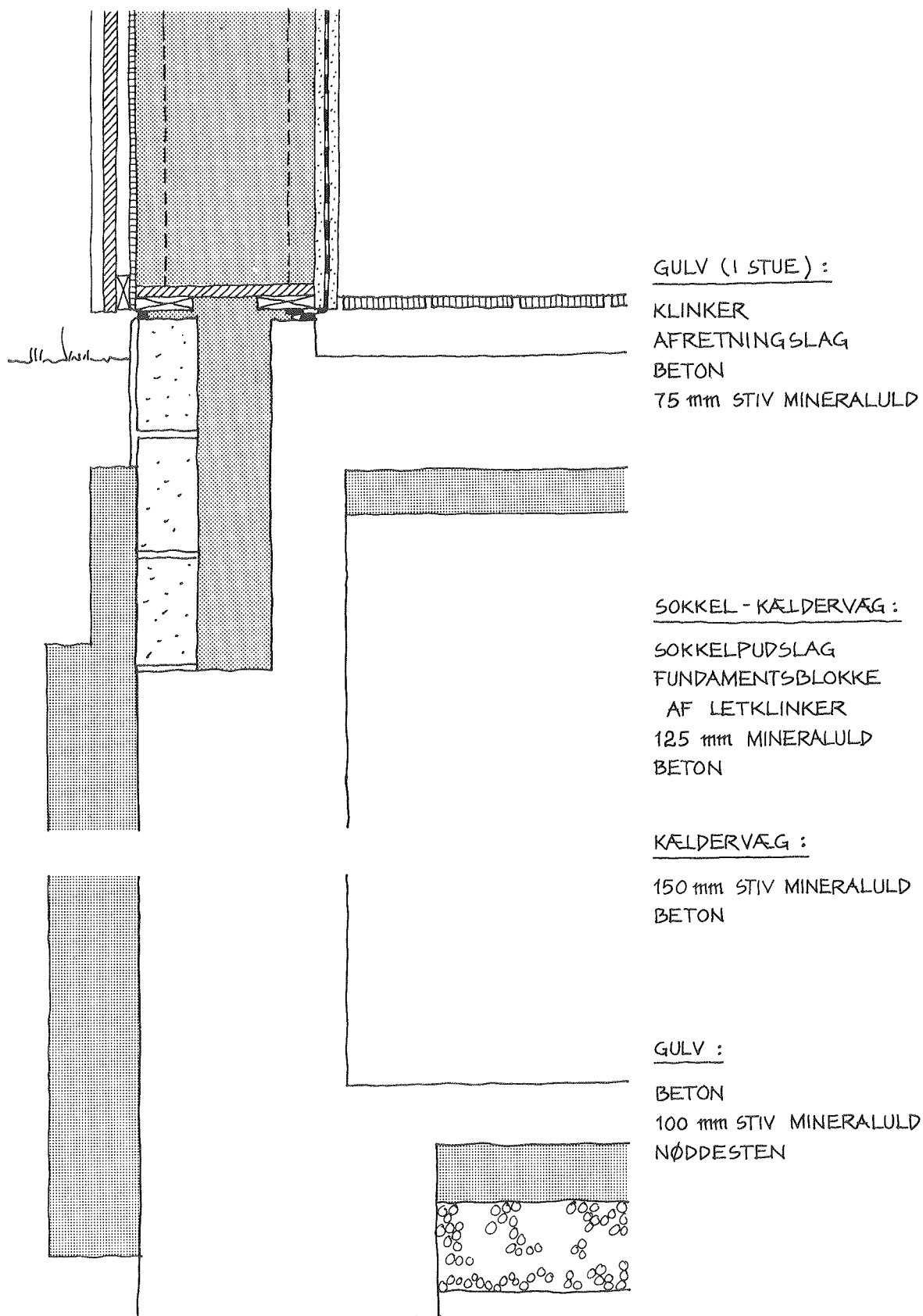
Figur 36. Hus E. Snit i tagkip.



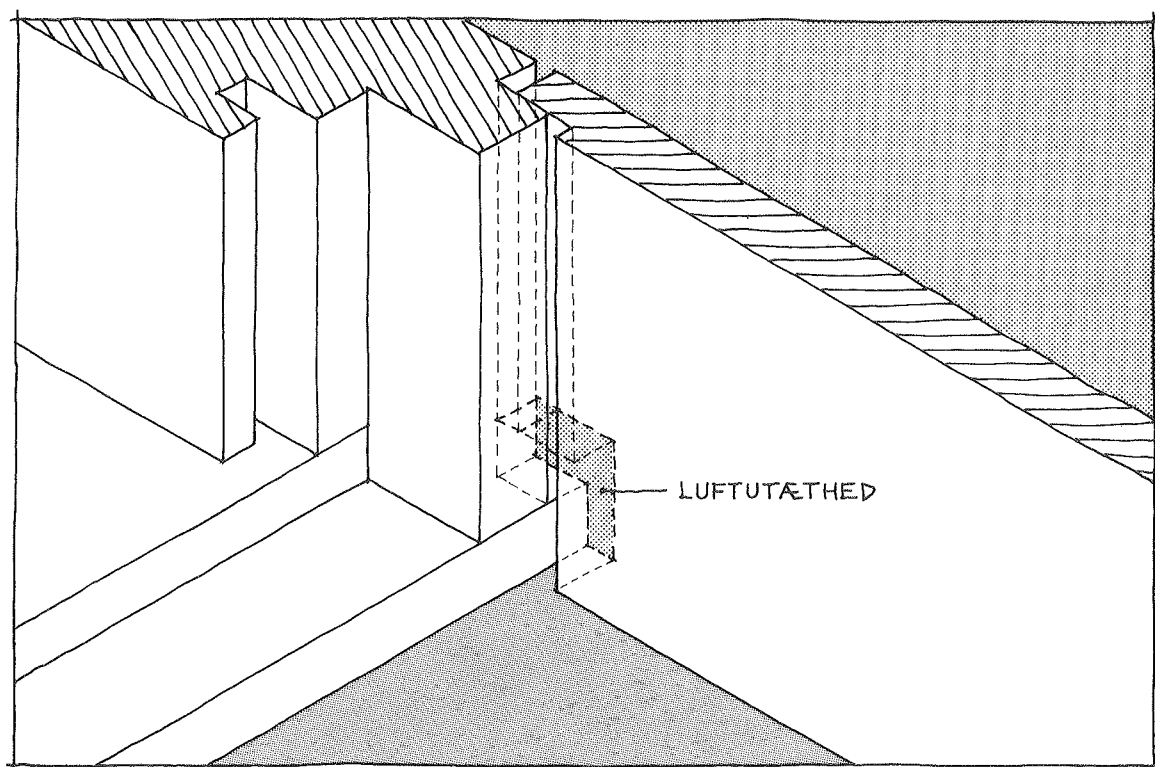
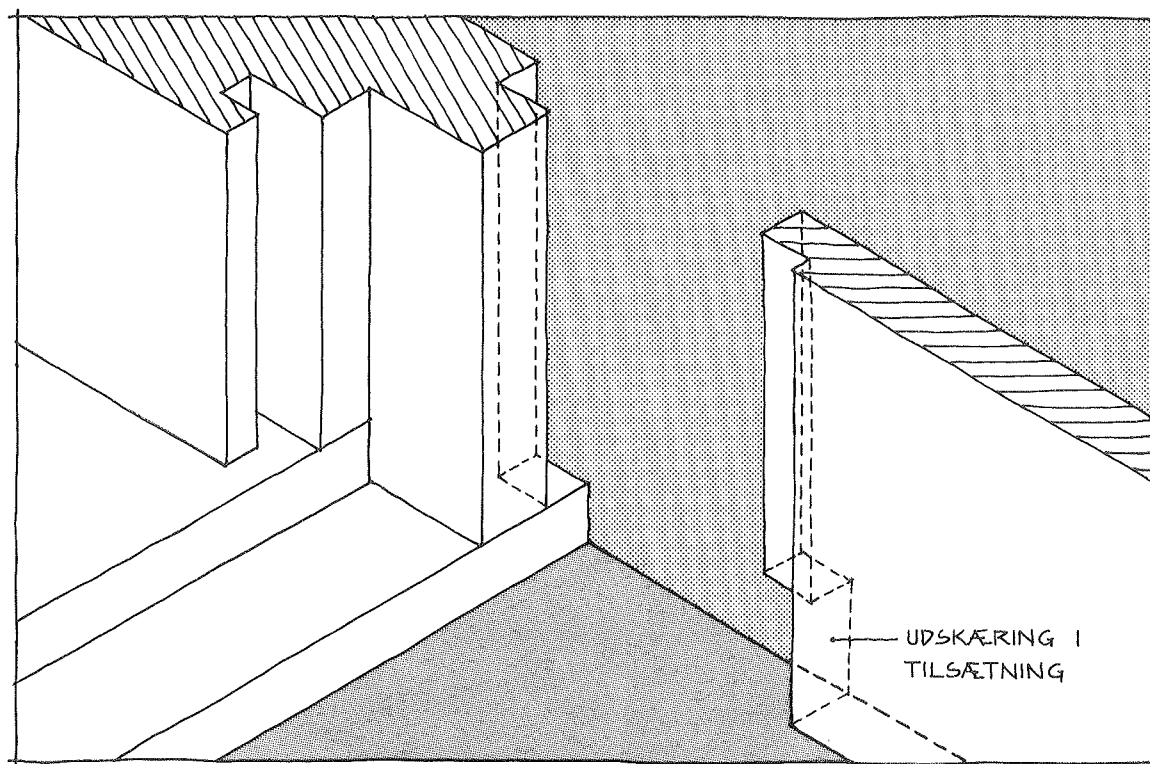
Figur 37. Hus E. Vandret snit i ydervæg ved hjørne.



Figur 38. Hus E. Vandret snit i ydervæg ved skillevæg og havedør.

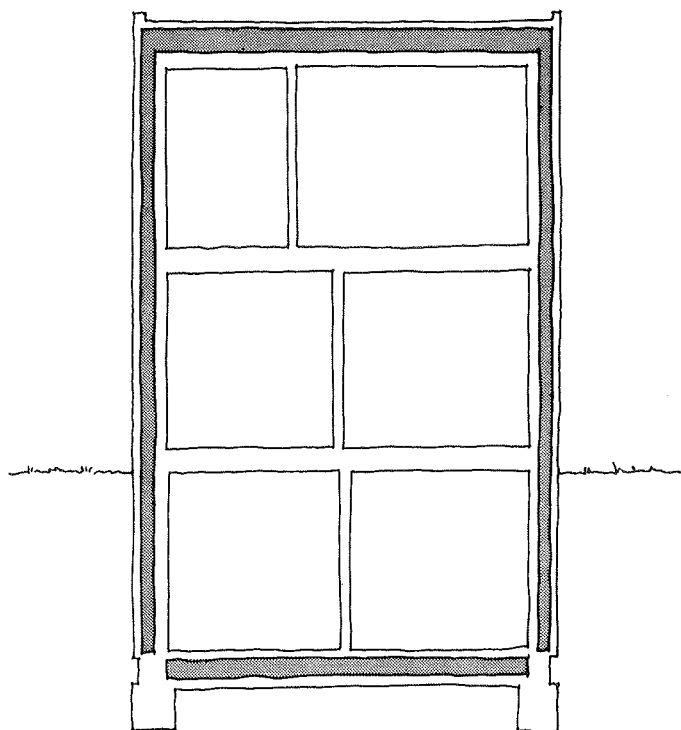


Figur 39. Hus E. Snit i ydervæg og kældervæg.



Figur 40. Hus E. Udsækering i tilsætning giver ofte luft-
utæthed.

6.6. Hus F

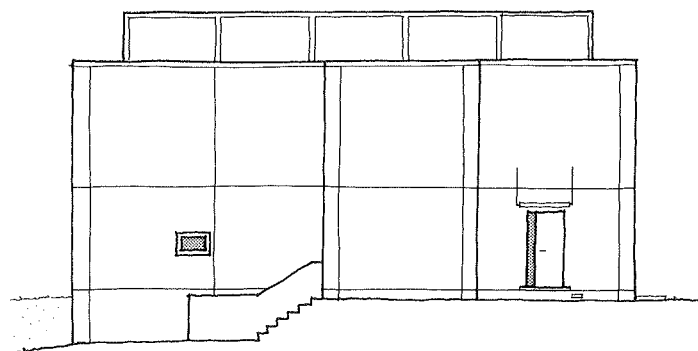


Figur 41. Lavenergihus F.

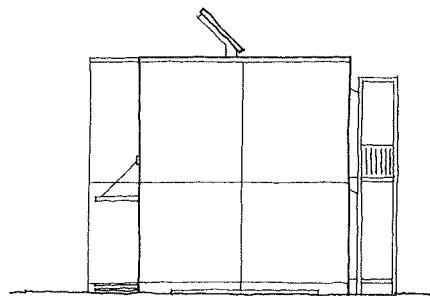
Hustype 14,8 x 5,4 m² toetagers længehus. Fuld kælder. Fladt tag.

Opført af præfabrikerede betonsandwichelementer.

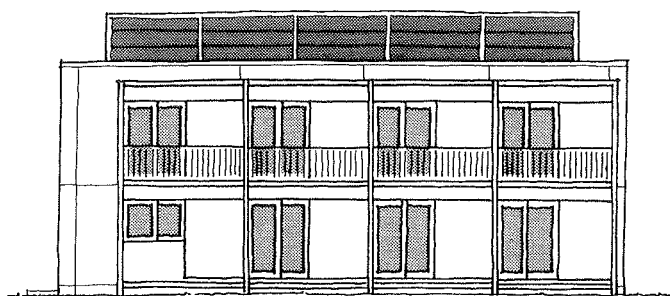
Firmagruppe Højgaard & Schultz A/S
 Aalborg Portland
 Instituttet for Husbygning, DTH
 Cowiconsult, rådgivende ingeniører A/S



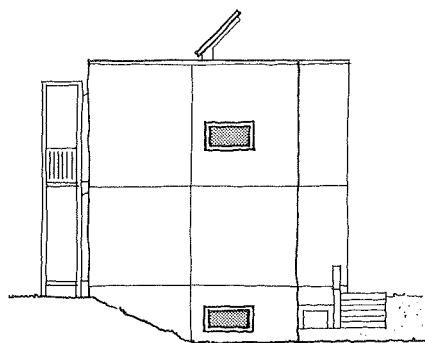
NORDFACADE



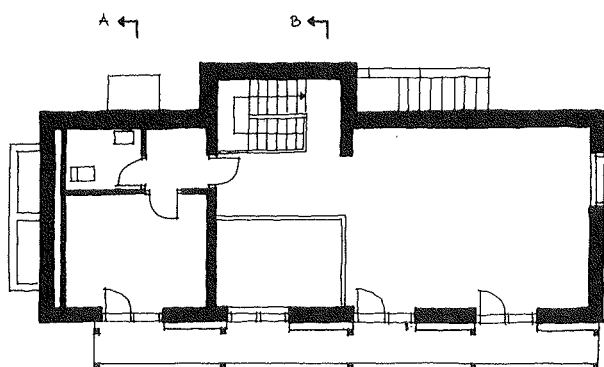
VESTGAVL



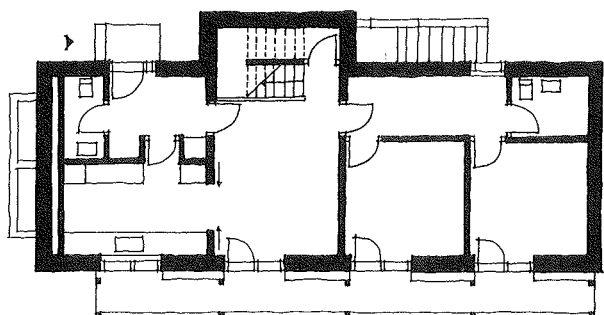
SYDFACADE



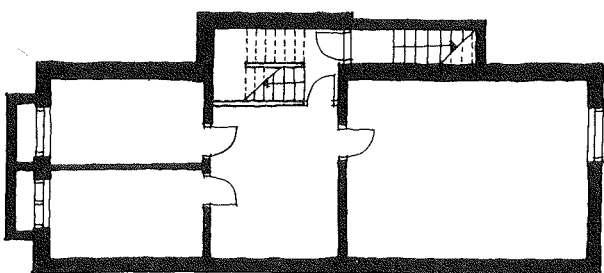
ØSTGAVL



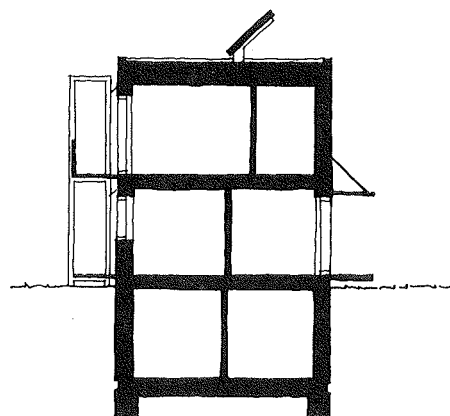
I. SAL



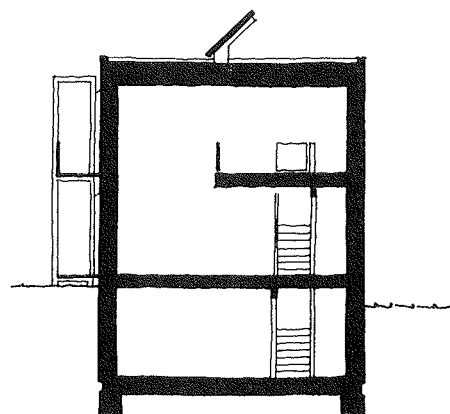
STUE



KÆLDER



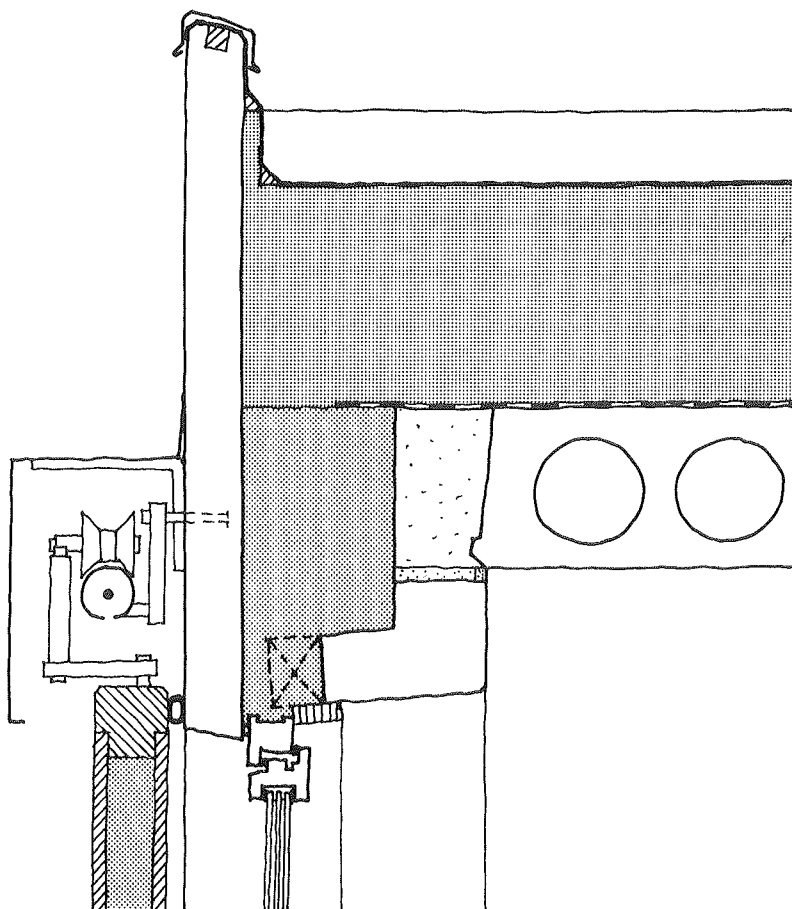
SNIT A-A



SNIT B-B

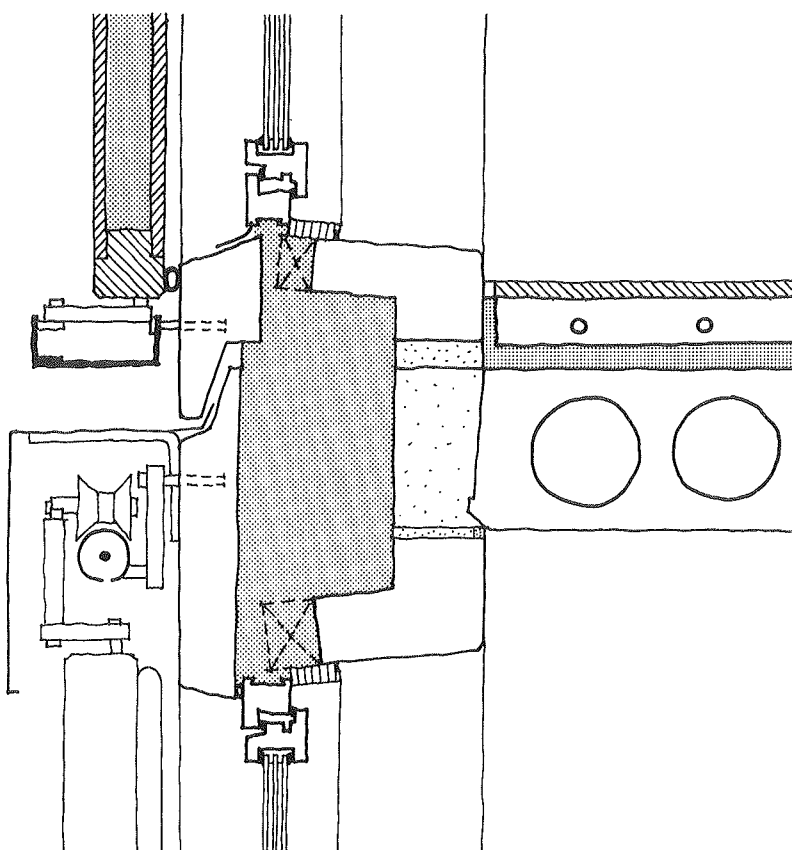
Fundament	500 mm rendefundament af beton med 330 mm opkant for montering af vægelementer.
Gulv	Kælder: 150 mm singels, 200 mm stiv mineraluld, 80 mm beton, 50 mm pudslag (med varmerør i ca. 2/3 af kælderen).
Etageadskillelse	Dæk af 215 mm betenhuldækelementer, 30 mm stiv mineraluld, 70 mm pudslag med varmerør af plast, klinker/trægulv.
Ydervæg	Betonsandwich-element med 80 mm forstøbning, 200 mm mineraluld, 120 mm bagstøbning. NB! Sandwichelementet er designet til lavenergi-huset og må betegnes som en nyskabelse.
Kældervæg	Ligeledes udført af betonsandwich-elementer, dog med 170 mm mineraluld a.h.t. bagstøbningens 150 mm beton. De lodrette fuger er udvendigt lukket ved påklæbning af asfaltstrimmel.
Tag og loft	100 mm beton, EPDM-dug, 300 mm mineraluld, 0,2 mm plastfolie, 215 mm betenhuldækelementer.
Kuldebroafbrydelse	De lodrette fuger mellem ydervægselementerne er udført uden reduktion af isoleringstykkelsen (se fig. 44). Ydervæggens samling med etagedækket er ligeledes udført med fuld gennemgående isolering (se fig. 42 og fig. 43).

Figur 42. Hus F. Snit i ydervæg - sydfacade. Vist med skodde i aktiv og passiv position.



TAG :

BETON
EPDM - DUG
300 mm STIV MINERALULD
DAMPSPÆRRE
BETONDÆK-ELEMENT



ETAGEADSKILLELSE :

PARKETGULV
BETONAFRETNINGSLAG
m/VARMERØR
30 mm STIV MINERALULD
BETONDÆK-ELEMENT

Omkring vinduer og døre er isoleringen reduceret til 100 mm i top og sider og til 70 mm i bunden a.h.t. vindues- og dørmonteringen. Disse isoleringstykkelser svarer til de ureducerede tykkelser i tidligere traditionelle betonsandwich-elementer. Elementets stålbøjler til bæring og fastholdelse af forstøbningen har et samlet areal på 2110 mm². De er a.h.t. holdbarheden udført af rustfrit stål, hvorved samtidig varmeledningen gennem bøjlerne mindskes.

Kun ved fundamentet har det ikke været muligt at føre isoleringslaget ubrudt igennem, men da denne zone ligger ca. 2,5 m under færdigt terræn, og de fleste kælderrum er sekundære rum er den nævnte kuldebro uden væsentlig indflydelse.

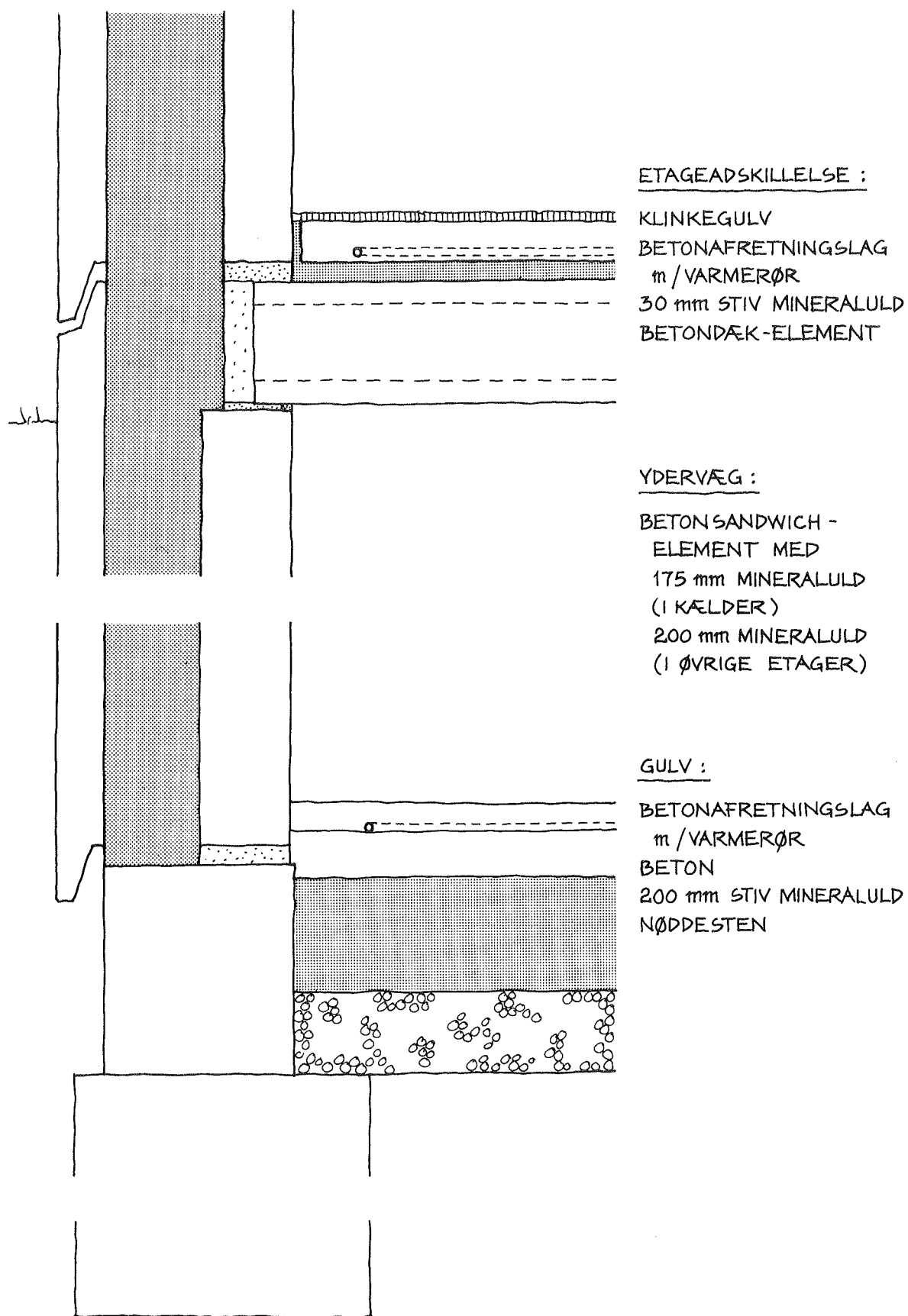
Lufttæthed

Da betonelementernes indvendige overflader er tætte, er det derved alene fugerne, indsatsen skal koncentreres om.

Fugerne er på traditionel vis udstoppet med betonmørtel på den indvendige side. Inden mørtelens hærkning er dog de inderste 20 mm igen udkradset og efterfyldt med cementmørtel.

Denne fremgangsmåde blev valgt for:

- 1) at kunne bestemme husets lufttæthed med traditionel udstopning,
- 2) at muliggøre en udkradsning af mørtelfugen med efterfølgende forsegling med fugemasse, hvis udstopningen ikke viste sig tilstrækkelig tæt. En sådan forsegling har ikke vist sig nødvendig (se kapitlet om lufttæthed, side 90).



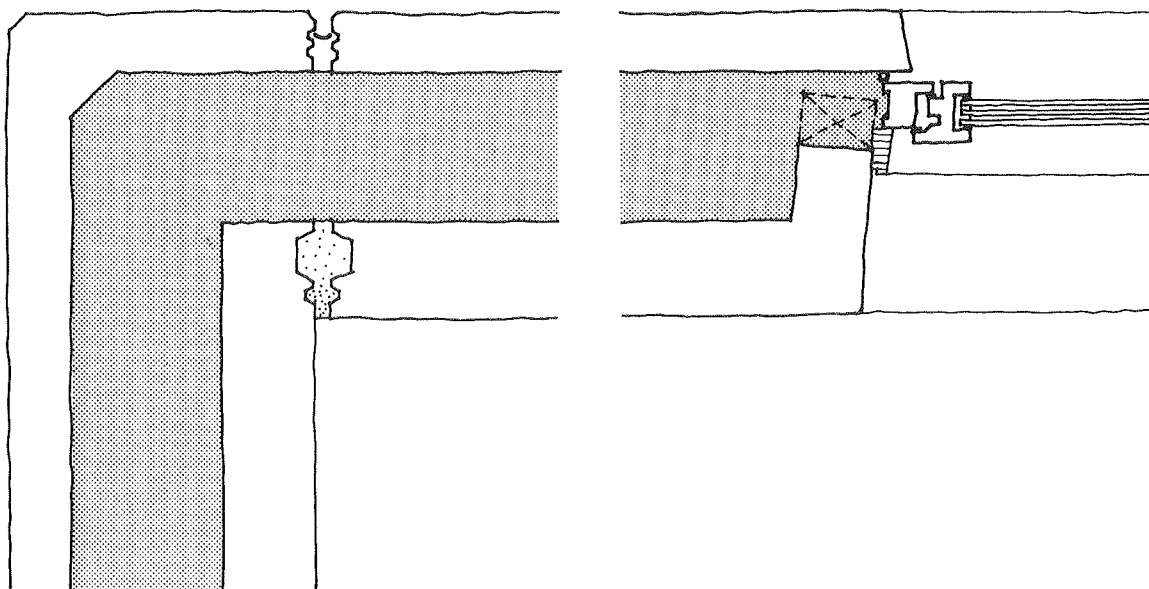
Figur 43. Hus F. Snit i ydervæg/kældervæg - gavl.

Bemærk: Som vist på fig. 43 er der også ved dækelementernes vederlag udført stopning med betonmørtel, udkradsning og efterfugning med cementmørtel.

LfV tilskriver den opnåede gode tætning to samvirkende forhold:

- a) alle fuger mellem betonelementerne har min. været 12 mm, hvorved der reelt kan anbringes stopnings- og fugemateriale - og
- b) fugningen er udført som en særlig operation, hvorved opmærksomheden er henledt på betydningen af denne fugning.

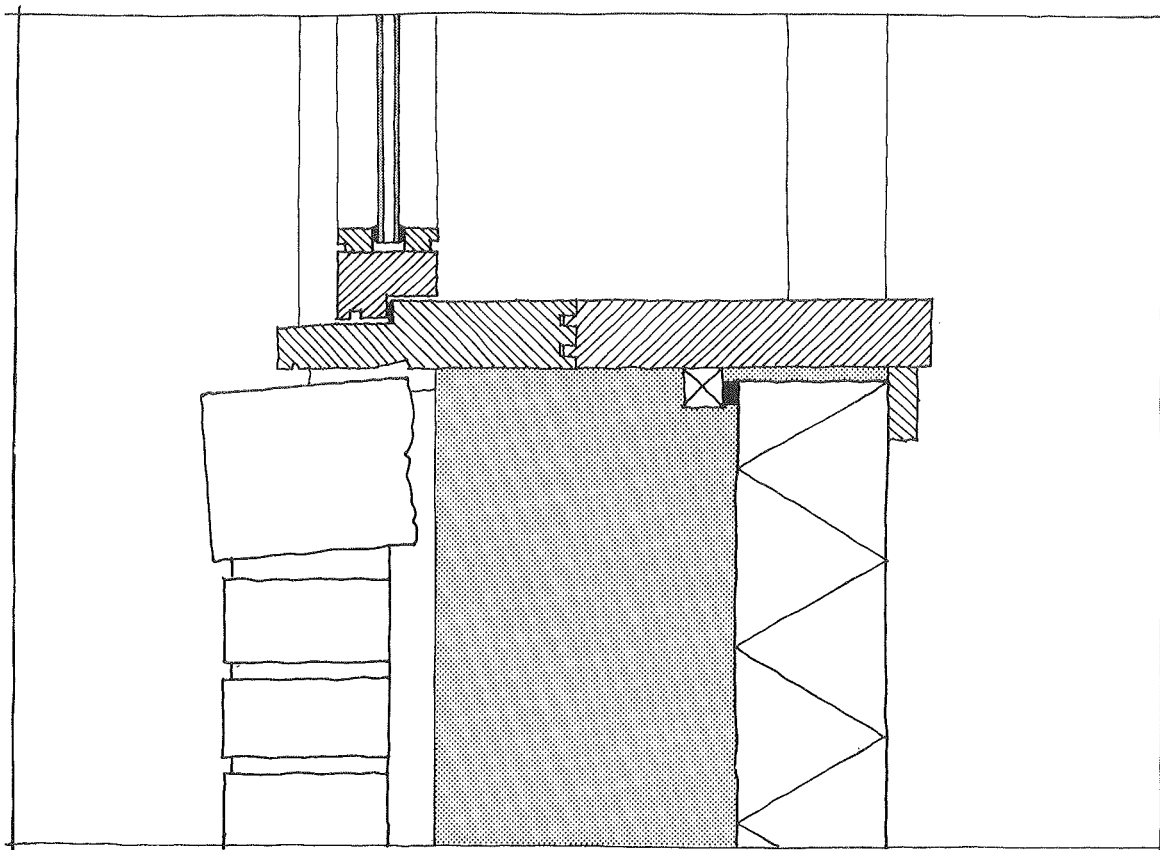
Vindues- og dørelementerne er udført i armerede plastprofiler. Tætning er udført ved udskumning med polyurethanskum mellem profil og betonelement.



Figur 44. Hus F. Vandret snit i ydervæg ved hjørne og vindue.

6.7. Vindueskonstruktioner

Hus A Specialfremstillet vindue.



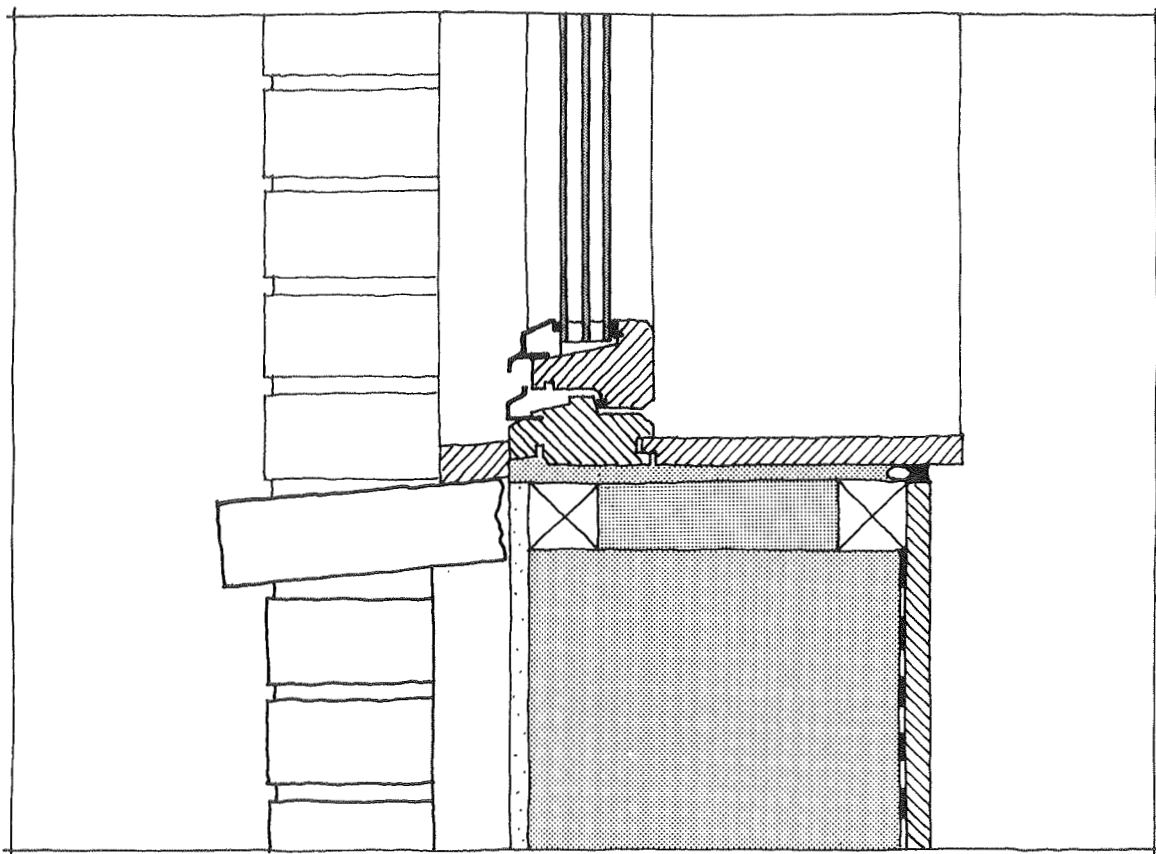
Udadgående tophængt vindue med 2-lags coated og gasfyldt rude. Vinduets karm og tilsætning leveres som samlet enhed, idet karmens sidestykke indgår i husets konstruktion. Vinduet ophænges i topremmen, inden letbeton-elementerne monteres.

Placeringen af den viste forsegling på letbetonens yderside hænger sammen med loftsfoliens fastgørelse på letbetonens yderside (se fig. 11). Forseglingen løber hele vejen rundt om vinduet. Efter opsætning af isoleringen opmures skalmuren.

Tætning mellem karm og tilsætning er udført ved limet notning.

Den viste forsegling kunne i andre tilfælde let udføres ved letbetonens inderside inden opsætning af dækliste.

Hus B Seriefremstillet vindue.

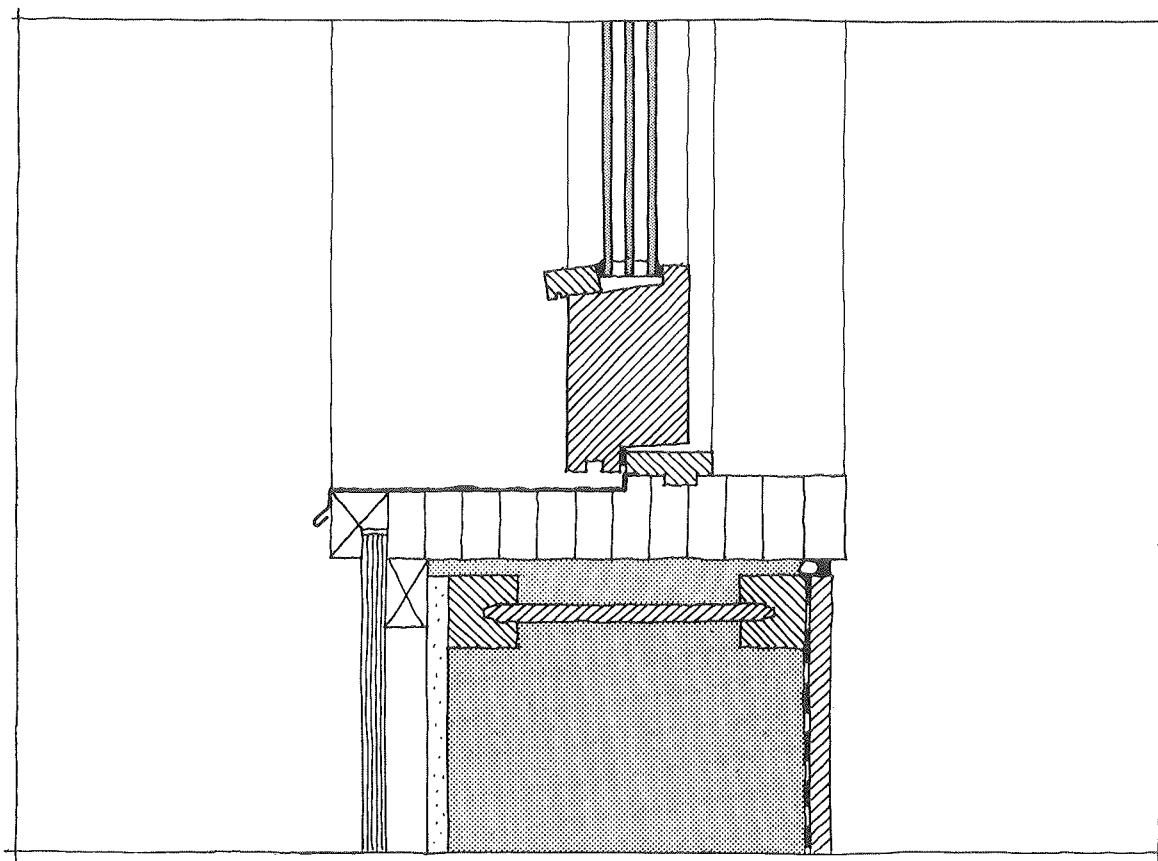


Indadgående side/bundhængt vindue med 3-lags rude. På karmen monteres tilsætninger, således at denne enhed samlet kan monteres i væghullet. Dette er begrænset af Rockwool stolper og -løsholter.

Efter indvendig forsegling med fugesnor og fugemasse stoppes udefra med fugestrimmel. Forseglingen - der bevidst kun er udført på den indvendige side - løber hele vejen rundt om vinduet. Til sidst opmures skalmur og sålbænk.

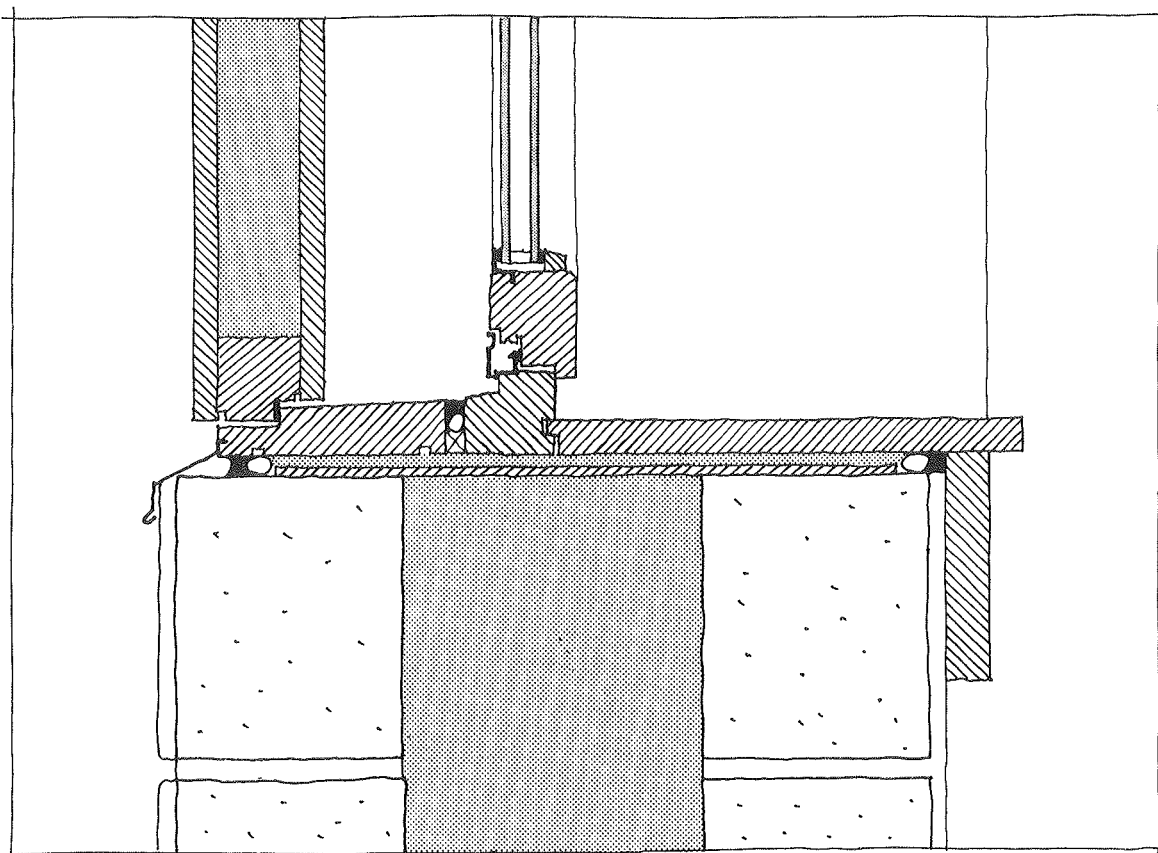
Tætning mellem karm og tilsætning er udført med en fugefylende lim.

Hus C Specialfremstillet vindue af lamineret træ.
Udført i fuld vægtykkelse.



Udadgående tophængt vindue med 3 lag glas. De faste vinduer er udført med 3^l lag glas plus udvendig tophængt pudseramme med enkelt glas. Karmen monteres traditionelt i væghullet, der begrænses af Masonite-stolper og -løsholter. Efter indvendig forsegling med fugesnor og fugemasse ud for væggen dampspærre stoppes udefra med fugefilt. Forseglingen løber hele vejen rundt om vinduet. Væggen afsluttes med udvendig pladebeklædning.

Den udlagte zinksålbænk er ført ca. 5 mm ind under den sømlimede anslagsliste.



Indadgående side/bundhængt vindue med 2-lags rude. På karmen monteres indvendige og udvendige tilsætninger, således at denne enhed samlet kan monteres i murhullet. Dette er forberedt med påsømning og limning med fliseklæb af en 6 mm vandfast krydsfinérplade i letbetonvangerne hele vejen rundt. Finérpladen skal dels afslutte vægisoleringen, dels fastholde letbetonvangerne (bindere er udeladt).

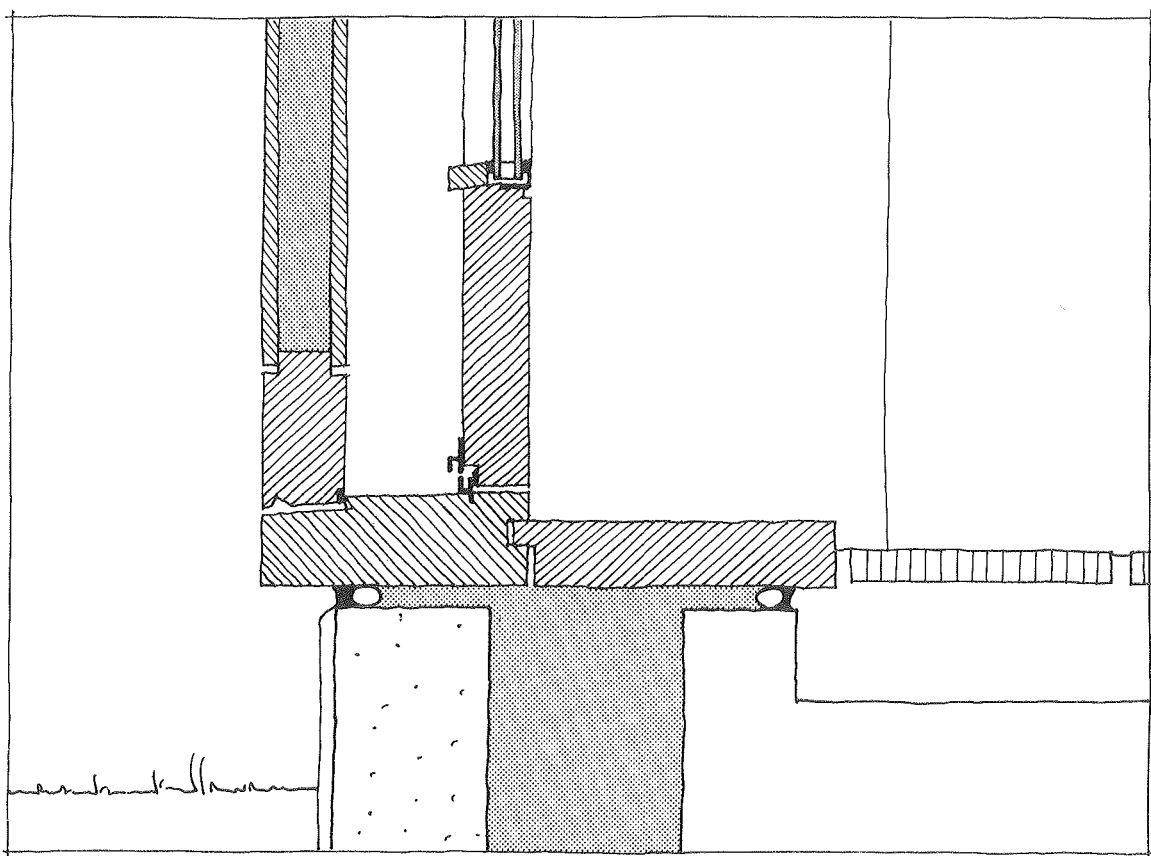
Efter udskumning med énkomponent polyurethanskum forsegles både ud- og indvendigt med fugesnor og fugemasse hele vejen rundt. Den indvendige forsegling er nødvendig a.h.t. lufttætheden, medens den udvendige med fordel kunne erstattes med en mere diffusionsåben men regntæt afslutning.

Fugen mellem karmen og den udvendige tilsætning skal være vandtæt. Tætning mellem karm og indvendig tilsætning er udført ved limning af fjer og not.

Den udvendige sidehængte tofløjede skodde er udført af 56 mm lægter og mineraluld med 16 mm bræddebeklædning på begge sider. Skodden har anslag og tætningsliste af samme kvalitet som vinduet.

Skodden betjenes manuelt udefra, den kan af sikkerhedsgrunde åbnes indefra.

Hus E Specialfremstillet vindue/dør og skodde.



Husets nordvinduer er ganske små, medens sydvinduerne er udført som havedøre. Både vinduer og døre er forsynet med skodder og opbygget og monteret på samme måde. Derfor beskrives kun havedøren. Indadgående sidehængt dør med 2-lags coated og gasfyldt rude. Først monteres karmen, hvorefter de indvendige tilsætninger tilskæres (a.h.t. smig i top) og monteres. Efter stopning med fugefilt udføres både ind- og udvendig forsegling med fugesnor og fugemasse. Den indvendige forsegling er nødvendig a.h.t. lufttætheden, medens den

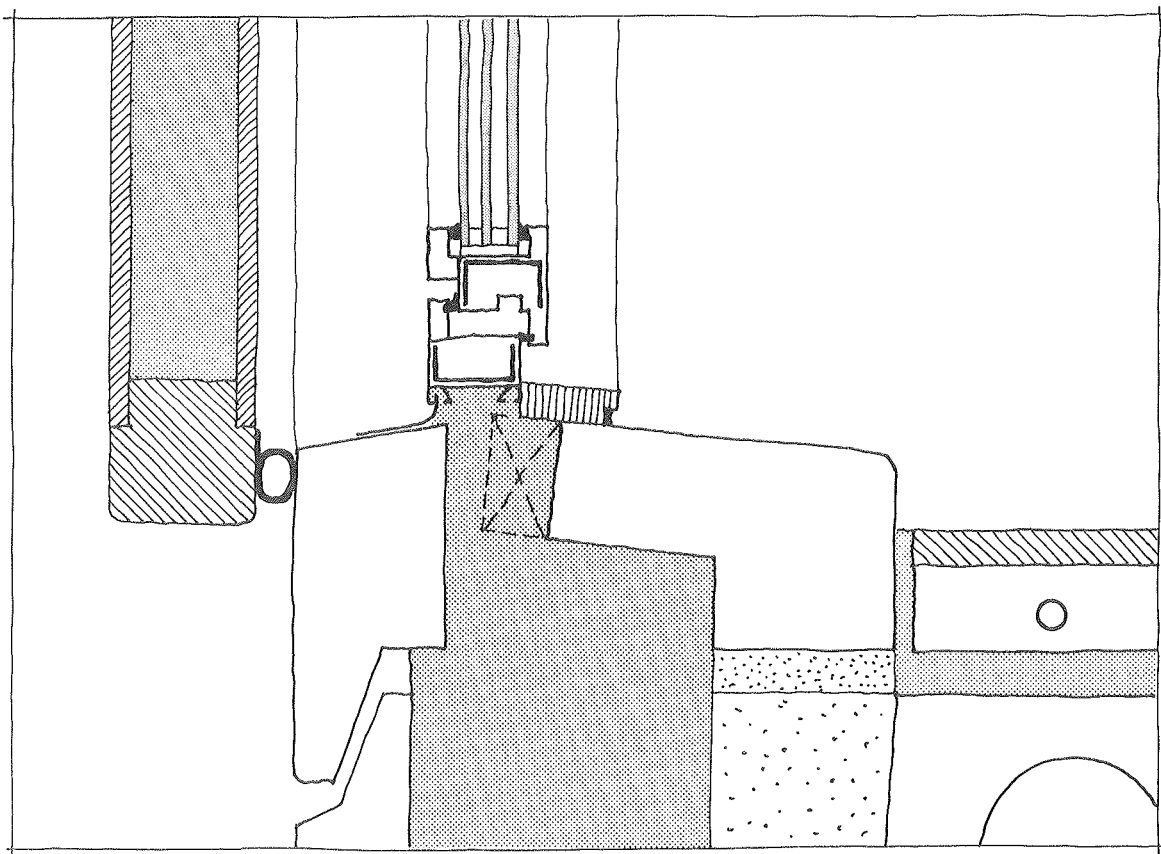
udvendige med fordel kunne erstattes med en mere diffusions-
åben afslutning.

Tætning mellem karmen og tilsætningerne er et svagt punkt,
jvf. bemærkningerne til fig. 40.

Den udvendige sidehængte skodde er ligeledes udført som dør
med ramme og 35 mm polystyrenskumplader med beklædninger af
vandfast krydsfinér. Skodden har anslag og tætningsliste af
samme kvalitet som havedøren.

Skodden betjenes manuelt udefra, den kan af sikkerhedsmæssi-
ge grunde åbnes indefra.

Hus F Plastprofilvindue/dør og specialfremstillet skodde.



De etagehøje vinduesåbninger er lodret opdelt i et fast vin-
due og en indadgående side/bundhængt dør med 3-lags rude.
Figuren viser døren.

Karmen fastgøres i de indstøbte træklodser (i alt 10 stk. 200 x 100 x 45 mm), hvorefter fugen udfyldes med polyurethanskum. Herefter er indvendigt monteret et plastprofil, som er forseglet med fugemasse til betonlysningen. I karm- og rammeprofil er indlagt et U-profil af stål.

Den udvendige skodde, som tætner mod betonelementets forstøbning er fremstillet af 72 mm rammetræ med mineraluld beklædt med 16 mm vandfast krydsfinér på begge sider. Skodden er en skydeskodde, som automatisk - tidsmæssigt styret af et ur - åbnes og lukkes.

Den mekaniske fremføring er således indrettet, at skodden i den sidste del af lukkebevægelsen presses mod facaden. Under bevægelsen skal skodden kunne frigøres fra fremføringsanordningen af en kraft < 100 N, idet trækket fra en permanentmagnet overvindes. I lukket tilstand kan skodden af sikkerhedsmæssige årsager frigøres ved et greb på indersiden.

7. Installationer

Lavenergihusenes installationer vil blive beskrevet indgående i en efterfølgende rapport. For dog allerede nu at give læseren et afrundet billede af de enkelte huse, skal de tekniske installationer kort beskrives.

7.1. Ventilation

Som nævnt side 20 var et af de fælles krav til lavenergihusene, at de skulle forsynes med tvunget friskluftskifte med varmegenvinding fra afkastluften.

Der er således i alle husene installeret et ventilationsanlæg med separat friskluftindblæsning og udsugning af afkastluft og med en indskudt krydsvarmeveksler af pladetyper til varmegenvinding.

Ventilationsluftmængden giver et luftskifte på 0,5-0,7 gange/h afhængigt af anlægsudformning og husstørrelse.

7.2. Varmeanlæg

Varmeanlægget skal dels kunne opvarme huset på alle de normalt kolde dage og dels kunne klare de ekstremt kolde dage (spidsbelastningen). Hvor der forekommer varmepumpeanlæg, kan det være en teknisk og økonomisk fordel at anvende et særligt spidsbelastnings-varmeanlæg til at supplere varmepumpeanlægget.

Termerne normaldrift og spidsbelastning vil derfor blive anvendt i den efterfølgende gennemgang af husenes varmeanlæg. Der er ingen faste regler for, hvor stor en del af den samlede ydelse, der skal dækkes af f.eks. spidsbelastningsanlægget.

Husenes varmeanlæg består af:

Hus A I forbindelse med krydsvarmeveksleren til varmegenvinding i ventilationsanlægget er installeret en varmepumpeenhed, der forøger genvindingsgraden. Forår og efterår kan indblæsningsanlægget således fungere som et luftvarmeanlæg.

Spidsbelastningen klares af elektrisk varmefolie i loftet (loftvarme).

Hus B Et varmepumpeanlæg, der anvender jorden syd for huset som varmekilde, leverer varme til et lavtemperatur radiator-varmeanlæg. Er dimensioneret til også at klare spidsbelastningen.

Hus C Et solvarmeanlæg leverer forår og efterår varme til husets gulvvarmeanlæg. Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved tilkobling af elektriske varmelegemer i gulvvarmeanlæggets vandsystem.

Hus D En oliefyret kedel med høj virkningsgrad leverer varme til et luftvarmeanlæg, der er dimensioneret til også at klare spidsbelastningen. Kedlen er specielt til dette hus adskilt lufttæt fra det rum den er opstillet i .

Hus E Overskud af solindfald gennem de sydvendte glasarealer akkumuleres via et særligt ventilationssystem i et 10 m³ stenmagasin anbragt i kælderen. Har huset behov for varmetilførsel, kan ventilationsanlægget reverseres, hvorved varme fra stenmagasinet tilføres husets rum.

Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved tilkobling af elektriske varmelegemer i ventilationssystemet, hvorved dette virker som et luftvarmeanlæg.

Hus F Et solvarmeanlæg leverer forår og efterår varme til husets gulvvarmeanlæg. Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved supplerings fra en gasfyret kedel.

Tabel 5. Husenes varmesystemer og energiforsyning

Hus	anlægstype	normaldrift	spidsbelastning
A	luftvarme loftsvarme	varmepumpe -	- el-varmefolie
B	radiatorer	varmepumpe	varmepumpe
C	gulvvarme	solvarme/ el-varmelegeme	el-varmelegeme
D	luftvarme	oliefyr	oliefyr
E	luftvarme	stenmagasin/ el-varmelegeme	el-varmelegeme
F	gulvvarme	solvarme/ gasfyr	gasfyr

7.3. Varmt brugsvand

Nogle af husene har separate anlæg til opvarmning af det varme brugsvand, medens det i andre huse er kombineret med husets varmeanlæg. Ligesom for varmeanlæggenes vedkommende anvendes termene normaldrift og spidsbelastning.

Hus A Luft-til-vand varmepumpeenhed med udeluft via tagrummet som varmekilde. Automatisk supplerings med el-varmelegeme under spidsbelastning/vinterdrift.

Hus B Luft-til-vand varmepumpeenhed i fortsættelse af varmegenvindingen på afkastluften. Anvender således den delvis afkølede afkastluft som varmekilde. Under spidsbelastning kan et el-varmelegeme indkobles manuelt, det udkobles automatisk når termostaten første gang "slår fra".

Hus C Som i Hus B: Luft-til-vand varmepumpeenhed i fortsættelse af varmegenvindingen på afkastluften. Ved passage af solvarmeanlæggets akkumuleringsstank forvarmes brugsvandet.

Hus D Den oliefyrede kedel har indbygget varmtvandsbeholder. Brugsvandet forvarmes først ved passage af en spildevandsgenvinder, yderligere forvarmning - om sommeren hele opvarmningen - sker i et særligt solvarmeanlæg. Spidsbelastning klares af oliefyret.

Hus E Elektrisk vandvarmer til såvel normaldrift som spidsbelastning.

Hus F En separat varmtvandsbeholder forsynes med varme fra gasfyret. Brugsvandet forvarmes - om sommeren opvarmes - ved passage af solvarmeanlæggets akkumuleringsstank.

Tabel 6. Husenes brugsvandsopvarmning og energiforsyning

Hus	forvarmning	normaldrift	spidsbelastning
A	-	varmepumpe	el-varmelegeme
B	-	varmepumpe	(el-varmelegeme)
C	solvarme	solvarme/ varmepumpe	(el-varmelegeme)
D	spildevandsgenv./ solvarme	solvarme/ oliefyr	oliefyr
E	-	el-vandvarmer	el-vandvarmer
F	solvarme	solvarme/ gasfyr	gasfyr

8. Lufttæthed

Målinger af husenes lufttæthed er rapporteret af Nielsen og Saxhof (5). Der er dels anvendt sporgasmetoden (faldende koncentration) til bestemmelse af infiltrationen og dels over/undertryksmetoden til bestemmelse af husenes lufttæthed.

Tabel 7. Luftskifte (h^{-1}) ved sporgasmetoden, middelværdi

Hus	A	B	C	D	E	F
infiltration	0,07	0,02	0,10	0,08	0,10	0,07

Begge undersøgelser er udført med lukkede vinduer og døre og med lufttæt afblændede kanaltilslutninger for ventilationsanlæggene, i Hus E er tillige brændeovnsens lufttilgang og skorsten afblændet. Trykmålingerne er udført ved midlertidig udskiftning af en indgangsdør med en plade med ventilator og venturirør til bestemmelse af luftmængden.

Tabel 8. Luftskifte (h^{-1}) ved trykforskel på 50 Pa

Hus	A	B	C	D	E	F
overtryk	-	0,21	-	1,65	1,28	0,64
undertryk	1,42	0,29	2,69	1,61	1,42	0,64
undertryk +)	-	-	-	2,22	1,41	0,72

+) angiver åbne vinduer og lukkede skodder.

For husene D, E og F, der har udvendige skodder er trykmålingen udført a) med lukkede vinduer og åbne skodder, og b) med åbne vinduer og lukkede skodder. Som det fremgår

af tabel 8 er der kun for Hus D nævneværdig forskel på, om det er vinduerne eller skodderne, der giver tætheden. Sagt med andre ord: Skodderne viser samme lufttæthed som vinduerne, hvilket også var tilsigtet, for at de kan have den største isoleringseffekt.

Det er bemærkelsesværdigt, at infiltrationen - med en enkelt undtagelse - ligger i området $0,07-0,10 \text{ h}^{-1}$, hvilket er ca. $1/5-1/10$ af traditionelle huses infiltration. For Hus B har den særlig omhyggelige fugning i forbindelse med de få, store elementer medført det meget lave luftskifte.

Det er endvidere bemærkelsesværdigt, at den gode lufttæthed er opnået ved konsekvent planlægning og omhyggelig udførelse - og reparation af uundgåelige huller. Det er således ikke nødvendigt at anvende dyr og kompliceret teknologi.

De i tabellerne refererede målinger er udført i perioden december 1979 til juni 1980, hvor husene havde en alder af knapt 2 år. En gentagelse af målingerne i 1982 (efter godt 1 års beboelse) viser ikke væsentlige udsving i forhold hertil.

Ved afblændingen af lufttilgang og skorstenstilslutning for brændeovnen i Hus E konstateredes, at ovnen ikke var af den tilstræbte type med afspærrelig lufttilgang. Desuden er ovenens låger og askeskuffe eneste afspærring mellem stueluften og skorstenen. Med f.eks. en låge på klem vil stuen være udsat for "gennemtræk", hvorved infiltrationen øges kraftigt samtidig med at varmegenvindingen får lavere effektivitet.

9. Energimæssige forhold

9.1. Beregnede k-værdier

Lavenergihusenes konstruktioner er udført med væsentlig større isoleringstykkelser, end der kræves for ikke at overskride varmetabsrammen efter BR77. Alligevel kan en sammenligning mellem de maksimalt tilladelige k-værdier og konstruktionernes beregnede k-værdier have interesse. Beregningerne er foretaget efter DS418 (6).

En sammenstilling af de anvendte mineraluldstykkelser kan derimod være misvisende, da isoleringsevnen i flere tilfælde opnås ved kombination af flere materialer, f.eks. ydervæg i Hus D: letbeton, mineraluld, letbeton.

Tabel 9. Oversigt over typiske k-værdier (W/m^2C)

Konstruktion	BR77	A	B	C	D	E	F
ydervæg "let"	0,30	-	0,15	0,16	-	0,13	-
ydervæg "tung"	0,40	0,17	-	-	0,14	-	0,19
vindue incl. karm	2,3	1,6	2,0	1,5	2,5	1,7	2,4
vindue med skodde	-	-	-	-	0,57	0,67	0,43
tag og loft	0,20	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,12
gulv mod jord	0,30	0,17	-	0,21	0,18	0,10	-
krybekælderdek	0,30	-	0,11	-	-	-	-
kælderdek	0,60	-	-	-	-	-	0,79

9.2. Dimensionerende varmetab

Husenes dimensionerende varmetab sammensættes som bekendt af transmissionstab og ventilationstab.

Transmissionstabet kan med kendskab til husets konstruktioner beregnes efter DS418. Saxhof har i (7) nærmere redegjort for beregningerne, for terrændækkonstruktionernes vedkommende bl.a. med en sammenligning af DS418-beregningen og en todimensional modelberegning. De i tabel 10 opgivne dimensionerende transmissionstab er uden tillæg for opvarmede dele af klimaskærmen (f.eks. opvarmede gulve).

Ventilationstabet kan for huse med stor lufttæthed enten beregnes ud fra et ønskeligt luftskifte (f.eks. $0,5 \text{ h}^{-1}$) eller ud fra en fastsat ydelse af anlægget for kontrolleret friskluftskifte (f.eks. $200 \text{ m}^3/\text{h}$). I dette tilfælde vælges $200 \text{ m}^3/\text{h}$ for alle seks huse. Der tages hensyn til varmeveksleren til genvinding ved faktoren 0,5. Da vekslerens effektivitet er lidt større end 50% - faktoren skulle altså være mindre end 0,5 - tages der derved også hensyn til husenes infiltration.

Ved dimensioneringstemperaturerne $-12^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$ bliver ventilationstabet således

$$\Phi_{\text{vent}} = 200 \times 0,34 \times (20 - (-12)) \times 0,5 = 1088 \text{ W} \sim 1,09 \text{ kW}$$

Tabel 10. Dimensionerende varmetab (kW)

Hus	A	B	C	D	E	F
transmission	2,53	2,46	2,75	2,55	1,95	3,44
ventilation	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
varmetab	3,6	3,6	3,8	3,6	3,0	4,5

For husene D, E og F, der har udvendige skodder, er transmissionen angivet som middel af beregningen uden og med skodder. Tabel 11 viser grundlaget.

Tabel 11. Transmissionstab uden/med skodder (kW)

Hus	D	E	F
uden skodder	3,03	2,27	4,26
med skodder	2,07	1,62	2,63
forskel, % af "uden skodder"	32%	29%	38%

For Hus D inkluderer de angivne tal varmetabet gennem husets gavle. Ved opførelse som rækkehus reduceres transmissions-
tabet med 0,17 kW - og væggen kan udføres uden den kraftige isolering.

10. Energibesparende foranstaltninger

Som nævnt side 28 er husenes lave energiforbrug fremkommet ved en kombination af

- 1) besparelser i form af lavt totalt energibehov og
- 2) udnyttelse af gratis energi.

Overskriften dækker begge disse områder.

10.1. Isolering

Betegnelsen lavenergihuse må være uløseligt knyttet til anvendelse af store isoleringstykkelser - og dermed lave k-værdier - for at opnå energibesparelse.

Tabel 9 side 92 viser en oversigt over typiske k-værdier.

10.2. Natskodder

En særlig form for isolering udgøres af isolerende vinduesskodder. Tre af husene har udvendige vinduesskodder. Den opnåede besparelse er naturligvis afhængig af, om skodderne anvendes.

10.3. Ventilation

Medens transmissionstabet kan begrænses vilkårligt meget - ved isolering - gælder det samme ikke ventilationstabet.

En praktisk nedre grænse for luftskiftet på ca. 0,5 gange/h vil normalt sikre et tilfredsstillende indeklima i relation til hygiejne, lugt og fugtighed. Dog kan et højere luftskifte være påkrævet under spidsbelastninger som madlavning, brusebad m.v.

Da alle seks lavenergihuse har kontrolleret friskluftskifte, kan husenes tæthed gøres vilkårlig god. Derved undgås et unødvendigt infiltrationstab.

Alle husene har varmegenvinding fra afkastluften, hvorved ventilationstabet reduceres til knapt halvdelen.

10.4. Varmt brugsvand

Energiforbruget til varmt brugsvand er først og fremmest afhængig af forbrugsmønstret. Man kan stort set kun opfordre til sparsommelighed. Problemet er i dette projekt "løst" ved at fikse forbruget til 3700 kWh/år for perioden med simuleret beboelse.

10.5. Udnyttelse af gratisvarme

Ud over disse fællestræk for at spare på energien anvendes i husene forskellige foranstaltninger til udnyttelse af gratisvarme.

10.6. Varmeakkumulering

Hus E er udformet til aktivt at udnytte solindfaldet gennem glasarealerne (passiv solvarme) gennem det til ventilationsanlægget knyttede stenmagasin.

Hus F har tunge bygningskonstruktioner, som på projekteringsstidspunktet var tillagt stor energibesparende betydning via deres varmeakkumuleringsevne.

Senere undersøgelser har dog vist, at den direkte energibesparende virkning af akkumuleringen ikke er så stor. Akkumuleringen har derimod en betydelig temperaturstabiliserende virkning.

10.7. Varmegenvinding fra spildevand

Hus D Gennem en speciel varmeveksler forvarmes brugsvandet ved varmegenvinding fra det grå spildevand.

10.8. Varmepumper med luft som varmekilde

Hus A En luft-til-luft varmepumpe forøger varmegenvindingen fra afkastluften.

En luft-til-vand varmepumpe henter varme fra udeluften i tagrummet til opvarmning af varmt brugsvand.

Hus B En luft-til-vand varmepumpe henter varme fra den afkølede afkastluft til opvarmning af varmt brugsvand.

Hus C En luft-til-vand varmepumpe henter varme fra den afkølede afkastluft til opvarmning af varmt brugsvand.

10.9. Varmepumpe med jorden som varmekilde

Hus B En vand-til-vand varmepumpe (jordvarmeanlæg).

10.10. Solvarmeanlæg

Hus C Et solvarmeanlæg leverer varme til både varmt brugsvand og til gulvvarmeanlægget (lavtemperaturanlæg).

Hus D Et solvarmeanlæg leverer varme til varmt brugsvand.

Hus F Et solvarmeanlæg leverer varme til både varmt brugsvand og til gulvvarmeanlægget (lavtemperaturanlæg).

Tabel 12. Husenes energibesparende foranstaltninger

Hus	A	B	C	D	E	F
<u>Spareforanstaltning:</u>						
ekstra varmeisolering	+	+	+	+	+	+
isolerende vinduesskodder	-	-	-	+	+	+
stor lufttæthed	+	+	+	+	+	+
genvinding veksler, afkast	+	+	+	+	+	+
<u>Gratisvarmeudnyttelse:</u>						
solindfald gn. glasarealer *)	-	-	-	-	+	+
genvinding, spildevand	-	-	-	+	-	-
varmepumpe til friskluft	+	-	-	-	-	-
varmepumpe til brugsvand	+	+	+	-	-	-
varmepumpe, jordvarme	-	+	-	-	-	-
solvarme til brugsvand	-	-	+	+	-	+
solvarme til opvarmning	-	-	+	-	-	+

*) Alle seks huse udnytter solindfaldet (passiv solvarme), den viste markering skal tydeliggøre, at der specielt i Hus E og Hus F er satset på solindfaldet, jvf. bemærkningerne under afsnit 10.6: Varmeakkumulering.

11. LfV's erfaringer fra projekterings- og byggefase

11.1. Projekteringsfasen

Som tidligere nævnt har LfV gennemgået projekterne til husene. Tilbagemeldingen til de projekterende arkitekter er bl.a. foregået gennem en indgående drøftelse af husets mange detaljer vedrørende isoleringstykkelser, kuldebroafbrydelse, lufttæthed - herunder lufttætte gennembrydninger - og arbejdsudførelse.

LfV er ved disse drøftelser blevet mødt med åbenhed og vilje til at opnå det sagligt bedste resultat. Dette har flere gange medført, at der på væsentlige punkter - især til opnåelse af stor lufttæthed i konstruktionerne - er fremkommet løsninger, som afveg betydeligt fra dagens standard. Også firmagruppernes ideer og opfindsomhed har bidraget til, at der i energimæssig henseende kunne stilles store forventninger til projekterne.

Forventningerne er stort set blevet indfriet gennem de opførte huse. Prisen herfor har i første række været et forøget tilsyn - både fra firmaernes og LfV's side. Det kan nævnes, at LfV som dokumentation har fotograferet flittigt i hele byggeperioden - resulterende i i alt ca. 3000 dias.

11.2. Håndværkernes motivation

I nogle af firmagrupperne har håndværkerne fået udmærket instruktion fra eget firma og fra tilsynet og er derigennem blevet motiveret til at lave arbejde, som i relation til isolering og lufttæthed rangerer højere end selv den bedste standard.

Men det skal også anføres, at lavenergihusprojektets medarbejdere har anvendt mange timer på at forklare, hvorfor tegningerne viste denne eller hin detalje. Eksempelvis hvorfor

en bane plastfolie skulle monteres på et "umotiveret" tidspunkt.

Det er et generelt træk, at håndværkernes motivation til f.eks. at udføre lufttætte konstruktioner er større, jo tættere de selv er på at udføre arbejdet. Flere gange har det vist sig, at murer, tømrer og snedker har fået udmærket instruktion, medens VVS- og El-installatør har "gjort som man plejer" og flere gange uden ond vilje delvis har ødelagt andre håndværkeres tidligere udførte arbejde.

En anden erfaring er, at jo tættere geografisk og personlig forbindelse, der er mellem håndværker, tilsyn og projekterende, jo bedre bliver resultatet. Bedst er det, når projekterende og tilsyn er en og samme person.

11.3. Byggefasen

Fra byggeperioden skal for de enkelte huse i flæng nævnes LfV's observationer af såvel positiv som negativ karakter. Bemærkningerne omfatter ikke de tekniske installationer.

- Hus A
1. Ordnet byggeplads, bl.a. fordi jordarbejder blev færdiggjort efter udførelse af fundament og betongulv.
 2. Den tidligt - og rigtigt - udlagte folie over den langsgående drager var for tynd, den blæste i stykker.
 3. Byggeprocessen, hvor tagkonstruktionen blev rejst på interimistiske stolper medførte, at huset fra begyndelsen var under tag, hvorved resten kunne udføres beskyttet.

4. Selv om det ikke senere kan ses, skal ydervægs-elementer også spartles bag faste skabe a.h.t. tætheden.

Hus B 1. Effektivt tilsyn - el-arbejdet i teknikrummet dog undtaget.

2. Huset blev rejst på én - lang - dag, afdækket med pressenninger og bragt under tag et par dage senere.

3. Ekstra omhyggelig fugeforsegling, se side 42.

4. Planlagte rørgennemføringer - dog svigtede systemet ved gulvafløb i bad.

Hus C 1. Husets mineraluldsisolering lå ubeskyttet i lang tid, hvorved der kom regnvand i pakkerne.

2. Loftsfolien blev monteret, inden taget var regntæt, hvorved regnvand og vand fra isoleringen medførte, at loftsfolien måtte "drænes" ved punktering.

3. LfV udvirkede, at kanal-, rør- og kabelgennemføringer fra teknikrum i stue til teknikrum på 1. sal blev udført efter "dobbeltpladeprincippet". Ingen instruktion af håndværkerne vedrørende denne detalje.

4. Ved udførelse af lodninger af kobberrør på 1. sal dryppede flydende tin gennem stueloftets folie.

5. LfV's indsats, at den indvendige pladebeklædning ved vinduerne blev tilskåret således, at den projekterede forsegling kunne udføres.

- Hus D
1. Regelmæssige byggemøder = god koordination.
 2. En afstødning af både letbeton og isoleringsskum ved fundamentet blev i første omgang udbedret med beton (= kuldebro). Fejlen beredvilligt rettet ved påtale. (Nævnt som harmløst eksempel på, hvad der i tankeløshed kan ske trods ugers snak om isolering, kuldebroer m.v.).
 3. Taget isoleret oppefra. Det kræver sikkerhed for tørt vejr, indtil tagpladerne er lagt.
 4. Inddækningsproblemer hvor bæringer for solfangere føres gennem tagbeklædning.
- Hus E
1. Udpumpning af beton på 300 mm mineraluld i terrændækkonstruktionen virker betænkeligt.
 2. Taget isoleret oppefra. Det kræver sikkerhed for tørt vejr. Dog blev isoleringen udført og afdækket fagvis, hvorved risikoen for gennemblødning mindskes.
 3. LfV har anvendt megen tid på at forklare håndværkerne foliens betydning for lufttætheden.
 4. Kanal gennemføring i loft tætnet som "efterreparation".
 5. Den installerede pejs af uhensigtsmæssig type, idet forbrændingsluften (udeluft fra en særlig kanal gennem kælderen) bliver opblandet med stueluften = luftutæthed.

- Hus F 1. Nær forbindelse mellem projekterende og tilsyn.
2. Oplægning af dækelementer med knasfuge rettet efter tilsynets anmodning, hvorved den forudsatte fugebredde blev etableret.
3. Deformation af dørkarme ved udskumning af fugen.
4. Den perfekte funktion af de mekanisk bevægede udvendige skodder er afhængig af en nøjagtig justering. Systemet kunne med fordel gøres mere robust.
5. Tagets isolering udføres oppefra. Kræver tørvej.

12. Firmagruppernes erfaringer og kommentarer

De seks firmagrupper har gennemset rapportens manus, hvorved fejl har kunnet rettes. Grupperne har fået lejlighed til at kommentere projektet. Af de modtagne kommentarer drejer adskillige sig om husenes installationer, som vil blive beskrevet i en senere rapport. Nedenstående afsnit skal derfor læses som LfV's uddrag og gengivelse af firmagruppernes kommentarer.

12.1. Hus A

Gruppens mål var at tilgodese de stillede krav til lavenergihuset ved at omarbejde et almindeligt typehus, uden at dettes ydre skulle præges af tekniske installationer eller specielle bygningsudformninger.

Herudover var det målet at minimere merudgifterne og at anvende enkle og kun lidt vedligeholdelseskrævende installationssystemer, som kun kræver en beskednen indsigt og indsats fra beboernes side.

Huset skulle således være en egentlig prototype, og det er gruppens opfattelse, at målene stort set er nået.

12.2. Hus B

Gruppen har lagt vægt på, at husets tæthedsplan er klarlagt i alle konstruktioner med veldefinerede og synlige samlinger, således at man visuelt kan kontrollere det færdige arbejde.

De lange stressed-skin elementer i taget fik p.g.a. udtørring i undersiden en pilhøjde på 50-60 mm og måtte opskæres i overflangen (over hovedskillerrummet) for at opnå tæthed mellem de enkelte rum i huset.

Gruppen har høstet mange erfaringer, som bl.a. er overført til Rockwool International A/S højisolerede kontorhus.

12.3. Hus C

Ingen kommentarer.

12.4. Hus D

Gruppen finder at et byggeri af denne art kræver betydelig mere projekteringsarbejde og betydelig mere tilsyn end normalt; prisen for disse arbejder skal lægges til husets opførelsespris.

Det viste sig at pladsbehovet til elkabler var overraskende stort på grund af den megen automatik.

Ophejsning og montage af solfangere var vanskelig at udføre. Der skulle udvises omhu med tætning af understøtningernes gennemføringer i tagfladen.

Ved installation af den specielle kedel viste det sig, at rensningsmulighederne ikke var tilstrækkelige. Anlægget måtte ændres før det kunne godkendes.

12.5. Hus E

Ved udformningen af huset var det en udfordring at udtrykke programmets specielle karakter uden at gå på akkord med boligkvaliteten.

Set udefra viser det tykke tag og de varme brune beklædningsbrædder at huset er klædt godt på. Den tilknappe form med lave facader udtrykker lille overflade (og varmeudstråling) samtidig med at husets indvendige volumen er fuldt udnyttet med de skrå lofter.

De anvendte konstruktioner vil kunne udføres af alle fornuf-tige håndværkere. Beregningsmæssigt har Masonite-elemen-terne ikke givet anledning til problemer. Der skulle dog tages hensyn til de små dimensioner ved overførsel af tryk mod vederlag.

12.6. Hus F

Til husets bærende konstruktioner er anvendt specielt serie-fremstillede betonsandwichelementer, udformet, monteret og sammenstøbt efter sædvanlig praksis.

Opførelsen af Hus F har vist, at betonelementsystemet for sin del har opfyldt kravene til et lavenergihus enkelt og billigt.

De kraftigt isolerede betonelementer er siden blevet anvendt i en række kontorhusbyggerier.

13. Økonomi

13.1. Husenes opførelsespris

Samtidig med oplysningerne om håndværkerudgifter har firmagrupperne samstemmende givet udtryk for, at det opførte hus er blevet noget dyrere end det ville være, når der blev tale om et større antal. Grupperne anfører lidt forskellige årsager, hvoraf de karakteristiske er

førstegangsopførelse

indførelse af nye produkter

særligt materialevalg a.h.t. udstillingsværdien

Lfv's måleudstyr, som a.h.t. husenes salgsværdi skulle udføres i skjult installation i alle primære rum, samt indbygning af et ganske betydeligt antal temperaturfølere og volumenmålere i specielt de kombinerede sol- og varmeanlæg har naturligvis også forøget håndværkerudgifterne. Den særlige opdeling af den elektriske installation med op til fem bimålere har i to tilfælde i kombination med komplicerede styresystemer medført anvendelse af egentlige tavleanlæg i stålskab, hvilket ikke er sædvane i enfamiliehuse.

I tabel 13 gives en oversigt over husenes faktiske håndværkerudgifter (i 1978-priser incl. moms), samt firmagruppens skøn over den forventede pris ved serieopførelse af samme hus.

Da de seks lavenergihuse er opført under et program, hvor det lave energimål var prioriteret højere end den økonomiske optimering, er det næppe sandsynligt at husene vil blive opført i helt uændret skikkelse. De største ændringer vil dog nok være at finde på "installationssiden".

Lfv vil gerne understrege at det tidsmæssigt pressede program for husenes opførelse forenet med firmagruppernes udtalte ønske om at få det bedst mulige tekniske resultat ud

af husene i visse tilfælde også har medført forøgede anlægsudgifter.

Hertil kommer de for et enfamiliehus meget store projekteringsomkostninger som de enkelte firmaer selv har ydet.

Tabel 13. Husenes håndværkerudgifter i 1978-kr.

Hus	faktiske totale udgifter	pr. m ² brutto-etageareal	forventede udgifter ved serieproduktion
A	375.000	3.100	360.000
B	1100.000	7.700	750.000
C	480.000	3.700	430.000
D	810.000	5.900	1)
E	1030.000	7.600	2)
F	895.000	5.100	3)

ad 1. Ikke oplyst af gruppen.

ad 2. På grund af den dyre kælder, der kun udnyttes til stenlager, ventilatorer og eltavle, bør der fremover vælges mellem en kælderløs udførelse eller fuld kælder (LfV's kommentar).

ad 3. De automatiske skydeskodder og den deraf følgende altankonstruktion blev i dette tilfælde så kostbare, at det er meningsløst at lade systemet indgå i et pris-skøn (LfV's kommentar).

13.2. Merudgifter til energibesparende foranstaltninger

Firmagrupperne er blevet bedt om at skønne over hvilke merudgifter til

1. varmeisolering og tæthed
2. installationer

der indgår i håndværkerudgifterne i forhold til et hus af tilsvarende størrelse opført efter BR77-kravene.

Det er enkelt at beregne hvad f.eks. 200 mm ekstra isolering på loftet koster, men straks vanskeligere at vurdere hvad ekstraisolering i vægge og fundamenter koster, når det fører til ændrede konstruktionsformer.

Opfyldelse af krav til lufttæthed medfører behov for kontrolleret friskluftskifte, som igen er en forudsætning for varmegenvinding fra afkastluften. Altså reelt en merudgift både til tæthed og til installationer.

Af ovennævnte eksempler ses, at disse merudgifter nødvendigvis må skønnes, og at der nemt kan opstå forskelle i vurderingsgrundlaget fra hus til hus. Derfor skal tabel 14 over de skønnede merudgifter kun tages som udtryk for nogle tendenser, og det kræver indgående kendskab til det enkelte hus at benytte tallene som sammenligningsgrundlag.

Tabel 14. Skønnede merudgifter i 1978-kr.

Hus	isolering og tæthed	installationer
A	30.000	25.000
B	45.000	50.000
C	12.000	75.000
D	130.000	80.000
E	30.000	185.000
F	160.000	65.000

Kommentarer:

Hus D. Merprisen for isolering indeholder bl.a. priser for vinduesskodder og dobbeltfundamenter.

Hus E. Merprisen for isolering er excl. merprisen for vinduesskodderne, antagelig fordi vinduer/døre og skodder er en integreret enhed.
Merudgiften til installationer indeholder bl.a. priser for kælder og stenlager.

Hus F. Tallene er skønnet af LfV på basis af de opgivne
entrepri sesummer.

Merpriserne for isolering indeholder bl.a. priser
for automatiske skodder (120.000 kr.) og altankon-
struktion (25.000 kr.).

Ses der bort fra de isolerede skodder og kældere med sten-
lager synes tendensen at være 15-45.000 kr. merpris til iso-
lering og tæthed og 50-85.000 kr. merpris til installa-
tioner, Hus A dog undtaget.

14. Litteraturliste

14.1. Referencer

1. Aasbjerg Nielsen, A., Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 lavenergihuse i Hjortekær - Statusrapport 1, LfV, Meddelelse nr. 84, juni 1979.
2. Lund, H.: Program BA4 for Calculations of Room Temperatures and Heating and Cooling Loads, LfV, Meddelelse nr. 44, 1976.
3. Andersen, B. et al.: Extract from "Meteorological Data for Design of Building and Installation: A Reference Year", 2. udgave, LfV, Meddelelse nr. 66, september 1977.
4. Bygningsreglementet 1977 (BR77), Boligministeriet, København 1977.
5. Saxhof, B. & Aasbjerg Nielsen, A.: Insulation and Air Tightness of six Low-Energy Houses at Hjortekær Denmark, 3rd International Symposium on CIB Working Commission W-67 Dublin, LfV, Rapport nr. 82-4, januar 1982.
6. NP-138-S (DS418) Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygningers varmetab, 4. udgave, Teknisk Forlag, november 1977.
7. Saxhof, B.: Transmissionskoefficienter og dimensionerende varmetab for seks lavenergihuse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-11, juni 1982.
8. Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Low-Energy Houses at Hjortekær - Description of the Houses, LfV, Meddelelse nr. 83, maj 1979.

9. Saxhof, B., Djurtoft, R.G., Byberg, M. & Aasbjerg Nielsen, A.: Six Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark, Description of the Houses and Presentation of Energy Measurements during the first Winter, 7th International Congress of Heating and Air Conditioning, "CLIMA-2000", Budapest 1980.

14.2. Supplerende materiale

Ud over de i teksten refererede kilder indeholder nedenstående publikationer yderligere oplysninger om Lavenergihusprojektet.

1. Byberg, M.R.: Do Conservation Houses Require Sophisticated Technical Installations?, ENERGEX'82, LfV, Rapport nr. 82-27, juni 1982.
2. Djurtoft, R.G.: Monitoring Energy Conservation Houses, ENERGEX'82, LfV, Rapport nr. 82-28, juni 1982.
3. Rasmussen, N.H. & Saxhof, B.: Testing of Heating Systems for Conservation Houses under Actual Climate Conditions, ENERGEX'82, LfV, Rapport nr. 82-29, juni 1982.
4. Saxhof, B.: External Insulating Shutters in Energy Conservation Houses, ENERGEX'82, LfV, Rapport nr. 82-30, juni 1982.
5. Saxhof, B. & Engelund Poulsen, K.: Foundations for Energy Conservation Houses, ENERGEX'82, LfV, Rapport nr. 82-31, juni 1982.
6. Gullev, J.: Lavenergihuse i Hjortekær, Byggeindustrien nr. 1, 1979, pp. 9-15.
7. Zachariassen, H.: H&S lavenergihus i Hjortekær, Arkitekten nr. 17, 1982, pp. B5-B8.

Summary

6 Low-Energy Houses at Hjortekær Building Structures - Workmanship and Experiences

Thermal Insulation Laboratory
Technical University of Denmark
Building 118
DK-2800 Lyngby

As part of the Danish Energy Research and Development Programme six prototype low-energy houses have been built at Hjortekær, north of Copenhagen, as detached single-family houses each having a living area of approx 120 m². Five houses were completed in the autumn of 1978 and the last one in March 1979, (8).

Since then, a research team has carried out detailed continuous energy measurements as well as limited investigations of specific problems. During the period from the completion of the houses till May 1980 none of the houses were inhabited, but the occupancy was simulated according to a standard pattern (including electricity consumption for lighting and domestic appliances, heat emission from persons and the use of domestic hot and cold water), (9). After May 1980 the houses were eventually sold and inhabited, and the monitoring was continued till May 1982.

The main objective of the Low-Energy House Project was to demonstrate that it is possible to build 120 m² detached houses with a design energy supply of approx 5000 kWh/year covering space heating, ventilation and domestic hot water.

The Project is managed by the Thermal Insulation Laboratory (LfV) at the Technical University of Denmark and carried out in close co-operation with six groups of private firms, each consisting of architects, consulting engineers and contractors or manufacturers of building materials. Each group is economically as well as technically involved in the project as builder and owner of the house during the period of simulated occupancy.

This report describes the establishment of this co-operation, and its basis. One important objective was to demonstrate that the energy aim could be reached in several ways, and thus the houses are all different regarding design, building materials, heating systems etc. The low energy consumption is obtained through an interplay of a low energy demand (mainly through a high degree of insulation and air tightness) and utilization of alternative energy sources (mainly through heat pumps and active solar systems). The greater importance is attached to the low energy demand.

A description is given of the design criteria, formulated by the project management as demands to the houses. Besides the said maximum design energy supply the demand to the air tightness must be stressed. The groups were told to aim at an infiltration rate of 0.03 a.c.h. or less, combined with mechanical ventilation (approx 200 m³/h) with heat recovery systems.

The report offers schematic surveys of the approved design heat balance for the houses, the house volume, floorage and other major areas, window area and information on the glazing, shading effect and insulating shutters.

The main section of the report gives a thorough and detailed description of the chosen building constructions, house by house, with the emphasis on the insulating technique - especially the avoidance of thermal bridges - and the air tightening. The description includes the immediately successful

solutions as well as some where later repair or improvement was considered necessary. The final part of this section describes the window and shutter constructions, again with the emphasis on the air tightness, in this case at the connection to the wall.

Very little attention has been given to vapour diffusion in the constructions, the main reason being that the possible moisture transport by convection exceeds the moisture migration by diffusion considerably. When air leakage through the constructions is prevented at the warmer side the condensation risk is practically eliminated.

The section is thoroughly illustrated, and the illustrations have been texted to the extent that they may be read separately from the main text. A short vocabulary of the most commonly used expressions is listed directly after this summary.

The technical installations in the six low-energy houses at Hjortekær will be the subject of a separate report, but to round off this presentation a brief survey of the heating systems and the domestic hot water systems is given schematically. The running of the systems is explained under normal operating conditions as well as under peak load conditions, because several of the systems have auxiliary units for the peak load. All houses have controlled ventilation with heat recovery from the exhaust air.

As a lot of attention has been paid to the air tightness of the houses some results of air change measurements have been included. Infiltration rates measured by the tracer gas decay method and air change rates measured by pressurization and depressurization show that the houses are indeed very tight, and that one of them in particular is extremely tight.

The calculated design heat loss by transmission and ventilation and some typical U-values calculated according to the Danish Regulations (6) are listed in tables. They are followed by a survey of the energy saving strategies that have been used in the project. The survey has been arranged systematically so as to be used as a catalogue, divided into two categories: lowering of the energy demand and utilization of free heat.

The two subsequent sections summarize the experiences gained by LfV and the groups concerning the design and building of the six houses.

The final section deals with the economy. The actual building cost has been listed in 1978-DKR, and in some cases the groups have contributed with an estimate of the building cost for a similar house built in series of 10 or more (also in 1978-DKR). In a second table the estimated surplus cost for "extra insulation and air tightness" and "special installations/heating equipment" respectively (compared to a house built strictly according to the present Danish Building Code) has been listed. The main tendency appears to be 15000-45000 DKR for extra insulation and tightness and 50000-85000 DKR for additional installations (1978 cost index), but the estimates are widely scattered. It should be emphasized that during the design period very little attention was paid to the cost-effectiveness of the different solutions because of the wish to pursue the principal aim: to demonstrate the diversity of possibilities for energy conservation in new houses.

Vocabulary of building technique expressions

This list of the most commonly used expressions does not by far pretend to be complete. It is intended as a tool to facilitate the reading of the many illustrations in this report, but hopefully it may also help the patient reader to acquire some understanding of the main text.

Danish expression

English expression

afløb	drain
afretningslag	levelling (of concrete)
afstandsliste	spacing list/moulding
armeret	reinforced
asfaltboard	asphalt impregnated wood fibre board
asfaltpap	asphalt impregnated millboard
bad/badeværelse	bath/bathroom
beton	concrete
betondæk	concrete deck
bjælke	beam/girder/joist
bodexplade	waterproof plywood panel
bryggers	scullery
brædder	boards
bræddebeklædning	boarding
bølgetagplade	corrugated roofing sheet
cementtagsten	cement roofing tiles
dampspærre	vapour barrier/moisture barrier
drager	girder
dæk	deck/self-supporting floor
dør	door
element	building unit/element
el-varmefolie	resistance surface heating

etage	storey
etageadskillelse	storey partition
eterniteplade	asbestos cement sheet
facade	aspect/front elevation
fald	slope
fodpanel	skirting board
folie	aluminium foil/plastic sheeting
foliepølle	rolled plastic sheeting
forankring	anchorage (wall anchors)
forsegle	seal
forskallingsbrædder	laths/lathing
fritliggende	detached
fuge	joint
fugemasse	mastic
fundament	foundation
gavl	gable
gipsplade	gypsum board/panel
gitterspær	roof truss/principal
gulv	floor
gulv på jord	slab-on-ground
hjørne	corner
hulrum	cavity
hus	house
hård træfiberplade	hard wood fibre board
karm	casing/frame
klaplag	coarse concreted slab (cast on site)
klemme	squeeze
klimaskærm	thermal envelope
klinker	clinkers/hard-burned bricks
knudeplade (ikke vist)	gusset plate (not shown)
kokosmåtte	coir carpet
krybekælder	crawl space
krydsfinér	plywood/multi-ply

kuldebro	cold bridge/thermal bridge
kuldebroafbrydelse	disconnection/avoidance of cold bridge
kælder	basement
lamineret (lam.)	laminated
letbeton	lightweight concrete
letklinker	expanded clay clinkers
letklinkerbeton	expanded clay concrete
lodret	vertical
loft	ceiling
loftsbrædder	ceiling boards
luftkanal	air duct
lufttæthed	air tightness
luftutæthed	air leak
lægte	lath/batten
løse	loose
male	paint
Masonite-bjælke	Masonite truss (cf Fig. 23)
Masonite-stolpe	Masonite post (cf Fig. 37)
mineraluld	mineral wool
murpille	pier
mursten	brick
murstensklinker	hard-burned bricks
nord (N)	North
nøddesten	pebbles
opklodsning (opklods.)	chocks/blocking-up
overlappe	lap/overlap
overtryk	pressurization
parketgulv	parquet flooring
plan	layout/level/plan
plastfolie	plastic sheeting (polythene, polyethylene etc)
plastprofilvindue	plastic frame window

polyurethanskum	polyurethane foam
pudse	render/plaster
pudslag	rendering
punktfundament	annular (concreted) footing
Rockwool-bjælke	Rockwool-truss (cf Fig. 20)
Rockwool-stolpe	Rockwool-post (cf Fig. 20)
rækkehuse	terrace houses
rørgennemføring	lead-in of pipes, ducts etc
sadeltag	pitched roof
samling	connection/joining
seriefremstillet	mass produced/standard product
skalmur	brick facing
skumnylon	synthetic rubber foam
snit	section
sokkel	base
spartlet og malet	puttered and painted (to act as vapour barrier)
specialfremstillet	specially manufactured
spær	rafter/roof truss
spånplade	chip board
stenmagasin	rock bed storage
stiv	rigid
stiv mineraluld	rigid mineral wool (high density, often with the fibres parallel to the heat flow)
stolpe	post/stud
stolpeskelet	wood frame structure
strøer	floor joists
strøer på opklodsning	floor joists on chocks
stue	living room
stue (stueetage)	ground floor
svømmende gulv	floating floor
syd (S)	South
sømlimet	nailed and glued

tag	roof
tagpap	bituminous roofing
tagplade	roofing sheet
tagudhæng	eave
tegltagsten	roofing tiles
tilsætning	casing board
toprem	head/top batten/wall plate
træ	wood/wooden
træfiberplade	wood fibre board
træskelet	wood frame structure
tværstillede fibre	fibres perpendicular to sur- face (used about a special type of rigid mineral wool)
tæppebelægning	carpet/carpeting
tætne	tighten/seal
udhæng	eave
udskæring	cutout/notch
underlagsbrædder	supporting boards
undertryk	depressurization
vandret	horizontal
varmerør	heating pipes
vest (V)	West
vindtæt pap	windtight cardboard/millboard
væg	wall
værelse	room
ydervæg	outer wall
øst (Ø)	East

"Acknowledgement"

Lavenergihusprojektet under Energiministeriet har lige fra starten været præget af stor interesse fra udenforstående og af god vilje fra de deltagende. Rapportens forfattere føler derfor trang til at rette en tak til de personer og institutioner, der har deltaget i projektet.

Først og fremmest til Energiministeriet (tidligere Handelsministeriet) som gennem den første og de efterfølgende bevillinger har sikret projektets økonomiske baggrund.

Herefter til Lyngby-Tårnbæk Kommune, der ved sin mellemkomst muliggjorde erhvervelse af velegnede parceller.

Især under projektets første faser, hvor der skulle træffes beslutninger af afgørende betydning for det videre forløb, har styregruppens formand og øvrige medlemmer givet råd, vejledning og inspiration.

Samarbejdet med firmagrupperne - ofte bestående af konkurrerende enkeltfirmaer - opfatter vi som enestående. Tak til de mange enkeltpersoner i firmagrupperne med hvem vi har haft et gnidningsfrit samarbejde, og tak til firmaerne som gennem deres deltagelse også har ydet betydelig økonomisk støtte til projektet.

En række af LfV's medarbejdere har udgjort "lavenergihusgruppen", der gennem årene har haft lidt forskellig størrelse og sammensætning. Rapporten er et resultat af hele gruppens indsats.

Der skal også rettes en tak til LfV's øvrige medarbejdere for deltagelse, hjælp og godt arbejdsklima.

I den periode, hvor lavenergihusene har været simuleret beboede, har vi til pasning af de manuelt betjente skodder og til tilsyn med måleudstyret modtaget god hjælp af personer med løsere tilknytning til projektet, bl.a. af studerende ved DTH.

