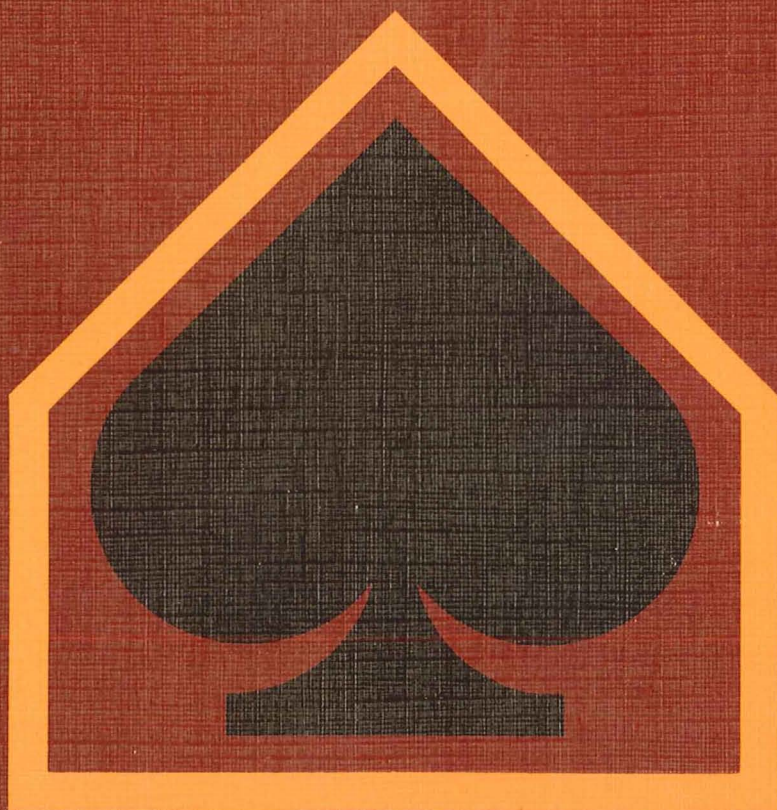


Indvendig efterisolering af en etageejendom



Beregning og måling af energibesparelser

SBI-RAPPORT 122 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1980



Indvendig efterisolering af en etageejendom

Beregning og måling af energibesparelser

MOGENS NØRREGAARD
NILS ERIK ANDERSEN
GEORG CHRISTENSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
EX. 2
- 9 NOV. 1992

00306 P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
EX. 2
3 NOV. 1980



SBI-publikationer

Statens Byggeforskningsinstituts publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Landbrugsbyggeri, Byplanlægning, Pjecer, Ydeevnebeskrivelser, Særtryk og Nomogrammer. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement

Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Der kan vælges mellem fire abonnemeter omfattende forskellige af de udgivne serier. Information om abonnemeterens omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0374-2.

Pris: Kr. 44,25 inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 2500.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 122: Indvendig efterisolering af en etageejendom. Beregning og måling af energibesparelser. 1980.

Indhold

Forord	3
Projektorganisation	4
Sammenfatning	5
Indledning	6
Beskrivelse af ejendommen	7
De gennemførte energibesparende foranstaltninger	9
Ejendommens beregnede varmemeforbrug og den teoretiske besparelse	12
Valg af målemetoder	15
Det målte varmemeforbrug	18
Vurdering af energibesparelsen	20
Målinger af temperatur og luftfugtighed	22
Luftskifte og luftfugtighed	23
Temperaturforhold i ydervæggen	24
Fugtforhold i ydervæggen	25
Litteratur	26
Summary	27

Forord

I første fase af energiministeriets program for »Udbygning af dansk energiforskning og udvikling« af december 1976 er på basis af et oplæg fra SOFUS-BYG afsat midler til gennemførelse af et projekt om »Forbedring af varmeøkonomien i eksisterende bygninger ved videreudvikling af traditionelle metoder/foranstaltninger«. Dette projekt er igen opdelt i en række delprojekter, hvoraf et har titlen »Forbedring af klimaskærmen i eksisterende etageboliger«.

I forbindelse med dette delprojekt er der tidligere udarbejdet tre delrapporter – SBI-rapporterne 105, 113 og 120. SBI-rapport 105 redegør generelt for udgifterne ved ekstra-isolering af eksisterende etageboliger og de forventelige energibesparelser, mens SBI-rapport 113 beskriver de byggetekniske løsninger, der er anvendt ved en gennemgribende efterisolering af en eksisterende 3-etagers ejendom med 24 lejligheder. SBI-rapport 120 beskriver beboernes erfaringer i forbindelse med planlægningen og gennemførelsen af byggearbejderne. Herudover beskrives også beboernes synspunkter på resultatet af de gennemførte foranstaltninger – herunder det ændrede indeklima.

Den her foreliggende rapport har til formål at redegøre for de foretagne målinger af energibesparelser m.m. i den efterisolerede etageblok og afslutter dermed det førnævnte praktiske forsøg.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem det rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S og Statens Byggeforskningsinstitut. I forbindelse med hovedprojektet er der nedsat en styringsgruppe, sammensat af 4 medlemmer fra SOFUS-BYG-kredsen samt en repræsentant fra henholdsvis boligministeriet, energiministeriet og energistyrelsen.

SBI, september 1980.

I foråret 1976 udarbejdede SOFUS-BYG (SOFUS-BYG: Samarbejde om forskning, udvikling og service for byggeriet) oplæg til en række projekter vedrørende energiforbruget til bygningers opvarmning og drift. I energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling (første fase efterår 1976) indgik tre af disse projekter med følgende program:

- Forbedring af klimaskærmen i eksisterende etageejendomme,
- Udvikling af styringsanvisninger og konsulenttjeneste for varmebesparelse i etageejendomme,
- Analyse af energibesparende foranstaltninger i offentlige bygninger.

For de tre projekter er der oprettet en fælles projektstyringsgruppe med følgende sammensætning:

Afdelingsleder, civilingeniør G. Christensen (formand),
Statens Byggeforskningsinstitut,

Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut,

Civilingeniør J. Lemming,
energiministeriet,

Professor, civilingeniør V. Korsgaard,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole,

Overingeniør, dr. techn. K. E. C. Nielsen,*)
Teknologisk Institut,

Civilingeniør O. Smith-Hansen,
boligministeriet,

Ekspeditionssekretær P. J. Snare,
energistyrelsen.

For hvert af projekterne er der udpeget følgende projektledere:

- Afdelingsleder, civilingeniør G. Christensen,
Statens Byggeforskningsinstitut,
- Afdelingsleder, cand. silv. J. Kelnæs,
Teknologisk Institut,
- Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut.

Endvidere oprettedes under hensyntagen til områdets brede berøringsflade til ministerier, andre offentlige institutioner samt byggeriets organisationer og virksomheder et energi-

sekretariat i tilknytning til SOFUS-BYG. Energisekretariatet skal drage omsorg for indsamling, formulering, koordinering og formidling samt information om energiprojekter, som vedrører bygningers opvarmning og drift. For energisekretariatet er der oprettet en styringsgruppe, som består af:

Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut,

Professor, civilingeniør V. Korsgaard,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole,

Overingeniør, dr. techn. K. E. C. Nielsen,*)
Teknologisk Institut.

Som energisekretær fungerer civilingeniør O. Jensen, der i de foreliggende tre projekter virker som projektkoordinator.

*) I stedet for dr. techn. K. E. C. Nielsen er pr. 1.5. 1978 cand. silv. J. Kelnæs, Teknologisk Institut, indtrådt i projektstyringsgruppen og civilingeniør P. Steensen, Teknologisk Institut, i energisekretariatets styringsgruppe.

I denne afsluttende delrapport redegøres for de målinger og teoretiske beregninger, der er foretaget i forbindelse med efterisoleringen af en eksisterende 3-etagers ejendom fra 1942 med 24 to-værelses lejligheder.

Rapporten redegør indledningsvis kortfattet for de gennemførte energibesparende foranstaltninger. I SBI-rapport 113, »Indvendig efterisolering af en etageejendom, byggeteknik, priser, erfaringer«, beskrives de anvendte byggetekniske løsninger nærmere.

Ejendommens varmekonsum er dels beregnet på traditionel vis på grundlag af graddøgntallet 2830, og dels på grundlag af en metode, hvormed det nøjere er muligt at tage hensyn til gratisvarmens betydning for varmekonsumet. En senere sammenligning af beregnet og målt varmekonsum giver som resultat, at den traditionelle beregning giver bedst overensstemmelse med de målte varmekonsum.

De overvejelser, der ligger til grund for valget af målemetoder, er beskrevet, og der er redegjort for måleprogrammet, der udover måling af energiforbruget til rumopvarmning også omfatter supplerende målinger af temperatur, luftfugtighed og luftskiftet i lejlighederne samt temperaturmålinger i ydermuren.

De målte energiforbrug korrigeres for graddøgntal, bygningsstørrelse og forskelle i gennemsnitsrumtemperatur, hvorefter målingerne i de næsten ens 5 blokke sammenlignes.

Som hovedresultat fås en målt besparelse ved at isolere og montere radiatortermostatventiler på 45 pct. Til sammenligning kan nævnes, at de teoretiske beregninger under forskellige forudsætninger vedrørende gratisvarmens indflydelse giver besparelser på henholdsvis 47, 59 og 64 pct.

Ud fra de foreliggende resultater for de to blokke med radiatortermostatventiler og de to referenceblokke, fås en årlig besparelse ved at montere termostatventiler på 5 pct. Dette resultat er dog behæftet med en vis usikkerhed, blandt andet på grund af måleudstyrets unøjagtighed.

I de sidste afsnit af rapporten beskrives resultatet af de målinger af temperatur og luftfugtighed, der er foretaget i et antal efterisolerede og ikke efterisolerede lejligheder. Gennemsnitstemperaturen er ca. ½ grad højere i den efterisolerede blok, hvorimod der ingen forskel er i gennemsnitstemperaturen i blokke med og uden termostatventiler.

Luftfugtigheden er lidt højere i den efterisolerede blok end i de øvrige blokke, i gennemsnit 43 pct. mod 40 pct., hvilket harmonerer med luftskiftemålingerne, der viser et luftskifte på 0,55 gange i timen mod 0,70 gange før isoleringen og tætningen.

Endelig redegøres for temperaturforholdene i ydermuren samt resultatet af en af Teknologisk Institut udført undersøgelse af fugtforhold i træbjælkelagets ender. Der synes ikke at kunne konstateres fugttekniske ulemper som følge af isoleringsarbejderne.

I denne afsluttende delrapport redegøres for de målinger, der er foretaget i forbindelse med forsøgsisoleringen af en 3-etagers ejendom bygget i 1942.

Ejendommen, der har 24 to-værelses lejligheder, er beliggende i KAB-bebyggelsen Glumsøparken, hvor der findes 5 næsten ens blokke, hvilket har muliggjort sammenlignende målinger mellem blokkene.

Rapporten henvender sig i første række til de teknikere, der skal forestå udførelsen af energibesparende foranstaltninger i etageejendomme, men også på en del punkter til de personer, der træffer beslutning om iværksættelse af foranstaltningerne.

Energiforbruget til rumopvarmning er målt i varmesæsonerne 1977/78 og 1978/79 ved hjælp af kaloriemålere i 5 af blokkene. Ved sammenligning af resultaterne kan den samlede besparelse ved de trufne foranstaltninger findes, idet to af blokkene anvendes som referenceblokke. To blokke som indgik i målingerne er forsynet med radiatortermostatventiler, hvilket muliggør en særskilt vurdering af disse ventilers indflydelse på energiforbruget.

De målte besparelser ved isoleringsarbejderne sammenlignes med de forventede teoretiske besparelser. Foranstaltningernes indflydelse på indeklimaet er søgt belyst ved måling af temperatur og luftfugtighed over en periode i et antal lejligheder. Desuden er luftskiftet før og efter arbejdnernes udførelse målt i 6 lejligheder for at undersøge tætningsens effekt.

Isoleringen af ydervæggene er foretaget ved en indvendig isolering med mineraluld, lægter og gipsplader. De heraf forårsagede ændringer af ydervæggens fugt- og temperaturforhold behandles i et særligt afsnit, hvor der også redegøres for de udførte målinger.

Delprojektet er gennemført i et samarbejde mellem det rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S og Statens Byggeforskningsinstitut. Ved udarbejdelse af denne rapport har medvirket:

Fra Dominia A/S: Akademiingeniør Mogens Nørregaard, fra SBI: Civilingeniør Georg Christensen og civilingeniør Nils Erik Andersen.

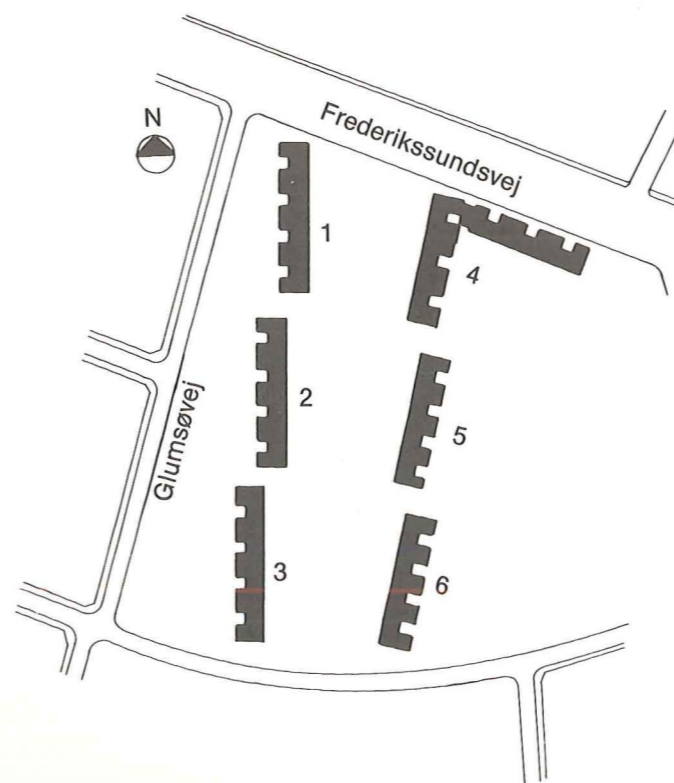
Bebyggelsen

Ejendommen er beliggende i KAB-bebyggelsen »Glumsøparken« i København. I det afsnit, hvor den efterisolerede blok ligger, findes i alt 6 blokke, hvoraf de 5 indgår i målingerne af energiforbrug. Facaderne er orienteret øst-vest og ned mellem blokkene strækker sig et fælles grønt område.

Blok 1, 2 og 3 indeholder alle 24 to-værelses lejligheder og 6 et-værelses lejligheder. Blokkene er stort set identiske, dog adskiller blok 2 sig ved at rumme afsnittets varmecentral i kælderen. Blok 5 og 6 er ligeledes ens og svarer bygningsmæssigt til blok 1, 2 og 3, men er mindre, da de kun indeholder 24 to-værelses lejligheder. Vinkelblokken 4 har langs Frederikssundsvej en række forretninger i stueetagen og indgår ikke i måleprogrammet.

Bygningerne

Husene er opført i 1942 som traditionelt murstensbyggeri i 3 etager med fuld kælder, og de er typiske for den tids boligbyggeri. Ydermurene er af 36 cm murværk, delvis som uisolert hulmur.



Figur 1. Glumsøparken. Efterisoleringen blev foretaget i blok 5.



Figur 2. Udsnit af bebyggelsen Glumsøparken.

Taget består af 30° gitterspær med teglsten. Tagdækket var oprindeligt isoleret med 25 mm tangmætter, under energikrisen 1973/74 dog suppleret med 100 mm mineraluld.

Etageadskillelserne er udført som normale træbjælkelag med lerindskud og isoleret med 25 mm tangmætter i det underste hulrum. Under badeværelserne er dækket dog af jernbeton.

I kælderen findes vaskerum, tørrerum, pulter- og cykelrum.

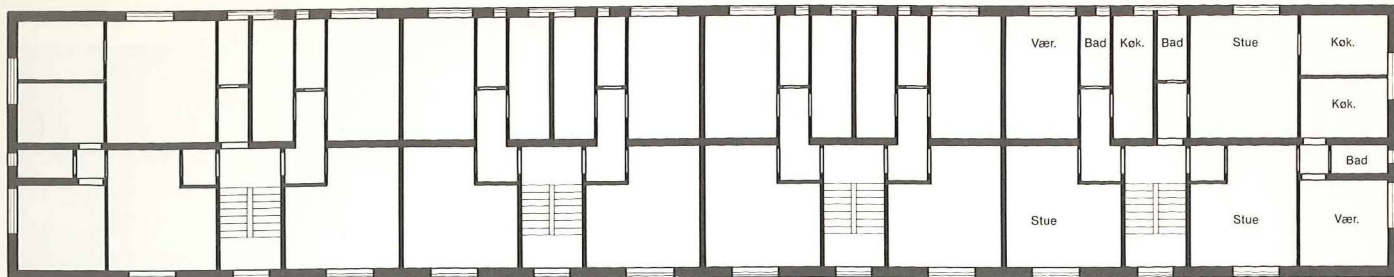
Vinduerne, der arealmæssigt svarer til 15 pct. af etagearealet, er forsynet med 1 lag glas og forsatsruder for cirka halvdelen af vinduet i opholdsrummene. Havedørene i stueetagen er dobbelte.

Lejlighedernes udformning

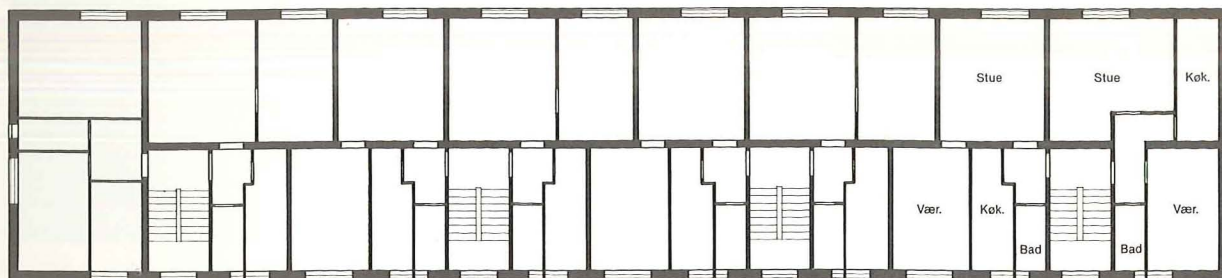
Figur 3 og figur 4 viser etageplaner for blok 1-3 og blok 5-6.

Opholdsstuerne er mellem 16 og 17 m² og er hovedsagelig orienteret mod vest, idet 1-værelses lejlighedernes opholdsstuer dog vender mod øst. Soveværelsernes areal varierer mellem 11,5 og 12,5 m², og de vender for den overvejende dels vedkommende mod øst. Køkken og bad i de 5 blokke svarer ligeledes i størrelse og beliggenhed til hinanden, medens entreen i en del af blokkene 1-3's to-værelses lejligheder er cirka 1,5-2,0 m² større end de andre typer.

Køkkenerne er forsynet med gas- eller elkomfur samt køleskab. De separate murede aftrækskanaler giver den for-



Figur 3. Etageplan blok 1, 2 og 3.



Figur 4. Etageplan blok 5 og 6.

nødne naturlige ventilation. Badeværelserne har udover håndvask og toilet en bruseplads ved facaden. I en del lejligheder er der opsat siddebadekar og i enkelte lejligheder er der opstillet en vaskemaskine i brusenichen. Der findes ingen aftrækskanal i badeværelserne, og udluftningen sker derfor gennem det oplukkelige vindue.

Lejlighederne er forsynet med centralvarme og varmt vand fra varmecentralen i blok 2. Der findes kun radiatorer i stue og soveværelse. Radiatorerne er ikke anbragt under vinduerne, men placeret ved hovedskillevæggen, og de har manuelt betjente ventiler.

Bebyggelsens beboersammensætning

Interviews af beboerne i blokkene 2, 3 og 5 viser, at der bor forholdsvis mange midaldrende og ældre personer i ejendommene. Cirka halvdelen af lejlighederne bebos af enlige og kun få steder findes hjemmeboende børn under 18 år. Eksempelvis var der kun tre husstande i den isolerede blok, der havde børn boende hjemme.

Undersøgelsen, der er beskrevet i SBI-rapport 120, viser en ensartet beboersammensætning i de blokke, som indgik i undersøgelsen, dog er der gennemgående flere ældre, flere pensionister og flere personer med helbredsmæssige forhold, der påvirkes af kulde, træk og varme i blok 2 og 3 end i blok 5.

I forbindelse med den senere vurdering af de respektive blokkes energiforbrug må det dog antages, at sammensætningen trods alt er så ensartet, at store udsving på grund af beboervaner og forbrugsmønstre ikke vil forekomme.

Beboersammensætningen skønnes i øvrigt at være ganske repræsentativ for etagebyggeri fra den pågældende periode.

Samtlige dele af klimaskærmen er efterisoleret ved hjælp af traditionelle metoder og med så kraftige isoleringstykkelser, som det var praktisk muligt.

Det bemærkes, at der ikke ligger nogen økonomisk optimering bag valget af samtlige isoleringsforanstaltninger, idet forsøgets primære formål har været at indhøste praktiske erfaringer og måle den samlede energibesparelse. Se i øvrigt SBI-rapport 113.

Isolering af loft

I den eksisterende tagkonstruktion, der består af 30° gitter-spær og teglsten, var loftet isoleret med 25 mm tangmætter fra begyndelsen og var senere forbedret med 100 mm mineraluld, kvalitet B. Loftet blev yderligere efterisoleret med 150 mm mineraluld, kvalitet B.

Oprindelig k-værdi: 0,35 W/m² K

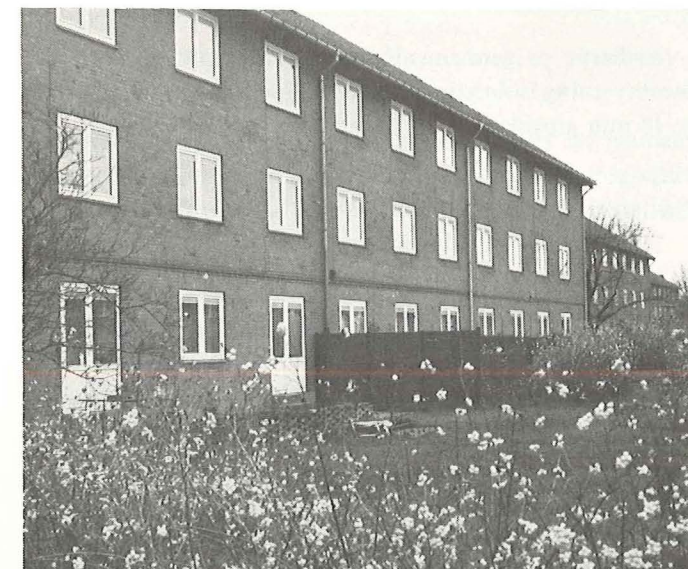
Ny k-værdi: 0,16 W/m² K

Isolering af ydervægge

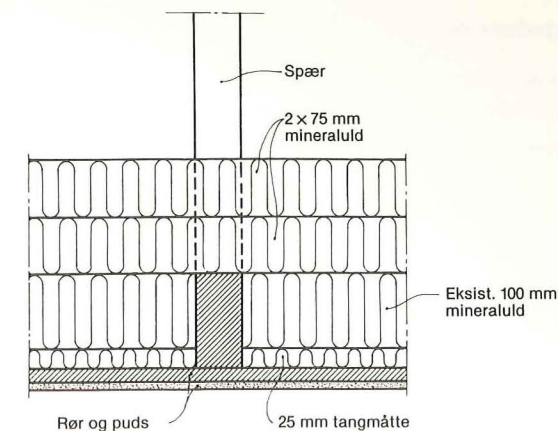
Alle ydervægge er udført som 36 cm teglstensmur enten i massiv udførelse eller med faste bindere. I opholdsrum og køkkener blev indvendig isoleret med lægter af træ eller stålprofiler med 50 + 75 mm mineraluld, kvalitet B, afdækket med 13 mm gipsplader med underliggende dampspærre af 0,15 mm polyethylenfolie.

Oprindelig k-værdi: 1,50 W/m² K

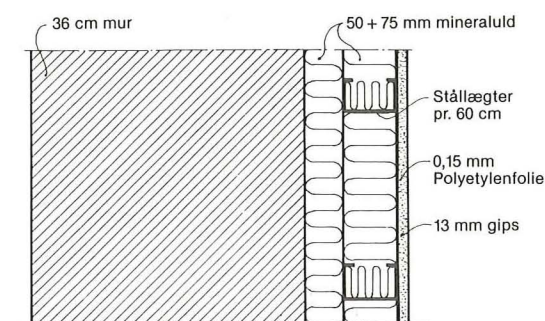
Ny k-værdi: 0,30 W/m² K



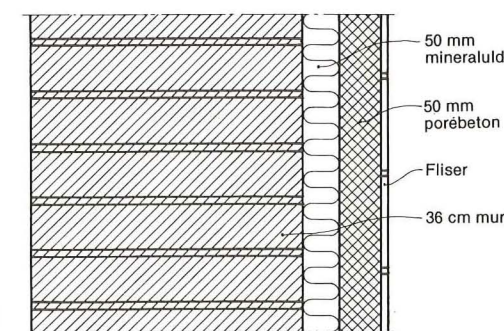
Figur 5. Blok 5, havefacade.



Figur 6. Snit i tagkonstruktion.



Figur 7. Vandret snit i ydervæg.



Figur 8. Snit i ydervæg ved bad.

Ydervægge i trapperum blev isoleret som ovenfor beskrevet, idet der af pladshensyn dog kun blev isoleret med 75 mm mineraluld mellem lægter.

Ny k-værdi: 0,45 W/m² K

Ydervæggen i badeværelser blev isoleret med 50 mm mineraluld, kvalitet A, og 50 mm porebeton med fliser. Vinduesbrystninger er udført af 24 cm mur. Den 12 cm dybe brystningsniche udfyldtes med mineraluld inden isoleringsvæggen førtes forbi brystningen.

Oprindelig k-værdi (35 cm mur): 1,50 W/m² K

Ny k-værdi (50 mm mineraluld): 0,45 W/m² K

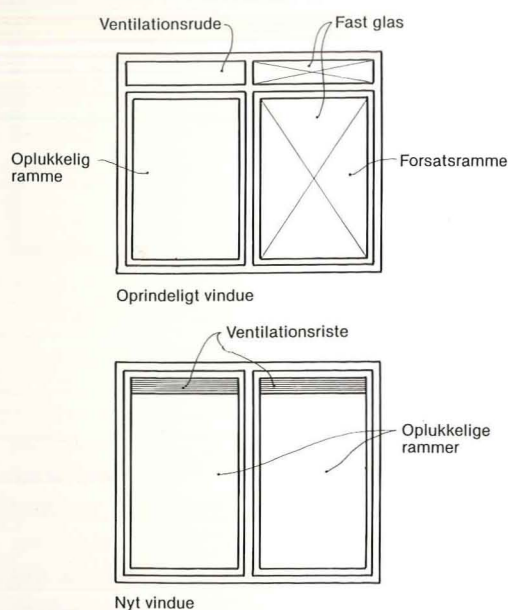
Isolering af vinduer og døre

Alle vinduer i lejligheder og trapperum blev udskiftet med nye kunststofvinduer med 3-lags termoruder med 7 mm luftmelletrum.

Vinduer til opholdsrum

Oprindelig k-værdi: 4,35 W/m² K
Ny k-værdi: 2,60 W/m² K

k-værdierne er gennemsnitsværdier for hele vinduet. Ventilationsriste medregnes med $k = 7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

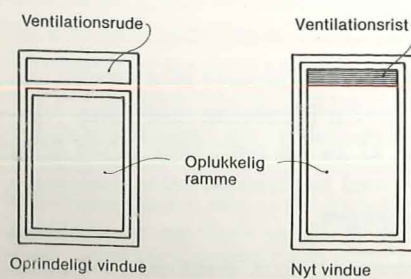


Figur 9. Vinduer til opholdsrum.

Vinduer til køkken og kamre

Oprindelig k-værdi: 5,45 W/m² K
Ny k-værdi: 2,60 W/m² K

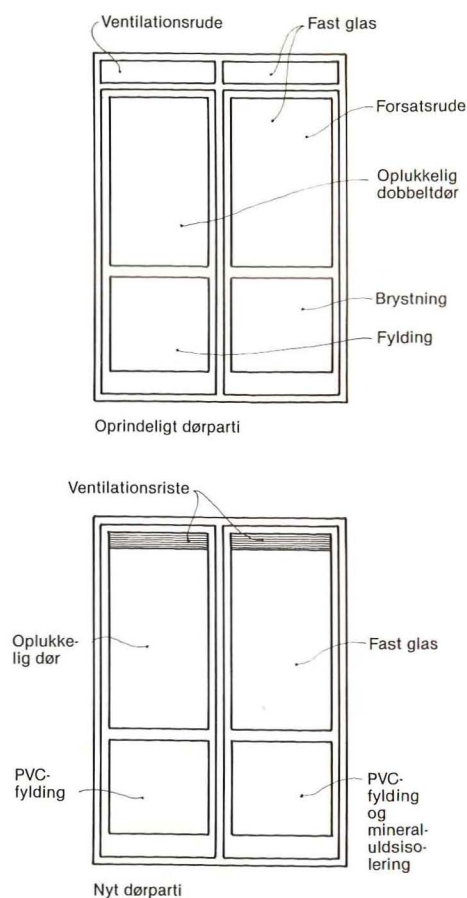
Vinduer i badeværelser skønnes at have tilsvarende k-værdier, medens vinduer til trapperum, der ikke forsynes med ventilationsriste har henholdsvis $k = 5,45$ og $k = 2,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ for det oprindelige og det nye vindue.



Figur 10. Vinduer til køkken.

Havedørsparti i stueetagen

Oprindelig k-værdi: = 2,3 W/m² K
Ny k-værdi: = 2,2 W/m² K



Figur 11. Havedørsparti.

k-værdierne er gennemsnitsværdier for hele partiet. Vinduesbrystning isoleres indvendigt med 150 mm mineraluld og 13 mm gipsplade.

PVC-fyldning har $k = 1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Ventilationsrist $k = 7,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Isolering af gadedør

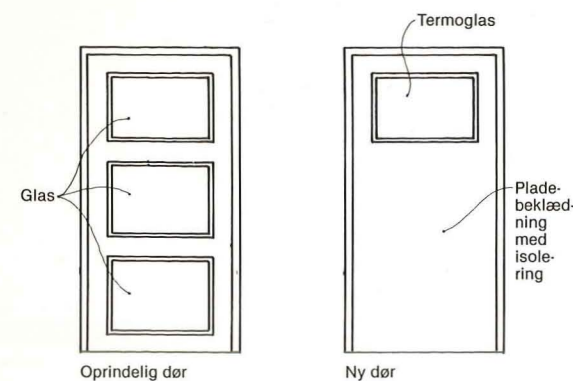
Den oprindelige hoveddør var udført med glas i 3 felter (se figur 12).

Døren blev beklædt med krydsfinerplader på begge sider, idet glasset i de to nederste felter blev fjernet og hulrummet udfyldt med mineraluld.

I det øverste felt monteredes en 2-lags termorude. Derudover blev dørkarmen forsynet med tætningslister, og kalfatningsfugen blev tætnet.

Den eksisterende dørpumpe bevarede.

Oprindelig k-værdi: 4,9 W/m² K
Ny k-værdi: 1,9 W/m² K



Figur 12. Gadedør.

Isolering af dæk over kælder

Etageadskillelsen bestod af et traditionelt træbjælkelag med lerindskud, undtagen under badeværelser, hvor der var støbt en jernbetonplade. I det nederste hulrum mellem indskud og kælderloftsforfaldning var anbragt en ca. 25 mm tyk tangmåde.

Træbjælkelaget blev isoleret ved indblæsning med mineraluld i hulrum over tangmåtten, medens jernbetonpladen blev isoleret på undersiden med 75 mm mineraluld, lægter og 13 mm gipsplade.

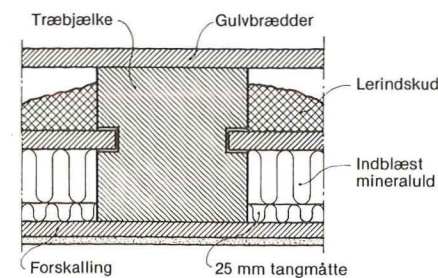
Træbjælkelag:

Oprindelig k-værdi: 0,60 W/m² K
Ny k-værdi: 0,35 W/m² K

Jernbetondæk:

Oprindelig k-værdi: 2,7 W/m² K
Ny k-værdi: 0,7 W/m² K

k-værdien efter isoleringen på undersiden er en gennemsnitsværdi svarende til at 10 pct. af arealet ikke er isoleret, idet vandlås fra gulv afløb, faldstammer og lignende var i vejen for en isolering af hele etageadskillelsen.



Figur 13. Snit i etageadskillelse.

Termostatventiler

Varme anlægget var udstyret med et klimastatanlæg, der regulerer fremløbstemperaturen efter vejrforholdene. For at undgå at rumtemperaturen blev for høj i den isolerede blok, blev alle radiatorer udstyret med DANFOSS termostatventiler type RAV2 15 mm med fjernføler i stedet for den oprindelige håndbetjente ventil.

Desuden installeredes tilsvarende ventiler i blok 1 og 2 med henblik på en vurdering af de besparelser, som kunne opnås alene ved opsætning af termostatventiler. Blok 3 og 6 bevarede som tidligere og kan derfor anvendes som referenceblokke for energimålingerne i blokkene 1, 2 og 5. Blok 4 indgår ikke i eksperimentet. En mere detaljeret beskrivelse af varmesystemet er foretaget under afsnittet om »Valg af målemetoder«.

Rørisolering

Rør til centralvarme og varmt vand i kælder og på loftet blev ekstraisoleret med 20 mm isoleringsmateriale til i alt 30 mm.

Ejendommens beregnede varmekonsum og den teoretiske besparelse

Dimensionerende varmetab

Besparelserne ved de gennemførte isoleringsarbejder kan beregnes ved en traditionel varmetabsberegning som angivet i DS 418 »Beregning af bygningers varmetab«. På basis af det dimensionerende varmetab kan det årlige energiforbrug beregnes ved hjælp af graddagtallet.

I tabel 1 er vist resultatet af en sådan beregning for blok 5 før og efter isoleringsarbejderne blev udført, idet der er gjort følgende forudsætninger om temperaturforholdene:

Udvendig temperatur: -12°C .

Indvendig temperatur: $+20^{\circ}\text{C}$.

Før isoleringen: $+13^{\circ}\text{C}$ i trapperum og kælder.

Efter isolering: $+16^{\circ}\text{C}$ i trapperum og $+10^{\circ}\text{C}$ i kælder.

Luftskiftet regnes nedsat fra 0,7 til 0,5 gange i timen.

De største varmetab før isoleringen ses at stamme fra ydervæg, døre og vinduer samt den naturlige ventilation af lejlighederne. Tagets lille andel på kun 6 pct. af det samlede tab hænger sammen med den tidligere udførte efterisolering med 100 mm mineraluld. Ligeledes bemærkes det, at transmissionstabt gennem etageadskillelsen mod kælder er lille, hvilket skyldes den ringe temperaturforskel og den relativt gode k-værdi.

Også efter isoleringen dominerer varmetabene gennem ydervæg og vinduer. Vinduernes tab er nu den største post efterfulgt af ventilationstabt samt tabet gennem ydervæg. Kuldebroerne i ydervæggene er en væsentlig årsag til, at sidstnævnte tab ikke er mindre. Af det beregnede varmetab på 8.800 watt udgør kuldebrotabet 3.700 watt eller 9 pct. af bygningens samlede varmetab efter isoleringen.

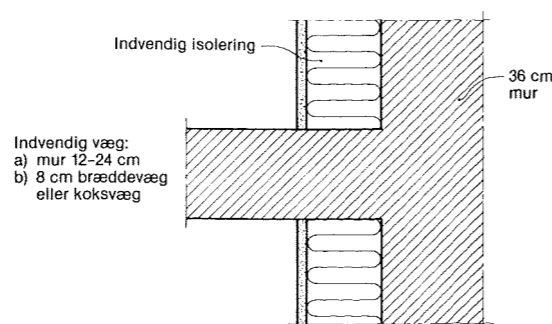
Bygningsdele	Varmetab før isolering		Varmetab efter isolering		Besparelse i varmetab		Besparelse i pct. af varmetab før isolering	
	Watt	Pct.	Watt	Pct.	Watt	Pct.	Watt	Pct.
Loft	4.200	6	1.800	4	2.400	7	57	
Ydervæg inkl. kuldebroer	25.800	34	8.800	22	17.000	47	66	
Væg mod trapper	5.500	7	3.500	9	2.000	6	36	
Døre og vinduer	23.700	31	14.300	36	9.400	26	40	
Dæk over kælder	1.800	2	1.000	2	800	2	44	
Ventilation	15.000	20	10.700	27	4.300	12	29	
I alt	76.000	100	40.100	100	35.900	100		

Tabel 1. Dimensionerende varmetab i blok 5 før og efter isolering.

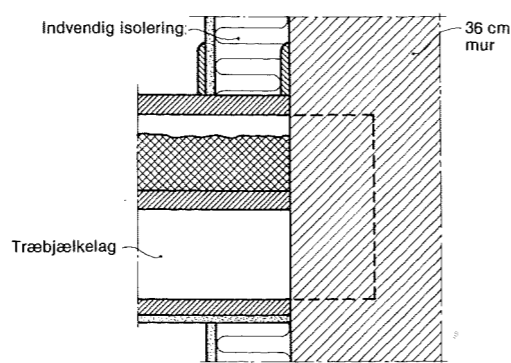
Varmetab fra kuldebroer

De forudsætninger, der ligger til grund for beregningen af varmetabet gennem de opståede kuldebroer stammer fra Byggeforskningens Rapport R46:1978 Koldbrygger i tillægsisolerede ydervægge. Værdier for typiske kuldebroer findes i tabeller i den nævnte rapport, hvor en faktor i W/m K er angivet i afhængighed af isoleringstykkelse, geometri m.v.

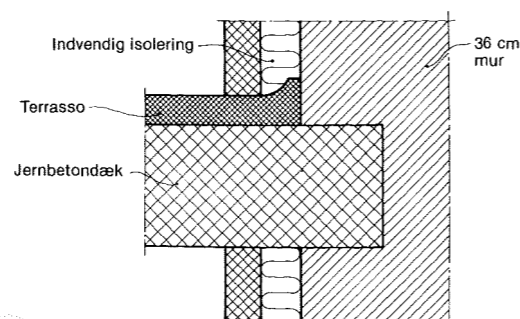
I den isolerede blok er følgende kuldebroer medtaget i beregningerne, idet det ekstra varmetab er beregnet.



Figur 14. Vandret snit i ydervæg.



Figur 15. Lodret snit i ydervæg.



Figur 16. Lodret snit i ydervæg.

Tilslutning af indervægge

a. Samlet længde: 140 m.

$$Q_e \sim 0,23 \cdot 140 \cdot 32 = 1.030 \text{ watt}$$

b. Samlet længde = 120 m.

$$Q_e \sim 0,10 \cdot 120 \cdot 32 = 380 \text{ watt}$$

Etagedæk af træbjælkelag

Samlet længde (gavl og facade): 210 m.

$$Q_e \sim 0,08 \cdot 210 \cdot 32 = 540 \text{ watt.}$$

Kuldebroer ved isoleret kælderdek (indblæsning) er skønsmæssigt medtaget med den halve længde.

Etagedæk af jernbeton

Samlet længde: 35 m.

$$Q_e \sim 0,35 \cdot 35 \cdot 32 = 400 \text{ watt.}$$

Vindueslysninger

Samlet længde: 330 m.

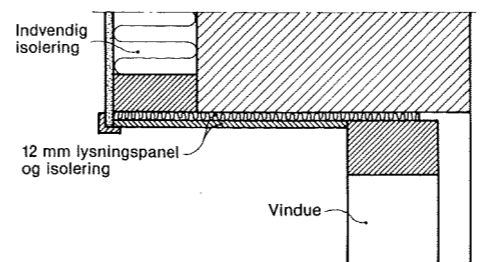
Før og efter isolering haves:

$$Q_e = 0,12 \cdot 330 \cdot 32 = 1.300 \text{ watt.}$$

Varmetabet gennem kuldebroen er i dette tilfælde uændret, men uden lysningspanel ville der være et ekstra tab på:

$$Q_e = 0,31 \cdot 330 \cdot 32 = 3.300 \text{ watt.}$$

Endelig skal det bemærkes, at varmetabet gennem kuldebroerne i gavlhjørnerne reduceres væsentligt efter den indvendige isolering.



Figur 17. Lodret snit i vindueslysning.

Beregning af besparelsen på basis af graddøgntallet 2830

Varmesæsonens energiforbrug Q kan beregnes ved hjælp af graddøgntallet 2830 (GD) og det dimensionerende varmetab ϕ_{32} i kW. ϕ_{32} svarer til varmetabet ved en indvendig temperatur på 20°C og en udvendig temperatur på -12°C . $\text{GD} = 2830$ er differencen mellem indetemperaturen 17°C og døgnetts middeltemperatur ude, summeret over alle døgn i fyringssæsonen ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{døgn}$).

Varmetabet i kW svarende til en temperaturdifference på 1°C fås ved at dividere ϕ_{32} med 32. Multipliseres dernæst med $24 \cdot \text{GD}$ fås varmetabet i kWh for hele varmesæsonen.

$$Q = \frac{\phi_{32}}{32} \cdot 24 \cdot \text{GD} \text{ kWh.}$$

Det teoretiske energiforbrug før og efter isoleringen findes ved at bruge

$$\phi_{32}^{\text{før}} = 76 \text{ kW og } \phi_{32}^{\text{efter}} = 40 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{før}} = \frac{76}{32} \cdot 24 \cdot 2830 = 161.000 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{efter}} = \frac{40}{32} \cdot 24 \cdot 2830 = 85.000 \text{ kWh}$$

$$\text{Årlig besparelse} = 76.000 \text{ kWh eller } 47 \text{ pct.}$$

Graddøgntallet 2830 er blandt andet baseret på den antagelse, at gratisvarmen kan opvarme bygningen fra 17°C til 21°C . Hermed fastsættes varmesæsonen til 227 døgn.

Disse forudsætninger ændres, når husets isolering forbedres. Gratisvarmen vil for et velisoleret hus udgøre en større del af varmebehovet, og kan dermed opvarme rummene fra måske 12°C til 22°C i stedet for fra 17°C . Samtidig indskrænkes varmesæsonens længde. De her nævnte forhold kan tilgodeses ved en beregning på grundlag af korrigerede graddøgntal.

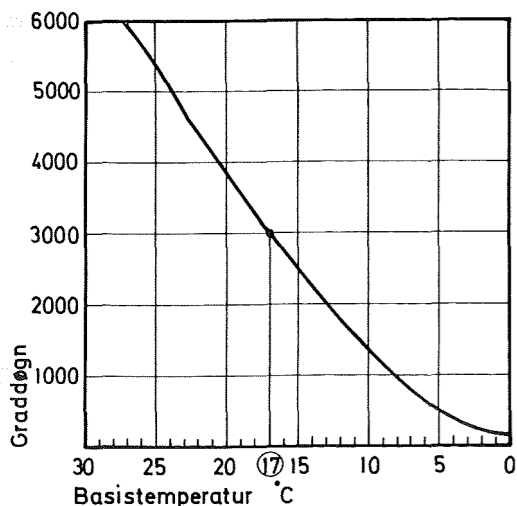
Beregning af besparelsen på basis af korrigerede graddøgntal

Metoden er nærmere beskrevet i [1]. Energiforbruget findes i princippet som anført i forrige afsnit. Korrektionen af graddøgntallet findes ud fra en beregning af gratisvarmen og den tilhørende basistemperatur.

Gratisvarme, blok 5:

Personvarme ~ 36 personer à 85 W	3.000 W
El-installationer ~ 24 lejligheder à 200 W	5.000 W
Solindfald ~ 24 lejligheder à 5 m^2 à 30 W	3.600 W
Gratisvarme i alt	11.600 W
	= 11,6 kW

Med et dimensionerende varmetab på 76 kW svarende til $\frac{76}{32} = 2,4 \text{ kW/C}$ ses det, at gratisvarmen, såfremt den er jævnt fordelt over hele sæsonen, kan opvarme bygningen $\frac{11,6}{2,4} = 5^{\circ}\text{C}$. Basistemperaturen t_b fås dernæst ved at trække 5°C fra 22°C , der er den målte indvendige temperatur. $t_b = 22 - 5 = 17^{\circ}\text{C}$.



Figur 18. Det korrigerede graddøgntal i henhold til reference [6].

Det korrigerede graddøgntal $GD(17)$ findes dernæst på figur 18 til 2980.

Efter isoleringen er det dimensionerende varmetab 40 kW eller $\frac{40}{32} = 1,25 \text{ kW/}^\circ\text{C}$

$$t_b = 22 - \frac{11,6}{1,25} = 13 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Det tilsvarende korrigerede graddøgntal $GD(13) = 1970$ (se figur 18).

Energiforbruget før og efter isoleringen er da:

$$Q_{\text{før}} = 2,4 \cdot 2980 \cdot 24 = 172.000 \text{ kWh}$$

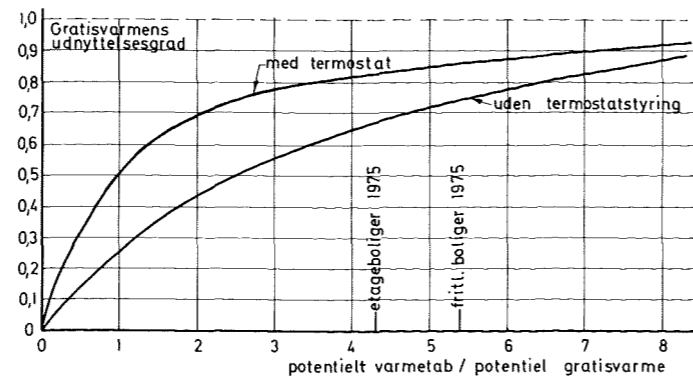
$$Q_{\text{efter}} = 1,25 \cdot 1970 \cdot 24 = 59.000 \text{ kWh}$$

$$\text{Årlig besparelse} = 113.000 \text{ kWh eller } 65 \text{ pct.}$$

Denne metode forudsætter fuld udnyttelse af gratisvarmen i hele varmesæsonen - en forudsætning, der næppe vil være helt opfyldt. Det må forudses, at for eksempel solindfald i begyndelsen og slutningen af fyringssæsonen vil opvarme boligen til over $22 \text{ }^\circ\text{C}$ og dermed i praksis være spildt. Denne risiko forstærkes efter isoleringen af ejendommen. Til gengæld vil udnyttelsen generelt blive forbedret, da radiatorerne er blevet forsynet med termostatventiler.

En vurdering af gratisvarmens udnyttelse er foretaget i [2], hvor kurver til bestemmelse af udnyttelsesgraden er optegnet, se figur 19. Det understreges dog, at kurverne er ret usikre.

Regnes med en udnyttelsesgrad før og efter de energibesparende foranstaltninger på 65 pct. af $11,6 \text{ kW} = 7,5 \text{ kW}$



Figur 19. Kurver til bestemmelse af, hvor stor en del af den potentielle gratisvarme, der udnyttes i praksis. Det må understreges, at kurverne er ret usikre. (Figurer findes i [2]).

fås ved beregning på grundlag af nye graddøgntal ($t_b = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ før og $16 \text{ }^\circ\text{C}$ efter isolering):

$$Q_{\text{før}} = 2,4 \cdot 3510 \cdot 24 = 202.000 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{efter}} = 1,15 \cdot 2700 \cdot 24 = 81.000 \text{ kWh}$$

$$\text{Årlig besparelse} = 121.000 \text{ kWh eller } 60 \text{ pct.}$$

Sammenfatning

Beregnes energibesparelsen på traditionel måde ved hjælp af graddøgntallet tages der ikke på rimelig vis hensyn til gratisvarmens øgede indflydelse efter isoleringen.

Den ovenfor beskrevne metode, hvor korrigeret graddøgntal anvendes, tilgodeser i nogen udstrækning dette forhold, men beregningerne er behæftet med ret stor usikkerhed.

Udover de besparelser, der opnås ved at isolere klimaskærmen, opnås også en besparelse ved efterisoleringen af varmerørene på loftet og i kælderen. Indbygningen af kalorimålerne medfører, at energitabet fra rørene på loftet indgår i det målte energiforbrug.

En teoretisk beregning af rørtabet før og efter efterisoleringen givet dette resultat:

$$Q_{\text{før}} = 8.000 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{efter}} = 5.000 \text{ kWh}$$

$$\text{Årlig besparelse} = 3.000 \text{ kWh.}$$

Projektets formål

Som tidligere nævnt har projektet to hovedformål, dels en vurdering og afprøvning af forskellige isoleringsmetoder i praksis, dels en måling af den totale energibesparelse i det aktuelle tilfælde. De indhøstede erfaringer vedrørende udførelse af isoleringsarbejde er beskrevet i [4].

Udformningen af projektprogrammet startede februar 1977, og i løbet af foråret blev det besluttet at fremme arbejdet, således at det var muligt at foretage målinger af energiforbruget i den isolerede blok fra varmesæsonen 1977/78's start ca. 1. september 1977.

Ved udvælgelsen af forsøgsejendommen måtte en hel række byggetekniske forhold søges opfyldt for at tilgodese det første hovedformål, for eksempel bygningens alder og type, isoleringsstandard, vedligeholdelsesstand, størrelse og lignende.

Disse ting havde sammen med tidsplanen afgørende indflydelse på de valgte målemetoder.

Muligheder for måling af energibesparelserne

I princippet var der to muligheder for at måle besparelsen i energiforbruget til rumopvarmningen ved de gennemførte foranstaltninger:

- Bygningens energiforbrug kunne måles før og efter foranstaltningerne var gennemført, idet øvrige faktorer, der kan indvirke på forbruget, bestemmes.
- Der kunne udvælgelse en bebyggelse med et antal ens blokke, hvoraf én blev isoleret. Energiforbruget kunne så måles i den isolerede blok og i en eller flere kontrolblokke, hvorefter besparelsen ville kunne findes ved en sammenligning af forbrugene. Også her må faktorer, der kan indvirke på forbruget, fastlægges og indgå i sammenligningen.

Anvendes metode b må målingerne korrigeres for bygningsmæssige forskelle i k-værdier, areal af klimaskærm og volumen ved for eksempel varmetabsberegninger. Derudover må gratisvarmen, luftskiftet og den indvendige temperatur (graddøgntallet) være ens for blokkene, eller der må kunne korrigeres ad teoretisk vej ud fra foretagne målinger af forholdene.

Ved metode a er en fastlægning af disse forskelligheder og forhold ikke nødvendig, såfremt man kun ønsker den totale varmebesparelse bestemt; en justering efter varmesæsonens graddage er tilstrækkelig.

Afviselser mellem de teoretiske beregnede varmebesparelser og de opnåede besparelser kan dog ikke vurderes uden et

vist kendskab til de nævnte faktorer. Også af hensyn til en undersøgelse af eventuelle forandringer af indeklimaet er det nødvendigt med kendskab til for eksempel temperatur- og ventilationsforhold i lejlighederne.

Metode a suppleret med de nødvendige målinger måtte antages at give et mere nøjagtigt og et bedre resultat end b, men kunne ved at strække sig over to varmesæsoner ikke opfylde ønsket om målinger af den isolerede bloks forbrug fra 1. september 1977. En mulig løsning var så at anvende en blok, hvor forbruget til rumopvarmning fra de forrige år var kendt.

Det viste sig imidlertid umuligt inden for det begrænsede tidsrum, der var til rådighed, at finde en ejendom, der kunne forene alle ønsker. Valget faldt derfor på bebyggelsen »Glumsøparken«, hvor metode b med rimelighed kunne anvendes på 5 blokke.

Boligselskabets afregningssystem

Bebyggelsens varmeregnskab baseres på det totale olieforbrug, idet udgiften fordeles mellem lejlighederne efter størrelse (m^2).

Tidligere - sidst i varmesæsonen 1972/73 - har afregningen været foretaget på grundlag af varmemålere i de enkelte lejligheder. Fordelingen mellem energiforbruget til brugsvand og rumopvarmning fastsættes efter skøn på grundlag af vandforbruget. En ansættelse af energiforbruget til rumopvarmning ud fra varmeregnskabets oplysninger kan ikke foretages med tilstrækkelig nøjagtighed, men kan dog anvendes til en vurdering af det samlede resultats nøjagtighed.

De udførte målinger

Ved tilrettelæggelsen af måleprogrammet blev det besluttet at foretage følgende målinger:

- Måling af energiforbruget til rumopvarmning i blok 1, 2, 3, 5 og 6 samt den gennemstrømmende vandmængde, fremløbs- og returvandstemperatur.
- Måling af luftskiftet i 6 lejligheder før og efter isoleringsarbejderne.
- Måling af temperatur og luftfugtighed i et antal lejligheder i blok 1, 2, 3, 5 og 6.
- Måling af fugt- og temperaturforhold på forskellige steder af ydervæggen i en isoleret lejlighed.
- Måling af temperaturændring i trapperum.

Mængden af indsamlede data er søgt begrænset til det mest nødvendige uden at mulighederne for en rimelig kor-

rektion af resultaterne går tabt. Anvendelsen af referenceblokke medfører som nævnt tidligere, at resultatet bliver afhængigt af en del faktorer, og en grundig og tilbundsående analyse af alle variable størrelser kræver målinger og udstyr, der falder udenfor dette projekts formål og økonomiske rammer.

Måling af energiforbruget

Varmeanlægget for de 6 blokke fremgår af oversigtsplan og diagram. Fra varmecentralen i blok 2 fordeles vandet gennem ledninger i kældergange og gennem jordledninger mellem blokkene.

Midt i hver enkelt blok føres en stigeledning til loftet, hvor fordelingen til de enkelte strenge sker. Det ses, at anlægget er 1-strengt og forsynet med et regulerings-t pr. streng.

Til måling af energiforbruget anvendes kaloriemålere Kamstrup Metro elektronisk varmetæller type 85-16-112 og en normal vandmåler. Indbygningen er udført som vist på principdiagram, og der er monteret afspærringsventiler og by-pass, så for eksempel rensning af snavssamler kan foretages uden tømning af ledninger.

Udstyret blev før og efter hver varmesæson kalibreret hos Teknologisk Institut og aflæsningerne korrigeret i overensstemmelse hermed. Målerne blev aflæst med ca. 1 uges intervaller, i den kolde periode tiere, i overgangsperioden sjældnere.

I løbet af de to varmesæsoner har enkelte af målerne (blok 1 og 6) i korte perioder været ude af drift, dels på grund af fejl i el-installationen, dels på grund af hærværk. De manglende oplysninger er skønnet, men er uden betydning for det samlede resultats nøjagtighed.

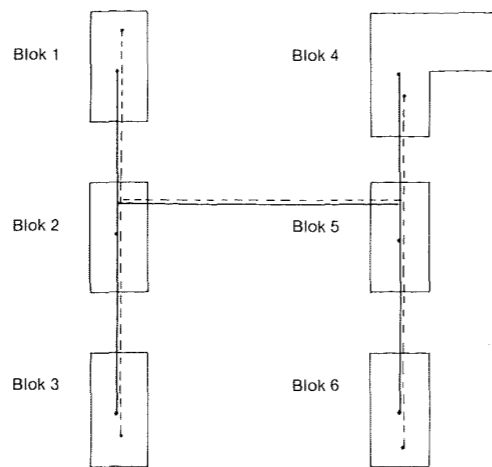
Ved at forsyne blok 2 og 3 med termostatventiler er det gjort muligt, udover at måle den totale energibesparelse for blok 5, at sammenligne energiforbruget for de uisolerede blokke med og uden termostatventiler. En vurdering af resultatet behandles i et særligt afsnit.

Måling af luftskiftet

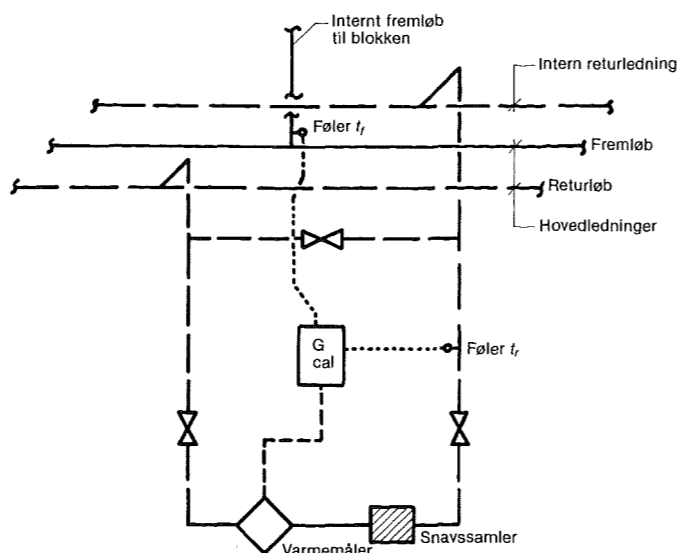
Lejlighedernes tæthed før og efter isoleringsarbejderne blev undersøgt af Teknologisk Institut ved hjælp af sporgasmålinger. Målingerne blev foretaget i 6 lejligheder, 2 på hver etage.

For at have nogenlunde ens udeklima under målingens udførelse, blev de foretaget i efteråret 1977 og foråret 1978.

Målingerne viste, at luftskiftet blev nedsat fra 0,70 til 0,55 gange i timen. Der er ikke gennemført tæthedsmålinger i kontrolblokkene.



Figur 20. Varmefordeling. Principskitse.



Figur 21. Varmemåler. Principdiagram.

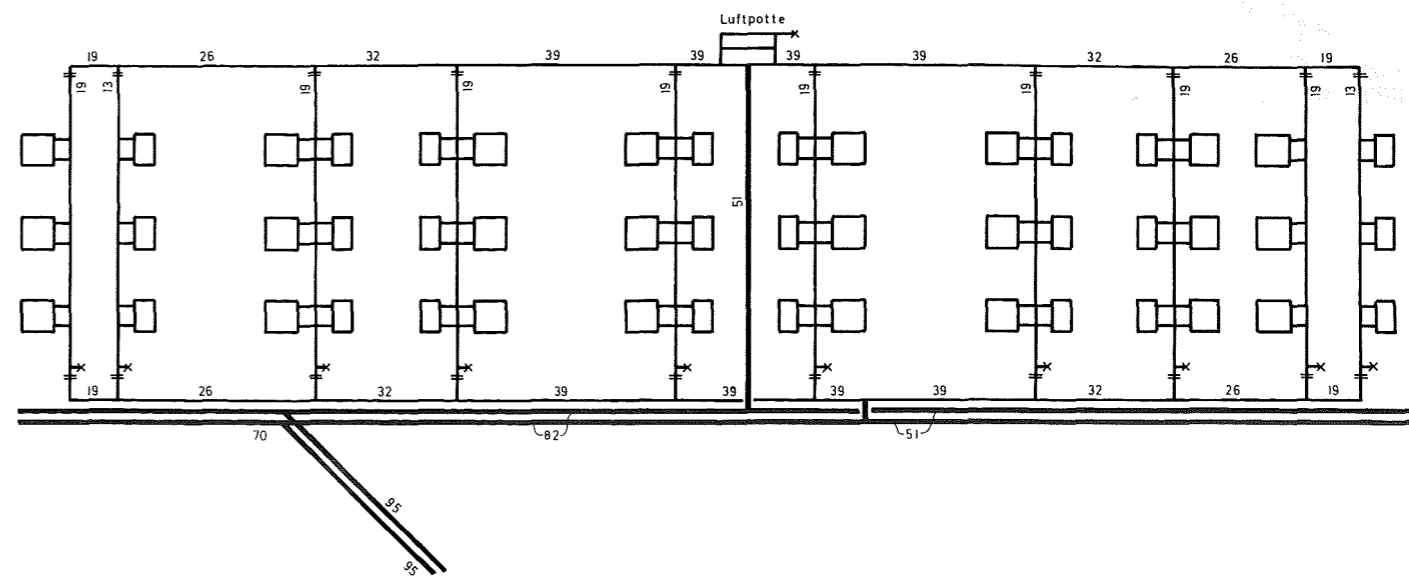
Måling af temperatur og luftfugtighed

Ved hjælp af traditionelle termohygrografer er der foretaget kontinuerlige målinger gennem en uge i i alt 43 lejligheder fordelt med 6-9 stk. på blok 1, 2, 3 og 6, 11 stk. på blok 5.

Målingerne er gennemført i februar/marts 1978 og termohygrografer er opstillet i opholdsrummene ca. 1 m over gulvet.

Måling af temperatur- og fugtforhold i ydervæg

I en enkelt lejlighed blev indbygget et antal følere til måling af temperatur- og fugtforhold i et antal punkter på væggen.



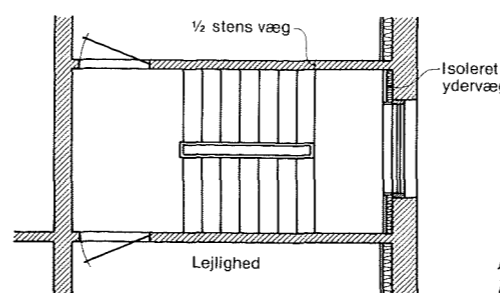
Figur 22. Diagram af centralvarmeanlæg blok 5.

Temperaturerne blev registreret på en 12 pkt's skriver i ca. 1 uges periode, medio marts 1978. Sideløbende med det beskrevne projekt gennemfører Teknologisk Institut et pilotprojekt med måling af temperatur og fugtighed i træbjælkelagets indmurede ender. Projektet beskrives nærmere i et efterfølgende afsnit.

Måling af temperaturændring i trapperum

Under udarbejdelse af projektet blev det besluttet at isolere trapperummets ydervæg til trods for, at det ikke var opvarmet.

Varmetabet fra lejlighederne til det kolde trapperum er imidlertid ikke uvæsentlig på grund af den indvendige vægs dårlige k-værdi (2,3 W/m² K, halvstensmur). Værdien af isoleringen af trapperummets ydervæg samt yderdøre kan vurderes ved at sammenligne den indvendige temperatur i trapperummene i den isolerede blok og i en af referenceblokkene.



Figur 23. Plan af trapperum.

Det målte varmeforbrug

Energiforbruget til rumopvarmning

Det samlede energiforbrug for de to varmesæsoner 1977/78 og 1978/79 er anført i tabel 2a. Resultaterne er korrigeret for unøjagtigheder i måleudstyret og mindre perioder med funktionssvigt.

Temperaturen i frem- og returløb varierede typisk mellem $t_f/t_r = 78/70$ °C i den koldeste periode til 45/42 °C ved varmesæsonens begyndelse og afslutning. I overgangsperioderne forekom ofte en meget lille afkøling af vandet. Blok 6 fremviser en noget større afkøling end de øvrige blokke.

Den cirkulerende vandmængde fremgår af tabel 3.

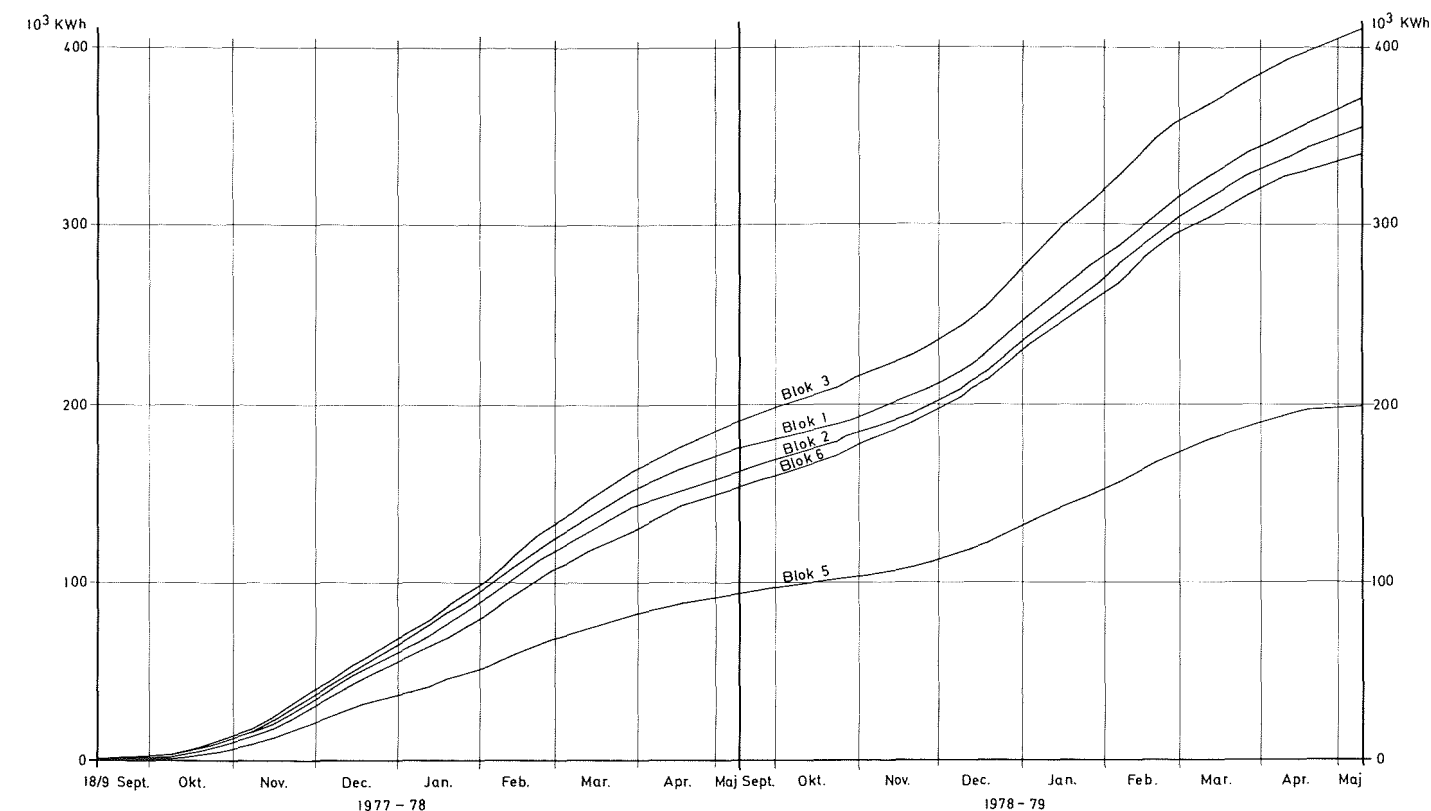
Energiforbrug kWh	Uisoleret uden termostat- ventiler		Uisoleret med termostat- ventiler		Isoleret, med termo- statventiler Blok 5
	Blok 3	Blok 6	Blok 1	Blok 2	
Sæson 1977/78	189.000	152.000	176.000	161.000	92.000
Sæson 1978/79	220.000	185.000	196.000	192.000	107.000
I alt kWh	409.000	337.000	372.000	353.000	199.000

Tabel 2a. Målt energiforbrug til rumopvarmning (netto). Blok 1, 2 og 3 indeholder 30 lejligheder, blok 5 og 6 24 lejligheder.

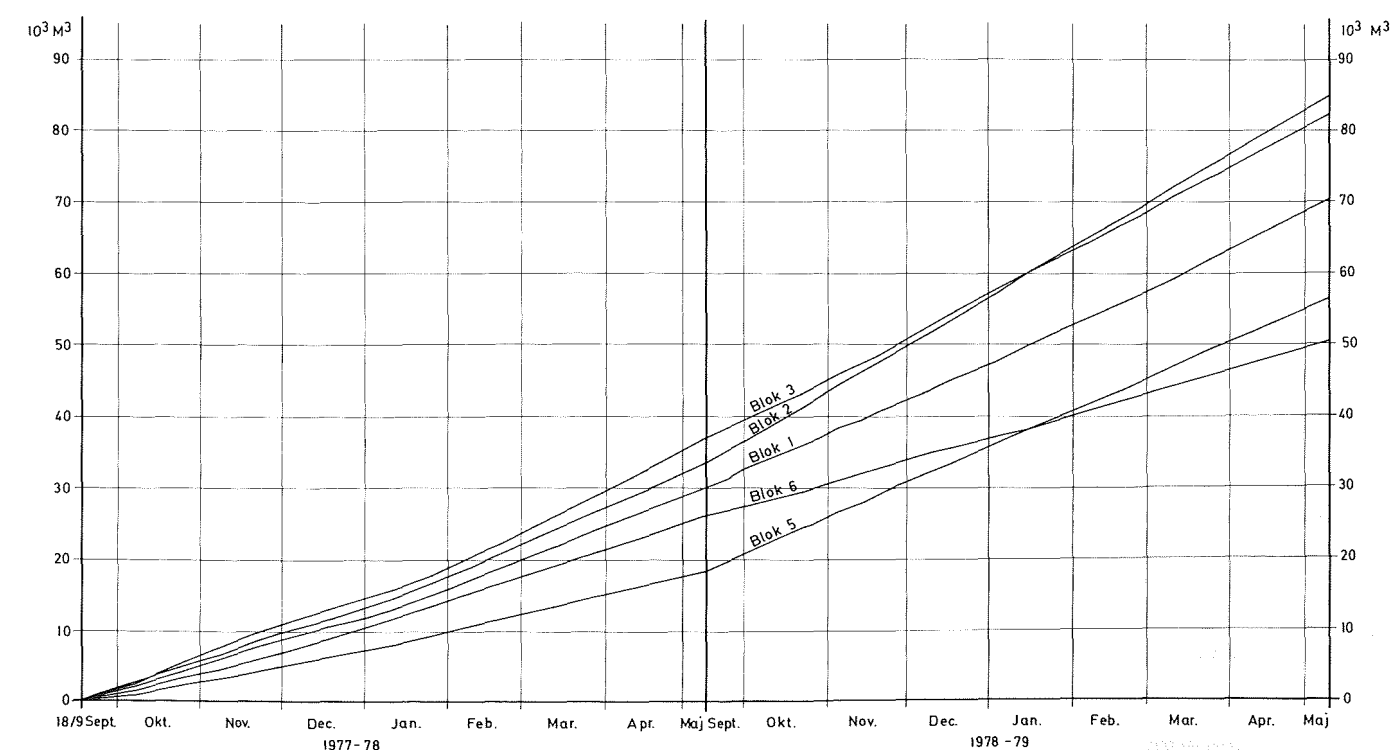
Gennem- strømmende vandmængde m ³	Uisoleret, uden termostat- ventiler		Uisoleret, med termostat- ventiler		Isoleret, med termo- statventiler Blok 5
	Blok 3	Blok 6	Blok 1	Blok 2	
Sæson 1977/78	36.500	26.000	30.000	33.500	18.500
Sæson 1978/79	45.000	24.500	40.500	52.000	38.000
I alt m ³	81.500	50.500	70.500	85.500	56.500

Tabel 3. Cirkulerende vandmængde.

Det akkumulerede energiforbrug for de to sæsoner fremgår af figur 24, medens den cirkulerende vandmængde på tilsvarende måde er afbildet på figur 25.



Figur 24. Det akkumulerede energiforbrug varmesæsonen 1977/78 og 78/79.



Figur 25. Den akkumulerede gennemstrømmende vandmængde i varmesæsonerne 1977/78 og 78/79. Den ændrede fordeling af vandmængderne mellem blokkene 5 og 6 skyldes formentlig en ændring i strømningsmodstanden i rørledningen mellem blokkene som følge af reparationsarbejder.

Vurdering af energibesparelsen

Korrektion af måleresultaterne

Forskelle i blokstørrelse

Blok 1, 2 og 3 er som tidligere nævnt bygningsmæssigt identiske, bortset fra varmecentralen i blok 2. Blok 5 og 6 er ligeledes ens, men lidt mindre end de øvrige blokke.

Ved sammenligning af de enkelte blokkes energiforbrug er det valgt at benytte blok 5 og 6 som udgangspunkt, idet blok 1, 2 og 3's forbrug korrigeres for de bygningsmæssige forskelle ved en varmetabsberegning.

De aflæste energiforbrug skal for blok 1 og 3's vedkommende multipliceres med 0,89 - blok 2's forbrug med 0,92.

Graddøgntallet

For at sammenligne resultatet af de to varmesæsoners målinger henføres resultaterne til normalåret (1901-1940), midt mellem sol og skygge, hvor $GD = 2830$.

Da GD -tallet for 1977/78 var 2630 og for 1978/79 var 2946 korrigeres med henholdsvis +7 pct. og -4 pct. Se tabel 2b.

Forskelle i rumtemperatur

De gennemførte målinger af temperatur og fugtighed i et antal lejligheder viser mindre variationer i middelrumtemperaturen i de forskellige blokke.

De målte energiforbrug henføres til den samme indvendige middeltemperatur (22 °C), idet en variation på ± 1 °C medfører en stigning eller et fald i forbruget på ca. 7 pct. Dette medfører at måleresultaterne for blok 1 og 2 skal tillægges 4 pct., medens blok 6 skal forøges med 7 pct. Denne korrektion er gennemført for begge varmesæsoner, selvom der kun er målt temperaturer i 1977/78.

Det bør erindres, at grundlaget for den sidste korrektion er relativ spinkelt. Der er derfor kun foretaget ændringer svarende til 0,5 °C spring i gennemsnitstemperaturen.

Energiforbruget henført til normalåret

Tabel 2b viser en generel stigning i energiforbruget for samtlige blokke, størst for blok 6 med 9 pct., dog undtaget blok 1, der har samme forbrug.

Forbrugsstigningen skyldes utvivlsomt en hævnning af fremløbstemperaturen, der blev foretaget under den hårde vinterperiode januar/februar 1979 på grund af en samlet klage fra et antal lejere, idet klimastatanlægget blev indstillet til ca. 2 °C højere rumtemperatur.

Korrigeret energiforbrug

I tabel 2c er det samlede energiforbrug korrigeret for de tidligere nævnte forhold.

Energiforbrug kWh	Uisoleret, uden termostat- ventiler		Uisoleret, med termostat- ventiler		Isoleret, med termo- statventiler
	Blok 3	Blok 6	Blok 1	Blok 2	Blok 5
Sæson 1977/78	202.000	163.000	188.000	172.000	98.000
Sæson 1978/79	211.000	178.000	188.000	184.000	103.000

Tabel 2b. De målte energiforbrug korrigeret fra graddøgntal, dvs. henført til normalåret (1901-1940).

Energiforbrug kWh	Uisoleret, uden termostat- ventiler		Uisoleret, med termostat- ventiler		Isoleret, med termo- statventiler
	Blok 3	Blok 6	Blok 1	Blok 2	Blok 5
Sæson 1977/78	180.000	174.000	174.000	165.000	98.000
Sæson 1978/79	188.000	190.000	174.000	176.000	103.000
I alt	366.000	364.000	348.000	341.000	201.000

Tabel 2c. Energiforbruget korrigeret for graddøgntal, bygningsstørrelse samt gennemsnitsrumtemperatur.

Hovedresultat

Sammenlignes middeltallet for blok 3 og 6 med blok 5 fås en årlig besparelse ved at isolere og montere radiatortermostatventiler på 82.000 kWh eller 45 pct. Den samlede besparelse er stort set den samme i begge sæsoner.

Termostatventilernes besparelseeffekt

Sammenlignes middeltallet for blok 3 og 6 med middeltallet for blok 1 og 2 fås en årlig besparelse ved at montere radiatortermostatventiler på 10.000 kWh eller 5 pct. Besparelsen ved montering af termostatventiler viser en stigning fra 4 pct. i 1977/78 til 7 pct. i 1978/79. Dette kan skyldes, at vinteren 1977/78 havde usædvanligt få solskinstimer, hvorfor gratisvarmen kun har været tilstede i beskedent omfang.

Sammenligning af beregnet og målt varmeforbrug

Varmeforbrug kWh	Uisoleret blok	Isoleret blok	Sparet, pct.
Målt	182.000	100.000	45
Traditionel beregning baseret på $t_i = 21$ °C	169.000	90.000	47
Traditionel beregning, men korrigeret til $t_i = 22$ °C	182.000	97.000	47
Gratisvarme 11,6 kW	180.000	64.000	64
Gratisvarme 7,5 kW	210.000	86.000	59

Det bemærkes, at de beregnede værdier, ligesom de målte, også omfatter varmetabet fra ledningerne på loftet. De beregnede værdier for den uisolerede blok er derfor tillagt 8000 kWh, medens tallene for den isolerede blok er tilsvarende forhøjet med 5000 kWh.

Som tidligere nævnt er den traditionelle beregning baseret på en indvendig temperatur på 21 °C, hvorimod de øvrige forbrug, der er anført i skemaet, svarer til den målte temperatur på 22 °C.

For sammenligningens skyld er der også anført resultatet af den traditionelle beregning men korrigeret svarende til $t_i = 22$ °. Med udgangspunkt i de på side 13 gennemførte beregninger fås nu med $GD = 2830 + 227 \cdot 1 \sim 3060$:

$$Q \text{ før} = 161.000 \cdot \frac{3060}{2830} + 8.000$$

$$= 182.000 \text{ kWh og}$$

$$Q \text{ efter} = 85.000 \cdot \frac{3060}{2830} + 5.000$$

$$= 97.000 \text{ kWh.}$$

Det ses, at den traditionelle beregning baseret på graddøgntallet 2830 giver en rimelig overensstemmelse mht den procentvise besparelse. Bedst overensstemmelse såvel procentvis som mht det målte varmeforbrug opnås dog ved korrektion for den aktuelle målte indvendige temperatur på 22 °C.

Ved at regne gratisvarmen til 7,5 kW (65 pct. udnyttelse før og efter) bliver forbruget før isolering højere end det målte.

Forklaringen på, at besparelsen bliver mindre end beregnet, kan ligge i flere forhold. Der kan være tale om en overvurdering af transmissionstabet for den uisolerede bygning. En anden mulighed er, at den skønnede reduktion af ventilationstabet er for stort. Luftsiftemålingernes resultat kunne tyde på dette. Endelig er det også sandsynligt, at rumtemperaturen i køkken, bad og tildels entreen er højere i den isolerede blok end i den uisolerede. Dvs at en del af besparelsen er gået tabt ved en bedre komfort i de isolerede lejligheder. Når den traditionelle beregning giver den bedste overensstemmelse med de målte varmeforbrug i dette tilfælde, er det nok tilfældigt. Det må principielt være det korrekte at forsøge at tage bedre hensyn til gratisvarmen.

Målinger af temperatur og luftfugtighed

For at konstatere om de energibesparende foranstaltninger har medført ændringer i indeklimaet, blev der foretaget målinger af temperatur og luftfugtighed i en del af lejlighederne i perioden 21. februar til 11. marts 1979, det vil sige i vinterperioden, hvor en forskel i luftskiftet vil give den største forskel på luftfugtigheden. Der var 15 termohygrografer til rådighed; derfor blev der placeret 3 i hver af de 5 blokke, og de blev flyttet rundt i forskellige lejligheder i 3 uger, således at der blev målt i cirka 9 lejligheder i hver blok i en uge. Placeringen var i opholdsstuen cirka 1 meter over gulv (på et møbel).

Ved gennemgangen af kurverne viste det sig, at både temperatur og fugt lå forholdsvist konstant for den enkelte lejlighed, således at der kunne aflæses et ugegennemsnit. Derimod var der stor forskel på lejlighederne. For temperaturens vedkommende aflæstes ugegennemsnit fra 19,5 til 25 °C, og for den relative luftfugtighed var variationen mellem 30 og 65 pct. RF.

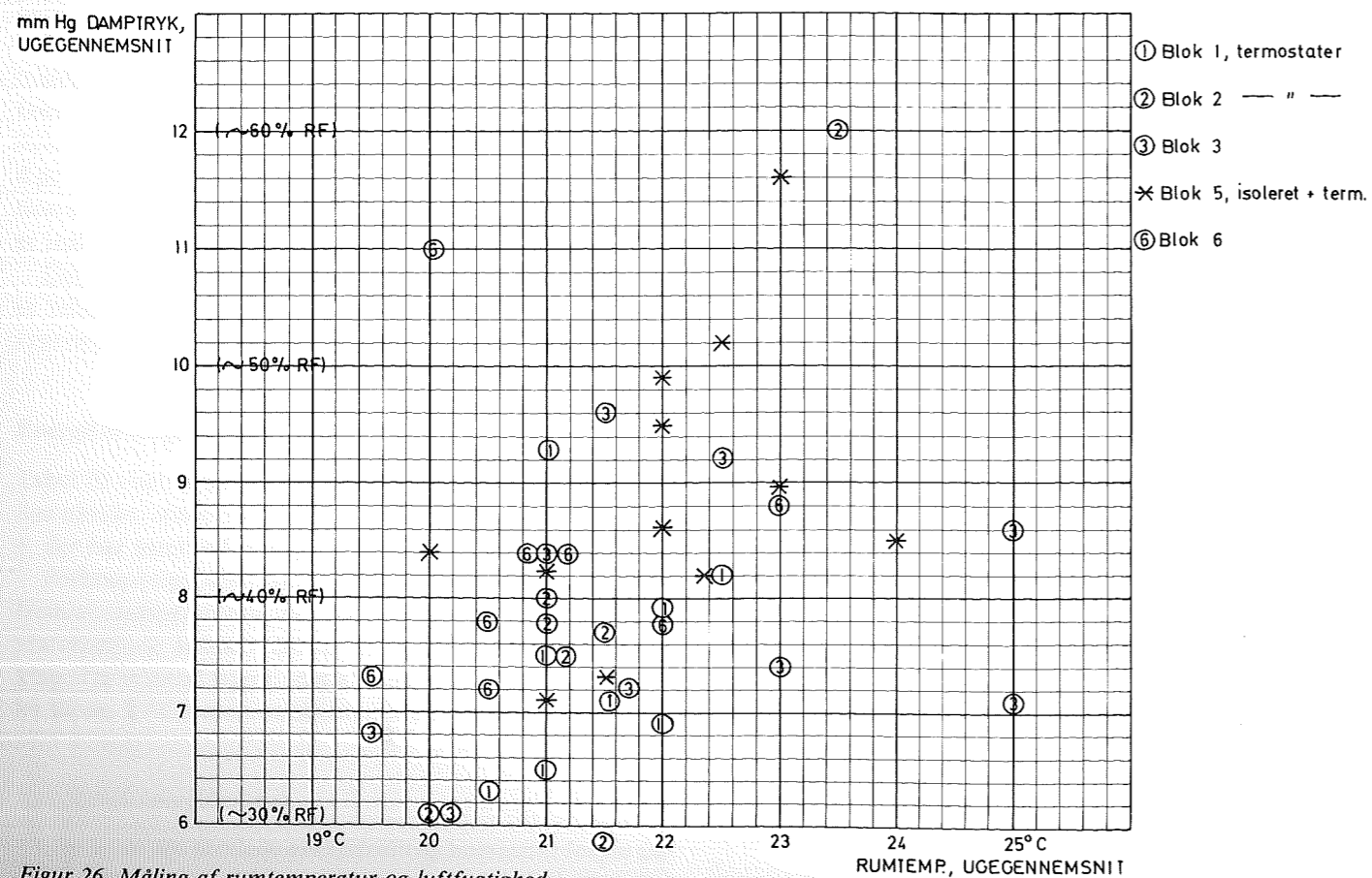
Størst interesse knytter sig til, om klimaet i den isolerede blok 5 er ændret i forhold til de øvrige. Det fremgår af skemaet, at gennemsnitstemperaturen er ca. ½ grad højere end i de øvrige blokke. Blok 3 har dog næsten samme temperatur som blok 5, og den koldeste, blok 6, har klaget over for

lidt varme. Tages dette i betragtning er forskellen ikke overbevisende.

Der er heller ikke forskel på gennemsnitstemperaturen i blokke med og uden termostater; derimod er der en tendens til mindre variation (spredning) af temperaturerne i de termostatregulerede blokke (nr. 1, 2 og 5) i forhold til referenceløkkene (3 og 6).

	Uisoleret, uden termostatventiler		Uisoleret, med termostatventiler		Isoleret, med termostatventiler
	Blok 3	Blok 6	Blok 1	Blok 2	Blok 5
Temperatur, °C					
Variation	19,5-25,0	19,5-23,0	20,5-22,5	20,0-23,5	20,0-24,0
Gennemsnit	21,9	21,0	21,5	21,3	22,0
Spredning	1,8	1,2	0,7	1,3	1,2
Luftfugtighed, pct. RF					
Variation	30-50	40-65	35-50	30-55	35-55
Gennemsnit		40			43

Tabel 4. Ugegennemsnittet af temperatur og luftfugtighed.



Figur 26. Måling af rumtemperatur og luftfugtighed.

Luftskifte og luftfugtighed

Som følge af tætningen af blok 5 skulle luftskiftet være noget nedsat i blok 5, hvilket luftskiftemålingerne da også viser (se tabel 5). Det stemmer hermed, at luftfugtigheden også gennemsnitlig er lidt højere i blok 5 end i de øvrige blokke, 43 pct. mod 40 pct. Forskellen er ikke stor, men dette viser formentlig blot, at beboerne har forstået at benytte friskluftventilerne. Det karakteristiske er igen den store forskel fra lejlighed til lejlighed. De fleste lejligheder har i måleperioden haft en RF på 35-45 pct., enkelte er nede på 30 pct., og så er der enkelte, der ligger over 50 pct., ja helt op til 65 pct. RF. I blok 5 ligger de fleste på 35-50 pct. RF. De enkelte tilfælde af meget høj fugtighed må henføres til dårlige beboervaner. Det kan ses af de optagne termohygrogrammer, at der er meget forskellige vaner med hensyn til udluftning.

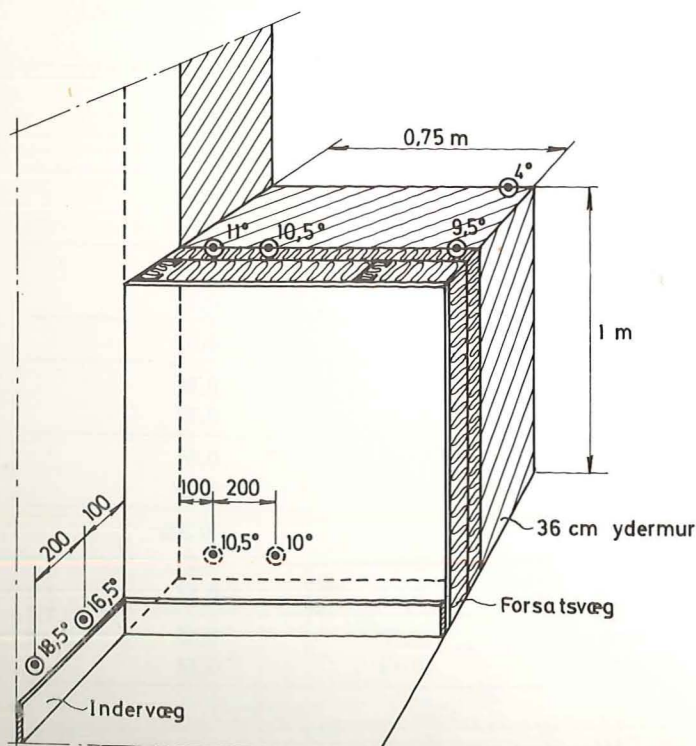
Ågerupvej nr.	Før/efter isolering	Vind m/s	Vindretning	Udetemperatur °C	Målt luftskifte gg/t	Korr. luftskifte gg/t
10, st.tv. med åbne ventiler	før	8		14	0,42	0,35
	efter	3	V	13	0,35 0,84	0,47 1,13
10, st.th.	før	8	SV	12	0,99	0,81
	efter	3	SVV	13	0,69	0,93
14, 1. th.	før	3	SV	17	0,33	0,47
	efter	4	V-NØ	14	0,27	0,33
14, 1. tv.	før	6-7	Ø	17	0,61	0,61
14, 2. th.	før	3	NV	18	0,59	0,89
	efter	4	V	14	0,30	0,37
16, 1. th.	før	3	SV	17	0,57	0,84
	efter	6	Ø	12	0,64	0,62
16, 2. th.*	(før)	(6)	NØ	16	(0,21)	(0,22)
	før	6	NØ	18	0,65	0,69
	efter	8	Ø	13	0,64	0,53
Gennemsnit	før	5,2		16	0,59	0,68
	efter	4,7		13,2	0,48	0,54

Tabel 5. Luftskiftemålinger i blok 5.

*) Utæt gasflaske - måling gentaget dagen efter.

For at undersøge i hvilken udstrækning indervægges tilslutning til ydervægge udgjorde kuldebroer, blev der i ydervæggen indbygget et antal termoelementer, ligesom der anbragtes termoelementer på den indvendige overflade af tværvæggen nær sammenskæringen mellem ydervæg og indervæg. Termoelementernes placering fremgår af figur 27. I en uge omkring 1. marts 1978 var der tilsluttet en potentiometerskriver, som ved hjælp af termoelementerne registrerede temperaturforholdene kontinuert. Følgende temperaturforhold blev registreret:

1. På teglvæggens yderside mod det fri var temperaturen 3-5 °C, dog var der i klart vejr variationer imellem 1 og 10 °C. Største overfladetemperatur blev registreret kl. 17 på den vestvendte væg.
2. Rumtemperaturen blev registreret til 20,5-21,5 °C i hele perioden.
3. Temperaturen på skillefladen imellem isolering og den tidligere vægoverflade målt til 9,5 °C med ganske små variationer. Denne temperatur målt i en afstand af 0,75 m fra såvel indervæg som gulv. Temperaturen nærmest indervæg (se figur 27) målt til 10 og 11 °C.
4. Temperaturen på indervæggen henholdsvis 100 og 300 mm fra den nye væggerside målt til 16,5 °C og 18,5 °C.



Figur 27. Udsnit af ydervæg med placering af termoelementer.

Det fremgår af de her angivne tal, at temperaturfaldet over isoleringen har været ca. 11 °C og over teglvæggen 5,5 °C. Hvis der var tale om en teoretisk éndimensional varme-strøm, så skulle dette betyde, at teglvæggens isolans var halv så stor som isoleringens. Dette kan næppe være tilfældet, og der er derfor overvejende sandsynlighed for, at den konstaterede temperaturfordeling skyldes kuldebroeffekten fra fulde udmuringer omkring vinduer, indervæggens tilslutning til ydervæggen og bjælkelagstilslutninger. Det kan anføres, at målepunktet lå midt imellem vindue og tværvæg, dvs 0,75 m fra begge disse kuldebroer. Teglvæggens tykkelse på det pågældende sted var ca. 36 cm.

Da det kunne frygtes, at isoleringen medførte så lave temperaturer på skillefladen imellem teglvæg og forsatsvæg, at der i længere perioder ville blive fugtigt, blev der indbygget to fugtfølere i denne skilleflade. Fugtfølernes bestod af små klodser af fyrretræ, hvori der var indbygget stålsøm, imellem hvilke den elektriske ledningsevne kan måles. Fugtindholdet vil normalt være størst på slutningen af vinteren, og den 1. marts 1978 bestemtes fugtindholdet til 15 pct. (efter vægt). Klodsernes temperatur var 6 °C.

Fra en kurve som giver sammenhængen imellem træfugtighed og luftfugtighed fås, at den relative fugtighed da var 75 pct. Denne lufttilstand svarer til en vanddampkoncentration på 5 g/m³, som viser, at luften nær skillefladen er i ligevægt med det gennemsnitlige fugtindhold i udeluften. Dette forhold viser, at dampspærren fungerer som forudsat, og der vil derfor ikke kunne forekomme kondensation på skillefladen mellem teglvæg og forsatsvæg.

Det skal bemærkes, at den ene føler er placeret nær gulv, hvor en »kortslutningseffekt« med opfugtning til følge kunne have været frygtet, fordi gulvet på dette sted afbryder det damptætte lag. En sådan effekt har dog ikke kunnet konstateres.

Sideløbende med de beskrevne målinger har Teknologisk Institut målt temperatur og fugtindhold i etageadskillelsens træbjælkeender, hvor disse er indmuret i ydervæggen.

Målingerne, der er gennemført i et antal lejligheder i den isolerede blok, er første fase af et projekt, der har til hensigt at klarlægge temperatur- og fugtforholdene omkring indmurede træbjælkeender i ydervægge med indvendig efterisolering.

Gennemførte teoretiske beregninger kunne give anledning til frygt for råd og svamp i særlige tilfælde, men de foreløbige målinger viser, at forholdene tilsyneladende er væsentlig gunstigere end beregnet.

- [1] Beregning af varmebesparelse ved merisolering. Bo Andersen. *Varme*, 39. årgang 1974, oktober.
- [2] Bolig og Varme, DEMO-projekter, april/maj 1977. Jørgen Nørregaard.
- [3] Forbedring af klimaskærmens varmeisolering i eksisterende etageejendomme. M. Nørregaard, G. Christensen, Ole Jensen. SBI-rapport 105. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1978.
- [4] Indvendig efterisolering af en etageejendom. Byggeteknik, priser og erfaringer. M. Nørregaard, G. Christensen, Ole Jensen. SBI-rapport 113. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1978.
- [5] Beboererfaringer ved indvendig efterisolering af en etageejendom. SBI-rapport 120. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1980.
- [6] Varmebesparelser ved merisolering. N. E. Andersen. *Byggeindustrien* 11. 1977.
- [7] Boligers luftskifte. Byggeteknik. Teknologisk Institut, juli 1976.
- [8] Köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar. Ann-Charlotte Anderson. Rapport R46:1978. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm. 1978.

In this final report*) a number of measurements in connection with additional insulation of existing blocks of flats are presented. The blocks are in three stories and built in 1942. In each block are 24 one bedroom flats.

In the report the energy saving measures are briefly described. A more detailed description can be found in SBI-report 113 "Additional insulation of an existing block of flats - building technique, prices and experience".

The energy consumption of the block has been calculated in a traditional way based on the degree day number. Further the energy consumption has been calculated with a method where the so-called "free heat" is taken into the calculations. A comparison between the two calculation methods and the achieved energy consumption has shown that the traditional calculation method gives the best correlation.

The considerations behind the choice of measurement methods and the programme for the measurements are described. Beside the energy consumption for heating purposes other measurements have been carried out. These comprise temperature and relative humidity in a number of dwellings, air changes and measurements of temperature distribution in the exterior walls.

The energy consumption measured is adjusted for the number of degree days, the size of the building(s) and differences in room temperatures. After adjustment comparisons are made between energy consumption in five blocks of flats which are included in the total experiment. The main result was that the insulation measures in connection with thermostatic radiator valves gives an energy saving of about 45 p.c. Two blocks were equipped with thermostatic radiator valves and two blocks were equipped with manually operated valves. In all these four blocks no additional insulation was carried out. The measurements showed that a saving of about 5 p.c. of the energy consumption could be obtained by installing thermostatic radiator valves. This result, however, is not sufficiently well documented due to inaccuracies in the recording equipment.

*) Other reports in the project are:

SBI-report 105: Improvement of the thermal insulation provided by the weather barrier in existing blocks of flats. 1977. In Danish, with an English summary.

SBI-report 113: Introduction of internal insulation in an existing block of flats - methods, cost, experience gained. 1978. In Danish, with an English summary.

SBI-report 120: Residents' experiences in connection with internal insulation of a block of flats. 1980. In Danish, with an English summary.

In the final part of the report a description is given of measurements of temperature and humidity in a number of additionally and not additionally insulated flats. The average temperature in the flats is 0,5 °C higher in the insulated block than in the other blocks. There is no difference between the average room temperatures in blocks with and without thermostatic radiator valves.

The relative humidity is a little higher in the insulated block than in the other blocks. The two figures are respectively 43 p.c. and 40 p.c. RH which is well in accordance with results from air change measurements which show an air change rate of 0,55 per hour after and 0,70 per hour before the retrofitting.

Finally measurements of moisture- and temperature conditions in the exterior wall are presented.

Denne SBI-rapport beskriver et projekt, som er udført inden for rammerne af energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling af december 1976. Med udgangspunkt i en indvendigt isoleret etageejendom på 24 lejligheder er der vist metoder til beregning af forventet energibesparelse. Der er præsenteret målinger af energiforbruget gennem to år. Det forventede og det målte energiforbrug er sammenholdt og kommenteret. Her er især gratisvarens betydning for det beregnede energiforbrug vurderet. I projektet er også indgået målinger af radiatortermostatventilers besparelseseffekt, og måleresultater er præsenteret.