

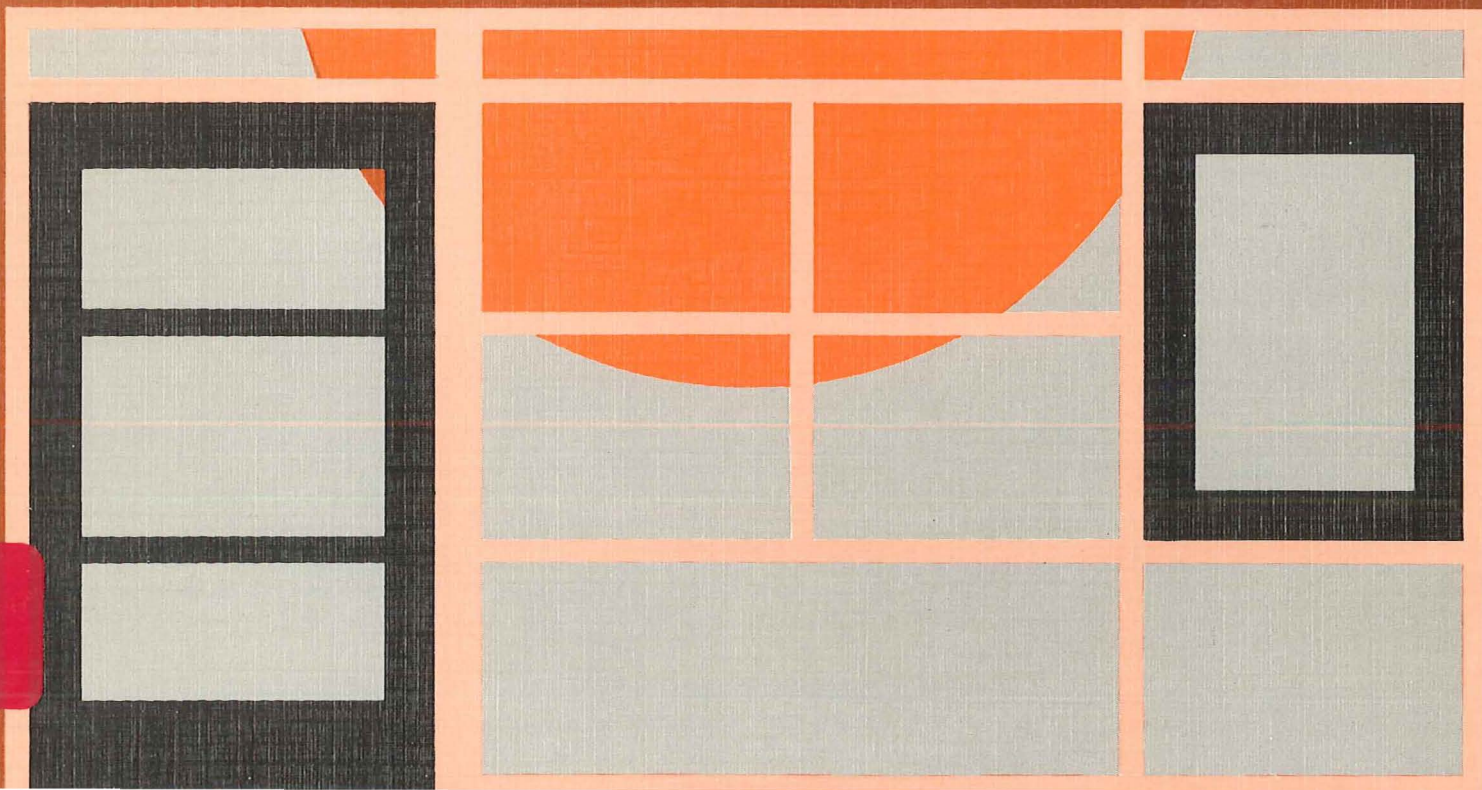
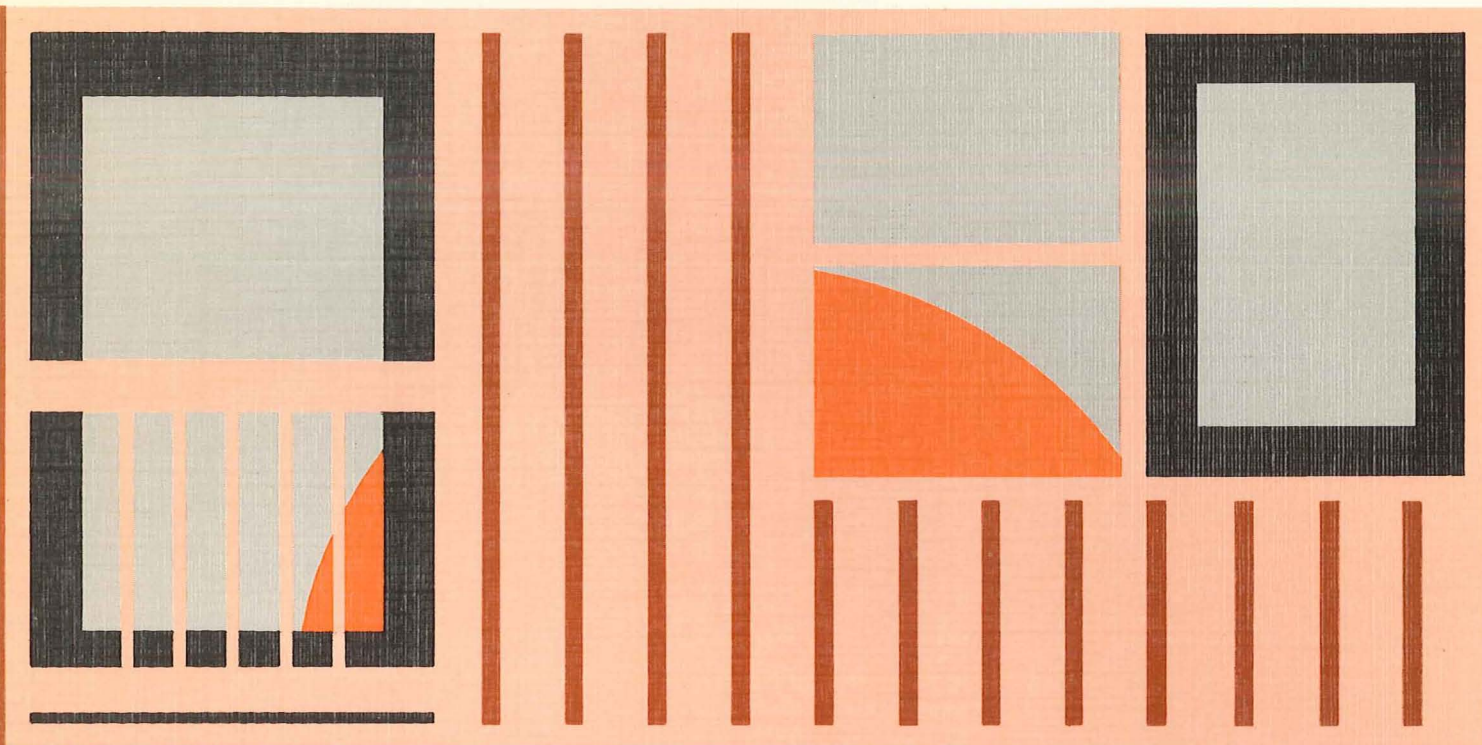
SBI - note.

Vinduer som energifangere



Varmeforbrugets afhængighed af vinduesareal og -orientering

SBI-RAPPORT 182 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1986



SBI - publ.

VINDUER SOM ENERGIFANGERE

Varmeforbrugets afhængighed af vinduesareal og -orientering

Alice Kjær
Thomas Pedersen

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

^{EX. 2}
7 SEP. 1992

00151 P

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

^{EX. 2}
3 SEP. 1986

SBI

SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter og afsluttede faser i fasedelte projekter samt beretninger fra visse konferencer og symposier.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning, Landbrugsbyggeri, Pjecer, Ydeevnebeskrivelser, Beton, Nomogrammer og Særtryk. 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. Information om abonnenternes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0639-3.
ISSN 0573-9985.
Pris: Kr. 76,25 inkl. 22 pct. moms.
Oplag: 1000.
Tryk: SBI, Hørsholm.
Renskrivning: Mona L. Jantzen.
Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut:
Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02 865533.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 182: Vinduer som energifangere. 1986.

INDHOLD

FORORD	5
SAMMENFATNING	6
INDLEDNING	8
Projektets formål	8
Lystoftevænget	8
BESKRIVELSE AF BEBYGGELSEN	10
Orientering	10
Tegninger og fotografier	11
Vinduesarealer	15
Energiforbrug	18
MÅLINGER	20
Målinger 1982/83	20
Målinger 1983/84	21
RESULTATER	23
Databehandling af målinger fra varmesæsonen 1982/83	23
Middelforbrug	23
Regressionsanalyse	24
Konklusion på baggrund af målinger 1982/83	26
Målinger 1983/84	26
Forsøgsmodel for undersøgelsen	26
Systematiske fejl	27
Resultater fra målinger 1983/84	27
Sammenhænge mellem variable	28
Varmeforbrug, vinduesareal og orientering.....	28
Varmeforbrug og orientering.....	29
Andre sammenhænge	30
Elforbrug og referenceprocent	30
Rumtemperaturer	31

Antal beboere og rumtemperatur	31
Rumtemperatur og varmekonsum	32
Multipel regression	32
KONKLUSIONER	34
LITTERATUR	36
SUMMARY	37
BILAG 1 Rensning af data	39
BILAG 2 Skyggeforhold i bebyggelsen Lystoftevænget	40
BILAG 3 Basisstatistik	42
BILAG 4 Multipel regression	44

 FORORD

I Bygningsreglementet BR-77 og senere i BR-82 er det krævet, at vinduesarealet i nye bygninger normalt ikke må overstige 15 pct. af bruttoetagearealet. Denne begrænsning har til hensigt at begrænse energiforbruget til opvarmningsformål.

Den teoretiske baggrund for dette krav er baseret på vinduers relativt høje k-værdier, mens der ikke er taget hensyn til, at der eventuelt kan spares energi ved, at vinduer placeres således, at de kan fange solenergien, specielt i årets kolde måneder. Energiforbruget vil også afhænge såvel af bebyggelsens tekniske udformning som af beboernes benyttelse af boligen. For at undersøge samspillet mellem disse faktorer har Byggeriets Udviklingsråd (BUR) stillet midler til rådighed for målinger af energiforbrug i en tæt lav bebyggelse i Lyngby. Der er tale om 94 ensartede huse, der ved byggeriets planlægning blev orienteret enten i retningen øst-vest eller nord-syd. Endvidere blev boligerne forsynet med vinduesarealer gående fra BR-kravet på 15 pct. og op til 30 pct. af bruttoetagearealet. Målingerne af energiforbruget fandt sted i vinteren 1982/83, men blev fortsat i 1983/84, da målerne ikke fungerede tilfredsstillende det første år.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem det rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S og SBI, hvor førstnævnte har gennemført de meget omfattende målinger.

Da det ved planlægningen af bebyggelsen i vid udstrækning var nødvendigt at tage hensyn til de forsøgstekniske krav, har der været et nøje samarbejde med arkitektfirmaet Hvidt & Mølgaard samt ejendommens bygherre Dansk Almennyttigt Boligselskab.

De statistiske beregninger er gennemført af civilingeniør Georg Kjær, Rubicon Statistik. Beregninger af teoretisk energiforbrug er foretaget af civilingeniør, lic.techn. Anker Nielsen.

SBI retter en tak til beboerne i Lystoftevænget, som tålmodigt har fundet sig i de talrige besøg, som var nødvendige for at gennemføre måleraflysningerne.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Afdelingen for bygningsfysik, maj 1986

Georg Christensen

 SAMMENFATNING

Formålet med projektet har været at undersøge, om huse med større vinduesarealer end svarende til BR-krav - som normalt antaget - har et større energiforbrug, når også beboernes brug af husene tages i betragtning. Endvidere er det undersøgt, om der er forskel på energiforbruget for i øvrigt ens huse, når disse er henholdsvis nord-syd orienteret og øst-vest orienteret.

En planlagt rækkehusbebyggelse i Lyngby, Lystoftevænget, blev fundet velegnet til en sådan undersøgelse. Bebyggelsen bestod af 10 blokke med i alt 94 ensartede huse, 2-rums- og 3-rums huse fordelt på 4 hustyper. Husene blev placeret således på grunden, at de store vinduer i havefacaden fik direkte solindfald enten fra syd eller vest.

Opvarmningen foregik med gas via en varmecentral i bebyggelsen. Husene var velisolerede, og deres årlige energiforbrug til rumopvarmning var beregnet til at ligge mellem 6 og 8 MWh.

Alle huse blev forsynet med en energimåler, hvor varmemforbruget blev aflæst måned for måned over 2 varmesæsoner. I den første fra oktober til maj, i den anden fra november til maj. Samtidig blev det samlede elforbrug for hvert hus i hver af de 2 varmesæsoner målt.

Det var oprindeligt kun planlagt, at der skulle måles i én varmesæson. I målesæsonen 1982/83 opstod der imidlertid så mange problemer med energimålerens funktion, at det ikke var muligt at konkludere endeligt på grundlag af det foreliggende materiale. Der blev derefter foretaget foranstaltninger, der skulle sikre målerens funktionsduelighed. Disse foranstaltninger var først tilendebragt pr. 1. november 1983, hvorefter målingerne igen blev iværksat.

Allerede målinger i 1982/83 viste, at de nord-syd orienterede huse havde et større varmemforbrug end de øst-vest orienterede, og der var intet, der umiddelbart tydede på en sammenhæng mellem varmemforbrug og vinduesareal.

Målingerne i 1983/84 sæsonen er anset for at være betydeligt mere pålidelige end målingerne fra 1982/83, og resultaterne er behandlet ved en indgående statistisk analyse. Denne afslørede en hel del sammenhænge, både dem der primært var ønsket undersøgt og andre, som undersøgelsen ikke oprindeligt sigtede imod.

Selv om der i de kolde måneder kunne konstateres et forøget varmemforbrug i huse med store vinduesarealer, var det ikke muligt på årsbasis at konstatere noget forøget varmemforbrug.

Til gengæld var elforbruget i huse med vinduer svarende til et vinduesareal på 15 pct. af gulvarealet større end i tilsvarende huse med et større vinduesareal, så der kunne ikke konstateres forskel på det samlede energiforbrug (varme + el) for huse med forskellig vinduesstørrelse.

Undersøgelsen viste, at de øst-vest orienterede huse havde et lavere varmemforbrug end nord-syd orienterede. På årsbasis ca. 10 pct. For januar måned dog ca. 20 pct.

Af andre sammenhænge er den tydeligste rumtemperaturens indflydelse på varmemforbruget. For hver °C rumtemperaturen forøges bruges på årsbasis ca. 0,5 MWh mere (6-8 pct.). Analysen viste tillige, at jo flere beboere der var i en bolig, jo højere var rumtemperaturen.

Den statistiske analyse viste yderligere, at de indgående konstruktions-elementers arealer og disses isoleringsevne på forhånd var afbalanceret, således at en rimeligt gennemførlig forbedring af isoleringsevnen for en enkelt bygningsdel ikke ville kunne nedbringe det totale energiforbrug væsentligt. De bygningsdele, der først og fremmest påvirker det totale energiforbrug, er den tunge murgavl og den tunge facade, først i anden omgang kommer vinduerne og den lette facade.

Kolde ydervægge med stor varmeakkumuleringsevne får efter en afkølingsperiode beboerne til at ønske hurtig opvarmning. Dette kan eventuelt resultere i overopvarmning af boligen med deraf følgende større varmetab, og i ekstreme tilfælde i udluftning for at bringe temperaturen tilbage til det normale. Hurtig opvarmning med stort vandforbrug og lille afkøling i radiator kredse er mindre energiøkonomisk end at holde en konstant temperatur af en sådan størrelse, at væggene ikke bliver kolde.

 INDLEDNING

Projektets formål

I Bygningsreglementet, BR-82, er indeholdt et krav om begrænsning af vinduesarealet til 15 pct. af bruttoetagearealet af hensyn til energiforbruget. Dette krav kan dog overskrides, hvis andre bygningsdele har tilsvarende bedre isoleringsevne.

Da vinduer foruden at afgive varme også modtager varme ved solindstråling, har det været af interesse at få undersøgt, om huse med større vinduesarealer end svarende til BR-krav, har større energiforbrug til rumopvarmning på årsbasis, når der tages hensyn til beboervaner.

Tidligere teoretiske beregninger for enfamiliehuse (1) viser, at det teoretiske energiforbrug kun stiger svagt ved større vinduesarealer, men større vinduer kan medføre, at det periodevis kan blive for varmt i sommermånederne. Anvendelse af tunge konstruktioner med stor varmeakkumuleringskapacitet vil dog modvirke denne gene.

Formålet med dette projekt var at undersøge, om huse med større vinduesarealer end svarende til BR-krav også har større energiforbrug. Samtidigt søgtes belyst, hvorledes beboervaner influerer på energiforbruget. Endvidere ønskedes det undersøgt, om der er forskel mellem energiforbruget for nord-syd orienterede huse og øst-vest orienterede huse.

Projektet er gennemført ved at registrere energiforbruget i en nyopført rækkehusbebyggelse, hvor de enkelte huse næsten har samme teoretiske energiforbrug.

Lystoftevænget

Bebyggelsen Lystoftevænget, der ligger ved Lyngby nord for København, blev udvalgt til forsøget af følgende grunde: For det første skulle bygherren, Lyngby Almennyttige Boligselskab v. DAB, opføre 94 rækkehuse, hvis orientering på grunden i forhold til solindfald dels var nord-syd og dels øst-vest.

Dernæst muliggjorde det store antal næsten ens huse, at der kunne dannes grupper med tilstrækkelig mange huse, således at beboervanernes indvirkning på det gennemsnitlige energiforbrug kunne mindskes.

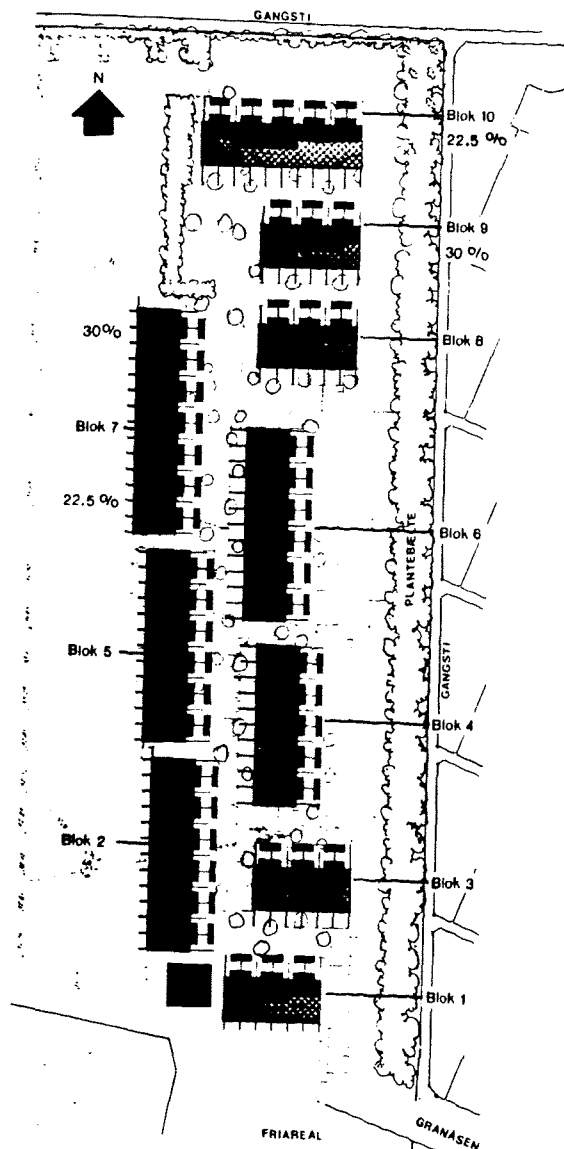
Husene blev opført i 1981/82, og måling af energiforbruget begyndte i efteråret 1982, og der blev målt gennem to fyringssæsoner.

Forsøgene blev udført af rådgivende ingeniørfirma A/S Dominia i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. A/S Dominia har udført projektering, dataindsamling og successiv bearbejdning af de indsamlede måledata. SBI har stået for den statistiske bearbejdning af datamaterialet, der er indsamlet måned for måned i perioderne september 1982-maj 1983 samt november 1983-maj 1984.

 BESKRIVELSE AF BEBYGGELSEN

Orientering

Bebyggelsen består af 1½-2 etagers rækkehuse med henholdsvis 2-rumsboliger (type a og b) med et boligareal på ca. 70 m², og 3-rumsboliger (type c og d) med et boligareal på ca. 82 m². En nærmere beskrivelse med fotos m.v. er angivet i (2).



Figur 1. Blokkene og husenes orientering.

På figur 1 er bebyggelsens orientering angivet. Selve rækkehusblokkene vender enten øst-vest eller nord-syd, mens husene i de enkelte blokke har vinduesarealer, der for øst-vest blokkene er orienteret mod nord og syd og for nord-syd blokkene mod øst og vest.

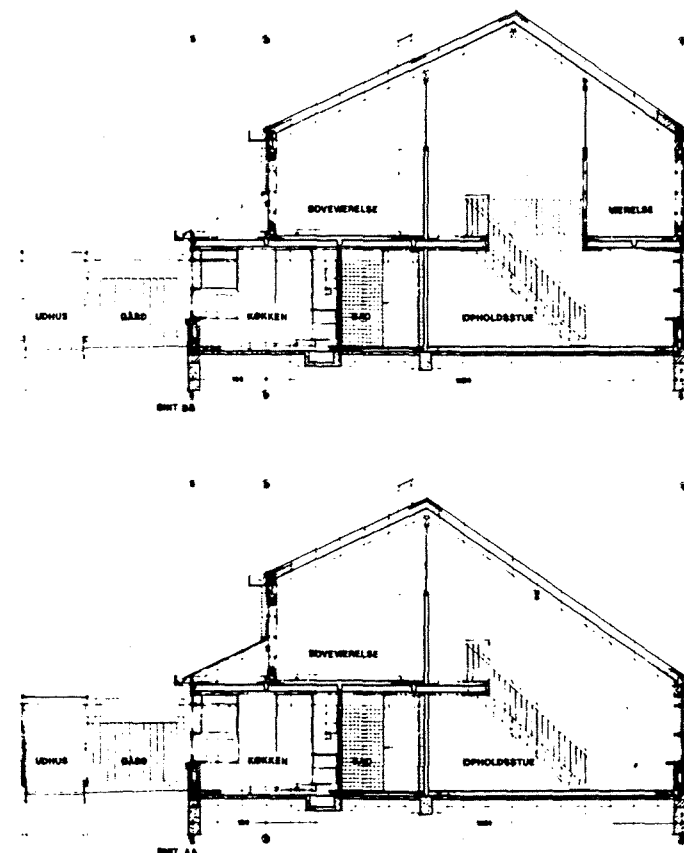
Husene vil i det følgende blive benævnt, efter hvilke verdenshjørner vinduerne vender, altså henholdsvis nord-syd orienterede og øst-vest orienterede.

Husenes orientering er således vinkelret på blokkenes.

34 huse er nord-syd orienteret, medens 60 huse er øst-vest orienteret. Det har ikke været muligt at placere blokkene på grunden på en sådan måde, at de slet ikke skygger for hinanden.

Tegninger og fotografier

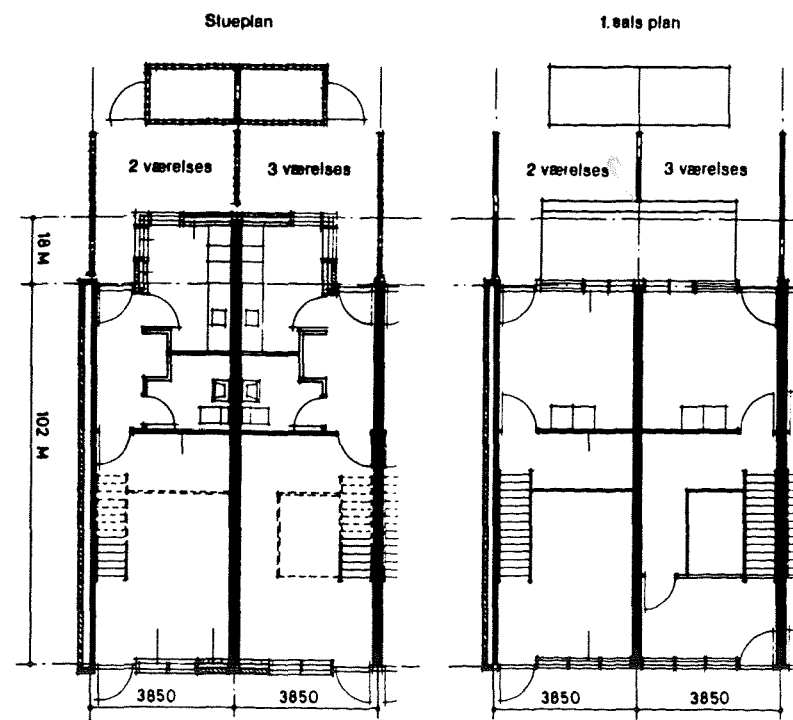
På figur 2 ses tværsnit i de 2 boligtyper.



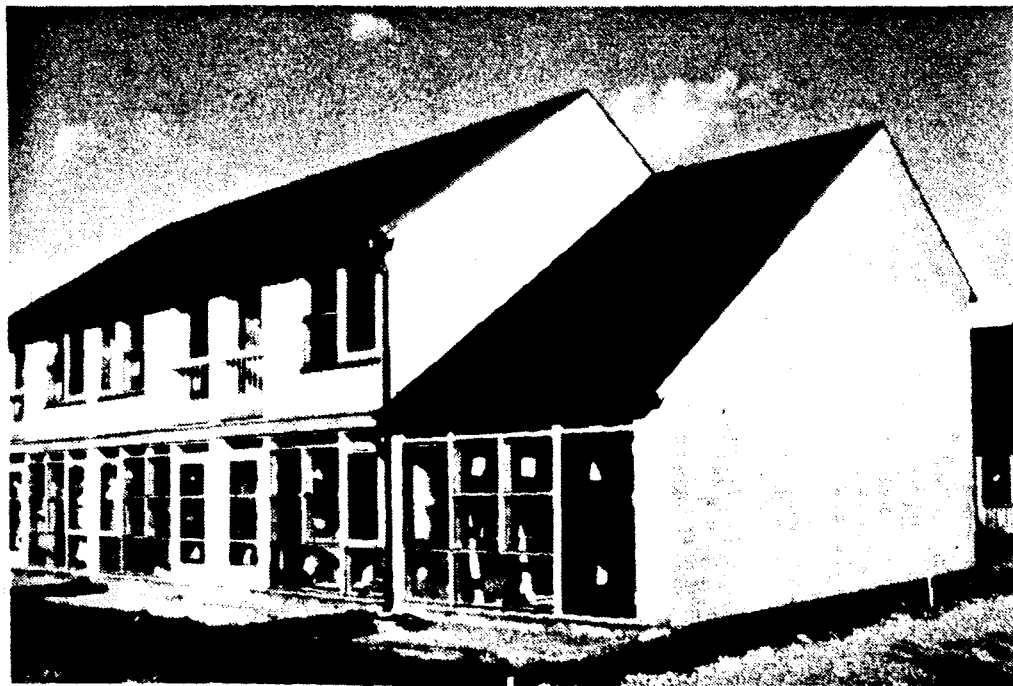
Figur 2. Tværsnit i de to boligtyper, 1:200.

Adgangen til boligerne sker gennem små forhaver med udhuse. Boligerne har alle forstue, køkken, bad og opholdsstue i stueplan, og enten 1 eller 2 værelser på 1. sal.

På figur 3 ses planudformningen af de 2 boligtyper. Karakteristiske forhold er i øvrigt illustreret i figur 4-7.



Figur 3. Plansnit i de to boliger, 1:200.



Figur 4. En 2-rumsbolig med hel murgavl og en 3-rumsbolig med "halv" murgavl.



Figur 5. Billedet viser springene i tagfladerne, som giver anledning til gavlparterier.



Figur 6. Indgangsparti til to boliger.



Figur 7. Nærbillede af indgangsparti til én bolig.

Vinduesarealer

For at få en markant forskel på husenes vinduesarealer ønskedes en arealstørrelse på 15 pct., 22½ pct. og 30 pct. af bruttoarealet. Idet husene er karakteriseret ved et relativt lille facadeareal, kunne så store vinduesarealer kun indpasses i facaderne ved, at der også indgik glas i dørene. Se figur 8-11.

Ved glasarealer forstås det antal m² glas, der indgår i boligens vinduer og døre.

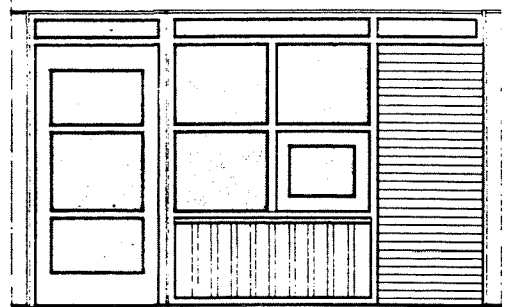
De resulterende vindues- og glasarealer er angivet i tabel 1.

Glasarealerne i 2-rumsboliger er forøget med 1 m² hhv. 2,4 m² i forhold til husene med 15 pct. vinduesareal. For 3-rumsboligerne bliver de tilsvarende arealers forøgelse 1,3 m² og 3,5 m².

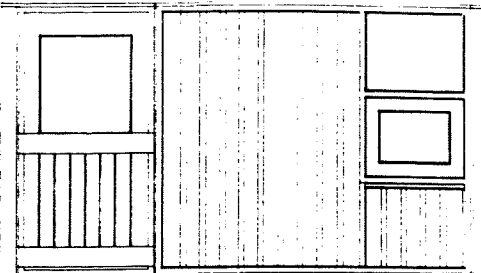
Fordeling af glasareal	Vinduesareal referencepct.	Vinduesareal m ²	Glasareal m ²
2-rumsbolig	15	14,2	6,6
	22½	15,5	7,6
	30	17,2	9,0
3-rumsbolig	15	17,6	7,9
	22½	19,0	9,2
	30	21,9	11,4
Deraf indgangsfacade for alle huse		9,0	3,8

Tabel 1. Vinduesarealernes fordeling på facader og hustyper.

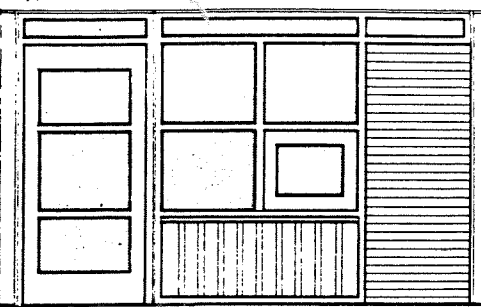
15%



Type a+b Stueplan

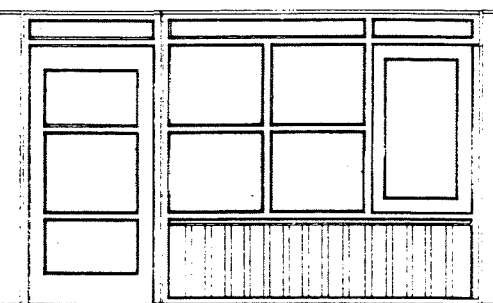


Type c+d 1.salsplan

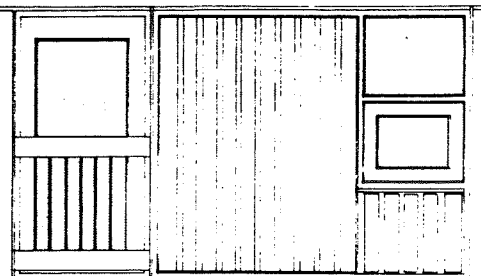


Type c+d Stueplan

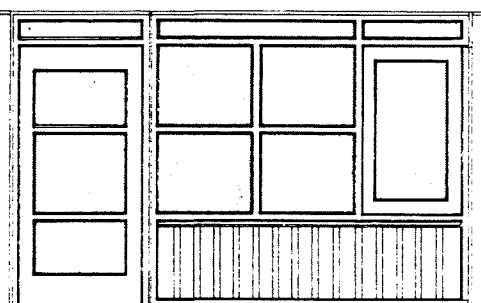
22.5%



Type a+b Stueplan

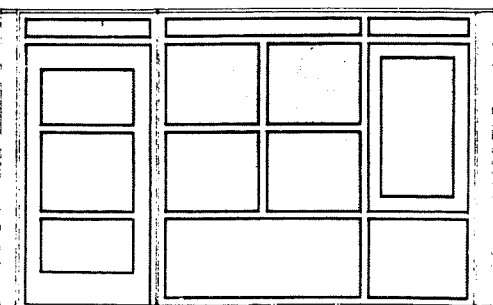


Type c+d 1.salsplan

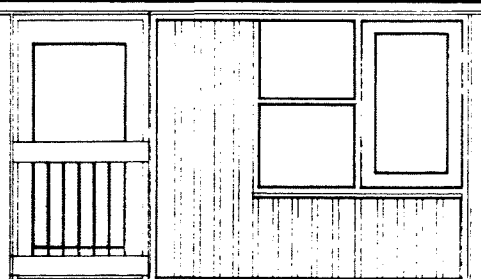


Type c+d Stueplan

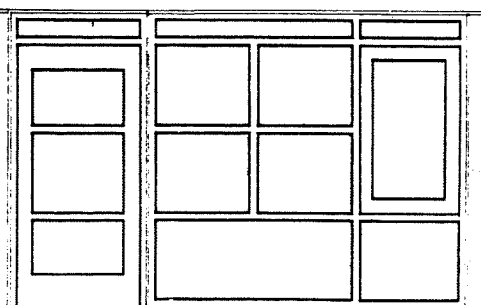
30%



Type a+b Stueplan

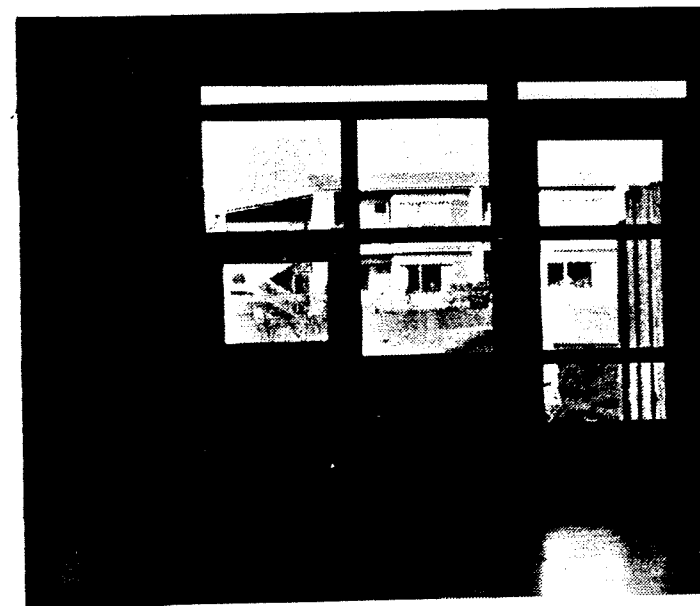


Type c+d 1.salsplan



Type c+d Stueplan

Figur 8. Udformning af facader.



Figur 9. Vinduesareal 15 pct.



Figur 10. Vinduesareal 22½ pct.



Figur 11. Vinduesareal 30 pct.

De forøgede vinduesarealer er indbygget i de huse, der er beliggende i blok 7, blok 9 og blok 10, vist på figur 1. Husenes fordeling på orientering og vinduesareal er angivet i tabel 2.

Orientering	Vinduesareal		
	15 pct.	22½ pct.	30 pct.
Nord-syd	18	10	6
Øst-vest	46	6	8

Tabel 2. Antal huse i de forskellige grupper.

To af grupperne udgøres af 6 huse, hvilket statistisk set er det mindste antal, som det af hensyn til resultaternes spredning er acceptabelt at arbejde med.

Energiforbrug

Boligerne opfylder krav til k-værdier som angivet i Bygningsreglementet af 1977. Beregnede k-værdier samt BR-krav er angivet i tabel 3.

Bygningsdel	Beregnet	BR-77
Gulv (indre randfelt)	0,19	0,30
Gulv (ydre randfelt)	0,20	0,30
Gavl 2-rums	0,28	0,40
Gavl 3-rums	0,22	0,30
Let facade	0,26	0,30
Tung facade	0,34	0,40
Tag	0,21	0,20
Vinduer (2-lags isoleringsrude)	2,3-2,7	2,90
Døre	1,6-2,3	2,90

Tabel 3. Beregnede k-værdier ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) og krævede værdier i henhold til BR-77.

Næsten alle bygningsdele isolerer bedre end svarende til BR-82 kravene, og de dimensionerende varmetab for de enkelte boliger er således relativt små. De dimensionerende varmetab for de forskellige husgrupper fremgår af tabel 4.

Varmetab	Vinduesareal, referencepct.		
	15	22½	30
2-rums: mellemliggende	3,0	3,1	3,3
2-rums: gavllejlighed	3,5	3,6	3,8
3-rums: mellemliggende	3,45	3,6	3,9
3-rums: gavllejlighed	3,55	3,7	4,0

Tabel 4. Dimensionerende varmetab angivet i kW.

Ud fra bygningsdelenes k-værdier, angivet i tabel 3 og arealberegningerne i forbindelse med varmetabsberegningerne, er det teoretiske energiforbrug beregnet efter den metode, der er beskrevet i (3). I beregningerne medtages tilskud fra personvarme, elektricitet og solindfald. Tilskudsvarmen er fastsat ud fra, at 2-rumsboliger bebos af 2 personer og 3-rumsboliger af 3 personer. Udetemperatur og solindfald er fastsat ud fra referenceårets vejrdata (4). Varmeakkumuleringsfaktoren er fastsat til 0,5 i overensstemmelse med, at byggeriet er udført af tunge konstruktioner. Indflydelse fra skyggedannelse fra udhuse, stakitter mm. er ikke medregnet. Tabel 5 angiver det beregnede energiforbrug for samtlige 24 varianter.

Energiforbrug (kWh)	Orientering nord-syd referencepct.			Orientering øst-vest referencepct.		
	15	22½	30	15	22½	30
3-rums: mellemliggende	6500	6600	6800	6800	7050	7500
3-rums: gavllejlighed	6700	6800	7050	7000	7300	7700
2-rums: mellemliggende	5950	6000	6150	6050	6250	6550
2-rums: gavllejlighed	7400	7500	7550	7500	7700	7950

Tabel 5. Beregnet årligt energiforbrug.

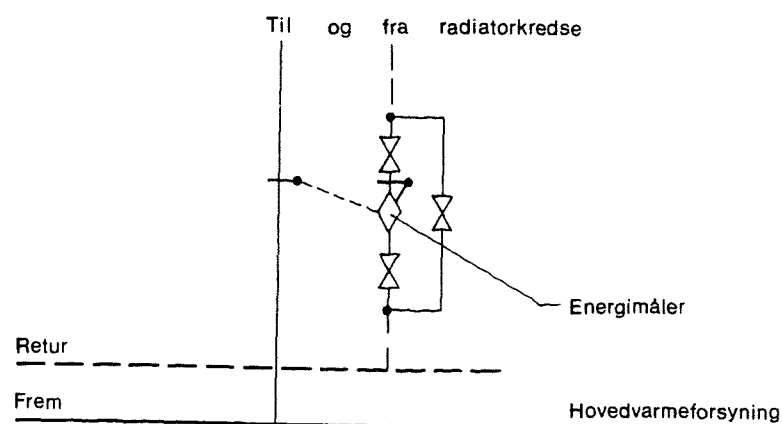
Af beregningerne fremgår det, at de øst-vest orienterede huse forventes at have et større energiforbrug end de nord-syd orienterede, og at stigende vinduesareal giver et stigende teoretisk energiforbrug. Op til 5 pct. for de nord-syd orienterede boliger og op til 11 pct. for de øst-vest orienterede.

Beregningerne viser desuden, at husenes energiforbrug må forventes at blive lavt, omkring 7 MWh, og at forskellen mellem de enkelte huses beregnede energiforbrug ikke er særlig stort. Der er set bort fra beboervaner, herunder individuelle krav til indetemperaturen.

MÅLINGER

Målinger 1982/83

For at måle energiforbruget til rumopvarmning blev der i hvert hus installeret en energimåler bestående af en vandmåler og et regneværk. Vandmåleren blev installeret på radiatorkredsens returledning, og regneværkets temperaturfølere blev installeret umiddelbart efter afgreningerne fra hovedledningerne, se figur 12.



Figur 12. Placering af energimåler.

De 88 målere var af fabrikat Brunata med en turbinevandmåler type MTHR 1,5 m³, og temperaturfølerne er termoelektriske (NiCr-Ni) følere. De resterende 6 målere var Faraday målere af fabrikat Clorius type T3. Sidstnævnte målertype var netop blevet markedsført, da målingerne blev planlagt og blev anvendt for at få erfaringer med denne målertype. Brunatas vandmåler blev valgt på grundlag af tidligere gode erfaringer i forbindelse med måling på lavenergihuse i Hjortekær.

Energimålerne blev aflæst månedligt i alle huse, og desuden blev deres funktion kontrolleret. Rumtemperaturen blev ligeledes målt månedligt. El-

målerne blev aflæst den første og sidste aflæsningsdag. Bebyggelsens totale energiforbrug blev aflæst på hovedmålere i varmecentralen.

I løbet af måleperioden opstod der adskillige problemer med målernes funktion, og efter måleperiodens afslutning viste det sig, at resultater fra 33 huse ikke var brugbare.

I 4 huse kunne aflæsninger ikke foretages på grund af bidske hunde.

12 målere svigtede helt og blev udskiftet i løbet af måleperioden. Yderligere 17 målere havde periodevis svigt. Årsagerne skyldtes svigt af varmetæller, svigt i strømforsyning (batteri) samt svigt af vandmåler på grund af magnetit i kedelvandet.

Endvidere blev det konstateret, at målerne havde vanskeligt ved at registrere så små energiforbrug, som der er tale om i disse huse, specielt i overgangen til opvarmningssæsonen, dels på grund af for stort startmoment i vandmåleren og dels på grund af stor unøjagtighed af temperaturmålingen ved små afkølinger af centralvarmeføleren. Disse problemer forstærkedes yderligere af den milde vinter i 1982/83.

Diskussioner med målerfabrikanten gennem måleperioden førte til, at nogle målere blev udskiftet. Det blev løbende diskuteret, hvorledes målingerne kunne forbedres i den kommende varmesæson, og man enedes om at rense vandet for magnetit, opsætte en områdemåler i varmecentralen samt udskifte alle kapslerne i de eksisterende målere i husene, inden en ny måleperiode skulle gennemføres.

Målinger 1983/84

De ovenfor anførte foranstaltninger blev udført i sommeren 1983, og successive vandanalyser af kedelvandet viste, at al magnetitten var fjernet fra midten af oktober, og en ny måleperiode blev planlagt fra 1. november 1983 til 1. maj 1984.

Måleprogrammet fra 1982/83 blev suppleret med månedlige aflæsninger af elmålerne i 13 huse, således at der blev mulighed for at vurdere den totale energimængde tilført udefra.

Desværre forløb den sidste målesæson heller ikke uden problemer, omend antallet af målersvigt blev færre. Ved måleperiodens afslutning havde 10 målere været behæftet med svigt både i registrering af vand- og energiforbrug. 19 målere havde haft svigt ved energitællingen. Hyppigste årsag til funktionssvigt var fejl på regneværk samt svigt i strømforsyningen.

Alle funktionssvigt blev udbedret så hurtigt som muligt, således at den gennemsnitlige tid, hvor defekte målere har været ude af drift, er reduceret til 1½ måned.

Konklusionen på to sæsoners målinger er, at måling af vand- og energiforbrug i 1983/84 er gennemført med større pålidelighed end i 1982/83. Til trods for at målerne gennemsnitlig kun har registreret ca. 50 pct. af den i hvert hus tilførte energi til rumopvarmning i 1982/83 og ca. 60 pct. i 1983/84, anses målingerne for brugbare til relative sammenligninger af husenes energiforbrug.

RESULTATER

Databehandling af målinger fra varmesæsonen 1982/83

De indsamlede data rensset for fejl er bearbejdet statistisk. Middelværdien og spredningen for energiforbruget for huse i de respektive forsøgsgrupper er udregnet. Der er udført enkel regressionsanalyse på energiforbruget som funktion af graddagstallet for at finde det graddagsafhængige energiforbrug. Endelig er der foretaget statistiske tests for at undersøge, om der er signifikante forskelle på energiforbruget i de forskellige kategorier.

For de 61 huse, hvor målerne har fungeret hele forsøgsperioden, er fordelingen af husene på forsøgsgrupperne angivet i tabel 6.

Orientering	Vinduesareal, referencepct.		
	15	22½	30
Nord-syd	11	8	3
Øst-vest	29	4	6

Tabel 6. Antal huse i de forskellige grupper, der er statistisk bearbejdet.

Det ses, at to af grupperne er under det ønskede antal huse (jvf. side 18).

Middelforbrug

For hele fyringsperioden i 1982/83 er det målte energiforbrug angivet i tabel 7 sammen med det månedlige middelforbrug og dets spredning. Da grupperne udgøres af huse med forskellige varmetab, er de målte værdier korrigeret for variationer på grund af hustype, beliggenhed som gavlhuse mv.

Energiforbrug	Vinduesareal referencepct.	Orientering øst-vest		Orientering nord-syd	
		Målt kWh	Korr. kWh	Målt kWh	Korr. kWh
Middelforbrug		2627	2559	2975	2786
Middelforbrug pr. måned	15	375	366	425	398
Spredning		149	145	168	158
Middelforbrug		3385	3199	3085	2690
Middelforbrug pr. måned	22½	484	457	441	384
Spredning		165	156	176	154
Middelforbrug		2600	2321	2899	2547
Middelforbrug pr. måned	30	371	331	414	364
Spredning		147	131	163	143

Tabel 7. Middelforbruget i kWh pr. hus i hele måleperioden.

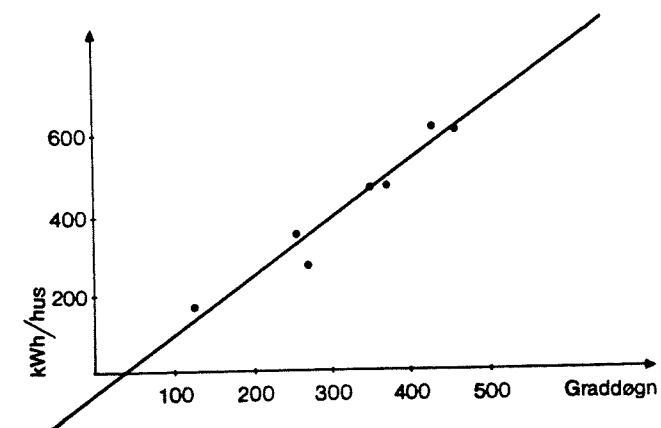
Det fremgår, at øst-vest orienterede huse med referenceareal på 22½ pct. har større energiforbrug end huse med 15 pct. og 30 pct. referenceareal, og øst-vest orienterede huse har mindre energiforbrug end de nord-syd orienterede i grupperne med 15 pct. og 30 pct. referenceareal.

Resultatet af en ensidet variansanalyse viser ved et signifikansniveau på 0,1:

- at der ikke kan påvises forskel på middelforbruget i afhængighed af vinduesareal for de nord-syd orienterede boliger,
- at øst-vest 30 pct.-gruppen har et signifikant lavere middelforbrug end de øvrige huse,
- at der i øvrigt ikke er signifikant forskel på energiforbruget mellem de tre grupper øst-vest 15 pct. og nord-syd 15 pct., øst-vest 22½ pct. og nord-syd 22½ pct. samt øst-vest 30 pct. og nord-syd 30 pct.

Regressionsanalyse

De forskellige husgruppers energiforbrug kan også undersøges ved hjælp af en regressionsanalyse. Det målte middelforbrug pr. måned pr. bolig er afbildet som funktion af graddøgnet, hvorefter regressionslinien er indtegnet, se figur 13.



Figur 13. Eksempel på regressionsanalyse.

For de forskellige grupper af huse er udregnet liniens hældningskoefficient, korrelationskoefficient samt skæring med x- hhv. y-aksen. Hældningskoefficienten udtrykker husenes energiforbrug pr. graddøgn, medens korrelationskoefficienten udtrykker, hvor god linearitet der er for punktmængden. Resultatet af undersøgelsen er angivet i tabel 8.

Forbruget pr. graddøgn er korrigeret på tilsvarende vis som ved undersøgelsen af middelforbruget.

Vinduesareal referencepct.		Orientering øst-vest	Orientering nord-syd
15	Hældningskoefficient	1,35	1,48
	Korrelationskoefficient	0,97	0,98
22½	Hældningskoefficient	1,46	1,74
	Korrelationskoefficient	0,99	0,98
30	Hældningskoefficient	1,16	1,47
	Korrelationskoefficient	0,86	0,98

Tabel 8. Resultatet af regressionsanalysen.

Denne undersøgelse viser, at både nord-syd og øst-vest orienterede huse med referencearealet 22½ pct. har større energiforbrug pr. graddøgn end andre huse.

Øst-vest orienterede huse har lavere energiforbrug end nord-syd orienterede pr. graddøgn. Svarende til en gennemsnitsfyringssæson på ca. 3000 graddøgn vil energiforbruget svarende til referencearealer på 15 pct., 22½ pct. og 30 pct. således være hhv. 5 pct., 10 pct. og 15 pct. mindre i de øst-vest orienterede boliger end i de tilsvarende nord-syd orienterede.

Konklusion på baggrund af målinger 1982/83

Udover de her omtalte analyser er der også udført en række signifikanstest. Disse giver imidlertid de samme konklusioner, der allerede er fremkommet, hvorfor de ikke yderligere omtales.

Undersøgelsen antyder, at huse med 30 pct. referenceareal orienteret øst-vest har et noget lavere energiforbrug end de andre huse. Desværre udgøres denne gruppe kun af 4 huse, hvilket statistisk set er for få til en entydig konklusion.

Tilsvarende gælder at målingerne viser en tendens til, at øst-vest orienterede huse med 15 pct. hhv. 30 pct. referenceareal har lavere energiforbrug end de nord-syd orienterede, men resultaterne er ikke signifikante, og der er dermed ikke statistisk belæg for nogen konklusion. Dette gælder også med hensyn til det større energiforbrug i gruppen øst-vest 22½ pct. i forhold til gruppen nord-syd 22½ pct.

Målinger 1983/84

Målingerne blev fortsat som det forudgående år. Som ekstra variabel blev antallet af beboere i de enkelte huse oplyst af folkeregisteret i Lyngby.

Indetemperaturen er en vigtig variabel og en løbende registrering ville have været ønskelig, men den ville have givet en væsentlig fordyrelse i form af udgifter til måleudstyr og databearbejdning.

Endvidere kunne systematiske afvigelser for de enkelte måleinstrumenter være blevet opfattet som en egentlig forskel i indetemperaturen. Derfor er temperaturen målt samtidig med, at energimålerne aflæses og med samme måleinstrument i alle husene.

Forsøgsmodel for undersøgelsen

Der er opstillet en model, hvori indgår måling af energiforbruget og af de størrelser, der kunne tænkes at have indflydelse på energiforbruget. Dette er bestemt ved aflæsning af energimålere og elmålere.

Som supplement til den egentlige energimåling er vandforbruget i radiatorkredsene målt. Herved vil opvarmningsmåden kunne observeres, idet stort vandforbrug i forhold til energiforbruget indikerer hyppige, hurtige opvarmninger af boligen. Samtidig vil ekstreme værdier af forholdet mellem energiforbrug og vandforbrug kunne anvendes som indikator for fejl i data. For at få et billede af den sæsonbetingede variation af elforbruget er der i et eller to huse pr. boligblok aflæst elmåler hver måned. Endvidere er det totale elforbrug registreret ved aflæsninger 1/11-83 og 1/5-84 i samtlige huse.

Følgende størrelser blev registreret: Rumtemperaturer, afskærmning af glasarealer, samt om døre mellem boligrum er åbne eller lukkede. Derudover er registreret følgende størrelser, der kan opfattes som på forhånd givne parametre for undersøgelsen: Graddøgn, antal beboere i det enkelte hus samt konstanter i form af boligareal, glasareal og øvrige klimaskærmsarealer. Endvidere husets orientering nord-syd eller øst-vest.

Skal der senere gennemføres tilsvarende undersøgelser, vil det være af betydning for sammenligning af talværdier, at de på forhånd givne størrelser indgår i undersøgelsen.

Målingerne er opført på skemaer og derefter overført til EDB. Angående rensning af data for fejl henvises til bilag 1.

Systematiske fejl

Den væsentligste systematiske fejlkilde er forskellen mellem tilført og målt varmeenergi.

Der er derfor foretaget aflæsning af hovedenergimåleren i varmecentralen. Ledningstab i varmforsyningsledninger er beregnet. Omregningsfaktoren mellem målt og reelt forbrugt energi fremkommer ved at fratække ledningstab fra hovedmålerens visning og dividere med det i husene målte energiforbrug. Derved fremkommer en faktor på 1,65 svarende til, at ca. 60 pct. af den tilførte varme registreres af energimålerne.

Forskel i skyggeforhold mellem øst-vest orienterede og nord-syd orienterede huse kunne tænkes at bidrage til fejl. Dette forhold er belyst i bilag 2.

Resultater fra målinger 1983/84

Målingerne omfatter 94 huse. I tabel 9 er det vist, hvorledes disse huse er fordelt med hensyn til husstørrelse, beliggenhed, orientering og vinduesareal.

Referencepct.		15		22½		30		i alt	
	Orientering	n-s	ø-v	n-s	ø-v	n-s	ø-v	n-s	ø-v
2-rums huse	mellemliggende	3	17	4	3	1	3	8	23 = 31
	gavlhuse	6	8	2	1	2	1	10	10 = 20
3-rums huse	mellemliggende	3	11	2	0	1	2	6	13 = 19
	huse med ½ gavl	6	10	2	2	2	2	10	14 = 24
I alt		18 + 46 = 64		10 + 6 = 16		6 + 8 = 14		34 + 60 = 94 total	

Tabel 9. Oversigt over hustyper.

I bilag 3 er der gjort rede for, hvorledes de enkelte måleresultater grupperede sig.

Tabeller over målte rumtemperaturer, elforbrug, vandforbrug og varmemeforbrug er vist for de enkelte perioder.

Sammenhænge mellem variable

Sammenhænge mellem to størrelser kan beskrives ved en såkaldt 2-vejsfordeling og illustreres ved en krydstabellering, der viser hyppigheden af forekomsten af parvise enkeltværdier eller parvise grupper af værdier. Et eksempel på krydstabellering af 94 målinger mellem referenceprocent og varmemeforbrug er vist i tabel 10.

Referencepct.	Varmeforbrug, middel		
	0-0,3 MWh	0,4-0,7 MWh	0,8-1,2 MWh
15	13	38	13
22½	3	9	4
30	1	11	2

Tabel 10. Eksempel på krydstabellering.

Ved krydstabelleringer mellem alle målte størrelser, to ad gangen, kan mulige sammenhænge (især lineære) beskrives. En almindelig anvendt parameter for lineære sammenhænge er korrelationskoefficienten, der kan antage værdier mellem 0 og 1 (numerisk), således at 0 angiver ingen sammenhæng og ±1 en fuldstændig lineær sammenhæng.

Antallet af foretagne målinger vil for de fleste variabelpar være af en sådan størrelse, at der kan siges at være lineær korrelation på 0,05 signifikansniveau, når korrelationskoefficienten er på ca. 0,23.

En korrelationskoefficient på 0,23 betyder således, at der kun er 5 pct. sandsynlighed for at det er forkert at beskrive sammenhængen mellem de 2 størrelser som lineær. Er korrelationsfaktoren positiv er de variable ligefremt afhængige, er den negativ er de omvendt proportionale.

Varmeforbrug, vinduesareal og orientering

Sammenhængen mellem varmemeforbrug og vinduesareal og varmemeforbrug og orientering er undersøgt. Sammenhængene er i det følgende ikke illustreret ved krydstabellering, men ved korrelationskoefficienterne, der repræsenterer krydstabelleringerne for perioderne november 1983 til april 1984.

Af tabel 11 fremgår, at der ikke kan påvises nogen lineær sammenhæng mellem referenceprocent og varmemeforbrug, hverken måned for måned eller totalt.

Periode	Korrelationskoefficient
Sommer 1983	-0,11
November 1983	-0,04
December 1983	0,00
Januar 1984	0,14
Februar 1984	0,16
Marts 1984	0,18
April 1984	0,07
1/11.83 - 30.4.84	0,06

Tabel 11. Sammenhæng mellem varmemeforbrug og referenceprocent.

Uanset manglende signifikans kan en regressionslinie beregnes. Kaldes varmemeforbruget i MWh y , referenceprocenten x , vil linien være givet ved ligningen:

$$y = (0,70 x + 50)10^{-2} \quad (1)$$

svarende til, at referenceprocenten x ved at gå fra 15 til 30 pct. vil øge varmemeforbruget y med ca. 20 pct. i gennemsnit i månederne januar til marts. For det totale varmemeforbrug i fyringsperioden vil ligningen være:

$$y = (0,24 x + 52)10^{-2} \quad (2)$$

hvilket stemmer godt overens med de teoretiske beregninger, som er angivet i tabel 5.

Varmeforbrug og orientering

Periode	Korrelationskoefficient
Sommer 1983	-0,23
November 1983	-0,04
December 1983	-0,15
Januar 1984	-0,26
Februar 1984	-0,18
Marts 1984	-0,12
April 1984	-0,20
1/11.83 - 30.4.84	-0,20

Tabel 12. Sammenhæng mellem varmemeforbrug og orientering (nord-syd 1 og øst-vest 2).

De negative korrelationskoefficienter betyder, at (øst-vest) giver lavt varmekonsum. Kombineres dette med tabel 12 fremgår det, at der både for januar måned og for fyringssæsonen som helhed er et signifikant lavere varmekonsum for de øst-vest orienterede huse end for de nord-syd orienterede.

Der kan udregnes en besparelse på øst-vest orienterede huse på ca. 11 pct. for fyringssæsonen som helhed. For januar måned er den tilsvarende besparelse ca. 20 pct. At dette ikke skyldes en generelt lavere rumtemperatur i de øst-vest orienterede lejligheder kan undersøges ved at sammenholde rumtemperatur og orientering.

Virksomheden af et noget større gennemsnitligt murgavlareal for de nord-syd orienterede huse end for de øst-vest orienterede er der redegjort for i bilag 4.

Andre sammenhænge

Ved gennemgang af alle mulige sammenhænge er der fundet følgende signifikante korrelationer, der kan belyse indgående variables parvise sammenhænge og dermed også deres betydning for varmekonsumet.

Elforbrug og referenceprocent

Sammenhængen mellem elforbrug i fyringsperioden og referenceprocent giver en korrelationskoefficient på $r = 0,2$. Der er foretaget 91 målinger, så en antagelse om lineær korrelation kan benyttes.

Kaldes elforbrug i kWh y og referenceprocenten x , er regressionsligningen:

$$y = 1620 - 24 x \quad (3)$$

Elforbruget falder ca. 30 pct., når der går fra 15 pct. til 30 pct. vinduesareal.

Ved hjælp af de to regressionsligninger for sammenhængen mellem varmekonsum og referenceprocent og mellem elforbrug og vinduesprocent kan der udregnes en vejret sum af totalt energikonsum (varmekonsum + elforbrug) for hhv. 15 pct. og 30 pct. vinduesareal.

15 pct. vinduesareal: Beregnet gennemsnitligt varmekonsum pr. måned:
 $0,24 \cdot 0,15 + 0,52 = 0,556$ MWh (jvf. ligning 2, side 29).

Varmekorrektionsfaktor: 1,65 (se side 27), antal perioder: 6. Dette giver et beregnet totalt varmekonsum på 5,50 MWh.

Totalt elforbrug = $1620 - 24 \cdot 15 = 1260$ kWh = 1,26 MWh.

Totalt energikonsum = $5,50 + 1,26 = 6,76$ MWh.

30 pct. vinduesareal: Beregnet gennemsnitligt varmekonsum pr. måned:
 $0,24 \cdot 0,30 + 0,52 = 0,592$ MWh.

Varmekorrektionsfaktor: 1,65, antal perioder: 6. Dette giver et beregnet totalt varmekonsum på 5,86 MWh.

Totalt elforbrug = $1620 - 24 \cdot 30 = 900$ kWh = 0,9 MWh

Totalt energikonsum = $5,86 + 0,9$ MWh = 6,76 MWh.

Der kan således ikke påvises nogen forskel på det beregnede totale energikonsum, når vinduesarealet forøges fra 15 pct. til 30 pct.

Det faktisk fundne talmæssige sammenfald må dog siges at være tilfældigt; desuden er konstateringen en gennemsnitsbetragtning, der for de enkelte huse kan dække over betydelige udsving.

Rumtemperaturer

Selvom der ikke er væsentlig forskel på gennemsnitstemperaturen ved de forskellige månedlige aflæsninger, viser en krydstabellering af rumtemperaturen for forskellige månedlige aflæsninger en signifikant positiv korrelation (se tabel 13), dvs. at det er de samme lejligheder, der enten har lave eller høje rumtemperaturer. Dette kan ikke anses at være tilfældigt, men skyldes et bevidst valg fra beboernes side.

Rumtemperatur	Korrelationskoefficient
1/2-84	0,24
1/3-84	0,73
2/4-84	0,48
30/4-84	0,34

Tabel 13. Sammenhæng mellem rumtemperaturer 2/1-84 og øvrige aflæsninger af rumtemperaturer.

Antal beboere og rumtemperatur

Der synes at være nogen sammenhæng mellem målte rumtemperaturer og antallet af beboere, se tabel 14, dvs. jo flere beboere, jo højere rumtemperatur i den enkelte lejlighed.

Rumtemperatur	Korrelationskoefficient
2/1-84	0,31
1/2-84	0,14
1/3-84	0,28
2/4-84	0,16
30/4-84	0,24

Tabel 14. Sammenhæng mellem antal beboere og rumtemperaturer.

Rumtemperatur og varmemeforbrug

Varmeforbruget viser signifikant ligefrem korrelation med de målte temperaturer både for det totale og det månedlige varmemeforbrug.

Rumtemperatur	Korrelationskoefficient for totalt varmemeforbrug	Korrelationskoefficient for månedligt varmemeforbrug
2/1-84	0,35	0,48
1/2-84	0,30	0,42
1/3-84	0,26	0,40
2/4-84	0,40	0,60
30/4-84	0,26	0,45

Tabel 15. Sammenhæng mellem rumtemperatur og såvel totalt varmemeforbrug som månedligt varmemeforbrug.

Når korrelationen også er signifikant for det totale varmemeforbrug, bekræfter det yderligere konklusionen om individuelt valg af rumtemperatur, jvf. tabel 13.

Benævnes det totale varmemeforbrug y og rumtemperaturen x , bliver regressionsligningen i dette tilfælde:

$$y = 0,48 \cdot x - 3,9,$$

hvilket svarer til, at hver gang rumtemperaturen øges med 1 °C, øges det totale varmemeforbrug med ca. 0,5 MWh.

Multipel regression

For at undersøge hvilke uafhængige variable, der væsentligst påvirker energi- og vandforbrug, kan en trinvis multipel regressionsanalyse anvendes. (Teorien for denne og nogle eksempler er givet i bilag 4).

Heraf ses, at forklaringer af varmemeforbruget ud fra forskellighederne i bygningsdelene, uden at indetemperaturen er medtaget som variabel, viser en forklaret variation på kun ca. 6 pct., dvs. at der ikke er grundlag for at antage, at noget enkelt bygningselement i den aktuelle bebyggelse er specielt medvirkende til højt energiforbrug.

Af den trinvis multiple regression for vandforbruget ses det, at det er de tunge ydervægge, murgavl og tung havefacade, der er de dominerende, altså tunge ydervægge med stor varmekapacitet. Stort vandforbrug tyder på ønsket om hurtig opvarmning. Her er antal beboere med positivt fortegn. Jo flere beboere, jo større chance for, at der er en utålmodig iblandt.

 KONKLUSIONER

Stort vinduesareal i den kolde periode giver nogen forøgelse af varmeforbruget. Endvidere fremgår det af resultaterne, at orienteringen øst-vest er den, der kræver mindst varmeforbrug. På den anden side øges elforbruget, når vinduesarealet er lavt, således at det totale energiforbrug bliver uafhængigt af vinduesarealet.

Rumtemperaturerne vælges individuelt af beboerne, og det er de samme huse, der enten har lave eller høje rumtemperaturer igennem varmesæsonen. Jo flere beboere i en bolig, jo højere rumtemperatur.

Kolde ydervægge med stor varmeakkumuleringssevne får efter en afkølingsperiode beboerne til at ønske hurtig opvarmning. Dette kan eventuelt resultere i overopvarmning af boligen med deraf følgende større varmetab, og i ekstreme tilfælde i udluftning for at bringe temperaturen tilbage til det normale. Hurtig opvarmning med stort varmeforbrug og lille afkøling i radiator-kredsene er mindre energiøkonomisk end at holde konstant temperatur af en sådan størrelse, at væggene ikke bliver kolde.

De konklusioner, der allerede var foretaget på basis af målingerne i 1982/83 bekræftes af den mere avancerede statistiske analyse af målingerne i 1983/84.

I januar måned og i den samlede fyringssæson er der signifikant forskel på varmeforbruget mellem nord-syd orienterede og øst-vest orienterede huse, idet det totale varmeforbrug bliver større for de nord-syd orienterede huse end for de øst-vest orienterede. I denne bebyggelse har orienteringen øst-vest, stik imod hvad der blev forventet, bidraget til et mindre varmeforbrug.

Der har ikke i denne undersøgelse kunnet påvises nogen signifikant forskel på varmeforbruget, når vinduesarealet blev øget.

Desuden viser analysen, at ingen enkelt bygningsdel kan gøres ansvarlig for højt eller lavt energiforbrug. Ud fra resultaterne må bebyggelsens enkeltdele siges at have ensartet isoleringsevne.

Det må således konkluderes, at det i velisolerede huse ikke har været muligt at påvise et større varmeforbrug, når vinduesarealet øges. Forbrugervaner synes i alle tilfælde at tilsløre vinduesarealets eventuelle indflydelse. Det har således ikke været muligt i denne undersøgelse at påvise, at det i Bygningsreglementet formulerede krav om et maksimalt vinduesareal på 15 pct. vil føre til et reduceret energiforbrug til rumopvarmning.

LITTERATUR

- (1) Nielsen, Anker. Vinduets betydning for enfamiliehusenes energiforbrug. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Lyngby, Meddelelse nr. 105, 1980.
- (2) Hansen, Klaus. Aktuelle byggerier. Byggeindustrien nr. 5, 1982.
- (3) Nielsen, Anker. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB1). Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Lyngby. Meddelelse nr. 3, 1980.
- (4) Andersen, Bo, m.fl. Vejrdata for VVS og energi. Dansk referenceår TRY, SBI-rapport 135, 1982.

SUMMARY

SBI-report 182: Windows as energy-collectors. Relationship between energy consumption area and orientation of windows

The purpose of the project was to investigate whether, as normally assumed, houses with a larger window area than corresponding to Building Code Requirements had a larger energy consumption when the occupants' use of the houses was taken into consideration. It was also investigated whether there was any difference in the energy consumption of identical houses with windows oriented north-south and east-west.

A planned terraced housing estate in Lyngby, Lystoftevænget, was found suitable for such an investigation. The estate consisted of 10 rows of 94 similar houses. There were four types of houses with 2 or 3 rooms. The houses were oriented so that the large windows facing the garden received direct sunlight from south or west.

The houses were heated from a small district heating plant on the estate. They were well-insulated, and their annual energy consumption for space heating was calculated to be between 6 and 8 MWh.

All the houses were equipped with an energy meter on which the thermal energy consumption was read month by month during two heating seasons, the first from October to May, and the other from November to May. The total consumption of electric energy of each house was also measured at the same time.

It was originally planned only to carry out measurements during one heating season. However, the thermal energy meters caused so many problems in the metering season 1982/83 that the results could not be used as basis for any reliable conclusions. Improvements were then made to the meters. This work ended on 1 November 1983, and a new series of measurements was carried out.

The 1982/83 measurements showed that the houses with windows facing north-south had a larger thermal energy consumption than those oriented

east-west, and that there was nothing directly indicating a relationship between the heat consumption and the window area.

The 1983/84 measurements were regarded as considerably more reliable than the previous measurements, and the results were subjected to thorough statistical analysis. This revealed a number of relationships, including those in which we were originally interested and others.

Although the houses with large window areas were found to use more thermal energy in the cold months, it was not possible to detect any increased energy consumption on an annual basis.

On the other hand, the electricity consumption in houses with a window area equal to 15 per cent of the floor area was greater than in corresponding houses with a larger window area, so no difference was found in the total energy consumption (thermal + electric energy) for houses with different window areas.

The investigation showed that the houses with windows facing east-west used less thermal energy than those oriented north-south: about 10 per cent on an annual basis, although about 20 per cent for January.

Of other relationships, the clearest was the effect of room temperature on the thermal energy consumption. For every °C by which the room temperature was increased, approx. 0.5 MWh more heat (6-8 per cent) was used. The analysis also showed that the room temperature increased with the number of occupants in the house.

The statistical analysis also showed that the areas and thermal insulation of the building components used were already so well-balanced that no single improvement in the thermal insulation of any component would significantly reduce the total energy consumption. The building components with the most important influence on the total energy consumption were the heavy brick gable wall and the heavy facade, while the windows and the light-weight facade came in second place.

Cold outside walls with a large thermal capacity inspire the occupants to heat their houses quickly. This may result in overheating of houses, with consequently larger heat loss and, in extreme cases, in opening windows to bring the temperature back to normal. Rapid heating with a large water consumption and small cooling in the radiator circuits is poorer energy economy than keeping a constant temperature of such magnitude that the walls do not get cold.

BILAG 1

RENSNING AF DATA

Rensning af data for åbenlyse fejl er foretaget efter følgende retningslinier:

1) Ved indlæsningen i databasen er variabelværdier kontrolleret ved hjælp af en samtidig indkodning af tilladte største- og mindsteværdier for den pågældende variabel. Værdier uden for det tilladte interval optræder i databasen som fejldata. Det samme gælder manglende ikke aflæste værdier. Antallet af fejldata for en variabel vil indgå i tabellering, men ikke i skøn over statistiske parametre som middeltal, varians mv.

2) Fra databasen er udskrevet 1-vejstabeller for frekvenser af tilladte variabelværdier samt frekvens (antal) af fejldata. Derefter er fejldata og tilladte variabelværdier uden for variabelgennemsnittet ± 2 gange standardafvigelse udskrevet pr. hus og pr. måledato, og data samt fejldata sammenlignet med de i måleskemaerne anførte værdier, og åbenbare fejlkodninger og fejlaflysninger er rettet.

For de successive målinger er der udskrevet tabeller for differenserne mellem disse, og tilsvarende retteprocedurer er anvendt.

I udskrifterne er der forekommet nogle registreringer af meget lavt eller intet energi- respektivt vandforbrug. Da dette oftest skyldes målersvigt, er målerne blevet udskiftet, og databasens værdi for den pågældende måler på det pågældende tidspunkt er blevet erstattet med startværdien for den nyinstallerede måler. Ved udskrivninger af tabeller for periodeforbrug er "negative forbrug" - fremkommet på grund af målersvigt og påfølgende målerudskiftning - erstattet med fejldata. Det skal bemærkes, at 1-vejstabellerne for energiforbrug ved χ^2 -test viste en signifikant høj værdi for forekomst af decimalværdier med endetallene 9 og især med 69, hvorfor alle sådanne værdier er blevet udskrevet efter husnummer og undersøgt for mulig sammenhæng med ekstremt lave forbrug, dvs. muligt målersvigt, og accepteret eller erstattet med fejldata.

Den reelle årsag til de fleste fejldata er, at aflæsningerne ikke er foretaget på grund af hunde i lejlighederne. Endvidere har indetemperaturmålinger 1/2-83 været hæmmet af fejl på måleudstyr.

BILAG 2

SKYGGEFORHOLD I BEBYGGELEN LYSTOFTEVÆNGET

Der blev den 3. oktober 1985 i tidsrummet kl. 14.30 - 15.30 foretaget en vurdering af skyggeforholdene i bebyggelsen. Der var på dette tidspunkt klart solskin på stedet.

Skyggevirkninger fra den nærliggende skov og skyggevirkninger fra andre huse blev bedømt efter følgende skala:

0: Ingen skygge

1. Lidt skygge fra andre huse eller skov

2. Nogen skygge fra andre huse eller skov

3. Skygge fra skov.

Hvis forholdene veksler inden for samme blok, betegnes den fx 0/1 svarende til, at der ikke er nogen skygge på den ene halvdel og kun lidt på den anden halvdel.

Skyggeforholdene fremgår af nedenstående tabel:

Blok nr.	Orientering	Antal huse	Vinduesareal referencepct.	Skyggegrad
1	nord-syd	6	15	3/2
2	øst-vest	12	15	3/2
3	nord-syd	6	15	3/1
4	øst-vest	10	15	2
5	øst-vest	12	15	0
6	øst-vest	12	15	2
7	øst-vest	14	22½/30	0
8	nord-syd	6	15	0/1
9	nord-syd	6	30	1
10	nord-syd	10	22½	0

Ved samtaler med forskellige beboere fremgik det, at selvom solen skinne- de meget på de øst-vest vendte blokke 5 og 7, blæste det tillige ofte meget i haverne. Hækkene var lavere end de øvrige hække i bebyggelsen.

Beboerne i de øst-vest vendte blokke bemærkede og satte stor pris på morgen- og formiddagssolen, der kom ind gennem de østvendte vinduer og tilførte husene en del varme.

Beboerne i de nord-syd vendte blokke fik kun sol ind gennem de sydvendte vinduer, de havde ikke sol om morgenen. Solen var der dog det meste af da-

gen, og når den forsvandt, var det ikke på grund af skyggevirkningen fra de andre huse.

Ud fra tabellen kan den gennemsnitlige skyggegrad pr. hus udregnes til 1,1 for de nord-syd orienterede huse og 1,2 for de øst-vest orienterede huse.

Der er således intet, der tyder på, at skyggeforholdene influerer på det opnåede resultat, der for denne rækkehusbebyggelse er, at de øst-vest orienterede huse har et mindre energiforbrug end de nord-syd orienterede huse,

BILAG 3

BASISSTATISTIK

Dette bilag omfatter beskrivelser af de indgående variable i undersøgelsen. Disse beskrives ved 1-vejsfordelinger, som er fordelinger, der angiver hyppigheden af forekomsten af enkelte værdier eller grupper af værdier af en variabel.

Nogle af de uafhængige variable såsom vinduesareal, orientering og bygningsdele, udgør en beskrivelse af undersøgelsens baggrundsparetre (prædiktorer), mens temperaturen er et eksempel på en uafhængig variabel, der ikke er prædikator.

Uafhængige variable

Målingerne dækker 94 huse. Fordelt efter lejlighedsstørrelse og beliggenhed er der 20 2-rums gavlhuse, 31 2-rums mellemliggende huse, 24 3-rums mellemliggende huse og endelig 19 3-rums mellemliggende huse. Husene kan også inddeles efter vinduesareal, idet ialt 64 huse har ca. 15 pct. vinduesareal, 16 huse ca. 22 pct. vinduesareal og 14 huse har ca. 30 pct. vinduesareal. 34 huse er orienteret nord-syd, og 60 huse er orienteret øst-vest. (Se tabel 9, side 27).

Antallet af beboere er i gennemsnit 2,2 beboer pr. hus varierende fra 1 til 5. 63 huse - dvs. 2/3 - bebos af 2 personer.

Rumtemperaturmålingerne er foretaget samtidig med de øvrige aflæsninger og foreligger derfor 1 gang pr. måned.

Dato	Middeltemperatur °C	Variationsområde	Antal målinger	Bemærkninger
1/12-83	17	15 - 18	8	Fejl på måleudstyr
2/1-84	20,5	17 - 23	88	1 enkelt på 13 °C
1/2-84	21,0	17 - 23½	86	
1/3-84	20,0	16,5 - 22½	81	
2/4-84	21,0	17 - 24	86	
30/4-84	22,0	19 - 25	87	

Tabel 3.1. Rumtemperaturer.

I tabel 3.1 er vist en oversigt over de målte rumtemperaturer.

Øvrige uafhængige variable, der er registreret, er: Åbne inderdøre i husene, tildækkede vinduer og graddøgntal.

Afhængige variable

Der er målt 3 afhængige variable, nemlig elforbrug, vandforbrug i radiatorkredse og varmekonsum.

Måleresultaterne for disse 3 størrelser foreligger som punktvis aflæsninger 1 gang månedligt. Periodeforbrug er udregnet som differenser.

Måleresultaterne fremgår af tabel 3.2-3.4.

Periode	Elforbrug Gennemsnit, kWh	Variationsområde	Antal
Nov. 83	150	90 - 180	9
Dec. 83	160	120 - 210	9
Jan. 84	160	100 - 280	15
Feb. 84	150	70 - 290	12
Marts 84	160	90 - 320	11
April 84	120	70 - 200	13
1/11-83 - 1/5-84	990	570 - 1870	90

Tabel 3.2. Elforbrug.

Periode	Vandforbrug Gennemsnit, m ³	Variationsområde	Antal
Nov. 83	65	10 - 200	82
Dec. 83	70	7 - 220	79
Jan. 84	60	15 - 190	66
Feb. 84	60	9 - 170	71
Marts 84	60	7 - 180	69
April 84	40	1 - 150	77
1/11-83 - 1/5-84	355	100-950	86

Tabel 3.3. Vand gennem radiatorkredse.

Periode	Energiforbrug Gennemsnit, MWh	Variationsområde	Antal
Nov. 83	0,5	0,1 - 1,0	82
Dec. 83	0,7	0,1 - 1,7	82
Jan. 84	0,7	0,1 - 1,4	70
Feb. 84	0,7	0,1 - 1,4	71
Marts 84	0,6	0,1 - 1,3	74
April 84	0,3	0 - 0,8	80
1/11.83 - 30/4.84	3,5	0,7 - 7,0	91

Tabel 3.4. Varmeforbrug.

BILAG 4

MULTIPEL REGRESSION

Multipel regression baseres ligesom andre regressionsammenhænge på en matematisk model, hvor den afhængige variabel (her energiforbrug til boligopvarmning) forklares gennem en (lineær) sammenhæng med de uafhængige variable.

Modellen for sammenhængen kan skrives som

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Ved at anvende en trinvis beregning kan de uafhængige variable trækkes ind i modelligningen i rækkefølge, således at den variabel, der forklarer mest af den uafhængige variabels variation indgår først i ligningen.

Hvis denne rækkefølge $x_1, x_2, x_3 \dots$ følges, bliver første regressionsligningstrin

$$y = b_0 + b_1x_1$$

andet trin $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$ etc.

For hver ny indgående variabel undersøges det, om variationen af

$y_{\text{observeret}} - y_{\text{beregnet}}$ reduceres signifikant.

Desuden om faktoren b_1 afviger signifikant fra nul, og endelig angives hvor stor procentdel af y 's variation, der forklares ved regressionsligningen til og med det i 'te trin.

Et stort antal sammenhænge er undersøgt, og i det følgende vil blive gennemgået eksempler på multipel korrelation for nogle af de indgående afhængige variable.

Det gennemsnitlige varmeforbrug pr. måned beregnet i MWh er en sådan afhængig variabel (y).

Som uafhængige variable (x_1) indgår temperatur i $^{\circ}\text{C}$, klimaskærme i m^2 og orientering nord-syd (=1) og øst-vest (=2).

De forskellige x_1 værdier benævnes således:

Murgavl:	Mrg
Tung facade:	Tgf
Let havefacade:	Ltf
Vinduer:	V
Rumtemperatur:	RTjan, RTfeb. osv.
Antal beboere:	B
Orientering:	Ort

Udelader man rumtemperaturen fås som første regressionstrin:

$$y = 0,0020 \text{ Mrg} + 0,539$$

der forklarer 4 pct. af totalvariationen for y ,

og som andet trin:

$$y = 0,0020 \text{ Mrg} - 0,035 \text{ Tgf} + 0,585$$

der forklarer 6 pct. af totalvariationen.

Medtages rumtemperaturen fås som første regressionstrin:

$$y = 0,053 \text{ RT}_{\text{jan}} - 0,521$$

der forklarer 16 pct. af totalvariationen,

og som andet trin:

$$y = 0,057 \text{ RT}_{\text{jan}} - 0,066 \text{ B} - 0,456$$

der forklarer 21 pct. af totalvariationen,

og som tredje trin:

$$y = 0,054 \text{ RT}_{\text{jan}} - 0,065 \text{ B} + 0,0021 \text{ Mrg} - 0,431, \quad (1)$$

der forklarer 25 pct. af totalvariationen.

Anvendes denne sidste ligning til beregning af det forventede gennemsnitlige månedlige varmeforbrug, fås ved indsættelse af gennemsnitsværdierne for de indgående variable nemlig middeltemperaturen i januar måned $20,3^{\circ}\text{C}$, det gennemsnitlige antal beboere 2,2 og det gennemsnitlige murgavlareal 16 m^2 ,

$$y = 0,054 \cdot 20,3 - 0,065 \cdot 2,2 + 0,0021 \cdot 16 - 0,431 = 0,556 \text{ MWh.}$$

Ønskes et overslag over det forventede totale forbrug anslået for et bestemt hus, indsættes huskonstanterne for det pågældende hus i regressionsligningen, og resultatet multipliceres med 6, der er antallet af måneder, hvori der er målt.

Det forventede forbrug kan også sammensættes af forbruget måned for måned ud fra regressionslinierne for de månedlige forbrug.

Som eksempel fås for november måned:

$$Y_{\text{nov}} = 0,042 RT_{\text{jan}} + 0,0027 Mrg - 0,394,$$

hvor de successivt indgående variable forklarer samlet hhv. 12 pct. og 19 pct. af totalvariationen, og for februar

$$Y_{\text{feb}} = 0,019 RT_{\text{jan}} + 0,019 RT_{\text{marts}} + 0,0033 Mrg + 0,089 V - 0,082 B + 0,047 RT_{\text{feb}} + 0,113 Ltf - 1,717.$$

Herved forklares ialt 34 pct. af totalvariationen.

Udelades rumtemperaturerne fås for december:

$$y = 0,090 Ltf - 0,084 Ort + 0,68$$

herved forklares successivt 3 pct. og 5 pct. af totalevariationen.

For januar fås:

$$y = 0,146 Ort + 0,892$$

der forklarer 7 pct. af totalvariationen.

Vandforbrug

For vandforbruget, der måles i m³, kan sammenhængen med de målte variable udtrykkes ved:

$$Y_{\text{dec}} = 0,96 Mrg + 9,9 RT_{\text{jan}} + 4,0 RT_{\text{feb}} - 17,1 Ltf + 8,7 Tgf - 223$$

der forklarer successivt 24-, 36-, 38- og i alt 42 pct. af totalvariationen.

For middelvandforbruget fås ved udeladelse af rumtemperaturerne:

$$y = 1,06 Mrg + 11,2 B + 12,1 Tgf - 15,7 Ltf + 36$$

der forklarer successivt 19-, 24-, 27- og 29 pct. af totalvariationen.

Sammenfatning af regressionerne

Det skal bemærkes, at regressionerne her højst forklarer omkring 30-40 pct. af den totale variation.

Der kan derfor for de individuelle huse være betydelig forskel på de reelt konstaterede forbrug og de forventede forbrug beregnet ud fra regressionsligningerne.

Når indetemperaturen ikke tages med i analysen, forklarer regressionen næsten ikke variationen i varmeforbruget (max 6-8 pct. forklaret variation). Dette tyder på en tilstrækkelig og ensartet isoleringsevne for de enkelte bygningselementer.

Tages indetemperaturen med forklares op mod 20 pct. af variationen i energiforbruget, og murgavlareal øger forklaringen til ca. 25 pct.

Det samme billede tegner sig, hvis de enkelte måneders energiforbrug analyseres.

Indetemperaturen indgår som første variabel, og murgavlareal, vinduesareal og tung og let facade supplerer den forklarede variation fra 20 pct. til op mod 30 pct.

Af den trinvis multiple regression for vandforbruget ses det, at det er de tunge ydervægge, murgavl og tung havefacade, der er de dominerende, altså tunge ydervægge med stor varmekapacitet. Stort vandforbrug tyder på ønsket om hurtig opvarmning. Her er antal beboere med positivt fortegn. Jo flere beboere, jo større chancer for at der er en utålmodig iblandt.

Selv om antal beboere ikke bidrager væsentligt til reduktionen i variationen, er det karakteristisk, at denne variabel altid indgår med negativt fortegn, altså bidrager til den indvendige opvarmning.

Vinduesarealet indgår ikke som uafhængig variabel i regressionen for middelvarmeforbruget, men for februar måned indgår det med faktoren på 0,089, hvilket svarer til, at en forøgelse på 1 m² vinduesareal vil give et merforbrug på 0,089 MWh i den pågældende måned.

Ved den direkte sammenligning af middelforbruget for nord-syd med øst-vest orienterede huse er der ikke taget hensyn til, at der i nord-syd gruppen procentvis findes flere gavlhuse, dvs. huse med hele eller halve gavle, se figur 4. Det gennemsnitlige gavlareal er 18,1 m² for nord-syd gruppen mod 12,0 m² for øst-vest gruppen. Forskel i gennemsnitsareal er således 6,1 m².

Indsættes dette i ligning (1) for varmeforbruget på side 45, fås et forventet gennemsnitligt merforbrug for de nord-syd orienterede huse på 0,0122 MWh. Herved reduceres signifikansniveauet for testen af forskellen mellem de 2 gruppers middeltal (0,624 - 0,012 MWh for nord-syd gruppen og 0,523 MWh for øst-vest gruppen) fra 95 pct. til 90 pct.

Hvis rumtemperaturerne undertrykkes, indgår orientering som uafhængig variabel for varmeforbruget i december og januar, og der kan her forudsiges en energibesparelse for de øst-vest orienterede huse på hhv. 0,08 MWh og 0,14 MWh svarende til 10-20 pct. af månedsforbruget.

Denne rapport beskriver en undersøgelse af, hvorledes energiforbruget i en rækkehusbebyggelse er afhængig af vinduesarealernes størrelse og orientering samt beboervanerne. Undersøgelsen viser bl.a., at huse med øst-vest orienterede vinduer har et mindre energiforbrug end tilsvarende huse med nord-syd orienterede vinduer i den pågældende bebyggelse. Det har ikke kunnet påvises, at større vinduesareal medfører et øget energiforbrug. Rapporten henvender sig til bygningsmyndigheder, planlæggere og projekterende. Undersøgelsen er finansieret af Byggeriets Udviklingsråd.