

PROJEKTRAPPORT

Indeklimamålinger i seks lavenergihuse

Energispareprojekt EM2/0020 (17-63)

projekt IIb



Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet, Universitetsparken, 8000 Aarhus C.

Feb. 1985

Indeklimamålinger i seks lavenergihuse.

178

Arhus Feb. 1985

Lars Mølhave

Ib Andersen

Gunnar R. Lundqvist

Forord

I 1978 færdiggjordes seks lavenergihuse i Hjortekærparken ved Dth, Lyngby. Disse huse var ubeboede i det første år af hensyn til gennemførelsen af andre tekniske målinger af energiforbrug m.v. I dette tidsrum var det muligt tillige at undersøge indeluftforureningen (det atmosfæriske indeklima) i de færdige boliger uden at dette blev påvirket af beboere og møbler. Til dette formål bevilligedes støtte fra Handelsministeriets energisparebevillinger (projekt EM2/0020 (17-63) delprojekt IIb).

Projektet blev ledet af og udført fra Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet, i samarbejde med laboratoriet for varmeisolering, Dth, Lyngby, som havde stået for opbygningen af lavenergihusene. Projektgruppen bestod af følgende fra Hygiejnisk Institut:

Lars Mølhav, Lektor, Lic.med. (projektleder)

Ib Andersen. Lektor, dr.med. (nu: Arbejds miljøinstituttet)

Gunnar R. Lundqvist, Lektor

Fra Laboratoriet for varmeisolering deltog:

Mogens B. Byberg, Civ.ing., lektor.

Indholdsfortegnelse	Side
Forord	3
Indholdsfortegnelse	4
Kap. I Indledning	5
Kap. II Materiale & Metode	7
a. De seks lavenergihuse i Hjortekær	7
b. Målingernes tilrettelæggelse	8
c. Målemetoder, måleprogrammet	8
Kap. III Resultater	12
a. Måleomstændigheder	12
b. Forekomsten af gasser og dampe	12
c. Subjektive vurderinger af indeklimaet	13
Kap. IV Diskussion	15
Kap. V Konklusion	20
Sammenfatning	21
Abstract	23
Litteratur	25
Tabeller og figurer	28
Bilag 1: Husoversigter.	

Kap. I Indledning

Indeklimagener er i dag så udbredte, at WHO (1) har fundet anledning til at definere begrebet "The sick building syndrome" (de syge bygningers syndrom). De gener og sundhedseffekter, som indgår i dette syndrom (tabel 1) består af en række luftvejssymptomer, irritation i øjne, hudirritation, hovedpine samt en række mere uspecifikke reaktioner.

Det er i dag ikke afklaret, i hvor høj grad disse symptomer har samme årsag. Ligeledes er det uvist, om den enkelte gene er resultatet af en enkelt påvirkningstype eller skyldes flere forskellige samtidige påvirkninger, som gør, at generne ikke forsvinder, selv om én af flere årsager identificeres og fjernes.

Givet er det, at der er udbredte gener i nye eller nyrestaurerede bygninger, og at de mest udbredte gener er irritation i de øvre luftveje og i øjne. Disse gener minder påfaldende om generne hos mennesker, som bliver påvirket af irriterende gasser og dampe, og de er især blevet udbredt samtidig med, at vore bygge- og boligvaner er blevet ændret i en retning, som fremmer forekomsten af sådanne stoffer i indemiljøet. Således er en række nye stoffer og materialer taget i anvendelse, og vi bestræber os stadig på at opnå en minimumsventilation ved bl.a. at gøre boligerne mere tætte.

Formaldehyddampe er et kendt eksempel på denne problematik. Formaldehyd hører til blandt de ti mest anvendte kemikalier i industrien. Samtidigt er stoffet mange gange mere biologisk virksomt end de fleste af de øvrige organiske stoffer, som anvendes i industrien, og endelig er anvendelsesområdet for formaldehyd særdeles bredt.

Formaldehyd er således karakteriseret ved en stærk påvirkning af den menneskelige organisme, et stort forbrug, og en meget stor udbredelse i bygningsmassen. Disse tre ting tilsammen har gjort, at formaldehyd indtager en særstilling, og det er det eneste stof, for hvilket der er særlige regler for dets forekomst (2). Disse regler har da også resulteret i, at formaldehydkoncentrationerne i dag er væsentlig lavere i moderne byggeri, end de var for år tilbage (3).

Det har vist sig, at en stor del af klagerne over irritation i luftveje og i øjne forekommer i bygninger, hvor formaldehydkoncentrationen er ubetydelig, og hvor ventilationsanlæggene er fuldt på højde med den gældende tekniske standard. Spørgsmålet er derfor, om disse irritationsgener er udløst af andre irriterende stoffer i luften.

En væsentlig forudsætning for i energispareøjemed at have lave luftskifter i bygninger er, at afgasningen fra byggematerialerne er så begrænset, at generende eller sundhedsskadelige koncentrationer ikke opbygges, og at lugtindtrykket ikke når en styrke, som medfører sanitære ulemper. For at belyse disse sammenhænge besluttede indeklimatekretariatets styringsgruppe at anbefale iværksættelse af en række sundhedsmæssige undersøgelser i forbindelse med energispareforanstaltninger på ventilationsområdet, herunder bl.a. at undersøge forekomsten af baggrundsforureninger fra byggematerialer.

I Danmark blev der i sept. 1978 færdiggjort seks lavenergihuse ved Dth. Husene repræsenterede den nyeste viden om byggeteknik og materialer og udgjorde derfor en interessant mulighed for at undersøge indeklimaet i fremtidige boligtyper. Ingen af husene var møblerede eller beboede det første år, hvorfor der i dette tidsrum kunne opnås viden om afgasningen fra byggematerialer og fast inventar gennem et helt år. Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet (HI), havde tidligere foretaget analyser af luftkvaliteten i Nulenergihuset ved Dth (4) og tilsvarende teknik ønskedes anvendt ved undersøgelser af de seks nye lavenergiboliger. Resultatet af disse målinger beskrives i nærværende rapport.

Kap. II Materiale og metode

De seks lavenergihuse i Hjortekær

Forskningsprojektet, som støttedes af Energiministeriet, omfattede seks typehuse med lavt energiforbrug. Husene er opført som prototyper. De er beliggende i Hjortekær, nord for København, og er opført i 1978/79, således at fem huse stod færdige i første uge af september 1978 og ét medio marts 1979.

Byggeprojektets hovedformål var at demonstrere, at det er muligt at bygge enfamiliehuse med et lavt energiforbrug til opvarmning, ventilation og varmt brugsvand uden at dette medfører nogen reduktion af beboernes komfortniveau.

Husene blev opført i samarbejde mellem private, aktive firmaer inden for byggesektoren og Laboratoriet for Varmeisolering (L.f.V.), DtH. Firmaerne blev samlet i grupper om de enkelte huse med ét firma fra hver gruppe som bygherre. De seks lavenergihuse blev konstrueret så forskelligt som muligt, både hvad angår bygningskonstruktioner og energisystemer.

En tidligere projektrapport (5) beskriver, hvorledes og under hvilke forudsætninger dette samarbejde blev etableret, beskriver konstruktionerne og giver en omtale af energisystemerne.

Projekteringsforudsætningerne, formuleret som krav til husene, var foruden lavt energiforbrug krav og stor lufttæthed også et kontrollet friskluftskifte. De seks huse var konstrueret under hensyntagen bl.a. til følgende generelle krav:

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

Det kontrollerede friskluftskifte skal være ca. $200 \text{ m}^3/h$.

Rumtemperaturen skal i opholdsrum ligge mellem 21 og 26°C i dagtimerne i varmesæsonen, og rumtemperaturen skal i hvert rum for sig kunne sænkes i natterne.

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

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

I juni 1979 var husene åbne for publikum i ti dage. Til denne udstilling forelå en kortfattet beskrivelse af husene (6) samt en beskrivelse af udstyret til en simuleret beboelse (se nedenfor) og et resumé af de første fem måneders energimålinger i de første fem huse (7).

De kortfattede husbeskrivelser er vedlagt som bilag 1, og de væsentligste bygningsdata er resumeret i tabel 2A og B.

Målingernes tilrettelæggelse

Målingerne i det enkelte hus blev i alle tilfælde foretaget i samme rum. Målerummet var et mindre værelse eller kammer (i hus D soveværelset). Samtlige rum var færdige fra håndværkernes side, men var umøblerede bortset fra faste skabe. Tabel 2 resumerer rummenes indretning og materialer.

Som forberedelse til målingerne fjernedes alt uvedkommende fra rummet, hvorefter døre, vinduer og eventuelle manuelt betjente ventilationsriste lukkedes, således at rummet i mindst 12 timer kunne tilnærme sig en indeklimatisk ligevægt. Samtidig med de her omtalte målinger foregik et andet måleprogram angående energiforbrug etc. (8). Der kunne derfor ikke foretages indgreb i luftens fugt- og temperaturforhold, men disse blev løbende registreret. I hele måleperioden foregik en simuleret beboelse i henhold til den tekniske forsøgsplan, således at der fra varmelegemer sket en energitilførsel svarende til 4 personer.

Samtidig med målingerne i det enkelte rum foretoges baggrundsmålinger af de tilsvarende størrelser i udemiljøet. Prøvetagningspunktet valgtes om muligt mere end 5 m borte fra bygningen i vindsiden.

Målemetoder, Måleprogrammet

Måleprogrammet omfattede fem besøg i husene i perioden 20/5-1979 til 1/4-1980. Ved første og sidste undersøgtes samtlige 6 rum, mens de tre mellemliggende besøg kun omfattede husene B og F. Tabel 3 viser en oversigt over måletidspunkterne. Formålet med undersøgelserne af samtlige seks huse var at belyse

betydningen af de forskellige materialeanvendelser og byggemetoder for indeklimaet i de seks huse. Formålet med de konsekutive målinger var at belyse ældningens betydning for indeklimaforholdene. Som de to huse udvalgte de to der ved det første besøg viste størst og mindst indhold af organiske gasser og dampe.

Et sæt målinger i ét rum omfattede målinger af lufttemperatur og luftfugtighed med termohygrograf samt ventilationsmålinger ved udspædningsforløbet for en radioaktiv sporgas (Kr-85). Ventilationsmålingerne foregik som de øvrige målinger i et aflukket rum (lukkede døre, vinduer etc.). Det målte luftskifte er således summen af friskluftskifte gennem ventilationssystemet og udveksling af luft med naborum gennem sprækker, revner m.v. Herudover gennemførtes målinger af forekomsten af organiske gasser og dampe af opløsningsmiddeltypen, herunder også formaldehyd, samt bestemmelse af luftens lugtstyrke.

Forekomsten af gasser og dampe målt med kulrørsmetoden (9). Prøvetagningen foregik ved, at adsorptionsrør indeholdende to sektioner á 200 mg aktivt kul eksponeredes med rumluft eller udeluft. Til dette formål anvendtes to prøvetagningsudstyr med indbyggede tidsure og flowkontrol, som muliggjorde samtidig eksponering af flere adsorptionsrør med forskellige flow- og luftvolumener. Et sæt adsorptionsrør blev gennemstrømmet enten af en 10 og en 100 liter eller af en 100 og en 1000 liter luftprøve afhængig af erfaringerne fra målingerne under første besøg. Prøvetagningstiden var 24 timer for 1000 og 100 liter prøver og tre timer for 10 liter prøver (0,69 l/min og 0,056 l/min). Resultatet af en analyse angives som mængden af hver enkelt stof samt den stoftotale mængde. Den anvendte kulrørsmetode er beskrevet i ref. 9, hvor detektionsgrænsen for traditionelle organiske opløsningsmidler er anslået til ca. $0,005 \text{ mg/m}^3$ (20 PPB).

Detektionsgrænsen øges stærkt for særligt flygtige gasformige stoffer og for stoffer med højt kogepunkt. Stoffer med kemisk reaktivitet og høj polaritet kan ikke påvises med metoden. I et interkalibreringsprogram (10) er nøjagtighed og reproducerbarhed under ugunstige omstændigheder estimeret til at være ca. 30%.

Kulrørsanalyser giver totalkoncentrationer i mg/m^3 som summen af de målte enkeltstoffers koncentration. Blandt de mulige fejlkilder, er, at samtlige analyser blev gennemført i én analyseproces. Herved opnås en ensartet analyse, men til gengæld har de eksponerede kulrør været lagret ved -20°C i forskellige tidsrum. Effekten heraf er ukendt. En yderligere fejlkilde ligger i detek-

tionsgrænsen for enkeltstoffer, som gør, at ved forekomsten af et bredt spektrum af stoffer i små koncentrationer vil mange heraf ikke blive påvist og derfor ikke bidrage til den målte totalkoncentration. På grund af deres små koncentrationer har de enkelte stoffer dog kun mindre indflydelse på totalkoncentrationen.

Formaldehydkoncentrationen i rummene målt med chromotropsyremetoden (11), idet 50 liter luftprøver opsamledes i 25 ml 1% Natriumbisulfit-opløsninger.

Med en teflonmembranpumpe førtes et overskud af luft enten fra prøverummet eller fra udeluften til et naborum i huset. Denne luftmængde blev brugt til lugtbedømmelse udført af et panel. Bestemmelserne skete i et naborum, som ventileredes f.eks. ved gennemtræk, og lugtprøverne præsenteredes for panelpersonerne gennem glastragte med en lufttilgang på 3 l/min af samme art som ved karrusel og triangel målingerne (se nedenfor). Bedømmelse af lugtstyrke og karakter foretoges af et fast lugtpanel i alderen 18 til 50 år og med lige fordeling på hvert køn. Panelet var frivillige blandt de ansatte på laboratoriet for varmeisolering. Følgende vurderingsmetoder anvendtes:

- a) "Dynamic 1-Butanol reference scale", ref. 12 (karrusel).
- b) "Dynamic Triangle olfactometer", ref. 12 (Triangel).
- c) Verbal lugtbeskrivelse ved spørgeskema, ref. 13.
- d) Genebedømmelse ved spørgeskema.

De tre førstnævnte metoder er beskrevet i litteraturen. Geneskemaerne omfattede fire spørgsmål om svien, irritation eller tørhed i øjne, i næse, i svælg eller svien i de nedre luftveje samt spørgsmål om hoste, hovedpine, påvirkethed, svimmelhed eller kvalme. Svarene var enten "ingen gener", "gener" og i sidstnævnte tilfælde skulle man markere genestyrken på en 25 mm linie med endepunkterne benævnt ingen gener og stærke gener. Skemaet er tidligere anvendt ved laboratorieundersøgelser (14).

Panelets subjektive vurderinger af lugtstyrke og gener fra forskellige luftprøver kan ikke umiddelbart forventes at være proportionale med totalkoncentrationen af stof i luften. Dette skyldes dels, at den subjektive fornemmelse ikke kan forventes at være proportional med stoffets koncentration (12) og dels, at forskellige luftprøver indeholder forskellige mængder af lugtstoffer og/eller irriterende stoffer. Endeligt kan stofspektret som følge af forskellige fordampningshastigheder ændre sig med tiden, hvorved lugtkarakteren i samme rum bliver forskelligt (14).

Ved sammenligning mellem de fire subjektive målemetoder må det erindres, at disse angiver forskellige kvaliteter ved luften. Referenceskala målinger angiver en lige så stærkt lugtende koncentration af et referencelugtstof og kan således især anvendes ved intensitetssammenligninger.

Triangle-olfaktometret angiver, hvor mange gange en luftprøve skal fortyndes for ikke at kunne lugtes. Forskellige lugtstoffers lugtintensitet stiger ikke lige hurtigt ved samme koncentrationsforøgelse. Identiske triangelmål er derfor ikke ensbetydende med lige stærk lugtstyrke. Dette mål er derfor især af betydning for beregninger af nødvendige ventilationsniveauer.

Vurderinger med Harper-skemaer giver et mål for den lethed, hvormed lugten beskrives verbalt og er derfor ikke et egentligt lugtintensitetsmål, selvom en korrelation er påvist i tidligere undersøgelser (13). Genevurderingerne omfatter spørgsmål om slimhindeirritation, disse sanseindtryk opfattes af den femte kranienerve (trigeminus) og er uden direkte tilknytning til lugtindtrykket, der opfattes af den første kranienerve (olfactorius).

Kap. III Resultater

Måleomstændigheder

Målingerne gennemførtes som planlagt med fem besøg i Hjortekær. Tidsrummet for målingerne fremgår af tabel 3. Eneste afvigelse fra måleprogrammet var, at hus B ved fjerde besøg var under reparation efter en vandskade, hvorfor målingerne i dette hus ved denne lejlighed måtte aflyses.

Udeklimaet blev registreret under hvert besøg, og de gennemsnitlige resultater i hver måleperiode er anført i tabel 4, hvoraf det fremgår, at temperatur og luftfugtighed dækkede det interval, som kan forventes i et dansk klima. Vindhastigheden var dog i snit lavere end 1 m/sec., hvorfor vindtrykket kun har haft ringe betydning for ventilationen i målerummene, især når husenes store egentæthed tages i betragtning.

Indeklimaet er resumeret i tabel 5. På grund af et defekt måleudstyr måtte resultaterne fra første besøg i de seks huse forkastes. Lufttemperaturen var ved de øvrige besøg i gennemsnit $24,7 \pm 3,0^\circ\text{C}$, hvilket er højere end det normalt anbefalede for boliger. Luftfugtigheden varierede fra 4,1 til 8,9 g/kg med et gennemsnit på $5,9 \pm 2,0$ g/kg.

Ventilationen i det enkelte rum varierede som vist i tabel 6 fra 0,79 til 2,92 luftskifte pr. time. Mest stabil var ventilationen i hus C (relativ standard deviation RSD = 7%), mens størst variation fandtes i hus D (RSD = 13%). Til sammenligning er i tabellen anført ventilationen målt for hele bygningen (15). Det ses, at der er god overensstemmelse for hus A, D og E, mens der i hus B og E konstateredes væsentlig større luftskifte i det undersøgte rum end for bygningen som helhed. I hus C var rummets luftskifte lavere end bygningens luftskifte.

Forekomsten af gasser og dampe

I gennemsnit påvistes 14 stoffer i hver luftprøve fra de seks rum. Variationsintervallet var fra nul til 30 som vist på fig. 1. Ialt identificeredes 23 forskellige kemiske stoffer ved navn som vist i tabel 7, der tillige viser stoffernes gennemsnitlige og højeste koncentration, påvisningsfrekvensen samt

i hvilke huse, de enkelte stoffer blev påvist. Toluen og alfa-Pinene påvistes hyppigst i fem af seks huse. De højeste enkeltkoncentrationer fandtes for toluen efterfulgt af trichlorethan, mens undecan havde størst middelkoncentration blandt de stoffer, som påvistes i mere end et rum. Tabel 8 viser fordelingen på fire kemiske hovedgrupper af de stoffer, som påvistes i de enkelte rum. For samtlige rum under ét ses stofferne at fordele sig ligeligt på de fire stofgrupper alkaner, aromater, terpener og gruppen "andet". Antallet af enkeltstoffer, som blev påvist i de enkelte rum, er for lille til, at en egentlig statistisk analyse kan foretages. Dog synes hus A at mangle stoffer fra gruppen "andet" i modsætning til hus B, som synes at have en større andel af disse stoffer. I hus C optræder aromater ikke, og alifaterne er overrepræsenteret. De tre andre huse afviger ikke væsentligt fra totalgennemsnittet.

De identificerede stoffer udgjorde en varierende andel af totalkoncentrationen i mg/m^3 . Tabel 9 giver en oversigt over den andel, som identificeredes i hver af de 17 luftprøver. I gennemsnit identificeredes 55% af stofmængden varierende fra nul til 93%. Da detektionsgrænsen for identifikation ved navn er større end detektionsgrænsen, var identifikationsgraden størst i den første måleserie (gennemsnit 72%), og aftog i de efterfølgende serier eftersom totalkoncentrationen aftog med tiden (se senere). Den procentvise fordeling af de påviste totalkoncentrationer er vist på figur 2. Det geometriske gennemsnit var $0,46 \text{ mg/m}^3$ for de 17 luftprøver, som lå i intervallet 0,032 til $5,5 \text{ mg/m}^3$.

Totalkoncentrationen i det enkelte rum aftog systematisk med tiden som vist i figur 3. Ses bort fra de forskellige udgangskoncentrationer, var ændringshastigheden for fem af rummene af samme størrelsesorden, mens koncentrationen var konstant i hus E. Indtegnes de bedste rette linier under antagelse af en eksponentiel aftagning, findes de halveringstider for totalkoncentrationen, som er anført i tabel 10. Gennemsnittet (excl. hus E) var 112 dage (SD: 49), og variationen var fra 63 til 187 dage.

Formaldehydkoncentrationen i de seks rum målt ved det første besøg til at være mindre end $0,02 \text{ mg/m}^3$ svarende til udeluftniveauet. Der blev derfor ikke foretaget yderligere målinger af formaldehyd.

Subjektive vurderinger af indeklimaet:

Lugtstyrken udtrykt i ækvivalent Butanol-koncentration (KARU) varierede fra hus til hus og aftog gennem forsøgsperioden for alle huse exclusive B og nåede

efter 320 dage baggrunds niveauet. Målingerne fulgte, som det ses af fig. 4, hverken et lineært eller et eksponentielt forløb, og en halveringstid er derfor ikke udregnet. Kun for hus B og F er gennemført flere end to målinger. Disse huse er meget forskellige, idet lugten i hus B var konstant og større end baggrunden, mens lugtstyrken i hus F startede på et højt niveau for efter 100 til 150 dage at nå baggrunds niveauet ($7,4 \pm 3,5$).

Det nødvendige antal fortyndinger (Triangelmåling) var forskellig fra hus til hus. Det aftog for alle målinger og havde efter 320 dage nået baggrunds niveauet (274 ± 111). Hus B og F, for hvilke mere end to målinger foreligger, viste samme lugtstyrkeniveau. Også her nåedes baggrunden efter ca. 150 dage.

Målingerne af lugtstyrken med Harper skema varierede ikke systematisk med tiden, og baggrundsmålingerne viste overordentlig stor variation. Det kan konkluderes, at disse målemetoder ikke er egnede under feltforhold. Dette gjaldt tillige for accepterbarhedsmålingerne, hvor dog samtlige huse excl. F vurderedes positivt, mens vurderingerne i hus F gennemgående var negative.

Målingerne af gener varierede ikke systematisk med tiden og afveg ikke fra baggrundsmålingerne.

Kap. IV Diskussion

De undersøgte eksperimentelhuse blev bygget med henblik på almindelig beboelse. Ved konstruktionen er tilstræbt, at der indhøstes erfaringer angående fremtidig byggeteknik og nye materialer. Derfor indeholder alle husene utraditionelle byggedetaljer som redegjort for i ref. (5). Det var formålet med nærværende undersøgelse at vurdere, om disse bygningsdetaljer har betydning for forekomsten af organiske gasser og dampe eller for lugtindtrykket.

De målemetoder, som er anvendt, blev samtidig anvendt ved laboratorieforsøg angående afgangningen fra fem byggematerialer (14). Ved dette forsøg er lugtmålingerne for første gang udført under feltforhold. Da de subjektive lugtmålinger er påvirkelige af varierende ydre forhold, må lugtmålingerne derfor betragtes som et forsøg, og resultaterne tages med et vist forbehold. Dette skyldes ikke mindst, at de rum, hvori panelet foretog vurderingerne af prøverummets lugt, måtte ventileres kraftigt for at reducere bygningens baggrundslugt. Dette lykkedes ikke fuldstændigt, og det medførte samtidigt en ændring af lufttemperaturen i retning mod udetemperaturen. Det er uvist, hvilken betydning dette har haft for lugtmålingerne.

Ved materialeundersøgelserne i laboratoriet (14) fandtes signifikante sammenhænge mellem forekomsten af gasser og dampe og samtlige subjektive målemetoder. Ved nærværende feltundersøgelser opnåedes kun med Karu og Triangel udstyret resultater, som afveg fra udeluftens, og der fandtes ingen korrelation mellem totalkoncentrationen af gasser og dampe og de subjektive lugtmålinger. Disse fund kan muligvis skyldes det varierende indeklima i vurderingsrummet. I fremtidige målinger bør derfor overvejes alternative muligheder for lugtvurderinger bl.a. for at udelukke en indirekte virkning af årstidsvariationen på vurderingerne. For Karu og Triangel målingerne, er denne effekt dog sandsynligvis ikke stor i nærværende målinger, hvor det aftagende forløb af disse vurderinger også afspejler sig i kulrørsmålingerne i prøverummet, hvor årstidsvariationer ikke forekom i samme udstrækning.

Samlet vurderes det, at udeklimaet ikke har haft væsentlig betydning for målingerne af gasser og dampe, mens lugtmålingerne - på grund af den forcerede ventilation i panelrummet - kan være påvirkede af udetemperaturen.

Fordelingen på kemiske hovedgrupper af stoffer påvist ved denne og tidligere undersøgelser (16) er vist i tabel 11, hvoraf det fremgår, at de fem undersøgelser ikke har vist markant forskelligt indhold af stoffer. Luften i de seks lavenergihuse taget under ét synes dog at svare bedst til luften i nulenergihuset. Sammenlignes med de enkelte lavenergihuse i tabel 8 ses, at hus A minder om syv nye spånpladehuse, som undersøgtes i en tidligere undersøgelse (17), mens fordelingen for hus B og E minder om fordelingen i de ældre beboede lejligheder. I hus F minder fordelingen mest om nulenergihusets. Hus C og D har ingen tidligere pendant. Forskellen kan ikke forklares ved det oplyste materialevalg (tabel 2 A + B).

De målte afgangshastigheder aftog med tiden. Ved undersøgelse af fem materialer gennem 230 døgn fandtes (14), at afgangshastigheden for enkeltmaterialer halveredes på mellem 40 og 100 døgn, mens lugt aftog langsommere med typiske halveringstider på 120 døgn. I nærværende undersøgelse havde koncentrationerne halveringstider på 63 til 187 døgn, og lugten halveredes på ca. 180 døgn. Disse størrelser synes således gennemgående at være større end det tidligere fundne. Dette kan skyldes, at husene (excl. hus F) på måletidspunktet var ca. 270 dage gamle, hvorfor afgangningen er overgået til en fase, hvor afgangningen er langsommere aftagende end udgangssituationen.

Kun et fåtal af de stoffer, som påvises i luften i boliger, stammer direkte fra mennesker, dyr eller planter. De øvrige stoffer stammer på forskellig måde fra byggematerialer der ofte er industrielt fremstillede. For at få et overblik over de stoffer, som kan optræde i boligen som følge af byggemateriale-afgasning, vil det derfor være rimeligt at undersøge byggematerialeindustriens anvendelse af stoffer med luftvejsirriterende effekt. På en sådan liste må opmærksomheden især rettes mod stoffer, hvis damptryk giver mulighed for, at stoffet kan optræde i luften i betydelige koncentrationer. Derfor kan mange stoffer, som har meget lave damptryk, udelukkes; ligeledes vil man med nogen rimelighed kunne se bort fra stoffer med kogepunkt lavere end stuetemperatur, idet disse stoffers høje damptryk gør, at de normalt er forsvundet, inden boligen tages i brug. Ved udvælgelsen af stoffer må der yderligere tages hensyn til, om stoffet anvendes i store mængder, har stor udbredelse eller om det har kraftig irriterende effekt som f.eks. formaldehyd. En sådan gennemgang af f.eks. den eksisterende danske arbejdshygiejniske grænseværdiliste for acceptable koncentrationer vil vise, at det mulige antal stoffer er ca. 200, og heraf er en stor del anvendt som egentlige opløsningsmidler.

Mange stoffer, som ikke er opført i grænseværdilisten, vides at være særdeles luftvejsirriterende; det industrielle forbrug af disse stoffer er imidlertid så ringe, at der bl.a. derfor ikke har været grund til at fastsætte grænseværdier for dem. Sådanne stoffer kan i meget små koncentrationer optræde i bygninger, og deres forekomst skyldes da som regel f.eks. naturlige forureninger i anvendte råmaterialer.

For nogle år siden gennemførtes undersøgelser i 39 ældre og syv nye boliger (17). Måleudstyrets detektionsgrænse var dengang af samme størrelsesorden som ved denne undersøgelse. Erfaringer fra senere undersøgelser, både ved Hygiejnisk Institut og fra andre laboratorier, viser, at med en lavere detektionsgrænse er der en voldsom forøgelse af antallet af stoffer, som påvises i luften. De stoffer, som nu dukker op i luftprøverne, er de ovenfor omtalte stoffer, som normalt ikke er medtaget på de hygiejniske grænseværdilister. I nærværende undersøgelse udgjorde disse stoffer 25% af den påviste stofmængde i første prøveudtagning, hvor koncentrationerne var størst.

Det er en erfaring, at disse stoffer ofte er tungere og kemisk mere komplicerede end grænseværdistofferne (18), og undersøgelser på mus (19) har vist, at for nogle stofgrupper tiltager den irritative effekt med stigende molekylvægt. Det er uvist, i hvor høj grad sådanne eller modsat rettede tendenser gør sig gældende for hele spektret af lavkoncentrationsstoffer, samt om dette helt eller delvist kompenseres ved de meget små koncentrationer og af eventuelle tærskelværdier for en irritationseffekt. I det følgende er der derfor ikke skelnet mellem enkeltkomponenter, og vurderingerne af forureningskomponenternes betydning for indeklimaet er alene baserede på den samlede total-koncentration.

Et netop afsluttet klimakammerforsøg (20) viser, at typiske indeklimagener kan fremprovokeres ved koncentrationen 5 mg/m^3 svarende til gennemsnittet for nye boliger. Såfremt der kan ses bort fra kvalitative forskelle, må 5 mg/m^3 derfor betragtes som uacceptabelt i indeklimaet. Forsøget indeholdt ikke undersøgelser ved mindre koncentrationer, som kunne demonstrere, ved hvilken koncentration denne effekt ophører.

Tabel 11 viser en oversigt over målinger i gamle og nye, beboede som ubeboede huse. Det ses, at gener forekom i 14 ældre rum med en gennemsnitskoncentration på $0,9 \text{ mg/m}^3$ (Range 0,04 til $3,3 \text{ mg/m}^3$) men ikke i 39 ældre lejligheder med en gennemsnitskoncentration på $0,38 \text{ mg/m}^3$ (Range 0,02 til $1,7 \text{ mg/m}^3$).

Ses stadigvæk bort fra kvalitative forskelle mellem sammensætningen af luften i de enkelte boliger, og at andre ikke kemiske faktorer kan have betydning, peger på disse to måleserier på, at sandsynligheden for indeklimagener øges stærkt i koncentrationsområdet 0,5 til 1,0 mg/m³, og klimakammermålingerne viser, at irritation kan forventes ved en koncentration på 5 mg/m³.

Måleresultaterne ved første målerunde fra de seks lavenergihuse fremgår af tabel 12. Det ses, at kun hus A og D var lavere end 0,5 mg/m³, mens de tre øvrige lå over 1,0 mg/m³, hus C endog over 5,0 mg/m³. Dette sidste resultat må betegnes som indeklimatisk betænkeligt, idet denne koncentration vil kunne forårsage gener hos beboerne.

Bygningerne A, B, C, D og E blev færdiggjort i første uge af september 1978. De var således ca. 270 dage gamle ved målingernes start. Hus F var færdigt medio marts 1979 og var derfor kun ca. 30 dage gammelt. Såfremt koncentrationernes aftagen ikke tidligere har været mindre end vist på fig. 3, er det sandsynligt, at samtlige huse har haft en initial koncentration større end 1 mg/m³, og at koncentrationen i hus C kan have været ca. 50 mg/m³. Disse koncentrationer kan ifølge det ovenstående forventes at foranledige gener. Omvendt er det af fig. 3 sandsynligt, at der på beboernes indflytningstidspunkt efter måleserierne ikke kunne forventes gener i husene A, D, F og C, mens gener måske kan optræde hos særligt følsomme beboere i hus B og især i hus E. Det skal i den forbindelse oplyses, at der ikke er indløbet indeklimaklager af typen tørre slimhinder til varmeisoleringslaboratoriet fra de beboere, som siden har overtaget husene til normal beboelse.

Den målte totalkoncentration skyldes et samspil mellem kildestyrken i rummet og ventilationens fjernelse af de afgassede stoffer. Da rummene var ubeboede under målingerne, stammer stofferne fra bygningen, omend dele af kilderne på grund af ventilationssystemet eller revner mellem rummene, kan være i bygningen, men uden for selve målerummet. Da der ikke er foretaget målinger i ventilationssystemet eller i andre rum, kan dette ikke belyses nærmere, og i det følgende betyder afgasningshastigheden derfor den samlede afgivelse af stof til rumluften. Ventilationen målt ved udspædning af en sporgas i selve målerummet. Denne målemetode tillader ikke bestemmelse af den del af luftudvekslingen, som sker med naborum i bygningen. Da denne luft som ovenfor nævnt kan være forurennet, er det målte luftskifte en øvre grænse for den faktiske frisklufttilførsel til målerummet. Med de nævnte forbehold kan en total kildestyrke i mg/time udreges for hvert rum. Disse findes i tabel 12 for første målebesøg.

Det fremgår, at hus E og C har størst afgasning, mens hus A og B har mindst afgasning.

Det er tidligere foreslået (16), at indeklimamålinger skal referere til et standardrum og standardklima. I standardrummet anvendes 40 m² materiale til et rum på 17 m³, som ventileres 0,25 gange pr. time. Ved ligevægt er koncentrationen C mg/m³, og denne koncentration er relateret til en gennemsnitlig afgasningshastighed på f mg/m² time ved ligningen:

$$f \text{ mg/m}^2 \text{ time} = \frac{C \times 17 \times 0,25}{40}$$

Den ovennævnte acceptable totale koncentration på 1 mg/m³ svarer ifølge dette til en maksimalt acceptabel kvantitativ afgasningshastighed på 0,1 mg/m² time, eller 4,25 mg/time for hele rummet. Af tabel 12 fremgår, at især rum E, men også rum C overskrider denne afgasningsgrænse ved første målerunde.

Kap. V Konklusion

Feltnmålingerne af indeklimaet i de seks lavenergihuse igennem 324 dage startende ca. 270 dage efter færdiggørelsen og viste store kvalitative og kvantitative forskelle på luftkvaliteten i de seks huse. Det bedste atmosfæriske indeklima fandtes i hus A og D, hvor kun få stoffer påvistes, og hvor såvel koncentration og afgangshastigheder var små. I hus C og E påvistes flere stoffer. I hus C påvistes især alifater og aromater, mens trichlorethan forekom i hus E, uden at kilden kunne identificeres. Koncentrationen af gasser og dampe og afgangshastigheden var høj, men aftog hurtigt i hus C, hvor de formodede kilder var malet hessian og pålimet kokosgulvtæppe. I hus E var koncentrationen næsten konstant, og en forklaring herpå kan være, at stofferne er tidligere adsorberede stoffer på stenene i det store underjordiske varmelager, hvorigennem luften passerer. I hus B påvistes flest stoffer, heraf særligt mange fra gruppen "Andre". Koncentrationen og afgangshastigheden var dog ikke særlig stor, men såvel lugt som koncentration aftog langsomt. Det ringeste atmosfæriske indeklima konstateredes i det yngste hus F, hvor der påvistes mange stoffer, samt høj koncentration, afgangshastighed og lugtstyrke. Bygningen var imidlertid otte måneder yngre end de øvrige og nåede i løbet af måleperioden et niveau, som var lavere end gennemsnittet for de øvrige huse ved første måling.

Udfra en toksikologisk vurdering må der i samtlige huse på færdiggørelsestidspunktet have været genevoldende koncentrationer af organiske dampe i luften. Dette gælder med stor sikkerhed hus C. På tidspunktet for den første måling efter ca. 270 døgn (30 døgn for hus F) er det usandsynligt, at beboere ville have følge nævneværdige gener i husene A, D og E, mens gener ikke kan udelukkes i husene C, F og B. Ved målingernes afslutning, ca. 1 år og 8 mdr. efter færdiggørelsen (ca. 1 år for hus F) var det usandsynligt at der skulle forekomme gener i nogen af husene.

Sammenfatning

I september 1978 blev seks lavenergihuse færdiggjort i Hjortekær ved Lyngby. Husene repræsenterede den nyeste viden om byggeteknik og materialer og udgjorde derfor en interessant mulighed for at undersøge indeklimaet i fremtidige boligtyper. Ingen af husene var møblerede eller beboede i det første år, og nærværende rapport beskriver kun resultater af målinger af afgangningen fra byggematerialer og fast inventar i dette tidsrum. Forskningsprojektet blev støttet af Energiministeriet (Energispareprojekt EM 2/00 20 (17-63)), og undersøgelserne skete i samarbejde med laboratoriet for varmeisolering (L.f.V.) DtH, som havde forestået opførelsen af de seks huse.

Målingerne i det enkelte hus blev i alle tilfælde foretaget i samme rum. Målerummet var et mindre umøbleret værelse. Målingerne ved hvert forsøg omfattede målinger såvel af inde- som udemiljø. Målingerne omfattede lufttemperatur og luftfugtighed, ventilationsrater, koncentrationen af organiske gasser og dampe, herunder også formaldehyd samt lugtstyrken. Måleprogrammet omfattede fem besøg i Hjortekær gennem ca. ét år. Ved første og sidste besøg målttes i samtlige seks huse. Ved de tre mellemliggende besøg målttes kun i to udvalgte huse.

Udemålingerne viste, at samtlige målinger blev udført under normale udeklimatiske betingelser. Vindhastigheden var dog i alle tilfælde lavere end 1 m/sec. Indeklimaet var i gennemsnit karakteriseret ved en lufttemperatur på $24,7 \pm 3,0^\circ\text{C}$ og en luftfugtighed på $5,9 \pm 2,0$ g/kg. Ventilationen i de enkelte rum var mellem 0,79 og 2,92 luftskifte pr. time.

I gennemsnit påvistes 14 stoffer i luftprøverne. Ialt identificeredes 23 forskellige stoffer. Toluen og alfa-Pinene var de oftest påviste stoffer. Både spektret af stoffer og totalkoncentrationen af organiske stoffer var forskelligt i de seks rum. Totalkoncentrationen af organiske gasser og dampe var i gennemsnit for de fem målerunder $0,46 \text{ mg/m}^3$ (0,032 til $5,5 \text{ mg/m}^3$). Bortset fra et hus, hvor koncentrationen var konstant, aftog koncentrationen systematisk med tiden og halveredes i gennemsnit i løbet af 112 dage. Halveringstiden varierede fra 63 til 187 dage. Formaldehydkoncentration målttes ved første besøg i alle seks huse. Koncentrationen var i alle tilfælde mindre end $0,02 \text{ mg/m}^3$.

Lugtstyrken målt med flere forskellige metoder alle baserede på et frivilligt lugtpanel. Lugtstyrken udtrykt i ækvivalent Butanol-koncentration aftog, bortset fra et hus, gennem forsøgsperioden og nåede efter 320 dage baggrunds-niveauet. Det samme var tilfældet for det nødvendige antal fortyndinger målt med triangel instrument. De to øvrige metoder gav ikke systematiske resultater.

Samlet konkluderedes, at forekomsten af organiske gasser og dampe af opløsningsmiddelklassen ikke afveg fra hvad der tidligere er påvist i andre boliger.

En gennemgang af den eksisterende viden om forekomsten af gener i rum eller laboratorier med kendte forureningskoncentrationer viser, at sandsynligheden for slimhindeirritation øges ved totalkoncentrationer større end ca. $1,0 \text{ mg/m}^3$, og at gener kan forventes ved koncentrationer større end 5 mg/m^3 . Ved målingernes start var fem af husene ca. 3/4 år gamle. Det sjette var helt nyt. På dette tidspunkt målt i to af husene koncentrationer mindre end 1 mg/m^3 , hvorfor det ikke kan forventes, at eventuelle beboere ville opleve slimhindeirritation. I et hus var koncentrationen større end 5 mg/m^3 , og slimhindeirritation måtte derfor antages at ville forekomme i dette hus. I de øvrige tre huse ville slimhindeirritation kunne optræde afhængig af beboernes følsomhed og udsættelsen for andre indeklimapåvirkninger. Efter den et år lange måleperiode var koncentrationerne i alle seks huse lavere end 1 mg/m^3 . Det må derfor forventes, at beboerne på dette tidspunkt ikke ville klage over slimhindeirritation.

Abstract

Six houses with intended low energy consumption were built in Hjortekær at Lyngby in September 1978. The houses represented the newest knowledge on building techniques and materials. The houses made it possible to examine the indoor atmospheric environment, to be expected in future homes. The houses were unoccupied for the first year. Measurements of the indoor atmospheric environment in this period are described in this report. The project was financed by the Ministry of Energy (Energy conservation project EM 2/00 20 (17-63)), and the measurements were arranged in cooperation with the Laboratory for Heat Insulation at the Danish Technical University, which was in charge of the house construction.

The measurements in each house were performed in the same room. This room was a small unfurnished bedroom. Measurements were taken both in the indoor environment as well as outdoors, and included air temperature, air humidity, ventilation rate, concentration of organic gases and vapours, formaldehyde and odour intensity. Five series of measurements were performed throughout one year. At the first and last visit all six houses were examined, at the three other visits only two selected houses were examined.

Measurements outdoors showed that all five series of measurements were conducted under normal outdoor climatic conditions. Windspeed, however, was in all cases lower than one meter per second. The indoor climate was as average characterized by an air temperature of 24.7 ± 3.0 °C, and an air humidity of 5.9 ± 2.0 g/kg. Ventilation in each room was between 0.79 and 2.92 air changes per hour.

On average 14 different compounds were identified in the samples. A total of 23 different compounds were identified, and Toluene and alpha-Pinene were the most frequent compounds. Both the spectrum of compounds and the total concentration of organic gases and vapours differed among the six rooms. A total concentration of organic gases and vapours averaged for the five periods of measurements 0.46 mg/m^3 ($0.032\text{--}5.5 \text{ mg/m}^3$). The concentration decreased systematically during the year, and was halved after, on an average, 112 days. Half-life varied from 63 to 187 days. The concentration was constant in one of the houses. The formaldehyde concentrations were measured during the first visit in all six houses and were in all cases less than 0.02 mg/m^3 .

The odour intensity as measured by a odour panel decreased when measured as equivalent Butanol concentration. The same was found for the Triangle-measurement. The results of two other odour test methods were inconclusive.

It was concluded that the concentration of organic gases and vapours of the solvent type was similar to that earlier found in other Danish houses. The distribution of compounds in two houses was similar to the distribution in other new Danish houses, while two houses had a distribution of compounds similar to that found in older houses. Differences in indoor air pollution could not be explained by the materials used for the houses.

The toxicological information about the compounds and investigations of complaints from indoor air atmospheric environments show that the possibility of complaints will increase as the total concentration of organic gases and vapours exceeds 1 mg/m^3 . Complaints are very likely if the concentrations exceed 5 mg/m^3 . When the measurements started, five of the houses were 9 months old, while the sixth was new. In two houses the total concentrations of volatile organic compounds were then less than 1 mg/m^3 , for which reason irritation of the mucous membranes is not expected to have been experienced by occupants of these houses. In one house the concentration exceeded 5 mg/m^3 thus making complaints very likely. In the remaining three houses complaints may have occurred if the occupants were more sensitive than normal or exposed to other factors. After one year of testing, the concentrations in all six houses were below 1 mg/m^3 . It must therefore be expected that the occupants would at that time have no complaints about irritation of the mucous membranes.

Litteratur

- 1) WHO
Indoor Air Pollutants; Exposure and Health Effects Assessments.
Euro reports and studies working group report no. 78; Nördlingen, WHO,
Copenhagen 1983.
- 2) Byggestyrelsen:
Midlertidige bestemmelser om formaldehyd.
Tillæg no. 11 til bygningsreglementet, Boligministeriet, København 1977.
- 3) Andersen I, Lundqvist GR, Mølhav L:
Formaldehyd i boligluft.
Ugeskr.Læg. 141//14 p. 966-972, 1979.
- 4) Mølhav L, Andersen I:
Forureningskomponenter i Indeluften i "Nulenergihuset" ved DtH.
VARME 45: 121-125, 1980.
- 5) Byberg MR, Saxhof B:
6 lavenergi huse i Hjortekær; konstruktioner - arbejdets udførelse og
erfaringer. Meddelelse no. 120.
Lab. for varmeisolering, DtH, København 1982.
- 6) Byberg MR, Djurtoft RG, Saxhof B:
6 lavenergi huse i Hjortekær. Meddelelse no. 83, 1979.
Lab. for varmeisolering, DtH, Lyngby, 1979.
- 7) Nielsen AAa, Byberg MR, Djurtoft RG, Saxhof B:
6 lavenergi huse i Hjortekær, Statusrapport 1, Meddelelse 84, 1979.
Lab. for varmeisolering, DtH, Lyngby, 1979.
- 8) Saxhof B, Poulsen KE:
Foundations for Energy Conservation Houses; a thermal analysis based on
five low energy houses at Hjortekær, DK.
Report no. 130, 1982.
Lab. for varmeisolering, DtH, Lyngby 1982.

- 9) Mølhav L:
Kulrørsmetoden til måling af organiske gasser og dampe i luftprøver.
Licentiatafhandling 1982.
Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet.
- 10) Mølhav L:
Intercalibration between JRC, LUBOWA and HI of Passiv samples exposed at HI, Aarhus, Denmark.
Draft report 12/12 1983.
Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet, To be published 1984 from JRC, Ispra, Italien.
- 11) Cares JW, et al.:
Determination of Formaldehyde by the Chromotropic Acid Method in the Presence of Oxides of Nitrogen.
Amer. Indust. Hyg. Assoc. J. July-Aug 1968, p. 405-410.
- 12) Mølhav L:
Anvendelse af lugtesansen til måling af lugte.
Miljøprojekter no. 2.
Miljøstyrelsen, København 1980.
- 13) Dravnieks A, Mølhav L:
Odor Intensity from Odor Profiles.
Proceedings of APCA-Meeting Atlante 19/6 1983 "Current Developments in Odor Technology".
- 14) Mølhav L, Andersen I, Lundqvist GR, Nielsen PA, Nielsen O:
Undersøgelse af byggematerialers afgivelse af gasser, dampe og lugte.
Under udgivelse som SBI-rapport, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm. 1984.
- 15) Saxhof B, Nielsen AA:
Insulation and airtightness of six low-energy houses at Hjortekær, Denmark.
Report no. 121, 1982.
Thermal Insulation Lab., DTH, Copenhagen, Denmark.
- 16) Mølhav L, Andersen I, Lundqvist GR, Nielsen PA, Nielsen O:
Afgasning fra byggematerialer - forekomst og hygiejnisk vurdering.
SBI-rapport 137, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 1982.

17) Mølhave L, Møller J, Andersen I:

Luftens indhold af gasarter, dampe og støv i nyere boliger.
Ugeskr. Læg. 141/14: 956-962, 1979.

18) Johansson I:

Kemiska luftföroreningar inomhus.
En litteratursammanställning. Rapport nr. 6/1982.
Statens Miljömedicinska Laboratorium, Stockholm 1982.

19) Nielsen GD, Alarie Y:

Sensory Irritation, Pulmonary Irritation and Respiratory Stimulation by Airborne Benzene and Alkyl-Benzenes; Prediction of safe Industrial Exposure Levels and Correlations with their Thermodynamic Properties.
Toxicol and Appl Pharma 65: 459-477, 1982.

20) Mølhave L, Bach B, Pedersen OF:

Klimakammerundersøgelse af genforekomsten hos personer, der udsættes for organiske gasser og dampe fra byggematerialer.
Energispareprojekt R00-52 (22411) 1984.
Under udarbejdelse, Hygiejnisk Institut, Aarhus Universitet.

Tabeller og figurer

Fig. 1: Den procentvise fordeling af antal påviste stoffer i 17 luftprøver fra seks rum.

Fig. 2: Den procentvise fordeling af totalkoncentrationen af organiske gasser og dampe (mg/m^3) i 17 luftprøver fra seks rum.

Fig. 3: Ændring i løbet af 320 dage af totalkoncentrationen af organiske gasser og dampe i de seks rum, A til F.

Fig. 4: Ændringen i løbet af 320 dage af lugtstyrken udtrykt i Butanol-ækvivalenter. BG = Baggrundsværdien.

Fig. 5: Ændringen i løbet af 320 dage af lugtstyrken udtrykt i nødvendige fortyndingsgrader (Triangel). BG = Baggrundsværdien. Første måling for materiale A mislykkedes.

TABEL 1: De syge bygningers syndrom (ref. 1)
(The sick building syndrome)

- . Irritation af øjne, næse og svælg
 - . Tørre slimhinder og hud
 - . Rødmende hud
 - . Træthed og hovedpine
 - . Luftvejsinfektioner, hoste
 - . Ru stemme, luftvejslyde
 - . Uspecifikke overfølsomhedsreaktioner
 - . Kvalme, svimmelhed.
-

TABEL 2A Oversigt over målerum, deres indretning og materialevalg.

<u>Hus</u>	No.	A	B	C	D	E	F
<u>Måleværelse:</u>							
Placering		NØ hjørne	N	N	SØ	NØ hjørne	S
Betegnelse		værelse	værelse	værelse	soveværelse	værelse	værelse
Areal m ²		9,1	8,5	10,2	10,8	7,6	8,1
Volumen *		20,6	20,5	24,0	29,8	21,8	18,0
Skabe		1,8	1,5	1,1	2,5	0	3,7
<u>Indervægs materiale</u>		letbeton	krydsfiner	træfiberplade	gasbeton	gipsplader	beton
Overfladebehandling		spartling & maling	Hessian & maling	Hessian & maling	Spartling & maling	Maling	Maling
<u>Lofts materiale</u>		træ	finer	træ	gipsplader	gipsplader	beton
Overfladebehandling		træbeskyttelse	maling	træbeskyttelse	maling	maling	maling
<u>Gulv materiale</u>		træ	træ	beton	gulvspånplade	træ	træ
Overfladebehandling		lak	lak	kokus m/lim	kokus u/lim	lak	
Oplukkelige vinduer		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Noter:

* Volumen incl. skabe.

TABEL 2B: Oversigt over hustyper.

<u>Hus</u> No.	A	B	C	D	E	F
Antal plan	1	1	1(2) *	1	1 *	3
Bebygget areal (m ²)	125	140	135	139	130	88
Varmesystem	Loftsvarme	Lavtemperatur radiator	Lavtemperatur Gulvvarme	Varmluft	Elvarme	Gulvvarme
Varmemedie	EL	Vand	Vand	Luft	El	Vand
Ventilationssystem	Mekanisk *	Mekanisk	Mekanisk	Mekanisk	Mekanisk	Mekanisk
Indblæsning	Alle rum	Alle rum	Alle rum	Alle rum	Alle rum	Alle rum
Udsugning	Bad, køkken, bryggers	Alle rum	Bad, køkken, bryggers	2 x bad, køkken	Bad, køkken, bryggers	Bad, køkken, bryggers
Yderbeklædning	Tegl og træ	Tegl	Tegl & Finèr	Gasbeton	Træ	Beton
Isoleringsmateriale	Mineraluld	Mineraluld *	Mineraluld & træstolper	Mineraluld	Mineraluld & træstolper	Mineraluld
Tagkonstruktion	Sadeltag	Sadeltag	Sadeltag	Skråtag	Sadeltag	Fladt tag
Tagrum med adgang fra hus	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej
Gulvkonstruktion	Terrændæk	Krybekælder	Terrændæk	Terrændæk *	Terrændæk *	Kældergulv
Gulvisolering	Mineraluld & letklinker	Mineraluld	Mineraluld & letklinker	Mineraluld & letklinker	Mineraluld & letklinker	Letklinker
Noter:	* sommer ude fra; vinter tagrum	* Rockwool stolper	* uudnyttet tagetage	* gasbeton og polyurethan- skum	* underjordisk varmeakkumu- lator	* isoleret kældergulv

TABEL 3: Tidspunktet for målingerne i perioden fra første måling den 20/5-1979 til sidste måling den 1/4-1980.

	A	B	C	D	E	F	måned
1	0	2	7	11	3	9	maj
2	-	84	-	-	-	83	august
3	-	149	-	-	-	146	oktober
4	-	*	-	-	-	239	
5	321	316	315	314	320	313	marts/ april

-: ikke målt

*: aflyst

TABEL 4: Udeklimaet under de fem målebesøg i Hjortekærparken. (SD = standarddeviation).

Besøg	°C		%RH		g/kg		vind m/s		Nedbør i perio- den
	$\bar{x}$	$\pm$ SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	
1	18,5	4,0	62	17	8,4	1,2	0,75	0,72	2 x regn
2	20,3	0,1	50	3	7,4	0,3	0,0	0,0	nej
3	13,5	1,3	74	4	7,5	0,2	0,25	0,50	nej
4	-0,8	0	88	0	3,2	0	0,0	0,0	1 x sne
5	2,8	2,0	77	9	3,6	0,4	2,1	1,2	1 x sne
Alle	12,6	8,2	69	15	6,6	2,3	0,9	1,1	nej

TABEL 5: Indeklimaforhold under de fem besøg i Hjortekærparken. Tabellen viser lufttemperatur og luftfugtighed sidstnævnte udtrykt såvel i Relatio % samt absolut.

Run	°C		%RH		g/kg	
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
1	*	*	*	*	*	*
2	29,0	2,1	36	6	8,9	0,4
3	26,6	0,6	33	1	7,5	0,2
4	22,0	0	25	0	4,1	0
5	23,1	2,2	27	4	4,6	0,7

* defekt thermohydrograf

TABEL 6: Oversigt over luftskiftet pr. time (h^{-1}) målt med sporgasmetode x_1 og konstruktionstæthed målt med trykprøvningsmetode x_2 (15).

Hus:	A	B	C	D	E	F
Antal målinger	5	8	4	4	3	10
x_1	1,32	0,86	1,14	1,68	2,92	0,79
SD	0,11	0,10	0,08	0,30	0,41	0,10
RSD%	8,3	11,6	6,8	17,9	14,0	12,7
* x_2	1,47	0,21	3,35	1,60	1,28	0,73
* SD	0,06	0,07	0,53	0,08	0,13	0,12

* Ref. 15.

TABEL 7: Oversigt over de 23 påviste stoffer, deres koncentrationer og påvisningsfrekvens i 6 huse.

Stof	m konc. mg/m ³	max. konc. mg/m ³	fundet i hus	Frekvens
Toluen	0,25	1,93	A-B-D-E-F	5
α-pinene	0,25	0,88	A-B-D-E-F	5
Δ 3-carene	0,15	0,16	B-C-D-E	4
Decan	0,17	0,27	A-C-D-F	4
Ethylbenzen	0,01	0,06	A-B-E-F	4
n-Undecan	0,31	1,35	B-C-E	3
n-Dodecan	0,23	0,63	B-C	2
Alkan*	0,12	0,59	C-F	2
Butylacetat	0,11	0,07	B-F	2
Ethylacetat	0,04	0,04	B-E	2
3-xylen	0,02	0,03	B-F	2
2-xylen	0,01	0,01	B-F	2
Trichlorethan	1,01	1,85	E	1
3-methyl-2-butanon	0,08	0,08	C	1
1-Hexanon	0,05	0,05	B	1
2-Butanon	0,04	0,07	F	1
Pentanol	0,04	0,04	B	1
1-Heptanon	0,04	0,04	B	1
n-Nonan	0,02	0,07	F	1
β-pinen	0,02	0,02	B	1
1-Pentanon	0,02	0,02	D	1
4-xylen	<0,01	<0,01	B	1
C ₃ -benzen*	<0,01	<0,01	B	1

* Ikke fuldstændigt identificeret.

TABEL 8: Oversigt over den procentvise fordeling på kemiske hovedgrupper af identificerede stoffer i luften i de seks lavenergihuse

Hus	A	B	C	D	E	F	Total
Totalantal	4	16	6	5	7	10	48
% andel:							
Alkaner	25	13	67	20	14	30	25
Aromater	50	38	0	20	29	40	31
Terpener	25	19	17	40	29	10	21
Andet	0	31	17	20	29	20	23
Total %	100	100	100	100	100	100	100

TABEL 9: Den procentvise andel af totalmængden af stof (mg/m^3) som identificeredes ved navn i de 17 luftprøver fra seks rum.

Besøg nr.	A	B	C	D	E	F
1	41	80	69	61	90	93
2	-	75	-	-	-	63
3	-	65	-	-	-	75
4	-	*	-	-	-	77
5	0	59	0	0	70	14

- Ikke målt

* aflyst

TABEL 10: Halveringstider under
forudsætning af eks-
ponentiel aftagen.

Hus	$t_{1/2}$ dage
A	110
B	187
C	63
D	122
E	*
F	76

* ca. konstant

TABEL 11: Oversigt over væsentlige data om indelugtforureningen, koncentrationer etc. fundet ved denne og tidligere indeklimateundersøgelser.

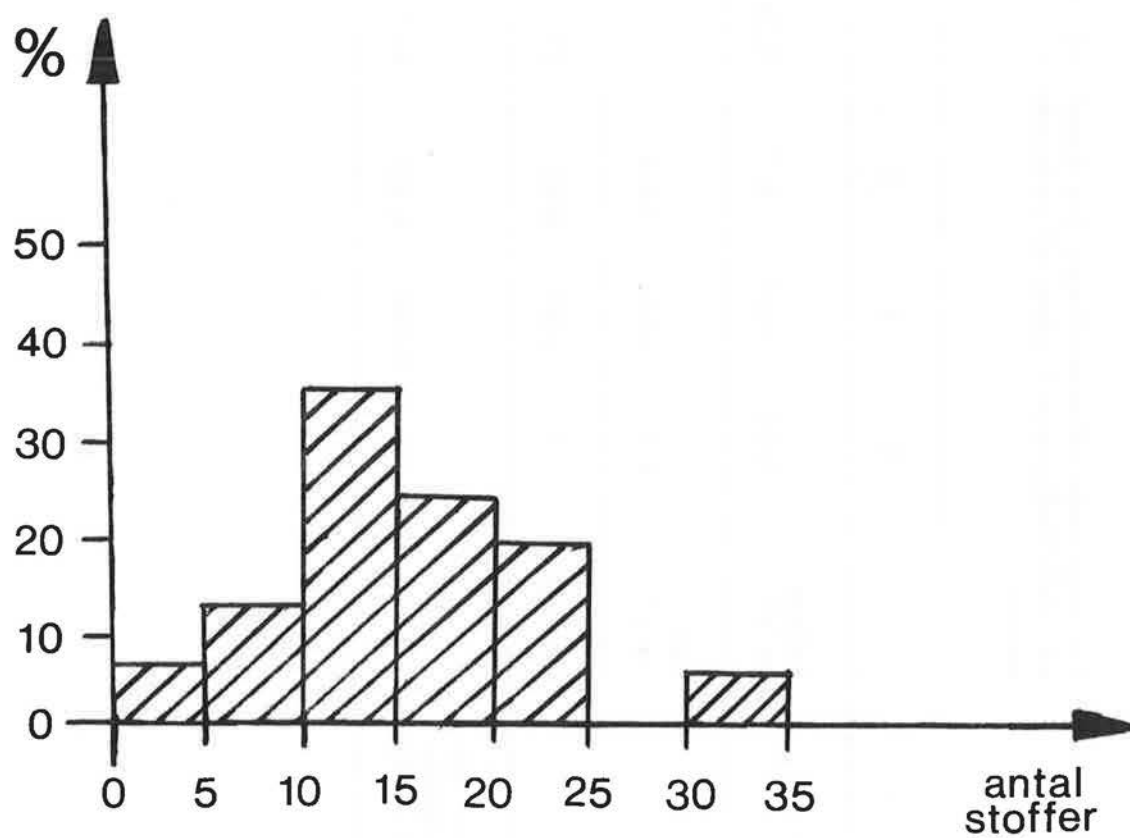
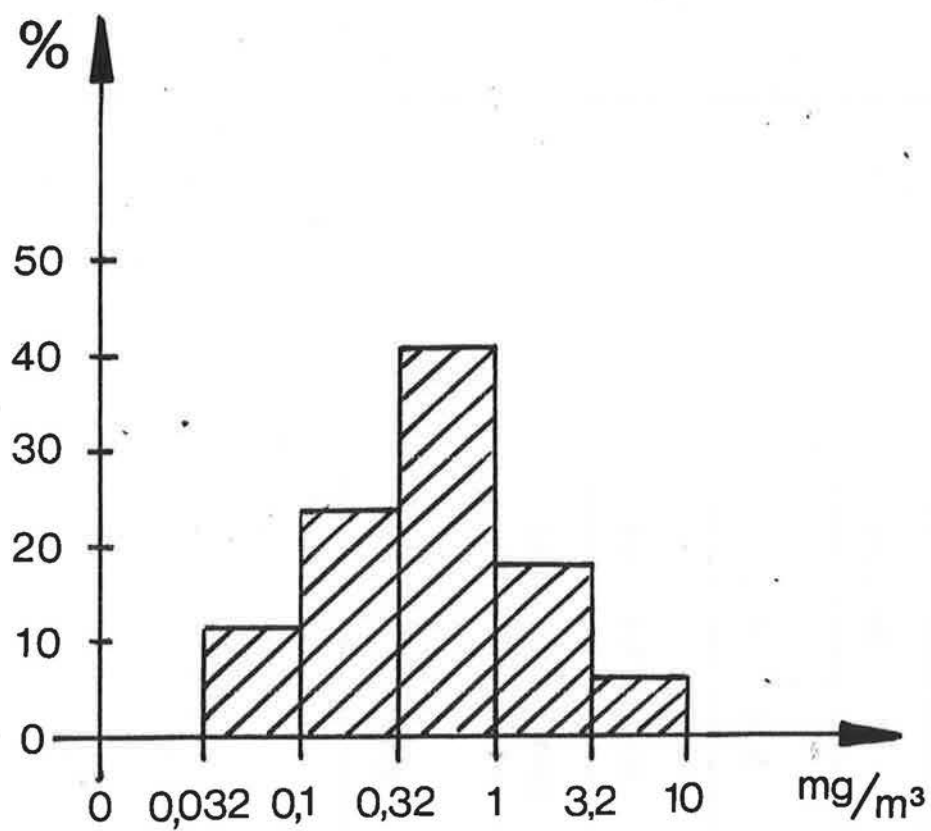
	14 opholdsrum (16)	7 nye énfamiliehuse (17)	39 ældre lejligheder (17)	Nulenergihuset i Lyngby (4)	6 Eksperimentalhuse i Hjortekærparken
Antal stoffer pr. prøve	11	33	13	(12 - 27) *	13,5
Totalantal forskel- lige stoffer	29	27	16	18	23
Gennemsnitskoncen- tration mg/m ³	0,90	6,2	0,38	—*	0,46
Koncentrationsrange mg/m ³	0,04-3,3	0,48-18,7	0,02-1,7	0,2-2,8	0,03-5,5
Geneforekomst	+	?	-	?	?
Gennemsnitsalder					
Stoffeforekomst (%)	++	++	++	+	++
Alkaner	20	42	13	28	25
Aromater	48	37	44	39	31
Terpener	9	18	17	11	21
Andet	16	3	26	22	23

* kun målinger i ét rum
+ Påvisningsfrekvens i 14 lugtprøver
++ Påviste stoffers fordeling
? Ej oplyst.

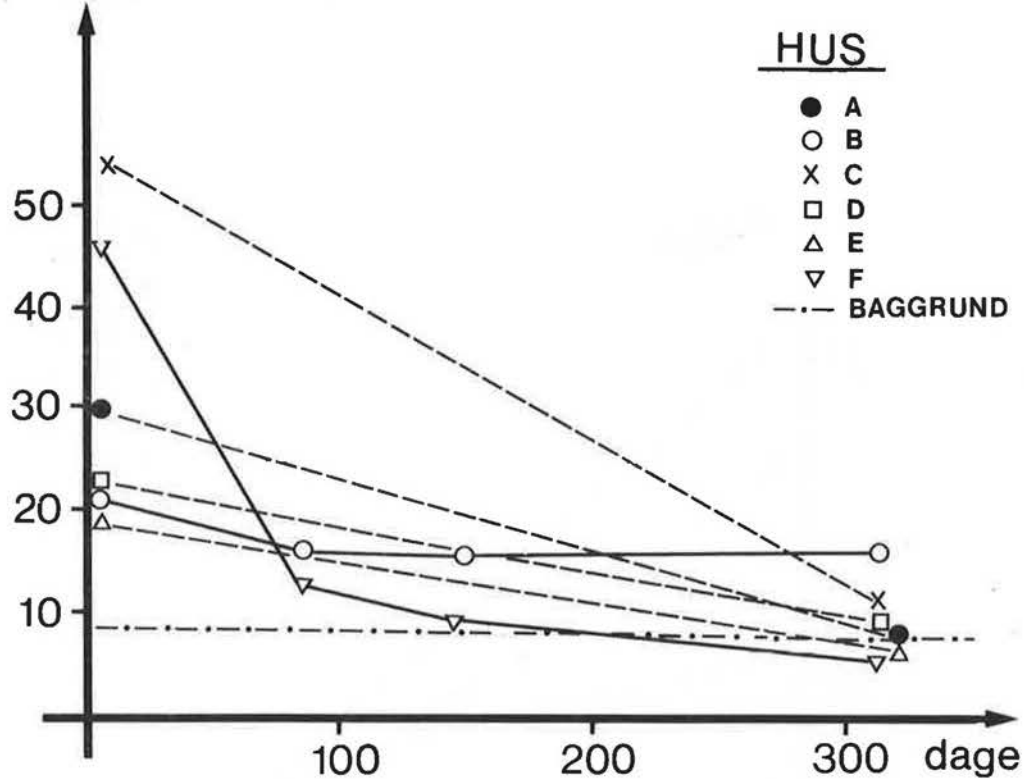
TABEL 12:

Oversigt over måleresultater fra første målerunde samt samtlige middelværdier af udeluftmålinger i løbet af undersøgelsen (*): ikke målt på grund af defekt udstyr.

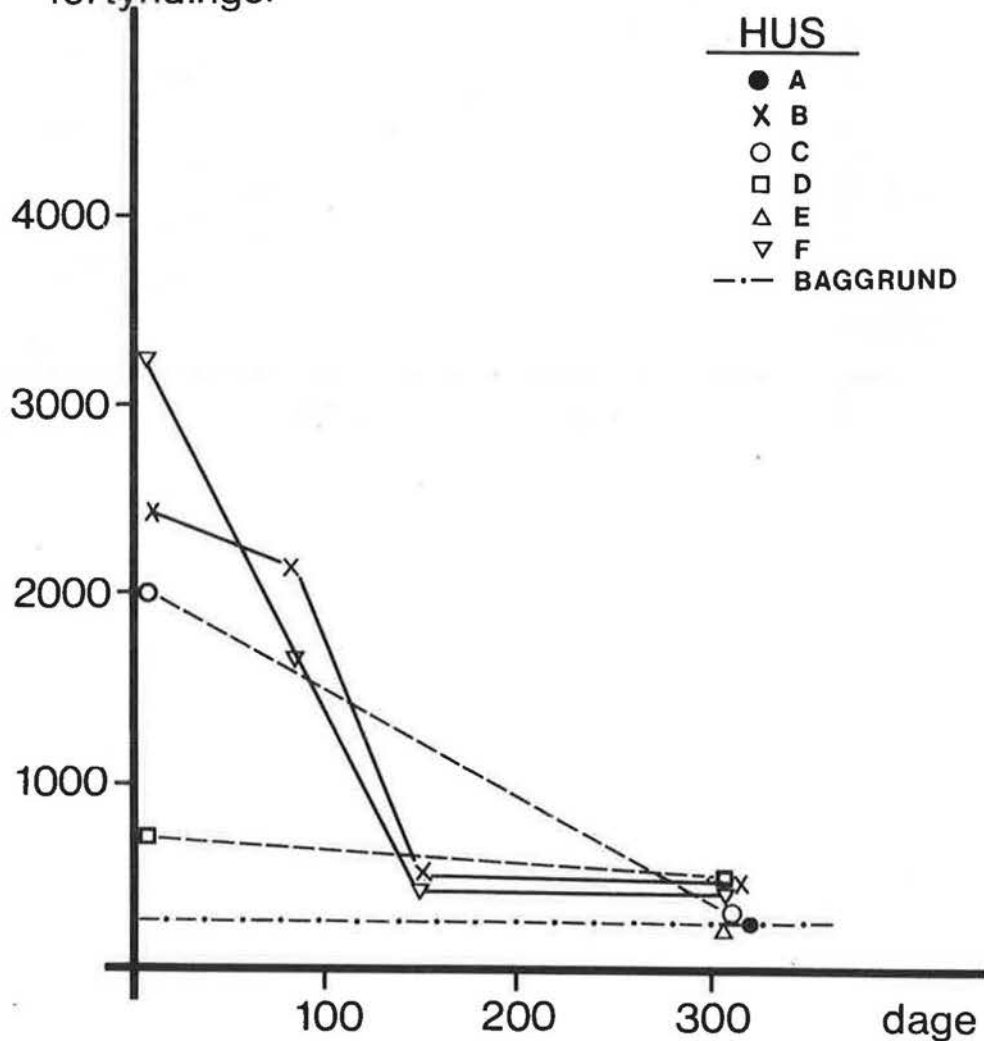
		A	B	C	D	E	F	Baggrund
Gasser og dampe	kulrør mg/m ³	0,39	1,10	5,71	0,39	4,57	3,01	0,05
Lugt	KARU mg/m ³	29,9	21,8	53,6	2,1	19,2	46,4	7,4 $\pm$ 3,5
	Triangel	*	2455	2042	724	*	3388	274 $\pm$ 111
Beregnet af- gasningshas- tighed mg/time		0,515	0,946	6,511	0,655	13,44	2,38	

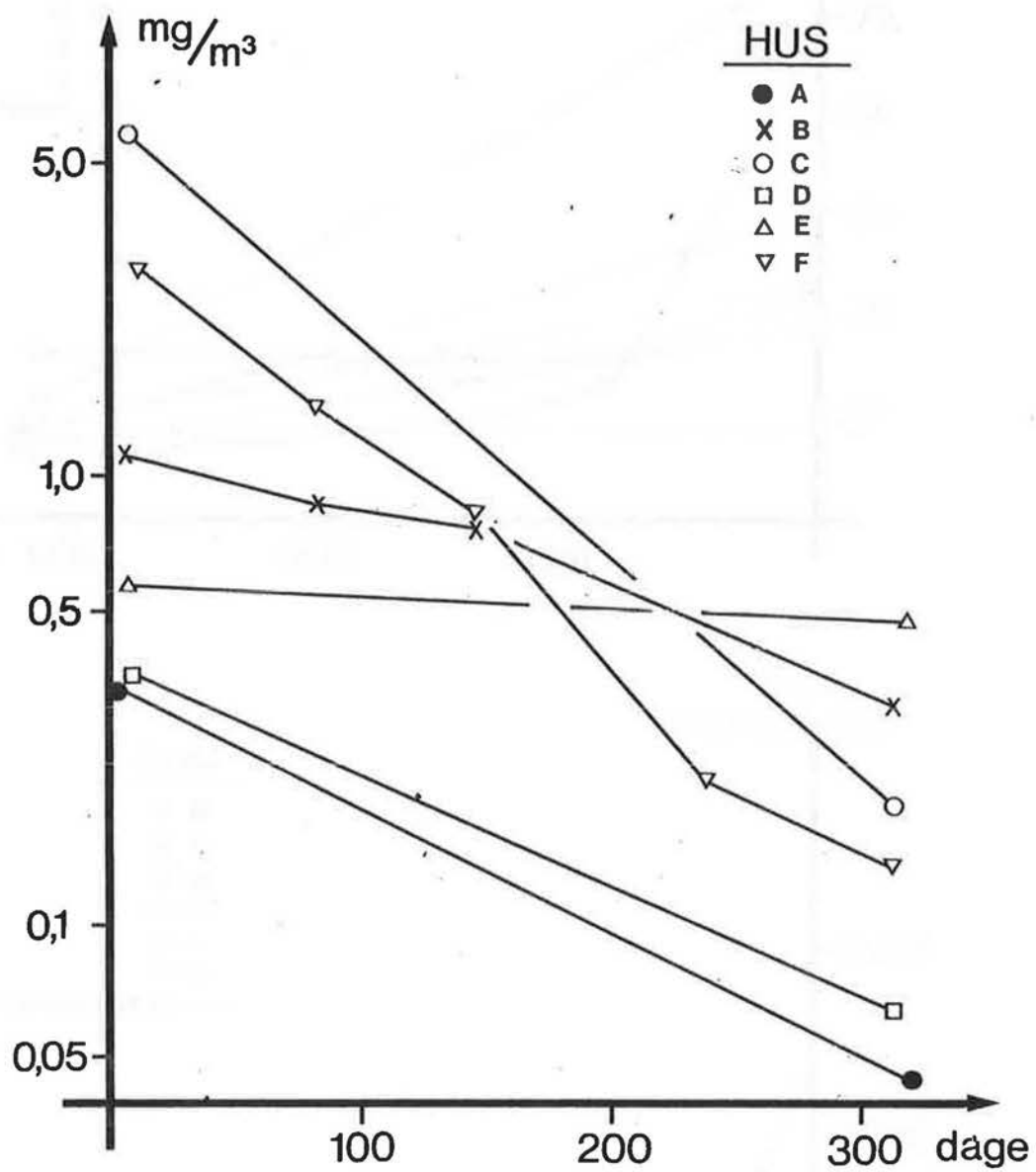


ÆKVIVALENT
LUGTSTYRKE
mg/m³



antal
fortyndinger





BILAG 1

Oversigt over seks laveenergihuse i Hjortekær, Lyngby

Bilag til projektrapport:
Indeklimamålinger i seks laveenergihuse
i Hjortekær, Lyngby

6 Lavenergihuse i Hjortekær

PROJEKTET

Lavenergihusprojektet under Handelsministeriet er betegnelsen for et forsknings- og udviklingsprojekt til opførelse af seks prototyper på lavenergihuse.

Ved et lavenergihus skal der i dette projekt forstås et enfamiliehus med et boligareal på ca. 120 m² og med et energitilskud udefra på ialt 5000 kWh/år til dækning af rumopvarmning, ventilation og varmt brugsvand.

ORGANISATIONSFORM

Projektet er muliggjort gennem en statsbevilling på 4.05 mio. kr. som et led i et større program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling.

Projektet gennemføres af Laboratoriet for Varmeisolering (LfV) på Danmarks Tekniske Højskole (DTH) i samarbejde med seks private firmagrupper.

FIRMAGRUPPER

Hver firmagruppe kan bestå af arkitekter, ingeniører, entreprenører, fabrikanter etc. Udover den tekniske projektering af husene deltager firmagrupperne også økonomisk i projektet, idet grupperne ejer hver sit hus og bærer den økonomiske risiko, indtil husene er solgt.

LAVENERGI FORANSTALTNINGER

Husenes lave energiforbrug er opnået ved et samspil mellem ekstra varmeisolering, varmegenvinding fra afkastluften, udnyttelse af alternative energikilder (sol og jord) samt udnyttelse af gratisvarme gennem varmeakkumulering i tunge bygningskonstruktioner. Som gratisvarme regnes varme tilført fra personer, fra el til lys og husholdning og fra solindfald gennem vinduer. Alle husene er udstyret med et anlæg for kontrolleret friskluftskifte. Gennem sin projektledelse har LfV tilstræbt, at så mange tekniske løsninger som muligt er repræsenteret i husene. Derimod har LfV ikke stillet krav til husenes arkitektur og materialevalg.

Lavenergihus A

STØRRELSE, FORM

Hus A er på 125 m² bebygget areal i eet plan, med sadeltag.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Gulvet er en terrændækkonstruktion isoleret med 100 mm mineraluld + 200 mm letklinker, fundamentet er en sandwichkonstruktion med isolering helt til funderingsdybden.

Ydervæggene er udvendigt beklædt med tegl og træ, de er isolerede med 200 mm mineraluld og 100 mm letbeton.

De plane lofter er isoleret med 380 mm mineraluld.

VINDUER

Vinduer er udført med tolags isoleringsrude med nedsat varmetransmission.

VARME

Huset har elektrisk loftsvarme.

VENTILATION

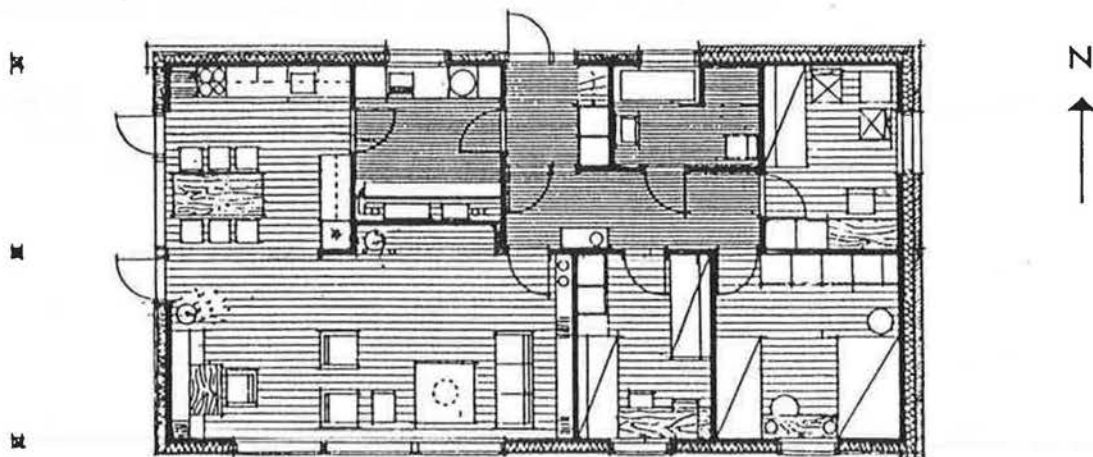
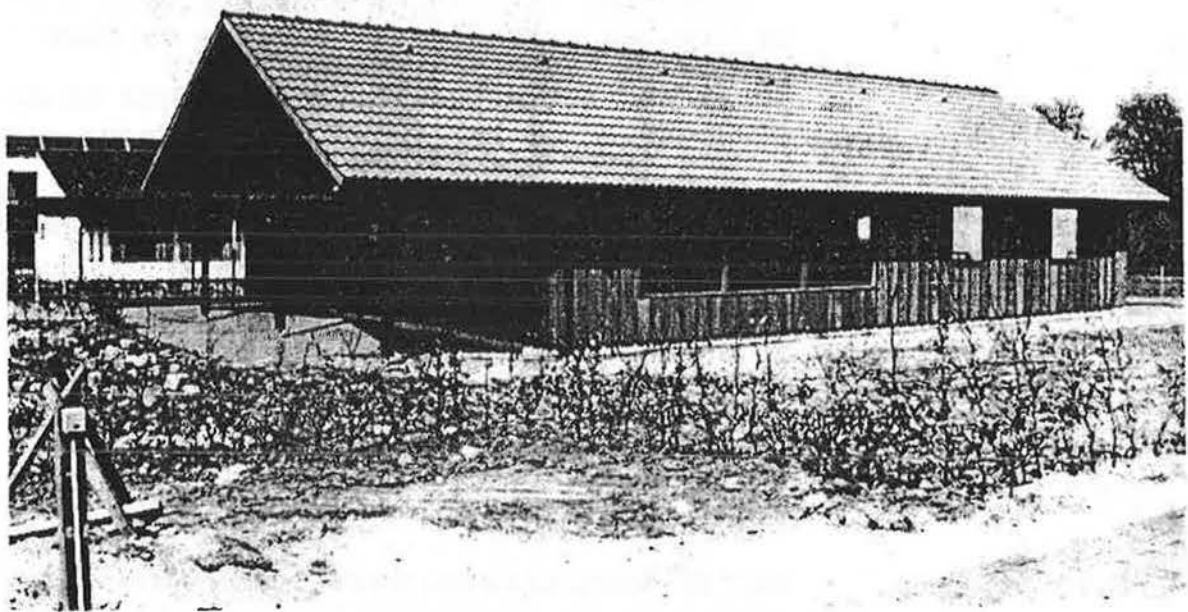
Der er kontrolleret friskluftindblæsning i alle rum, og udsugning fra bad, bryggers og køkken. Friskluften hentes om vinteren fra tagrummet, om sommeren fra det fri. Varmegenvinding fra afkastluften sker i to trin, det første gennem en genvinder af pladetyper, det næste gennem en varmepumpe, hvorved den opvarmede friskluft kan supplere loftsvarmen.

VARMT BRUGSVAND

Det varme brugsvand leveres fra en elvandvarmer med varmepumpeenhed, hvortil der separat føres udeluft fra tagrummet.

Low-Energy House A

JOHAN CHRISTENSEN & SØN Ltd. (owner)
P.E.MALMSTRØM, consulting engineers Ltd.



Lavenergihus B

STØRRELSE, FORM

Hus B er på 140 m² bebygget areal i eet plan, med sadeltag.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Gulvet er en krybekælderkonstruktion isoleret med 300 mm mineraluld. Ydervæggene er udvendigt beklædt med tegl, de er isolerede med 250 mm mineraluld. De plane lofter er isoleret med 400 mm mineraluld. Gulv, ydervæg og loft er udført af store, præfabrikerede elementer bygget over et skelet af Rockwoolstolper. Elementerne er indvendigt beklædt med krydsfinér.

VINDUER

Vinduer er udført med trelags isoleringsrude.

VARME

Huset opvarmes af et lavtemperatur radiatoranlæg, forsynet fra et jordvarme-varmepumpeanlæg med ca. 180 m plastrør nedgravet under græsplænen syd for huset.

VENTILATION

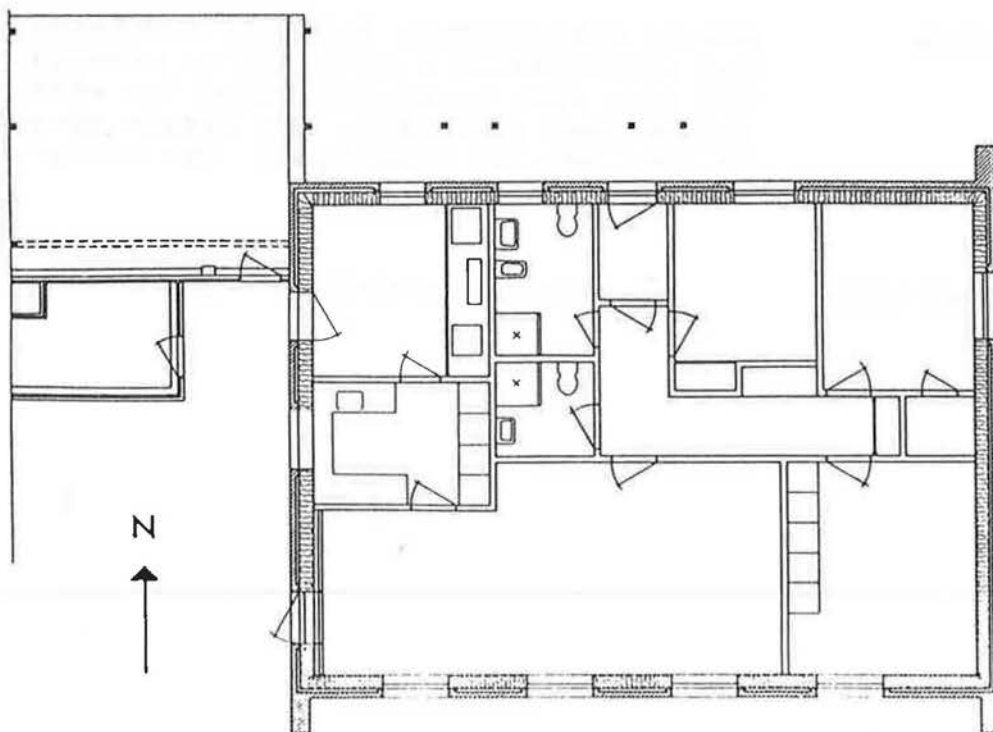
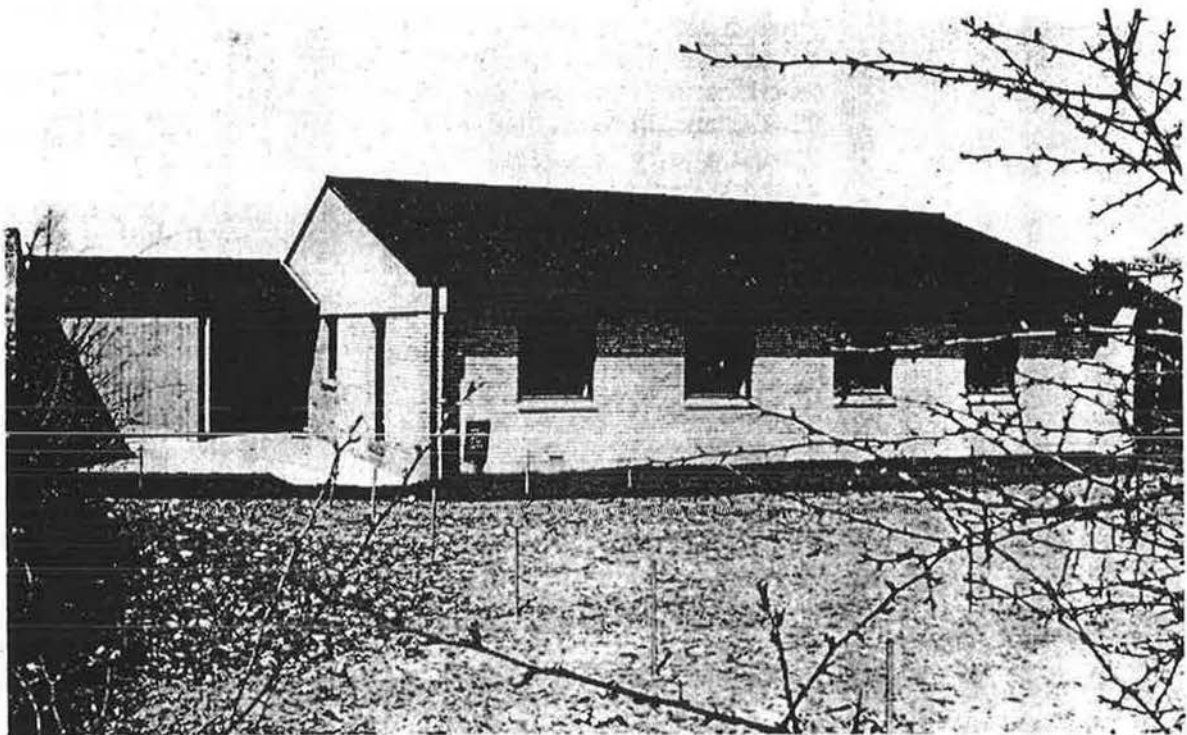
Der er kontrolleret friskluftindblæsning bag radiatorerne i alle rum og udsugning fra alle rum. Varmegenvinding fra afkastluften sker i to trin, det første gennem en genvinder af pladetyper, det næste gennem - -

VARMT BRUGSVAND

- - en varmepumpeenhed for varmt brugsvand.

Low-Energy House B

ROCKWOOL Ltd. (owner)
RUT SPEYER, architect
BIRCH & KROGBOE, consulting engineers



Lavenergihus C

STØRRELSE, FORM

Hus C har et bebygget areal på 135 m². Det er forberedt for senere udnyttelse af tagetagen. Der er to tagflader med spring i overgangen mellem husets sydlige og nordlige del.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Gulvet er en terrændækkonstruktion isoleret med 50 mm mineraluld + 250 mm letklinker.

Ydervæggen er en let stolpekonstruktion beklædt med tegl og/eller vandfast finér.

Den er isoleret med 240 mm mineraluld.

Loftet (etageadskillelsen) er isoleret med 400 mm mineraluld.

VINDUER

Faste vinduer er udført med trelags isoleringsrude + 1 lag glas i pudseramme, oplukkelige vinduer med trelags isoleringsrude.

VARME

Huset opvarmes af et lavtemperatur gulvvarmeanlæg med plastslanger indstøbt i gulvkonstruktionen. Anlægget er elektrisk opvarmet med supplerende fra en 20 m² solfanger anbragt på det sydvendte tag.

VENTILATION

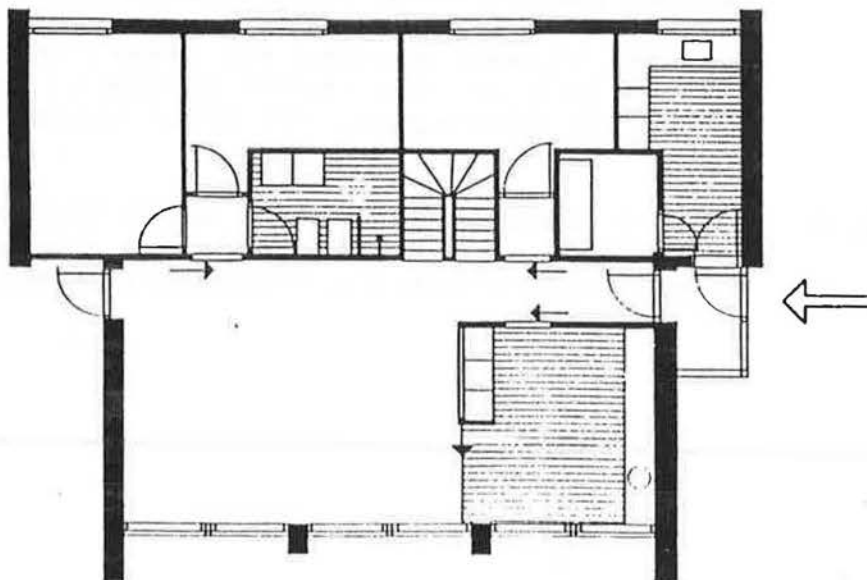
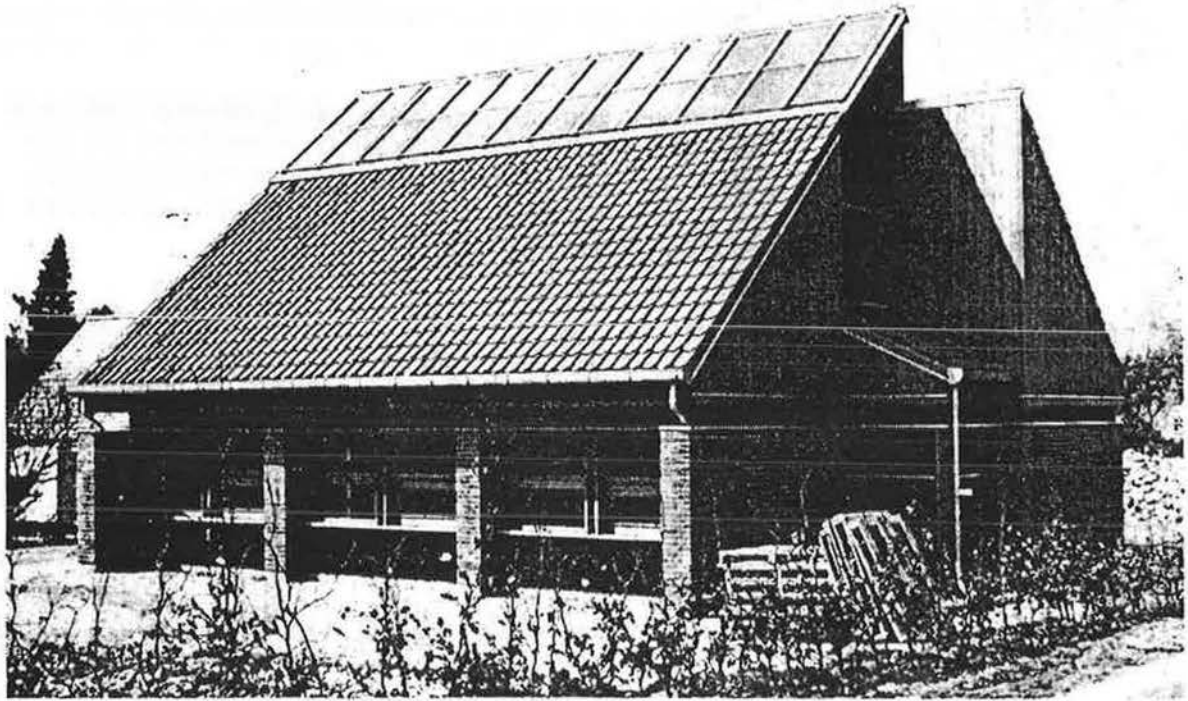
Der er kontrolleret friskluftindblæsning i alle rum og udsugning fra bryggers, bad og køkken. Varmegenvinding fra afkastluften sker i to trin, det første gennem en genvinder af pladetyper, det næste gennem - -

VARMT BRUGSVAND

- - en varmepumpeenhed for varmt brugsvand. Brugsvandet forvarmes i den 1800 l store akkumuleringstank for solvarmeanlægget.

Low-Energy House C

HØM HUSE Ltd. (owner)
VIBE-HANSEN & LOMBORG Ltd., architects m.a.a.
DANSK SOLVARME Ltd.
BERG BACH & KJELD EGMOSE Ltd.
engineers and contractors



Lavenergihus D

STØRRELSE, FORM

Hus D er på 139 m² bebygget areal i eet plan.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Gulvet er en terrændækkonstruktion isoleret med 100 mm mineraluld + 200 mm letklinker. Den øverste del af fundamentet er udført som en Gasbeton sandwichkonstruktion med 130 mm polyurethanskum. Ydervæggene er en hulmurskonstruktion bestående af 2 × 150 mm Gasbeton (Poralet 500) + 200 mm mineraluld, der er kun få bindere. Der er skrå lofter isoleret med 400 mm mineraluld.

VINDUER

Vinduer er udført med tolags isoleringsrude udvendigt forsynet med sidehængte isolerende natskodder.

VARME

Huset opvarmes af et luftvarmeanlæg, der forsynes fra en kedelunit med oliefyr.

VENTILATION

Der er kontrolleret friskluftindblæsning i husets værelser og udsugning fra køkken og de to baderum. Varmegenvinding fra afkastluften sker gennem en genvinder af pladetypen.

VARMT BRUGSVAND

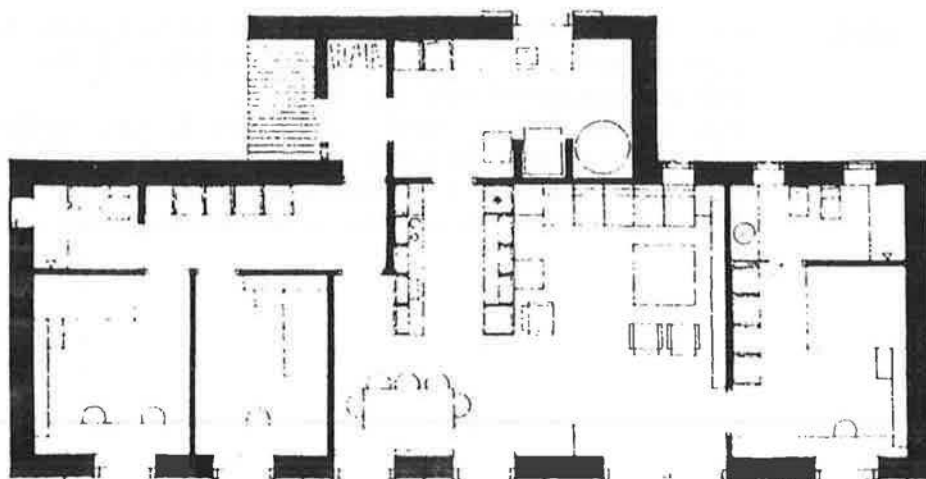
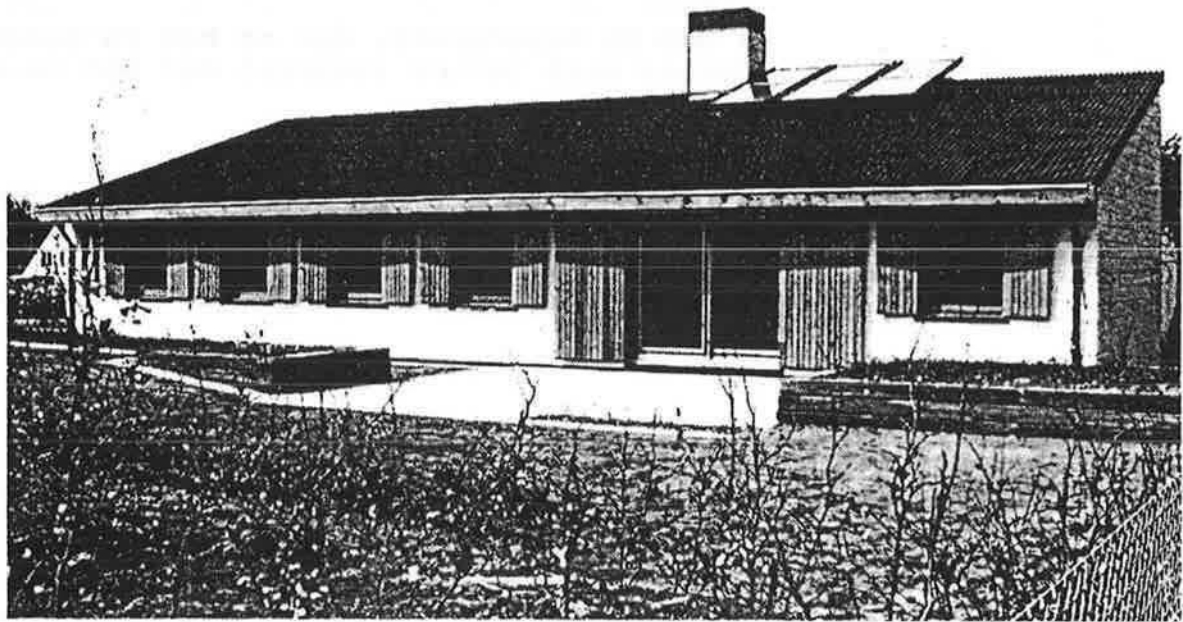
Huset er som supplement til oliefyret forsynet med 9 m² solfanger forbundet til en akkumuleringsstank på 500 l. Det varme brugsvand opvarmes i tre trin:
1) ved varmeveksling med det grå spildevand,
2) forvarmning i akkumuleringsstanken og
3) evt. eftervarmning i kedelunit'en.

Low-Energy House D

H+H INDUSTRI Ltd. (owner)

BERTEL UDSSEN, architect m.a.a.

JOHS. JØRGENSEN Ltd., consulting engineers



Lavenergihus E

STØRRELSE, FORM

Hus E er på 130 m² bebygget areal i eet plan.

Under husets midte er i en kældersektion indrettet et 10 m³ stenlager som varmeakkumulator.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Gulvet under resten af huset er en terrændækkonstruktion isoleret med 300 mm mineraluld.

Ydervæggen er en let stolpekonstruktion isoleret med 300 mm mineraluld, med udvendig træbeklædning og 2 lag gipsplader indvendigt.

De skrå lofter er isoleret med 400 mm mineraluld.

VINDUER

Der er små vinduer mod nord, medens de mod øst, syd og vest er udformet som oplukkelige døre med størst muligt glasareal. De er forsynet med tolags isoleringsrude + udvendigt sidehængte isolerende nat-skodder.

VARME

Huset opvarmes af et ventilationsanlæg med el-varme suppleret af den i stenmagasinet akkumulerede varme hidrørende fra solindfaldet gennem glasarealerne.

VENTILATION

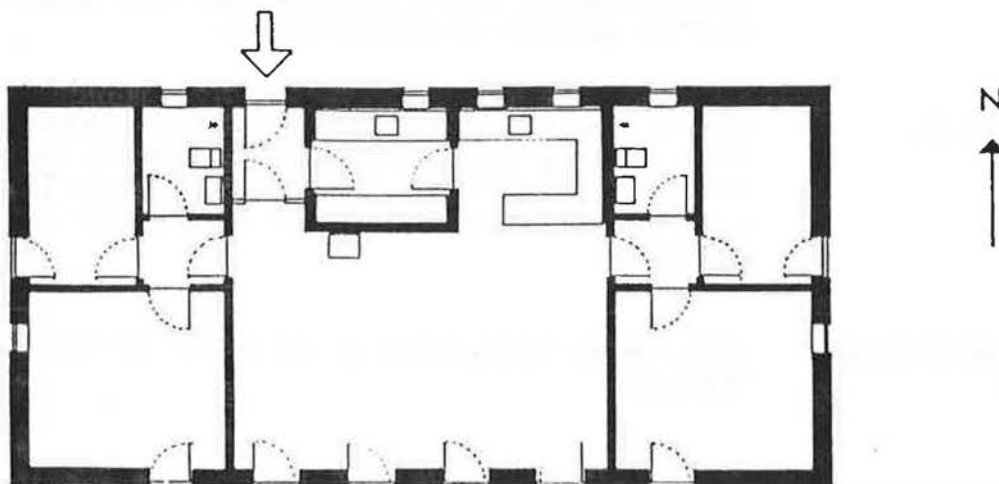
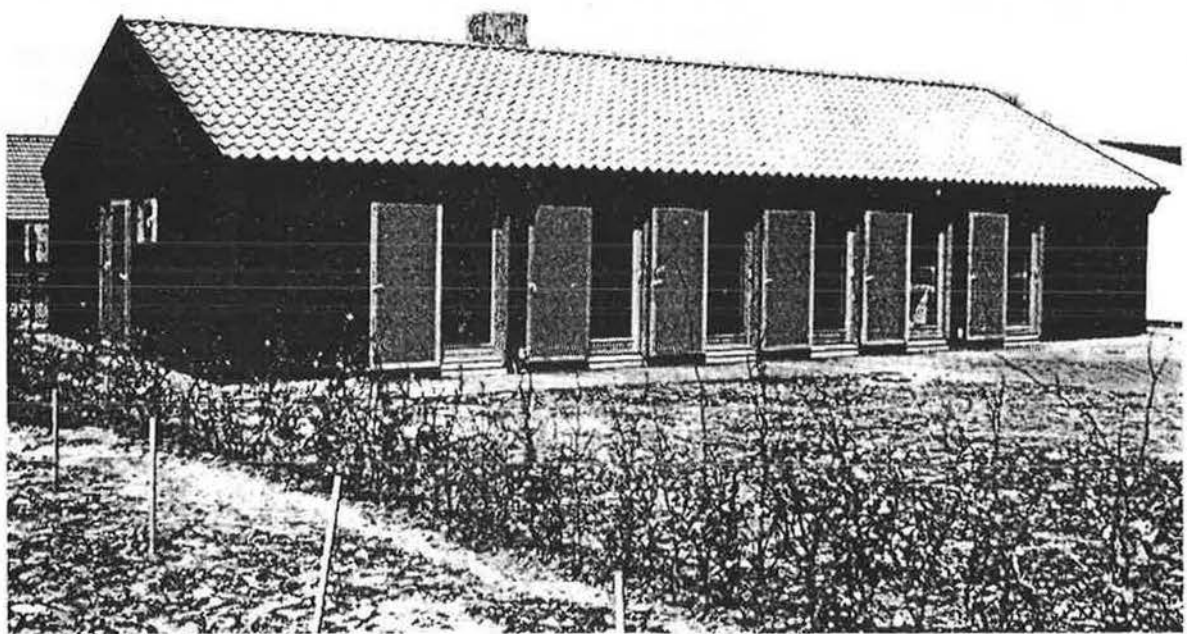
Der er kontrolleret friskluftindblæsning i alle rum og udsugning fra bryggers, badeværelser og køkken. Varmegenvinding fra afkastluften sker gennem en genvinder af pladetyper.

VARMT BRUGSVAND

Det varme brugsvand leveres af en el-vandvarmer.

Low-Energy House E

K.A.B. (owner)
FÆLLESTEGNESTUEN
DOMINIA Ltd.



Lavenergihus F

STØRRELSE, FORM

Hus F er på 88 m² bebygget areal med fuld kælder, stue og 1. sal.

KONSTRUKTIONER, ISOLERING

Husets konstruktioner er udført af beton-elementer.

Kældergulvet er isoleret med 200 mm mineraluld.

Ydervæggene er en sandwichkonstruktion med 80 mm forstøbning, 200 mm mineraluld og 120 mm bagstøbning.

Taget er fladt og isoleret med 300 mm mineraluld.

VINDUER

Vinduerne er med enkelte undtagelser anbragt i husets sydside og udformet som dørpartier med en fast og en oplukkelig del. Der er anvendt plastprofiler og tolags isoleringsrude. Udvendigt monteres mekanisk drevne, isolerende skyde-natskodder.

VARME

Huset opvarmes af et lavtemperatur gulvvarmeanlæg med plastslanger indstøbt i gulvkonstruktionen. Anlægget forsynes fra en kedelunit med gasfyr. Fyrets ydelse suppleres af en 20 m² solfanger anbragt med 45° hældning som selvstændig konstruktion på husets tag.

VENTILATION

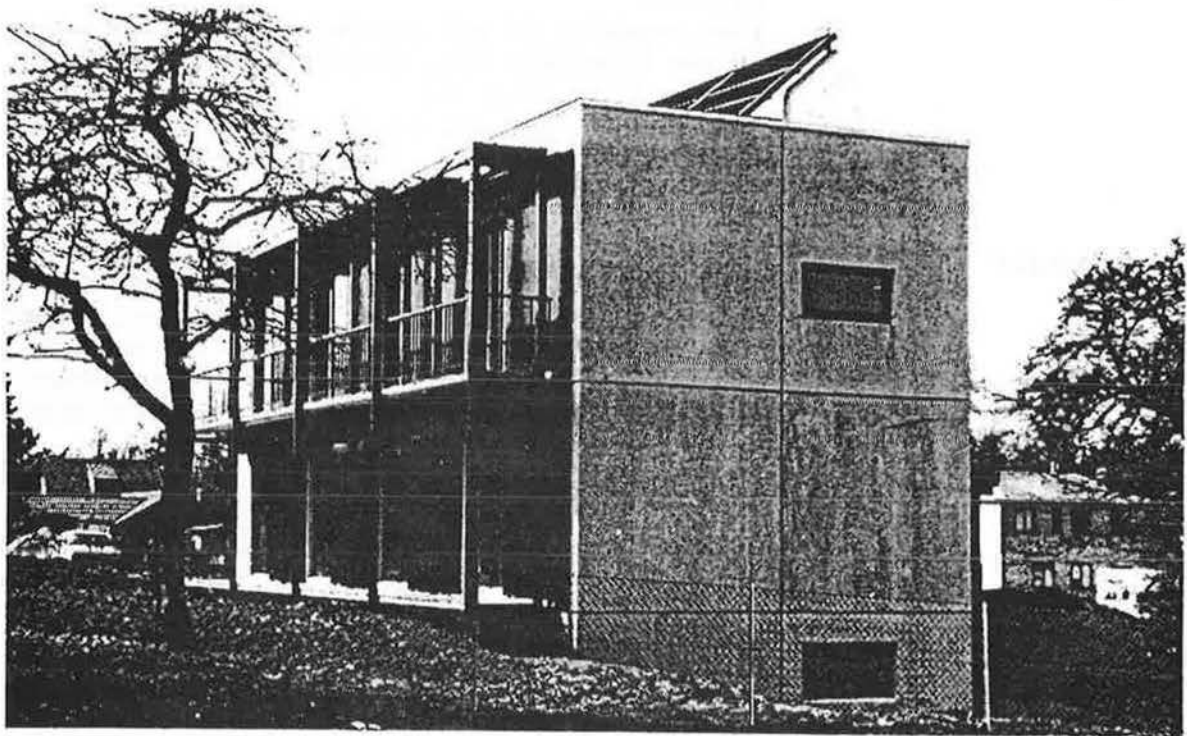
Der er kontrolleret friskluftindblæsning i alle rum og udsugning fra badeværelser, køkken og kælder. Der er genvinding fra afkastluften gennem en genvinder af pladetyper.

VARMT BRUGSVAND

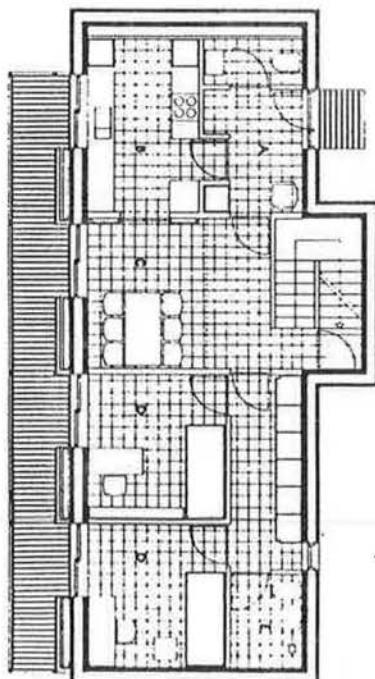
Det varme brugsvand forvarmes gennem den 1.500 l store akkumuleringsstank for solvarmeanlægget og eftervarmes i beholder forsynet fra gasfyret.

Low-Energy House F

HØJGAARD & SCHULTZ Ltd. (owner)
AALBORG PORTLAND
INSTITUTE OF BUILDING DESIGN
COWICONSULT, consulting engineers Ltd.



Ground floor



First floor

