

Bygningers luftskifte

Sammendrag af en projektrapport, udarbejdet af
civilingeniør *P. F. Collet* m. fl., Teknologisk Institut

Af civilingeniør *A. Korsgaard*, Teknologisk Institut

Teknologisk Institut har gennem en række konsultationsopgaver i afdelingerne for *Byggeteknik* og *Varme- og Installationsteknik* erkendt, at der findes en del bygninger, der er så utætte, at det eksisterende — og i øvrigt korrekt dimensionerede — varmeanlæg ikke har kunnet opvarme bygningen i rimelig grad, samt at andre bygninger er så tætte, og luftskiftet dermed så ringe, at det medfører fugtskader i såvel skjulte bygningskonstruktioner som kondens på synlige overflader.

På denne baggrund har Afdelingen for Byggeteknik gennemført et projekt med følgende formål:

- Undersøgelse af udenlandske sporgas-målemetoders praktiske anvendelighed og muligheden for overførelse af de til målingerne hørende formelkonstanter.
- Udvikling af nye og hurtigere anvendelige målemetoder.
- Analyse af forholdene i den eksisterende bygningsmasse gennem måling på repræsentativt udvalgte bygninger.
- Beregninger vedrørende det naturlige luftskiftes betydning for varmetabet.
- Udformning af konkrete løsninger til opnåelse af passende luftskifte, med sigte på såvel den eksisterende boligmasse som på nye bygninger.

Målemetoder.

Bedømmelse af luftskiftet i et rum udføres normalt på en af følgende to måder:

- Ved måling af den luftmængde, der under givne tryk passerer gennem utætheder i rummets begrænsninger. I praksis udføres sådanne målinger ved montering af en blæser i en dør mod det fri. Ud fra måling af den indsugede luftmængde og trykket i rummet fås et mål for luftskiftet.
- Ved måling af koncentrationsændringen af en sporgas, som i en passende valgt mængde tilsættes rumluften. I praksis tilføres momentant en vis mængde sporgas under samtidig kraftig cirkulation af luften i rummet. Måles koncentrationsfaldet af sporgassen i et passende tidsinterval kan luftskiftet beregnes.

Førstnævnte metode giver et mål for bygningens *lufttæthed*, mens sporgasmetoden direkte giver det *naturlige luftskifte* ved de givne vejrforhold.

Måling af lufttæthed

De grundlæggende betragtninger for brugen af trykmålinger er den, at de ydre vindpåvirkninger — ved et givet overtryk i huset — vil ændre størrelsen af den indblæste luftmængde i omtrent samme omfang,

som vindpåvirkningen vil ændre — i modsat retning — størrelsen af den udsugede luftmængde ved et numerisk lige så stort undertryk.

Størrelsen af luftgennemgangen i forskelligt orienterede facader er beregnet for varierende vindretninger under forudsætning af numerisk lige store over- og undertryk i huset. Det beregnede middeltal af luftgennemgang ved henholdsvis over- og undertryk er sat i relation til luftgennemgangen ved vindstille.

Beregningerne viser, at uanset om vindretningen er vinkelret på en facade eller husets diagonal, så vil vindens indvirkning på resultatet være begrænset.

Metoden må betegnes som værende absolut velegnet til bestemmelse af tæthedsgraden af et hus, men den eksakte relation til det naturlige luftskifte bliver forstyrret dels af, at den yderdør, hvori udstyret anbringes, måske har utætheder, der normalt yder et væsentligt bidrag til det naturlige luftskifte, og dels af, at 2 huse med samme tæthed vil have forskelligt luftskifte, såfremt de lægivende forhold er forskellige.

Måleudstyr

Udstyret til gennemførelse af trykmålingerne omfatter en aksialventilator, der er sammenbygget med et venturirør. Rør og ventilator monte-

Bolig	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
n_t gg/h	3,2	2,7	3,4	3,3	2,4	1,3	3,6	2,7	7,8	2,1	2,5
n_k gg/h	0,29	0,40	0,88	0,32	0,59	0,34	0,56	0,42	0,76	0,16	0,38
$n_t : n_k$	11,0	6,8	3,9	10,3	4,1	3,8	6,4	6,4	10,3	13,1	6,6

Fig. 6. Sammenligning af luftskiftemåling korrigeret til normalt tilstanden n_k og tæthedsmåling n_t målt ved trykmåling ved $P_t = 1$ mm VS. gg = antal gange.

tive kommuners tekniske forvaltning, der alt efter kommunens størrelse blev anmodet om at fremkomme med adresser på et vist antal parcelhuse og lejligheder, afstemt på en sådan måde, at alder og typer var typisk for den pågældende kommune.

Ca. 45 % af de adspurgte ejere af én- eller to-familiehuse var villige til at deltage i undersøgelserne, hvor-

imod kun 30 % af lejlighedsindehaverne viste positiv interesse for sagen.

For at råde bod på undervægten af svar fra lejlighedsindehaverne, suppleredes med 10 fortrinsvis ældre lejligheder i Bro-kvartererne i København.

Det naturlige luftskifte er ved en enkelt måling med sporgas målt i 53 huse og 28 lejligheder. Ud af disse

er der i 5 huse og 4 lejligheder desuden foretaget to ekstra målinger i forbindelse med et forsøg på tilvejebringelse af tætning.

Derudover er der i 4 huse over flere dage foretaget kontinuerlig måling af luftskiftet, således at det samlede antal undersøgte boliger når op på 85 stk.

Da målingerne er foretaget under forskellige temperaturer og vindforhold, vil de direkte målinger ikke være umiddelbart sammenlignelige, hvorfor måleresultaterne på figurerne også er korrigeret til en normaltilstand med en vindhastighed på 4,6 m/s og en temperaturdifferens over klimaskærmen på 17° C.

Resultaterne af de korrigerede målinger er vist i figur 7-11.

Heraf fås, at 80 % af boligerne har et luftskifte mellem 0,4 og 0,8 gange pr. time med omtrent lige mange boliger til begge sider af middelværdien.

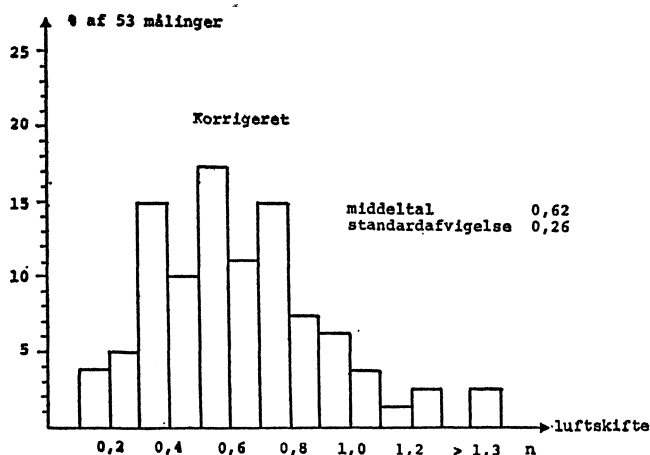


Fig. 7. Naturligt (korrigeret) luftskifte i 53 huse.

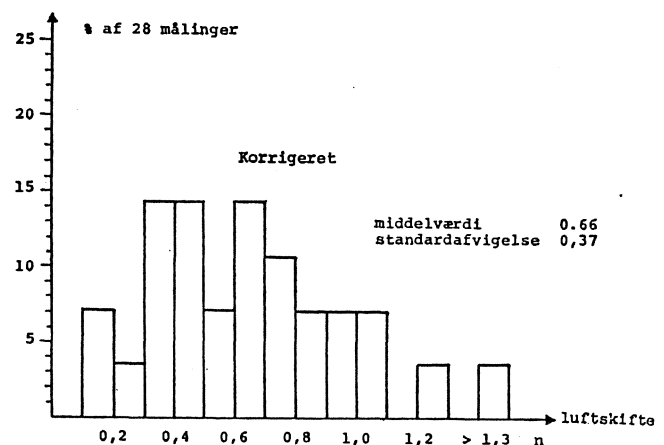


Fig. 8. Naturligt (korrigeret) luftskifte i 28 lejligheder.

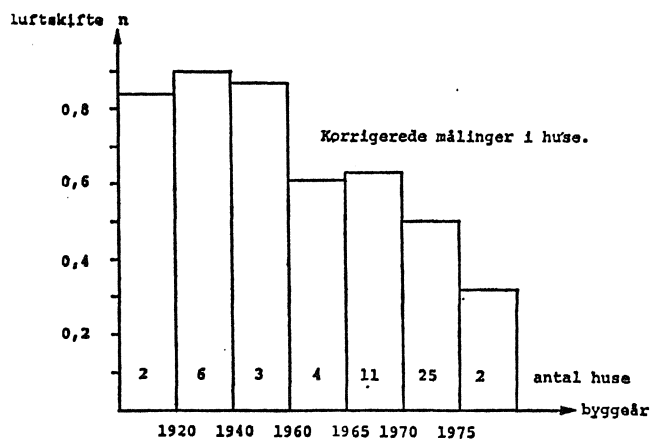


Fig. 9. Naturligt (korrigeret) luftskifte i 53 huse i afhængighed af opførelsestidspunkt.

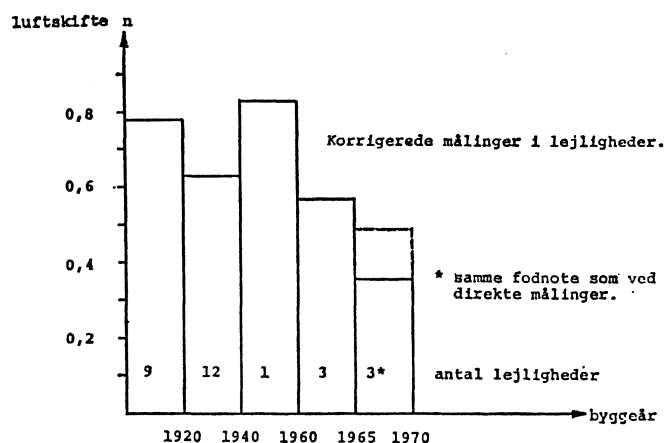


Fig. 10. Naturligt (korrigeret) luftskifte i 28 lejligheder i afhængighed af opførelsestidspunkt.

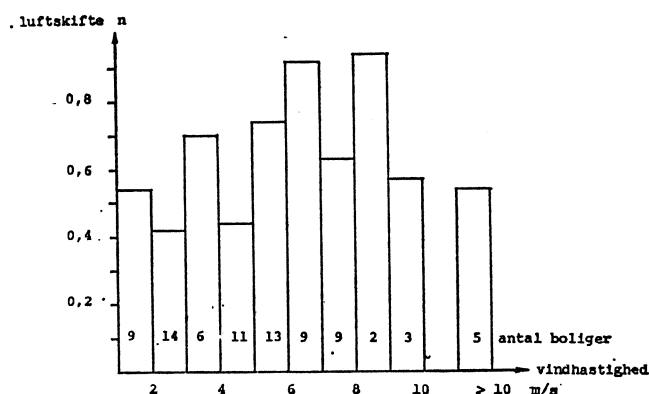


Fig. 11. Naturligt luftskifte i 81 boliger i afhængighed af meteorologisk vindhastighed.

Endvidere stiger luftskiftet relativt meget med boligens alder, idet det dog må erkendes, at perioden fra 1940 til 1960 og fra 1975 til i dag statistisk set er dårligt repræsenteret.

Resultatet af de foretagne *kontinuertlige* målinger viser, at det ikke på baggrund af en enkelt måling af luftskiftet vil være muligt at korrigere resultatet til normalbetingelser ved hjælp af den i udlandet opstillede formel $n = a + b \cdot \Delta t + c \cdot v$. En følgeslutning heraf må være, at sporgasmetoden kun kan anvendes som kontrolmetode i forbindelse med evt. kommende krav i bygningsreglementet, såfremt målingerne foregår under fastlagte klima- og vejrbetingelser, der må opgives sammen med kravet om luftskiftets størrelse, f.eks. $\Delta t = 17 \pm 2^\circ \text{C}$, $v = 4,6 \pm 1 \text{ m/s}$ og vindretning $225 \pm 45^\circ$. Det vil altså sige, at målingerne kun kan foretages de få dage om året, hvor sådanne vejr- og klimaforhold er til stede.

Forsøg med tætning af boliger.

Efter målinger på de første 45 boliger, stod det klart, at et naturligt luftskifte på 0,8 til 1,0 gange pr. time eller større, lå en del over gennemsnittet, samt at boliger med et så stort luftskifte måtte betragtes som *meget* utætte.

Man havde også en fornemmelse af, hvor luftlækagerne i de pågældende boliger skulle søges, og hvordan de skulle afhjælpes, men der var nogen usikkerhed med hensyn til

virksomheden og omkostningen ved en afhjælpning.

Det blev derfor besluttet at gennemføre en række forsøg, hvorunder der skulle foretages tætning af de ca. 10 boliger, hvori der var målt de største luftskifter, og med en fordeling således, at der var cirka lige mange parcelhuse og etageboliger. Udbedringen skulle foretages i et sådant omfang, at det svarede til, hvad man med rimelighed kunne forvente, at gode håndværkere selv kunne finde frem til på grundlag af en generel information om problematikken. Arbejdsmetoder og materialevalg skulle ligeledes være kendt i håndværkerkredse.

Udvælgelsen af de pågældende boliger viste sig at være ganske enkel, idet der ud af de første 45 målinger var 5 parcelhuse, hvor det ukorrigerede luftskifte var målt til en værdi større end 0,8 gange pr. time og det tilsvarende for 4 lejligheder i etageboliger. Ydermere var fordelingen blandt begge kategorier af boliger sådan, at der var eksempler på såvel ældre som nyere bygninger.

Resultat af tætninger

I de efterfølgende figurer 12-20 er der nærmere beskrevet, hvilke udbedringer, der er foretaget i den enkelte bolig, samt angivet forbruget af tid og materialer. Desuden er i fig. 21 oplyst måleresultaterne før og efter tætningen, samt beboernes opfattelse af virkningen. De anførte måleresultater er korrigeret.

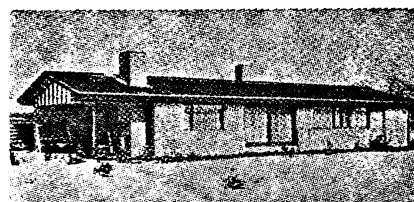


Fig. 12. Bolig nr. 17. Her er foretaget: Udskiftning af tætningslister på to skydedøre, hoveddør og loftsløb. Afblænding af ubenyttet brevindkast. Justering af anverfere på gående vinduesrammer. Tætning med fugemasse mellem overkant, mur og tagrem, mellem loft (tag), skydedør og murværk i vestgavl, samt ved kalfatringsfuger ved vindues- og dørkarme.



Fig. 13. Bolig nr. 23. Her er foretaget: Montering af tætningslister i overfalsen på samtlige forsatsvinduer. Forsatsvinduer forefandtes på alle vinduer for de underste rammers vedkommende, hvorimod kun halvdelen af de øverste rammer er forsynet med forsatsvinduer. Hvor forsatsvindueres karm ikke har været lufttæt forbundet med selve vindueskarmen, er tætning foretaget med fugebånd eller fugemasse.

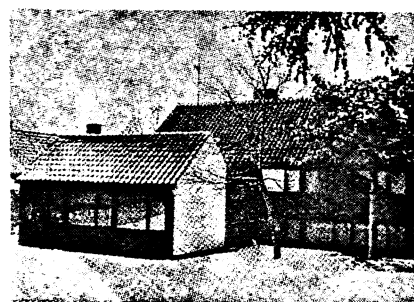


Fig. 14. Bolig nr. 30. Her er foretaget: Montering af tætningslister i false ved alle oplukkelige vinduer og yderdøre. Justering og afhøvling af hoveddør og en del af vinduesrammerne. Nye anverfere på nogle vinduer samt nye fjedre til lukning af brevindkast. Omfugning af ca. halvdelen af den samlede længde af udvendige kalfatringsfuger. Fugning og afdækning med trælistes ved så godt som samtlige fuger mellem bindingsværk og vindueskonstruktion.

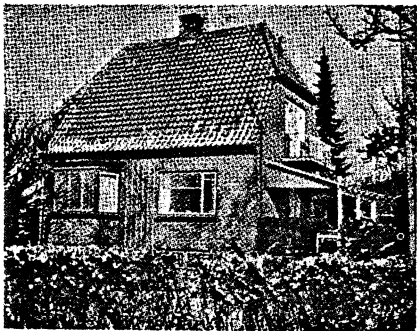


Fig. 15. Bolig nr. 33. Her er foretaget: Opretning, justering og påsætning af tætningslister i fals på hoveddør, terrassedør, altandør og kælderør. Tætningslister i overfals på forsatsvinduer, samt tætning mellem forsats- og vindueskarme. Tætningslister på skunklemme og loftslem. Reparation med fugemasse af godt halvdelen af den samlede udvendige længde af kalfatringsfuger. Efter tætning af vinduer og døre, har huset, på grund af sin pudsede udførelse, en god tæthed. Det eneste sted, hvor yderligere kunne tænkes forbedringer, vil være skunkvægge og etageadskillelser.

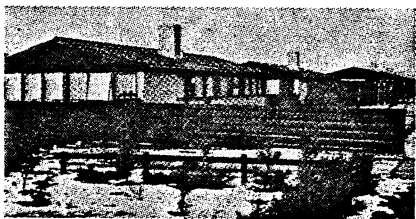


Fig. 16. Bolig nr. 40. Her er foretaget: Tætning med fugemasse mellem tagrem og overkant ydermur, det samme over vindueskarme samt ved gavle. Zinkafdekning under vinduer er demonteret, og fuger mellem karme og murværk er udfyldt med fugemasse. Samtlige mørtelfuger mellem vindues- og dørkarme og murværk er udskiftet med elastisk fugemasse. Underbeklædningen på udhæng langs facader er demonteret, og loftsisoleringens afslutning ved tagremmen er afdækket med et vindafskærmende bræt, hvis afslutning til rem og spær er udfyldt med fugemasse. På indgangsdøren er eksisterende løstsiddende kobbertætningslister fjernet, og tætningslister er påklæbet i fals. Terrassedør er afhøvet, justeret og forsynet med tætningslister. Huller mellem vinduesplader og vindueskarmsamlinger er udfyldt med fugemasse, og indvendige beklædninger mellem vinduer er eftersømet. I køkken, bad og gæstetoilet er aftrækskanalens udsugningsåbning i loftfladen blevet forsynet med en 10×15 cm klapventil og en tvangsåbning på 20 %.



Fig. 17. Bolig nr. 19. Her er foretaget: Oplukkelige vinduer og altandøre er forsynet med tætningslister i falsene. Entrédør er forsynet med tætningslister i karmlysnings. Brevindkast er justeret. Ved altanpartiet, der er udført som en let trækonstruktion, er afdækningslister demonteret, og de bagved liggende fuger er udfyldt med fugemasse. Indvendige brystningsbeklædningsplader, der var fastholdt med glaslister, blev ligeledes demonteret, og pladen blev derefter klem fast i fugemasse.

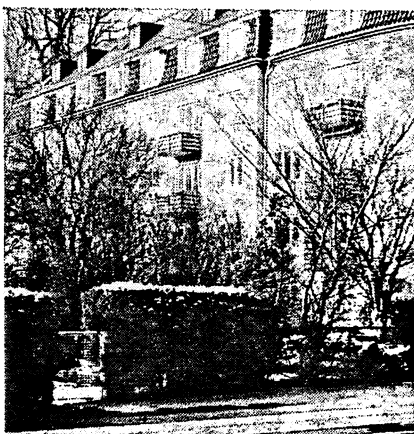


Fig. 18. Bolig nr. 41. Målingerne er foretaget øverst midt i husblokken i en $4\frac{1}{2}$ værelses lejlighed, der går gennem to etager, nemlig manzard- og kvistetage.

Her er foretaget:

Anbringelse af tætningslister i fals ved oplukkelige vinduer og altandør. Kalfatringsfuge omkring altandør er udbedret med fugemasse. Hvilket også er gjort ved kvistkarme og ved en spiraltrappes gennemføring i etageadskillelsen. Entrédør og dør fra værelse til loftgang er forsynet med tætningslister i karmlysnings. Dør fra køkken til bagtrappe var ca. 15 mm vindskæv, hvorfor det var nødvendigt med specielle forkilede trælister, som baggrund for tætningslisterne i karmlysnings. Ved altandør og tagvindue var det nødvendigt at lime lister på øverste rammestykke for at få kontakt med falsen.



Fig. 19. Bolig nr. 42. Her er foretaget: Tætning i fals ved vinduer i køkken og værelse. Tætning af forsatsrammer på vindue og dør i altanparti til stue. Altandør tillige afhøvet og justeret. Tætningslister påsat karmlysnings ved entrédør. Etablering af underlysramme i forbindelse med ovenlysskakt i badeværelse. Fugning udvendig omkring altandør og indvendig mellem vindueskarm og fliser i køkken.



Fig. 20. Bolig nr. 49. Målingerne blev foretaget i en 3-værelses lejlighed i øverste etage. Vinduerne mod gaden er de to, som ses øverst til venstre i den forreste bygning.

Her er foretaget:

Anbringelse af tætningslister i fals på samtlige oplukkelige vinduer. Bemærk vinduesopdelingen. Kalfatringsfuger er generelt udfyldt med fugemasse. Under vindue i opholdsstue er der udfyldt med fugemasse mellem vægpanel og gulv, samt afdækket med træliste. Entrédør og dør til bagtrappe er i karmlysnings forsynet med specielt udformede trælister med påsat tætningsprofil. Brevindkast, håndtag på entrédør samt anverfere på vinduer er repareret.

Bolig nr.	17	23	30	33	40	19	41	42	49
Figur nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Opførelsesår	1973	1875	1952/69	1930	1967	1961	1933	1934	1900
Areal i m ²	140	130	270	157	104	80	124	45	80
Volumen i m ³	330	360	670	340	260	203	310	124	224
Naturligt luftskifte gange/h									
Før tætning	0,58	0,53	0,96	1,06	0,84	0,66	0,75	0,92	0,96
Efter tætning	0,29	0,38	0,26	0,53	0,39	0,26	0,53	0,79	0,38
Beboernes opfattelse af tætningens virkning	god	god	særdeles god	særdeles god	særdeles god	god	god	god	særdeles god
Medgåede arbejdstimer til tætning	61	34	72	44	54	16	24	26	35
Materialeudgift i kroner (ca.)	550	200	500	250	650	125	175	150	250

Fig. 21. Oversigt over de ved det udførte tætningsarbejde opnåede formindskelser i det naturlige luftskifte, beboernes opfattelse af resultatet, samt hvor mange arbejdstimer og hvor stor en materialeudgift, der var nødvendig for at opnå de anførte forbedringer.

Sammenfatning.

Selv om afskrækkende eksempler på utætte, nyere boliger, hovedsageligt parcelhuse, har efterladt det indtryk, at de nyere boliger var lige så utætte som de ældre, ses det af måleresultaterne, at der er et jævnt fald i størrelsen af det naturlige luftskifte i relation til boligmassens opførelses-tidspunkt.

På trods af, at luftskiftet er mindre end tidligere antaget, er der alligevel mulighed for besparelse af betydelige energimængder ved en tætning af den del af boligmassen, der har et naturligt luftskifte større end 0,5 gange pr. time. Den del af boligmassen, der ifølge målingerne har et luftskifte større end 0,5 gange pr. time, udgør ca. 65 % af boligmassen, og det gennemsnitlige luftskifte i denne gruppe er ca. 0,75 gange pr. time. Hvis dette overføres til landsbasis, vil en reducere til 0,5 gange pr. time betyde, at der årligt kan spares omkring 30 % af de 10 millioner Gcal, der — beregnet på grundlag af det samlede materiale — tabes i forbindelse med det naturlige luftskifte i boligmassen.

Til opvarmning af boligmassen medgår der ca. 60 millioner Gcal, hvoraf der nyttiggøres ca. 40 millioner Gcal. Det vil sige, at varmetabet ved det naturlige luftskifte udgør ca.

25 % af det totale varmetab i boligmassen.

Hvis samfundets marginalbesparelse ansættes til 100 kroner pr. Gcal svarer de anførte besparelsmuligheder til en nettogevinst på 300 millioner kroner årligt, og dertil kan der måske yderligere lægges omkring 100 millioner kr., idet en nedsættelse af luftskiftet normalt også vil muliggøre en generel sænkning af rumtemperaturen.

Besparelserne kræver dog også en investering. På grundlag af erfaringerne fra tætning af bl. a. 9 boliger, skønnes materialeomkostningerne til tætning i det anførte omfang at andrage ca. 500 millioner kr. Arbejdsindsatsen i samme forbindelse skønnes at andrage en værdi af 2 milliarder kr., hvis der regnes med almindelige håndværkertimesatser. Omkring halvdelen af arbejdet er dog af en karakter, der gør det muligt for ejere eller lejere selv at udføre det.

Erfaringerne fra arbejdet med tætning af de 9 boliger viser også, at utæthederne i den ældre boligmasse — der beviseligt er den mest utætte — koncentrerer sig omkring vinduer og udvendige døre, og at tætningen forholdsvis enkelt udføres ved anbringelse af tætningslister og udfyldning med fugemasse. Også i den

nyere boligmasse findes der visse steder utætheder af samme art som i den gamle boligmasse, men problemerne ligger her i højere grad i sammenhæng mellem væg- og loftkonstruktion.

Referencer.

- [1] Andersen, Ib. - Lundquist, G. R. - Møllehave, Lars: Ugeskrift for læger, nr. 38, 1974.
- [2] Becher, P. - Evensen, L.: *Boligventilation*. SBI-rapport 44.
- [3] Coblenz, C. W. - Achenbach, P. R.: *Field Measurements of Air Infiltration in Ten Electrically-Heated Houses*. ASHRAE, No. 1845.
- [4] Elmroth - Höglund: *Värmebalans i småhus*, 1973.
- [5] Laschober, R. R. - Healy, J. H.: *Statistical analyses of air leakage in split-level residences*. ASHRAE, No. 1900.
- [6] Stricker, S.: *Measurement of Airleakage in Houses*. Ontario hydro research quarterly, fourth quarter, 1974.
- [7] Andersen, Bo - Ejedorff, Stig - Lund, Hans - Pedersen, Erik. - Rosenørn, Stig. - Valbjørn, Ole: *Vejrdata for VVS-tekniske beregninger. Referencedår*. SBI-rapport 89, 1974.

- [8] Hansen, Asger - Moe, Niels: *Boligens energiforbrug 1973-2005*. Rapport nr. 1, Niels Bohr Institut.
- [9] Brønd, Evald - Moe, Niels: *Energiefterspørgsel i Danmark 1990-2005, traditionelt og reduceret*. Rapport nr. 2, Niels Bohr Institut.
- [10] Bjørnholm, Sven - Hansen, Asger - Holm, Anders: *Danmarks energiforsyning 1990-2005*. Rapport nr. 3, Niels Bohr Institut.
- [11] Bjørnholm, Sven - Hansen, Asger - Holm, Anders: *Danmarks energiforbrug i samfundsøkonomisk belysning 1990-2005*. Rapport nr. 4, Niels Bohr Institut.
- [12] Bjørnholm, Sven: *Energien i Danmark 1990-2005*. Rapport nr. 6, Niels Bohr Institut.

Rapporten om bygningers luftskifte kan købes hos Teknologisk Instituts Forlag, Hagemannsgade 2, 1607 København V. Telefon (01) 15 87 60.

English summary:

Korsgaard, Anders: *Air change in buildings. Summary of a report on a project.*

The article is a summary of a report on the results of a survey on the tightness and natural air change for buildings of various types. The measuring methods are briefly described. Measurements have been made in 53 detached houses and 28 flats. Nine of these have been better sealed and tested afterwards. Despite the measured comparatively low air changes, significant energy savings should be possible by further reduction of the natural air change.

Økonomiske betragtninger ved forskellige opvarmningsformer

Et diskussionsindlæg ved 12. Nordiske Oliefyringskongres

Af civilingeniør H.D. Erik Larsen, Sammenslutningen af Oliefyringsfirmaer i Danmark, SA-O

I Danmark har der i det sidste år været en meget kraftig debat om energiproblemerne med udgangspunkt i spørgsmålet om at opnå en større uafhængighed af olien.

I diskussionsindlæggene har brugen af fyringsgasolie i Danmarks 750.000 enfamiliehuse været udsat for en hård kritik, og i forskellige publikationer har årsnyttevirkningen været skønnet at være 50-55 %, tal der påstås at stamme fra Sverige, men helt ude af trit med virkeligheden.

Det har derfor været af stor betydning, at Laboratoriet for Varme- og Klimateknik på Danmarks tekniske Højskole og Laboratoriet for Varme- og Installationsteknik ved Teknologisk Institut har foretaget en undersøgelse af oliefyrede kedelunits årsnyttevirkning, og offentliggjort resultaterne i en nylig udkommet rapport med titlen:

Energimæssig placering af individuel oliefyring i Danmark.

Ses der bort fra kedelunitens radiatorvirkning og andet tab fra selve centralvarmesystemet, er årsnyttevirkningen i rapporten fundet at være på 86,6 % til 89,4 %. I en artikel i tidsskriftet VARME, der udgives af Teknologisk Institut, har jeg i juni 1975 ved almindelige undersøgelser nået til årsvirkningsgrader på 87,8 % til 88,6 %, tal som altså er i overensstemmelse med den nye rapport.

Ud fra min artikel har jeg betragtet et enfamiliehus med et årsforbrug til rumopvarmning på 20 Gcal og 5 Gcal til varmt brugsvand.

Jeg har i tabel 1 beregnet udgifterne til brændsel eller køb af tilsvarende energi ved oliefyring i en moderne oliefyret kedelunit med års-

virkningsgrad 88,6 %, med oliefyring i et ældre anlæg med årsvirkningsgrad 65 % og ved gasfyring i en kedelunit med årsvirkningsgrad 80 %, ved kommunal fjernvarme i København og ved elopvarmning med radiatorer — begge regnet til 100 % nytteeffekt.

Forfatterens diskussionsindlæg var oprindeligt baseret på energipriser pr. 1. maj 1976. I denne artikel er beregningerne udført på grundlag af prisniveauet pr. 26. november 1976.

Takstberegning pr. 26/1 Fyringsgasolie

Prisen hos større firmaer er 76 frit tilkøbt kr. 860,00 pr hele landet. Ved aftaler om tisk opfyldning i tank på m³ er prisen p. t. kr. 835,00