

AIC 564 #953

Institutt for bygningsteknikk
Norges landbrukshøgskole
Stensiltrykk nr. 169

i samarbeid med Isotoplaboratoriet ved NLH

ANVENDELSE AV RADIOAKTIV GASS I FORSØK
VEDRØRENDE KLIMATISERING AV HUSDYRRØM

Av

Harald Lilleng og Kjell Steenberg

Ås - NLH 1980

F O R O R D

Noen vesentlig forskning på området klimatisering av husdyrrom har bare pågått de siste 15-20 årene. Forskerne har derfor hatt lite å holde seg til av tidligere metodikk ved opplegg av sine forsøk. Det arbeidet som presenteres her, ble utført i 1968 med tanke på å klarlegge om isotopteknikken egner seg i klimatiseringsforsøk i husdyrrom.

Hovedtyngden av arbeidet ble utført av førsteamanuensis Harald Lilleng og vitenskapelig assistent Hans Kleven ved Institutt for bygningsteknikk og instituttsjef Kjell Steenberg ved Isotoplaboratoriet ved Norges landbrukshøgskole. Videre deltok fagassistent Magne Kjølsvik fra Institutt for bygningsteknikk og avdelingsingeniør Helge Lien fra Isotoplaboratoriet.

I N N H O L D

Forord

A. Innledning	3
B. Forsøkshuset	4
C. Forsøksplanen	4
1. Hovedtrekkene i opplegget	4
2. Bruken av radioaktiv sporgass eller tracer	6
D. Resultatene	10
1. Innføring av gass ved ventil 1 og avtrekk ved himlingen med vifte I (forsøk 1)	11
2. Innføring av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved himlingen med vifte I (forsøk 2)	12
3. Innføring av gass gjennom ventil 1 og avtrekk ved golvet med vifte I (forsøk 3)	12
4. Innføring av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved golvet med vifte I (forsøk 4)	12
5. Luftfordelingen på tvers av huset	12
E. Konklusjon	18
F. Litteratur	20

A. INNLEDNING

Under utvikling av utstyr og systemer ved klimatisering av husdyrrom er det av grunnleggende betydning å få kjennskap til hvordan luften fordeler seg i rommet for forskjellige typer anlegg under skiftende værforhold.

Luftbevegelsene i rommet kan følges ved hjelp av sporstoffer. Det ideelle sporstoff ville være ett som har samme vekt som luft og følger samme bevegelsesmønster samtidig med at det lett lar seg påvise og måle kvantitativt. Videre bør det ikke bli absorbert i eller reagere kjemisk med materialer i vegger eller inventar, og det bør være ufarlig i bruk.

Av sporstoffer som har vært nyttet, kan nevnes røyk, karbondioksyd, vandamp, hydrogen, helium m.fl. Problemet er som regel at de enten ikke følger luftbevegelsene godt nok eller at de er vanskelige å påvise kvantitativt. Særlig ved sammenligning av luftbevegelsene ved forskjellige forsøksbetingelser kan dette by på store ulemper.

Utviklingen av isotopteknikken har ført til at radioaktive isotoper nå ofte blir brukt som sporstoffer i forskjellige undersøkelser. For å undersøke dette alternativet nærmere, tok Institutt for bygningsteknikk kontakt med Isotoplaboratoriet, og de gikk sammen om å prøve ⁸⁵Kr i et tracerforsøk i et hus som Institutt for bygningsteknikk har ført opp for klimaundersøkelser. Planen ble utarbeidet først og fremst med tanke på å klarlegge om isotopteknikken egner seg i forsøk vedrørende klimatisering av husdyrrom. Dernest var hensikten med tracerforsøket å få svar på hvordan og hvor raskt friskluften fordeler seg i et rom under bestemte værforhold når rommet er utstyrt med et definert klimaanlegg.

B. FORSØKSHUSET

Huset hvor prøvene foregikk, har en grunnflate på 9 x 18 m og en innvendig høyde på 2,9 m. Under prøvene var huset utstyrt med 4 stk. propellervifter, plassert i vertikale avtrekkspiper over taket. Viftene kunne koples inn og ut separat, og det var mulig å regulere ventilasjonsvolumet for hver vifte med skyvespjeld. Inntak av frisk luft foregikk gjennom 15 cm høye og 40 cm brede skuffventiler plassert i begge langvegger og med overkant 20 cm fra himlingen. Hastigheten på friskluften kunne reguleres ved å trekke skuffene mer eller mindre ut fra veggen. Fig. 1 viser plan av huset.

Under prøvene var det ikke dyr i huset. Huset ble imidlertid betraktet som et hønehus med golvdrift med et belegg på 1300 dyr, eller 8 dyr pr. m². Ved hjelp av varmekabler og en fordampningsinnretning ved golvet ble det tilført 15 kW og 6500 g vann pr. time. Dette tilsvarer de mengder varme og fuktighet som 1300 høner ville ha produsert. Varmen og dampen ble jevnt tilført i de soner dyrene ville ha oppholdt seg.

C. FORSØKSPLANEN

1. Hovedtrekkene i opplegget

Planen tok sikte på å undersøke hvor godt friskluften fordeler seg fra de enkelte inntaksåpninger. Det blir ofte hevdet at luft fra inntak nær uttaket i stor utstrekning strømmer direkte til dette (kortslutning) og at det lett oppstår partier i rommet som blir dårlig ventilert.

Under forsøkene ble bare vestre pipe m/vifte (vifte 1) nyttet. (Se fig. 1.) Viften ble strupt til temperaturdifferansen inne ute ble 10-15°C. Samme struping ble så nyttet gjennom hele forsøket for å sikre samme ventilasjonsvolum. Ved hjelp av en vertikal kanal tilkopleet pipen kunne luften trekkes ut ved golvet. Når kanalen ble fjernet, ble luften trukket ut ved himlingen.

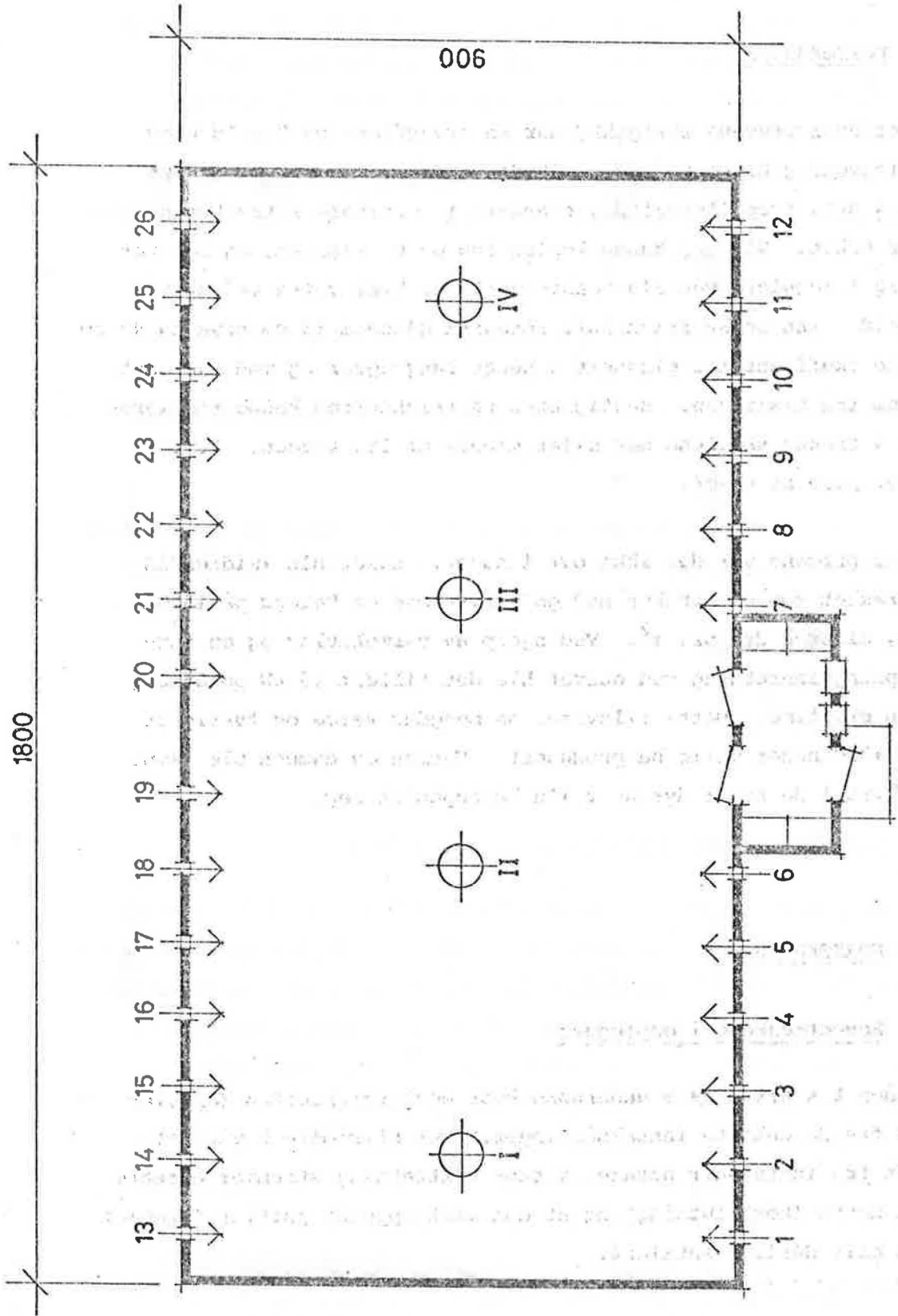


FIG 1. PLAN AV HUSET

Friskluften ble tatt inn gjennom annen hver ventil på begge langvegger (13 stk.), og den radioaktive gassen ble sluppet inn alternativt gjennom en ventil nær uttaket (ventil 1) og så langt fra uttaket som mulig (ventil 12).

⁸⁵Krypton-aktiviteten ble målt i 6 punkter i hvert av 3 tverrsnitt i huset. Se figurene 3-6.

Prøvene ble gjennomført om kvelden og natten i mars måned under rolige værforhold for at ikke ytre påvirkninger skulle forstyrre resultatet. Dette var viktig da vi bare hadde anledning til å foreta samme oppstilling én gang.

Det ble valgt å ta friskluften inn med en hastighet på ca. 6 m/sek. Til målingene av hastigheten ble nytt et varmetrådsanemometer.

Temperaturen ute og i 18 punkter i hvert av de 3 snittene hvor aktivitetsmålingene foregikk, ble registrert med termoelementer og punktskriver.

2. Bruken av radioaktiv sporgass eller tracer

Ved valg av isotoptracer vil en ofte ha flere muligheter som må vurderes i relasjon til stoffets fysiske og kjemiske egenskaper og til formålet med undersøkelsen. Videre er strålingsegenskapene viktige, altså stråletype og -energi, isotopens halveringstid, de strålehygieniske forhold etc. samt hva slags måleapparat som er tilgjengelig. Av isotoper som har vært brukt for å studere luftbevegelser, kan nevnes ³H, ⁴¹Ar, ⁸⁵Kr, ¹³³Xe og ²²²Rn. Den mest brukte er edelgassisotopen ⁸⁵Kr, og det er også den vi fant best egnet for våre formål (1, 3, 4, 6).

Strålingsegenskapene for ⁸⁵Kr er stort sett gunstige for ventilasjonsstudier. Ca. 99,6% av desintegrasjonene resulterer i utsending av forholdsvis hard β -stråling, mens bare ca. 0,4% gir γ -stråling. β -strålingen har en maksimalverdi på 0,687 MeV, mens γ -strålingen har en energi på 0,514 MeV. (MeV = millioner elektronvolt, 1 MeV = $1.0602 \cdot 10^{-13}$ joule). ⁸⁵Kr-strålingen er

derfor lett å måle med enkle og rimelige geigertellere med tilfredsstillende effektivitet. En kan da omtrent se bort fra γ -strålingen ved målingene p.g.a. den lave intensiteten i dette tilfelle samt geigertellerens dårlige effektivitet overfor γ -stråling.

Halveringstiden for ^{85}Kr er imidlertid forholdsvis lang, 10,7 år. Denne kunne av strålevernmessige grunner gjerne vært kortere. All ^{85}Kr -gass som nyttes, vil jo bli overført til atmosfæren og altså holde seg her i lang tid. På den annen side kan en ^{85}Kr -beholdning lagres i lengre tid før bruken uten at aktiviteten reduseres vesentlig p.g.a. den forholdsvis lange halveringstiden.

Kryptongassen ble levert i ampuller med en aktivitet på ca. 370 MBq (10 mCi) i $0,174 \text{ cm}^3$ gass (STP) og med 3,5% ^{85}Kr .

Den aktive gassen ble først overført til sylindriske glassbeholdere forsynt med kraner i hver ende. Disse beholderne hadde et volum på 1230 ml. Etter at de var evakuert og Kr-gassen sluppet inn, ble trykket utjevnet til atmosfæretrykket. En slange ble ført fra glassylindringen og inn gjennom en ventil i veggen i forsøksbygningen. Gassen ble så blåst inn sammen med friskluften ved hjelp av en liten trykkpumpe. Målinger viste at innføringen av Kr-gassen skjedde i løpet av få sekunder. Innføringen hadde ubetydelig virkning på lufthastigheten inn gjennom ventilen, da friskluftmengdene pr. ventil var i størrelsesorden 50 l pr. sek.

Kryptongassen blander seg godt med luften. Som edelgass er den jo kjemisk inaktiv, men den løser seg noe i vann og også litt i kroppsvæskene. Dette bør en ta hensyn til ved en strålehygienisk vurdering av forsøksopplegget. En må vurdere mulig strålefare fra ^{85}Kr -gass i omgivelsene både når det gjelder utvendig bestråling av kroppen såvel som faren for innånding av gassen. Ifølge internasjonale strålevernregler (ICRP) er den maksimalt tillatte konsentrasjon av ^{85}Kr i luft $0,37 \text{ Bq/ml}$ for yrkeseksponerte ved 40 timers arbeidsuke. For befolkningen i allminnelighet er den tilsvarende maksimalkonsentrasjonen $0,01 \text{ Bq/ml}$.

Whitton (7) har beregnet strålebelastningen for en person som oppholder seg i luft med en ^{85}Kr -konsentrasjon på $3,7 \cdot 10^4$ Bq/g eller $47,7 \text{ MBq/m}^3$. Han angir følgende dosehastigheter fra inhalering av ^{85}Kr -gassen:

Ca 0,028 mrad/h til ikke-fettholdig vev
" 0,28 " " " fettvev

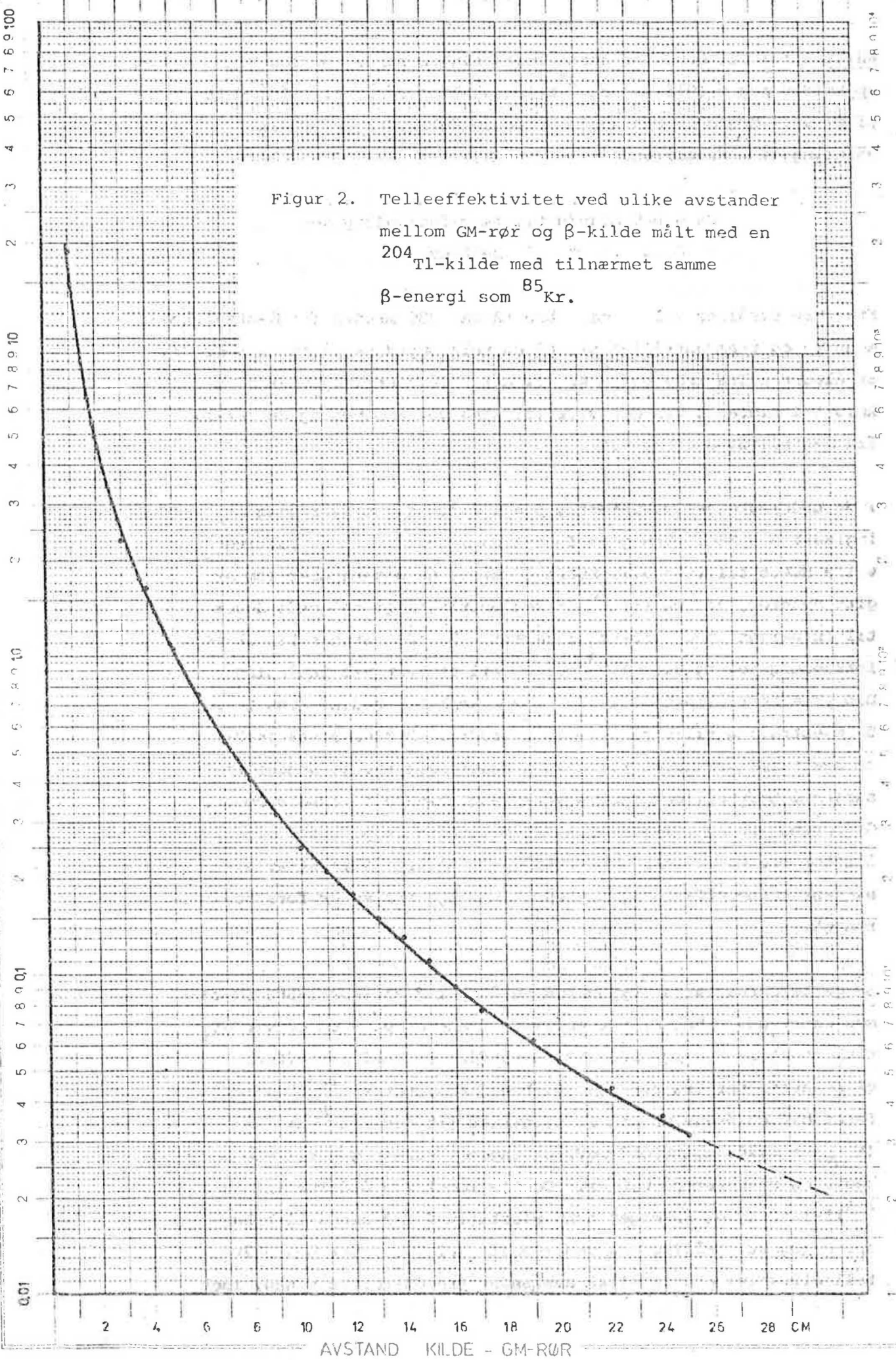
Fra ytre stråling vil bar hud få ca. 280 mrad/h fra β -strålingen, mens γ - og bremsestråling vil gi en helkroppsdose på ca. 2,8 mrad/h. Stråledosen fra inhalert ^{85}Kr vil altså være neglisjerbar i forhold til bidraget fra den ytre stråling mot kroppen og da særlig fra β -stråling mot bar hud.

I de undersøkelser vi utførte, ble det som nevnt hver gang injisert 370 MBq. Ved jevn fordeling i rommet uten utlufting ville dette tilsvare $0,79 \text{ MBq/m}^3$. Etter de doseverdier som er gitt ovenfor, vil en slik ^{85}Kr -konsentrasjon gi følgende doser til en person inne i forsøksrommet: $4,5 \cdot 10^{-4}$ mrad/h til ikke-fettholdig vev og $4,5 \cdot 10^{-3}$ mrad/h til fettvev ved innånding. Den ytre bestrålingen ville gi 3,7 mrad/h til huden, mens γ - og bremsestråling ville gi $4,5 \cdot 10^{-2}$ mrad/h. Det er altså snakk om svært små stråledoser. På den annen side vil jo konsentrasjonen i begynnelsen stedvis være langt høyere i forsøksrommet. GM-rørene for aktivitetsmålingene ble derfor koplet til forsterkere med 20 m's kabler til pulstallerne slik at avlesningene kunne utføres i et utbygg avstengt fra selve forsøksrommet.

Geigertellerne var av typen NOR 4013 og med Philips 18506 GM-rør med endevindu. Rørene har en vindusdiameter på 3 cm og vindustykkelse 1,5 - 2,0 mg/cm^2 . For å vurdere telleeffektiviteten i ulike avstander fra rørvinduet, ble det nyttet en ^{204}Tl -kilde. Denne har en β -energi som er tilnærmet lik den fra ^{85}Kr ($E_{\text{maks}} = 0,763$ mot $0,687$ MeV) og ingen γ -stråling. Kildene hadde en diameter på 0,8 cm. De ble laget ved å dampe inn en ^{204}Tl -løsning på en meget tynn plastfilm for å unngå tilbake-spredning av stråling fra underlaget. Fig. 2 viser den målte telleeffektiviteten i ulike avstander fra GM-rørets vindu, idet

Figur 2. Telleeffektivitet ved ulike avstander mellom GM-rør og β -kilde målt med en ^{204}Tl -kilde med tilnærmet samme β -energi som ^{85}Kr .

% TELLE-EFFEKTIVITET



kilden flyttes utover langs senterlinjen i røret. Absorpsjon av strålingen i luft vil ha relativt liten betydning ved små avstander. En ser at telleeffektiviteten avtar raskt med avstanden. Den strålingen som måles av geigerrørene, vil følgelig komme fra et forholdsvis begrenset område foran rørvinduet. På den annen side vil jo røret "se" et stadig større romvolum når avstanden fra vinduet øker. Detektorene vil reagere momentant på endringer i ^{85}Kr -konsentrasjonen i nærheten foran HM-røret.

Ingen personer oppholdt seg i prøverommet under selve forsøket, og det ble ikke gitt adgang til rommet før aktivitetsmålingene viste at ^{85}Kr -gassen var luftet ut og romaktiviteten igjen nede på normalt bakgrunnsnivå.

D. RESULTATENE

Prøvene ble gjennomført etter planen. Det viste seg imidlertid at de geigerrør som var plassert ved golvet, ga langt lavere verdier enn de ved himlingen selv flere minutter etter innslippet av ^{85}Kr . En fant at årsaken til dette var at rørene var hengt med vinduet ned og 10 cm fra golvet mellom 20 cm høye benker hvor varmekilder og fordampingsinnretninger var montert. Her var det relativt stillestående luft. Ved å snu tellerørene med vinduet opp, ble det effektive målevolum ikke lenger begrenset av benker og golv. Derved fikk vi verdier som harmonerte med de øvrige observasjoner i rommet. Ved å foreta en del sammenlikninger mellom målinger med rørvindu opp og rørvindu ned mot golvet i samme høyde og under like forhold, fant vi en overføringsfaktor mellom de to rørstillingene. Samtlige måleresultater ved golvet ble så omregnet til rørvindu pekende oppover.

Når kurvene i figurene 3-6 ikke går ned til 0-aktivitet, kommer det av at målingene ble avbrutt før all radioaktiv gass var ventilert bort. Den såkalte bakgrunnsaktivitet for geigertellerne er trukket fra. Dette er aktivitet som måles p.g.a. naturlig radioaktive stoffer i omgivelsene samt kosmisk stråling. Viftene ble kjørt og huset spylt rent før ny prøve ble satt i gang.

⁸⁵Krypton-aktiviteten i hvert snitt eller målepunkt kan nyttes som et relativt uttrykk for mengden av frisk luft som har beveget seg fra den ventilen hvor den radioaktive gassen ble sluppet inn og til vedkommende snitt eller punkt.

Det ble gjennomført 4 forsøk. Vindforhold, temperaturforhold og lufthastighet gjennom inntakene under forsøkene er vist i tabell 1.

Tabell 1. Vindforhold, temperaturforhold og lufthastighet gjennom inntakene.

Forsøk nr.	Ute-temperatur °C	Inne-temperatur °C	Lufthastighet gjennom inntakene, m/s	Vind
1	0	14,9	6,0	Stille
2	-0,2	12,4	6,2	Sydøst, flat vind
3	-0,8	9,8	6,0	- " -
4	-0,6	10,8	6,0	- " -

Resultatet av målingene er vist i figurene 3-5 og i tabell 2.

⁸⁵Kr-aktiviteten vist i figurene 3-6 er gjennomsnittet for seks punkter i hvert snitt. Tabell 2 viser aktiviteten i hvert enkelt punkt i snittet.

1. Innføring av gass gjennom ventil 1 og avtrekk ved himlingen med vifte I (forsøk 1).

Resultatet av aktivitetsmålingene i luften i tellinger pr. minutt i de forskjellige snitt er vist i figur 3. En ser at det meste av friskluften fra ventil 1 finnes i snittet ut for denne ventilen, men også midt i rommet finner en igjen betydelige mengder. Maksimalaktiviteten i snitt 2 er ca. 30% av maksimalaktiviteten i snitt 1. Også i snitt 3, lengst borte fra inntak og avtrekk, finner en igjen luft fra ventil 1.

2. Innføring av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved himlingen med vifte I (forsøk 2).

Kurvene på figur 4 viser at det meste av friskluften fra ventil 12 også i dette tilfelle finnes i snittet ut for ventilen, men en større del har nå beveget seg til motsatt ende av rommet. Det gikk imidlertid ca. 3 minutter fra gassen ble sluppet inn ved ventil 12 til den ble registrert i snitt 1. Størst aktivitet i dette snittet ble funnet etter 8-9 minutter med ca. 30% av den største aktiviteten i snitt 3.

3. Innføring av gass gjennom ventil 1 og avtrekk ved golvet med vifte I (forsøk 3).

Figur 5 viser kurver over ⁸⁵Kr-konsentrasjonene i de forskjellige snitt. Luften fra ventil 1 har spredd seg over hele rommet. Storparten finner en, som ved uttrekk ved himlingen, igjen i snitt 1, men også midt i rommet har det vært målt en betydelig aktivitet. Ved motsatt endevegg finner en igjen luft fra ventil 1 etter 2-3 min's forløp, men konsentrasjonen her er sterkt redusert.

4. Innføring av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved golvet med vifte I (forsøk 4).

Resultatene går fram av figur 6. Også her finner en stor likhet med tilsvarende situasjon ved avtrekk ved himlingen, fig. 4. Luften fra ventil 12 finner vi igjen i praktisk talt de samme konsentrasjoner på de samme steder som en har i fig. 4.

5. Luftfordelingen på tvers av huset (forsøk 4).

Resultatene foran er som nevnt middeltall av 6 målinger i de enkelte snitt. Det har også interesse å se nærmere på hvordan luften fordeler seg i snittet. Vi velger snitt 3, forsøk 4 og undersøker hvordan friskluften fra ventil 12 fordeler seg.

Den relative ⁸⁵Kr-aktivitet i de 6 punktene i snittet går fram av tabell 2.

Tabell 2. Relativ ⁸⁵Kr-aktivitet i de 6 målepunktene i snitt 3, forsøk 4.

Tid etter inn- føring av ⁸⁵ Kr min.	Relativ aktivitet ved punktet					
	1	2	3	4	5	6
0,25	0	0	30	100	0	53
0,50	5	51	44	57	13	53
1,00	16	27	43	31	24	47
1,50	23	40	28	51	24	39
2,00	22	36	27	48	25	36
2,50	20	34	24	41	23	33
3,00	21	33	21	39	21	30

Punktene 2, 4 og 6 som lå ved himlingen, viste den største aktiviteten til å begynne med, men dette jevnet seg ut etter hvert. Det var liten forskjell på de tre punktene (1,3,5) ved golvet. Friskluften fra ventil 12 fordelte seg altså meget godt i den sonen hvor dyrene ville ha oppholdt seg. Når vi vet at det også ble tilført friskluft fra motsatt langvegg og fra naboventilene som ikke ble registrert, må vi gå ut fra at frisklufttilføringen i dette rommet var meget tilfredsstillende.

Fig. 3. Innslipp av gass gjennom ventil 1 og avtrekk ved himlingen gjennom vifte I.

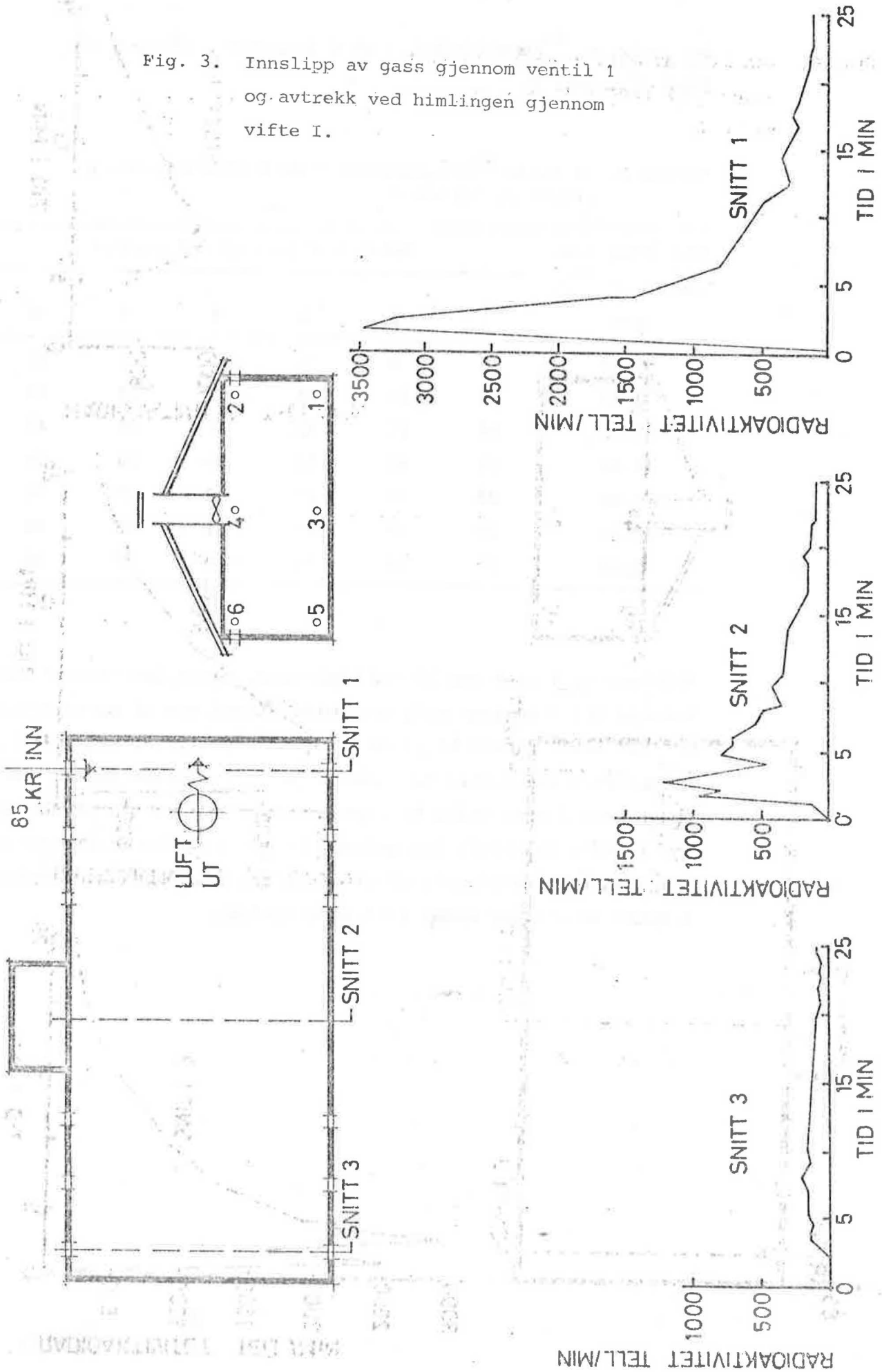


Fig. 4. Innslipp av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved himlingen gjennom vifte I.

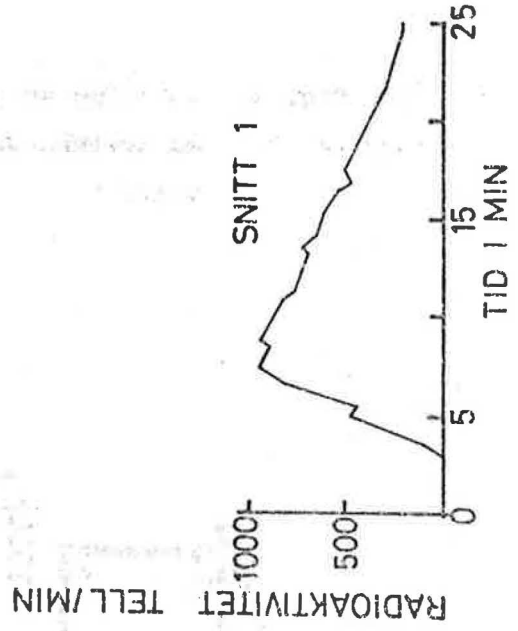
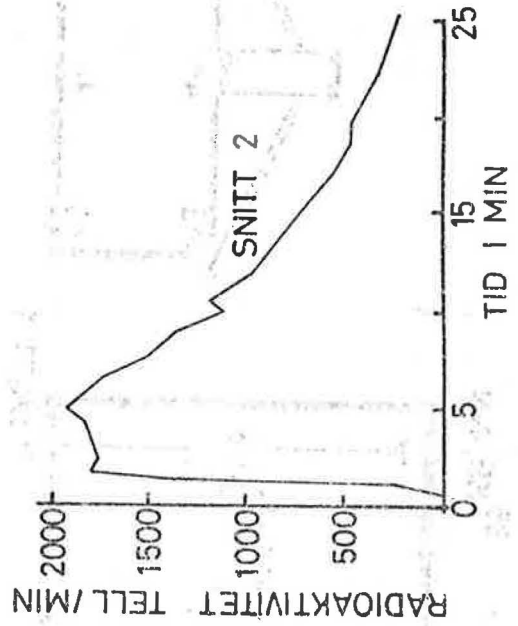
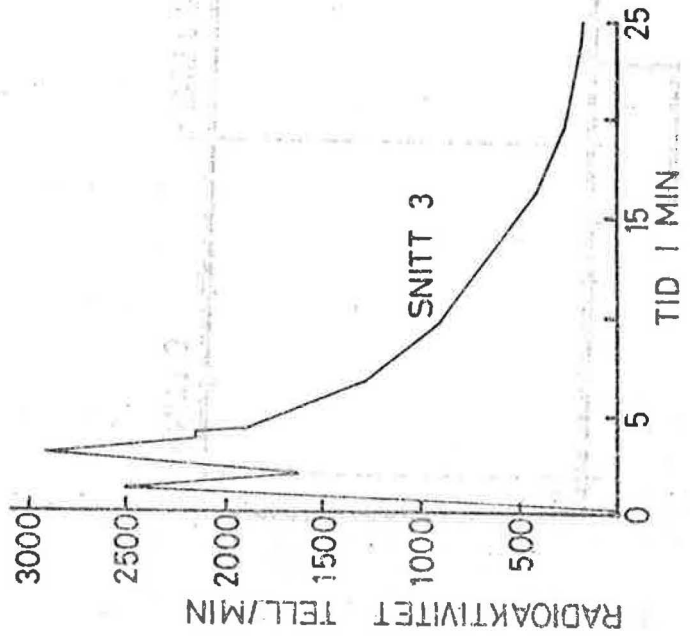
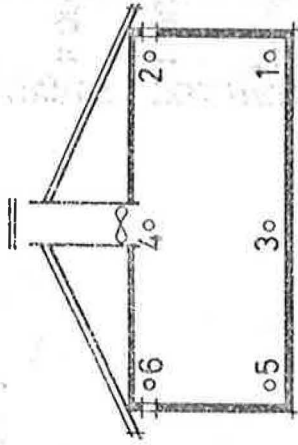
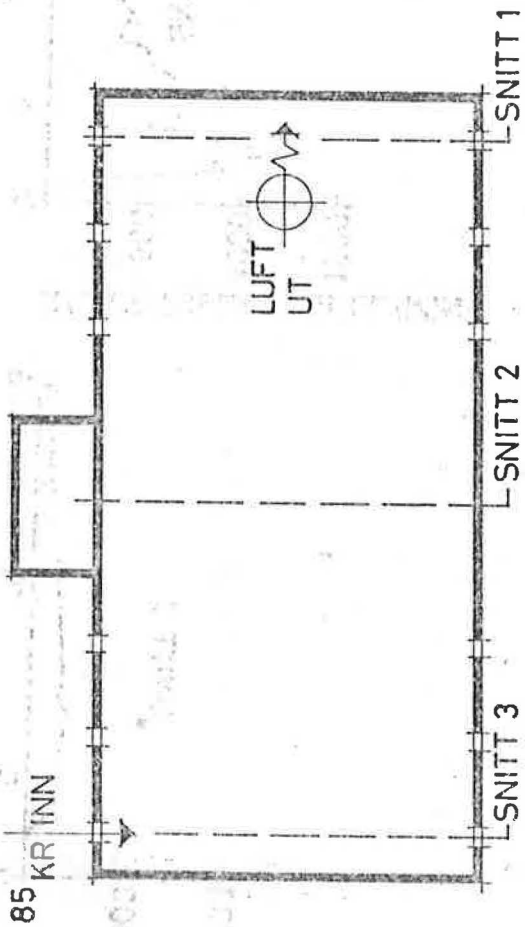


Fig. 5: Innslipp av gass gjennom ventil 1 og avtrekk ved golvet gjennom vifte I.

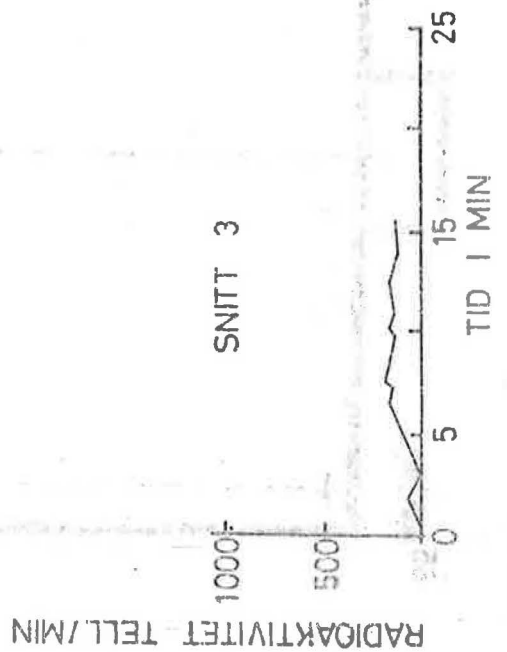
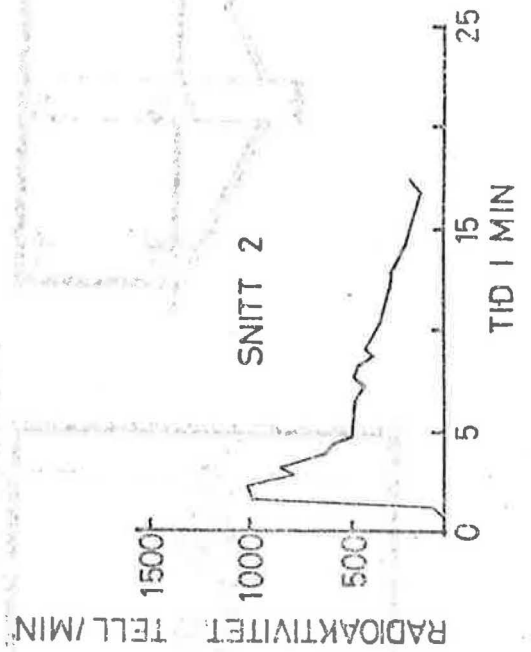
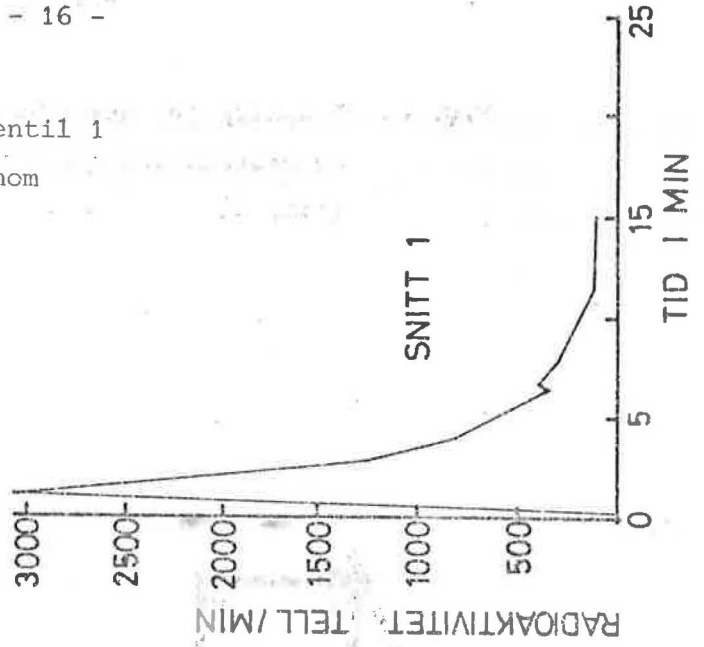
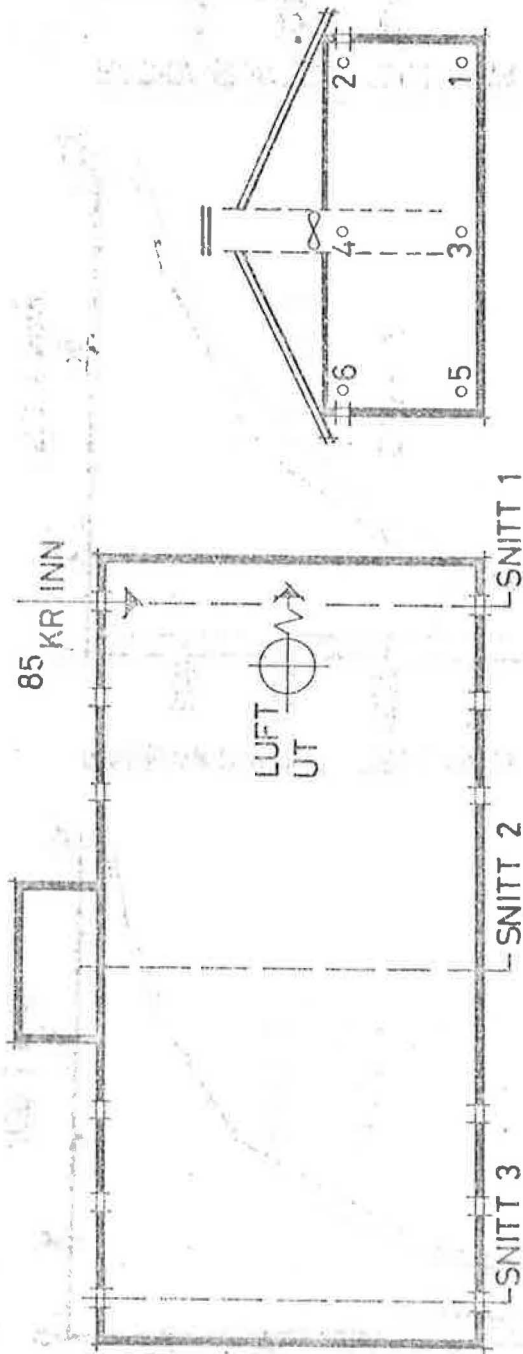
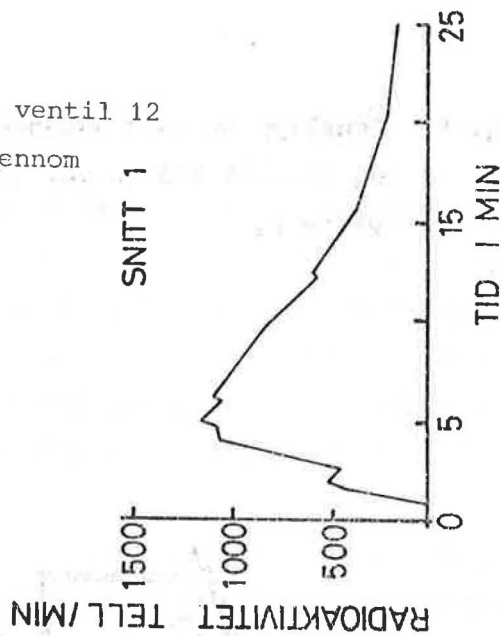
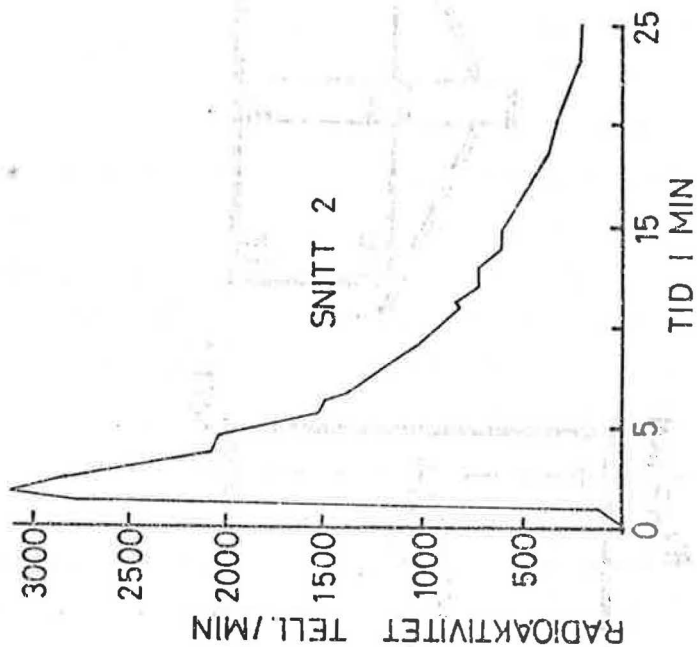
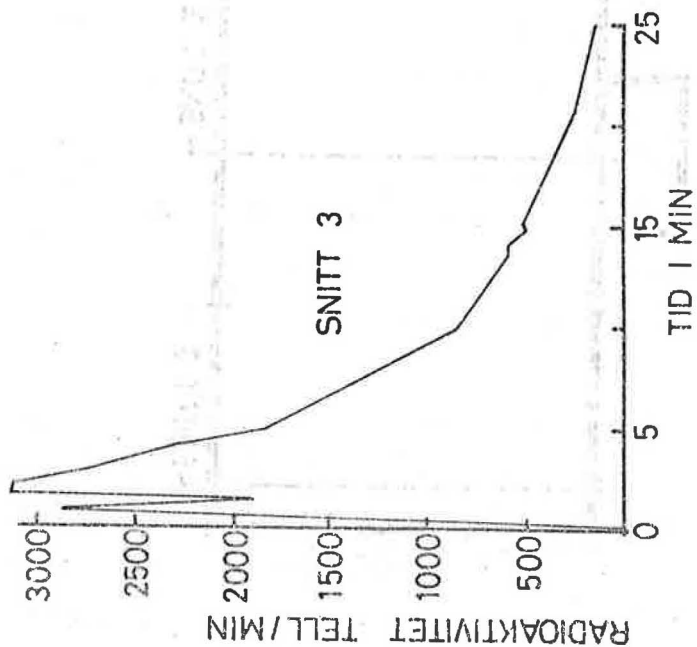
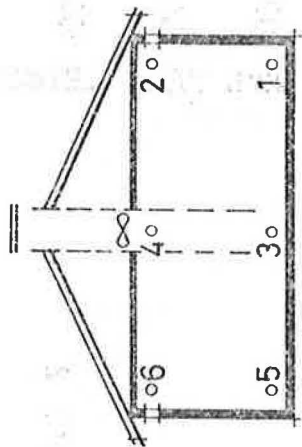
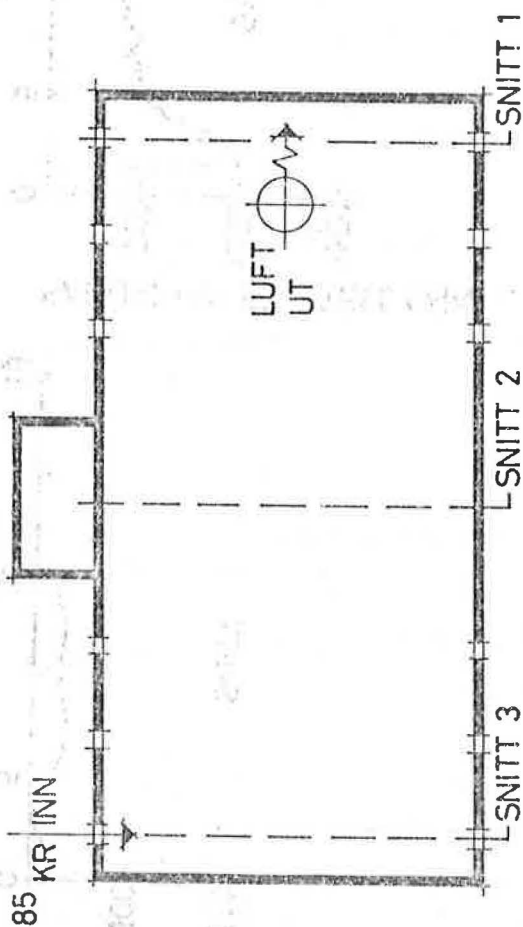


Fig. 6. Innslipp av gass gjennom ventil 12 og avtrekk ved gølvet gjennom vifte I.



E. KONKLUSJON

Etter gjennomføringen av dette enkle programmet er erfaringene at isotopteknikken synes å være meget aktuell i ventilasjonsforsøk, helst under laboratoriemessige forhold, ettersom dyr ikke bør være til stede. Hvis forholdene legges godt til rette, bør man med modeller og isotoper kunne løse grunnleggende lufttekniske problemer. Helst bør slike modeller bygges i full målestokk.

Når det gjelder de lufttekniske forhold under prøvene, var prøveprogrammet for lite omfattende til å gi sikre konklusjoner. Likevel fikk man et ganske godt bilde av luftstrømmingene under de herskende forhold.

Det synes klart at friskluften fordeler seg utover hele rommet selv fra inntak i nærheten av eller rett overfor uttaket, når hastigheten på inntaksluften er relativt stor. Dette viser at faren for "kortslutning", dvs. at luften går direkte fra inntaket mot uttaket, er liten. En kan imidlertid ikke se bort fra at forholdet kan være noe annerledes når temperaturredifferansen inne-ute er større og hastigheten gjennom inntakene samtidig er lav.

En liten del av friskluften ble funnet igjen i motsatt ende av huset. Dette kan forklares ved at luften etter innstrømning i huset mistet sin bevegelsesenergi etter hvert. Deretter virket konveksjon og diffusjon inn på luftmolekylernes bevegelser, slik at en mindre del havnet lengst mulig vekk fra inntaket.

Ut fra dette og at uttakets sugevirkning avtar raskt med avstanden, er det også naturlig at en har funnet liten eller ingen forskjell i strømningsbildet om en har trukket ut luften ved golvet eller himlingen.

Bruk av isotopteknikk for ventilasjonsstudier byr på en rekke fordeler. En kan måle isotopkonsentrasjonen direkte på det stedet en ønsker og får da middelverdien over et visst luftvolum. Størrelsen av dette volumet kan tilpasses ved valg av

radioisotop (dvs. stråletype og -energi) og detektortype, eventuelt ved en rettet avskjerming av detektorhodet. Telleutstyret kan kalibreres ved å plassere detektoren i et målekammer ved kjente konsentrasjoner av ^{85}Kr -gassen. Mer nøyaktige kvantitative målinger av ^{85}Kr -konsentrasjonen i luften kan en også få ved å ta ut luftprøver og måle aktiviteten i disse ved hjelp av en væske-scintillasjonsteller. Edelgasser løses nemlig litt i de løsningsmidler som nyttes i slike tellere (2,5). Denne målemetoden er imidlertid langt mer komplisert enn direkte måling med geigerteller. Ved bruk av en isotoptracer som sender ut γ -stråling, vil en kunne måle innholdet av traceren over et større luftvolum. En bør da nytte en γ -scintillasjonsteller, som har større effektivitet for denne type stråling enn geigertelleren. Ved å kople skrivere til telleapparatet kan det foretas kontinuerlige strømningsmålinger.

På grunn av den store følsomheten hos måleinstrumentene for radioaktiv stråling, vil en som regel bare trenge relativt beskjedne aktivitetsmengder for slike tracerforsøk. De bør derfor ved en skikkelig planlegging kunne utføres uten strålevernmessige problemer.

Planene for de undersøkelsene som er omtalt i denne rapporten, ble på forhånd lagt fram for og godkjent av Statens Institutt for Strålehygiene, Oslo.

F. LITTERATUR

1. ANJANSSON, Gunnar, ANJANSSON, Gustaf och NORÉN, Olle:
Mätning av luftströmmar med radioaktiv gas. Teknisk
Tidskr. 85 (1956), 17-22.
2. CEJNAR, Frantisek, WILHELMOVA, Ludmila and VRZALA, Pavel:
Noble gas solubility measurement in liquid scintillator
solvents. Int.J.Appl.Rad. and Isotopes 28 (1977), pp. 281-284.
3. EVANS, G.V. and WEBB, J.W.:
An examination of radionuclide technique for the measure-
ment of ventilation rate. AERE-R 6709. Harwell, 1971, 24 p.
4. GILATH, Chaim:
Ventilation and air pollution studies using radioactive
tracers. A critical review. Int.J.Appl.Radiat Isotopes
28 (1977), pp. 347-354.
5. HERRICKS, Donald L. and STODIER, Martin H.:
Determination of radioactive noble gases with a liquid
scintillator. Anal.Chem. 36 (1964), pp. 2077-2079.
6. HOWLAND, A.H., KIMBER, D.E. and LITTLEJOHN, R.F.:
Measurements of air movements in a house using a radio-
active tracer gas. J.I.H.V.E. 23 (1960), pp. 57-71.
7. WHITTON, Judi T.:
Calculations of whole body dose from absorption of an
inhaled noble gas. Health Phys. 23 (1972), pp. 573-575.