

Radon i nyere, naturlig ventilerede énfamiliehuse

Radon i nyere, naturligt ventilerede énfamiliehuse

Kaare Ulbak, Statens Institut for Strålehygiejne, Sundhedsstyrelsen

Benny Majborn, Afd. for Nuklear Sikkerhedsforskning, Forskningscenter Risø

Claus Andersen, Afd. for Nuklear Sikkerhedsforskning, Forskningscenter Risø

Niels C. Bergsøe, Afd. for Energi og Indeklima, Statens Byggeforskningsinstitut

Forord

Radon og radondatterprodukter i indendørsluften i boligen tegner sig for 50 % af den samlede bestråling af den danske befolkning fra alle naturlige og menneskeskabte strålekilder. Radonniveauet i énfamiliehuse er i gennemsnit 3-4 gange større end i etagebyggeri.

En forbedret viden om bl.a. sammenhængen mellem radonkoncentrationen og ventilationsforholdene i naturligt ventilerede énfamiliehuse er ønskeligt for at kunne give optimal rådgivning og vejledning med henblik på at reducere radonniveauet i både nye og eksisterende énfamiliehuse.

I efteråret 1990 planlagde Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) en undersøgelse, der skulle tilvejebringe en mere sikker viden om luftskiftet i nyere, naturligt ventilerede énfamiliehuse gennem bl.a. måling over en periode på 1-2 uger i ca. 150 énfamiliehuse. Under planlægningen af SBI-projektet blev det muligt for Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø at tilrettelægge et supplerende radon-projekt, hvor der i tillæg til SBI's målinger samtidig kunne gennemføres målinger af radonkoncentrationen over de samme 1-2 uger, hvori luftskiftemålingerne skulle gennemføres, og hvor de af SBI indhentede oplysninger om byggetekniske forhold og beboeradfærd kunne benyttes.

Resultaterne af SBI-projektet, der også er afsluttet i 1994, findes i en særskilt rapport, der er udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-projektet har været finansieret af Bygge- og Boligstyrelsen gennem Indeklimaudvalget under journalnummer 722-11:6-85, T3-1990.

Statens Institut for Strålehygiejne har modtaget 50.000 kr. i støtte til det supplerende radon-projekt fra Sundhedsministeriets Miljømedicinske Forskningscenter (SMF).

Statens Institut for Strålehygiejne, december 1994

Kaare Ulbak

Indhold

	side
1. Baggrund og formål	4
2. SBI-projekt	6
3. Radonmålinger	8
4. Resultater og analyser af radonmålingerne	10
5. Konklusion og sammenfatning	26
6. Referencer	27
Bilag 1: SBI-rapport, Fremgangsmåde	28
Bilag 2: SBI-rapport, Målemetoder	32

1. Baggrund og formål

Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø offentliggjorde i 1987 resultaterne af en landsomfattende repræsentativ undersøgelse af naturlig stråling i danske boliger (SIS 87). Undersøgelsen, der omfattede målinger i ca. 500 boliger i 1985/86, sigtede bl.a. mod at bestemme radonkoncentrationen i den danske boligbestand.

De målte radonkoncentrationer i danske boliger viste sig i det væsentligste at være logaritmisk normalt fordelt med værdier fra ca. 5 Bq/m³ til ca. 500 Bq/m³ og med en gennemsnitsværdi på 50 Bq/m³. I énfamiliehuse var den gennemsnitlige radonkoncentration ca. 70 Bq/m³, og i ca. 3 % af de målte énfamiliehuse oversteg radonkoncentrationen 200 Bq/m³. Undersøgelsen viste endvidere, at radon (og radondatterprodukter) tegner sig for 50 % af den samlede bestråling af den danske befolkning.

Med baggrund i bl.a. den viden, der blev opnået ved den landsdækkende undersøgelse, udsendte Byggestyrelsen under Boligministeriet i 1987 en pjece om radon i boliger (SBI 87), der sigtede mod at nedbringe radonniveauet i eksisterende boliger. I 1988 (revideret i 1993) udarbejdede Byggestyrelsen en vejledning om radon og nybyggeri (BS 87, BBS 93a) med henblik på at forebygge forhøjede radonniveauer i nye boliger. I 1993 har Bygge- og Boligstyrelsen udsendt en vejledning om undersøgelse af bygningskonstruktioners lufttæthed (BBS 93b).

Måling af radon i danske boliger er kun gennemført i meget begrænset omfang siden offentliggørelsen af den landsomfattende undersøgelse i 1987.

I efteråret 1990 planlagde Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) en undersøgelse, der skulle tilvejebringe en mere sikker viden om luftskiftet i nyere, naturligt ventilerede énfamiliehuse gennem bl.a. måling over en periode på 1-2 uger i ca. 150 énfamiliehuse. Under planlægningen af SBI-projektet blev det muligt for Statens Institut for Strålehygiejne og Forskningscenter Risø at tilrettelægge et supplerende radon-projekt, hvor der i tillæg til SBI's målinger samtidig kunne gennemføres målinger af radonkoncentrationen over de samme 1-2 uger, hvori luftskiftmålingerne skulle gennemføres, og hvor de af SBI indhentede oplysninger om byggetekniske forhold og beboeradfærd kunne be-

nyttes.

Formålet med det supplerende radon-projekt var:

- at få et overblik over radonkoncentrationen i nyere énfamiliehuse, som supplement til resultaterne fra den landsomfattende radonundersøgelse fra 1987, og
- at vurdere radonkoncentrationen på basis af de af SBI indsamlede oplysninger om byggetekniske forhold, luftskifte og beboeradfærd i de undersøgte énfamiliehuse.

2. SBI-projekt

Radon-projektet er, som nævnt i kapitel 1, et projekt som i væsentligt omfang benytter måleresultater og andre data indsamlet af SBI. SBI's projekt om ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede énfamiliehuse er afsluttet med offentliggørelsen af SBI-Rapport 236 (SBI 94).

SBI-projektet har omfattet en landsdækkende spørgeskemaundersøgelse for beboerne i ca. 2100 fritliggende énfamiliehuse opført efter 1982 udvalgt ved hjælp af Boligministeriets Bygnings- og Boligregister (BBR) samt målinger i ca. 150 huse udvalgt blandt de anvendelige spørgeskemabesvarelser. De af SBI anvendte fremgangsmåder og målemetoder er nærmere beskrevet i bilag 1 og 2, som er kopier af tilsvarende kapitler i SBI-Rapport 236 med tilhørende spørgeskema og interviewskema.

I hovedtrækkene foreligger der i størrelsesordenen 130 resultater af henholdsvis ventilations-, fugt- og temperaturmålinger samt et tilsvarende antal spørgeskemabesvarelser og interviewskemabesvarelser udfyldt af beboerne henholdsvis ved den landsdækkende spørgeskemaundersøgelse og i tilknytning til målingerne.

I tabel 2.1 (tabel 2 fra SBI-Rapport 236) er vist en oversigt over visse karakteristika for de undersøgte huse og husstande. I tabellen er anført det gennemsnitlige nettoetageareal, som erfaringsmæssigt udgør ca. 85 % af det BBR-registrerede bruttoetageareal. Arealet indbefatter arealet af tagetagen, såfremt denne er udnyttet til beboelse. Husets samlede nettorumfang, som er anvendt ved SBI's beregning af luftskiftet, er fundet ved at multiplicere nettoetagearealet med rumhøjden i huset. Rumhøjden er skønnet, og i nogle situationer målt, samtidig med at måleudstyret er opsat i de enkelte huse.

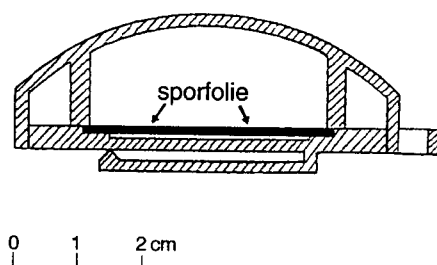
For en nærmere beskrivelse af resultater og diskussion af SBI's målinger og analyser henvises til SBI-Rapport 236 (SBI 94).

Tabel 2.1 Karakteristika vedrørende undersøgte huse og husstande (Tabel 2 fra SBI-Rapport 236)

	Middel	Variationsbredde
Samlet boligareal, nettoetageareal, m ²	115,6	80 - 184
Areal af soverummet, m ²	15,1	9 - 25
Antal personer pr. bolig	3,3	2 - 6
Antal voksne (≥ 16 år) pr. bolig	2,2	2 - 5
Antal børn (< 16 år) pr. bolig	1,1	0 - 3
Boligareal pr. person, m ² /pers.	38,5	19 - 75

3. Radonmålinger

Radonmålingerne blev udført med CR-39 sporfolier i lukkede dosimetre af samme type, som anvendes af Statens Strålskyddsinstitut i Sverige. En skitse af det anvendte dosimeter er vist i figur 3.1. Radon diffunderer ind i dosimetret, hvorved sporfoliet udsættes for bestråling med alfapartikler. Sporfoliet giver et akkumuleret mål for den samlede radoneksponering i måleperioden. I den landsomfattende undersøgelse i 1985/86 (SIS 87) anvendtes et andet dosimeter-design, men princippet i målemetoden er den samme. Metoden er beskrevet i (Maj 86a).



Figur 3.1 Skitse af radon-dosimeter

I perioden 13/1 - 1/3 1992 blev 89 dosimetre eksponeret i boligerne og i perioden 7/10 - 8/11 1992 blev 43 dosimetre eksponeret. Dosimetrene blev anbragt i husene af SBI og returneret af beboerne til SBI via postvæsenet sammen med det af SBI anvendte måleudstyr. Herefter blev dosimetrene sendt fra SBI til Risø til analyse.

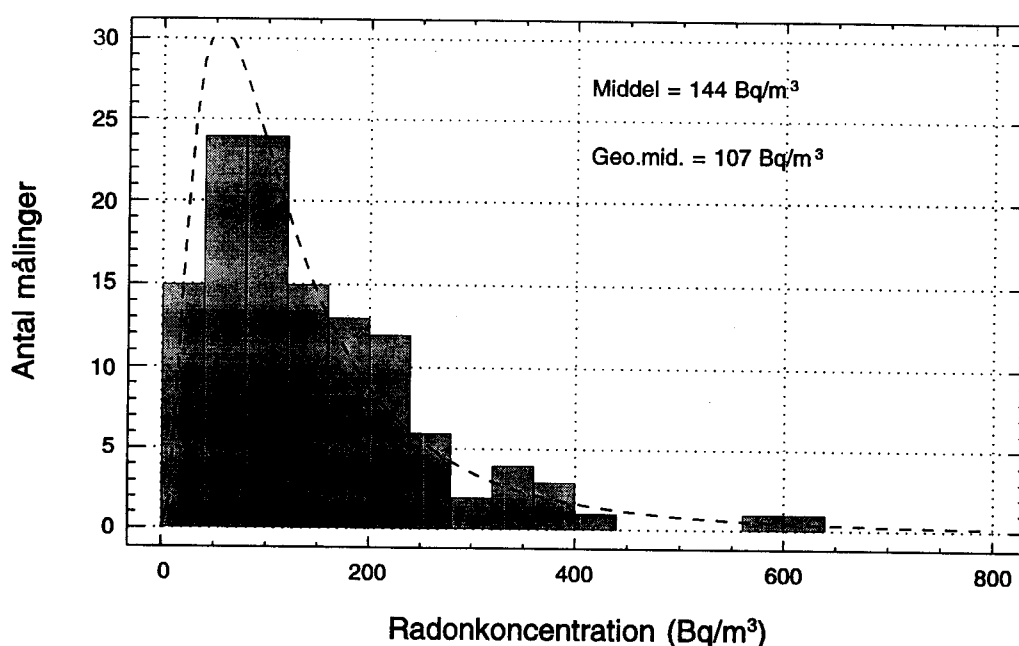
Eksponeringstiderne i boligerne varierede fra 167 til 537 timer (7 - 25 døgn). Transittiderne varierede fra 18 til 140 timer bortset fra 3 "afvigere" på henholdsvis 785, 432 og 330 timer. Transittiden er beregnet som den tid, hvor dosimeteret er blevet eksponeret "andetsteds", d.v.s. perioden fra nedtagnings-tidspunktet i boligen til midt på modtagelsesdagen hos SBI. Indtil opsætningen i boligen og efter modtagelsen hos SBI var dosimetrene indsvæjset i radontætte poser. Transiteksponeringen er beregnet ud fra den antagelse, at dosimetrene i gennemsnit er blevet udsat for 20 Bq/m³ radon i transitperioden. Det resulterer i transitzkorrektioner, som er små i forhold til de totale eksponeringer, når der ses bort fra de 3 "afvigere".

På grund af de forholdsvis korte eksponeringstider og dermed forholdsvis lave sportætheder blev udlæsningen af sporfolierne foretaget manuelt, idet man derved kan opnå en lavere detektionsgrænse end ved automatisk udlæsning (Maj 86b).

For nogle dosimetre afveg sportætheden ikke signifikant fra baggrundssportætheden for ueksponerede dosimetre. I første måleperiode var den målte eksponering mindre end svarende til spredningen på baggrundssportætheden for 1 dosimeter og i anden måleperiode var det samme tilfældet for 7 dosimetre. Det er valgt at udelade disse målinger samt de 3 målinger i første periode, hvor transittiden var ekstraordinær stor. Dette valg resulterer i 85 brugbare målinger i første periode og 36 brugbare målinger i anden periode, d.v.s. i alt 121 brugbare målinger, som er medtaget i analysen af resultaterne.

4. Resultater og analyser af radonmålingerne

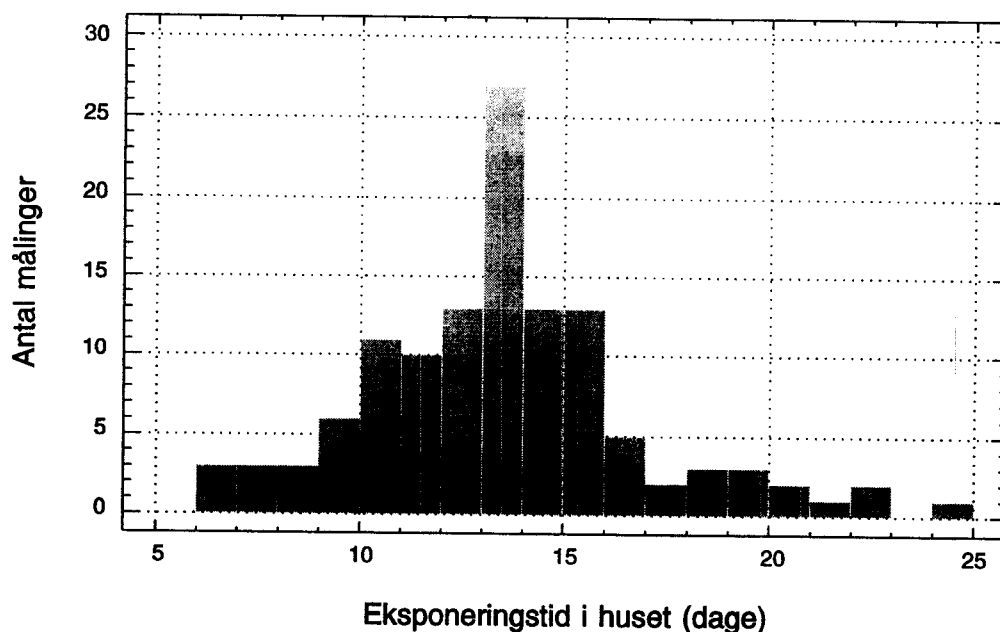
Fordelingen af de målte radonkoncentrationer i stuen i de 121 énfamiliehuse med brugbare resultater er vist i figur 4.1. Radonkoncentrationen i det enkelte énfamiliehus varierer fra 12 til 620 Bq/m³. Fordelingen svarer kvalitativt til tidligere målte fordelinger af radonkoncentrationen i mindre grupper af danske boliger og kan bedst beskrives ved en logaritmisk normalfordeling (Kolmogorov-Smirnov test, $P \approx 75\%$) med geometrisk middelværdi på 107 Bq/m³ og geometrisk spredning på 2,3. Den aritmetiske middelværdi er 144 Bq/m³. Eksponeringstiden i énfamiliehusene (måletiden) har som nævnt været afhængig af, hvor hurtigt beboerne returnerede radondosimetret til SBI. Fordelingen af måleperiodens længde er vist i figur 4.2. Måleperioden har varieret fra 7 til 25 dage med en gennemsnitlig måletid på 14 dage og med 75 % af målingerne i intervallet 10-16 dage. Radonkoncentrationerne viser ingen signifikante forskelle med hensyn til måleperiodens længde.



Figur 4.1 Korttidsmålinger (1-3 uger) af radon i 121 énfamiliehuse opført efter 1984

Målingerne er foretaget i fyringssæsonen over kort tid sammenlignet med, hvad der normalt anses for at være nødvendigt for at bestemme årsmiddelværdien med rimelig sikkerhed. Resultaterne kan derfor ikke betragtes som værende repræsentative for årsmiddelværdien af radonkoncentrationen i de undersøgte énfamiliehuse. For at give et indtryk af, hvorledes måleresultaterne i de her

undersøgte énfamiliehuse ligger i forhold til tidligere repræsentative undersøgelser af danske énfamiliehuse, er der i tabel 4.1 vist en sammenligning med resultaterne af radonmålingerne i den landsomfattende undersøgelse fra 1987 (SIS 87), hvor radonkoncentrationen bl.a. blev målt i 180 énfamiliehuse i vinterperioden fra oktober 1985 til og med marts 1986.

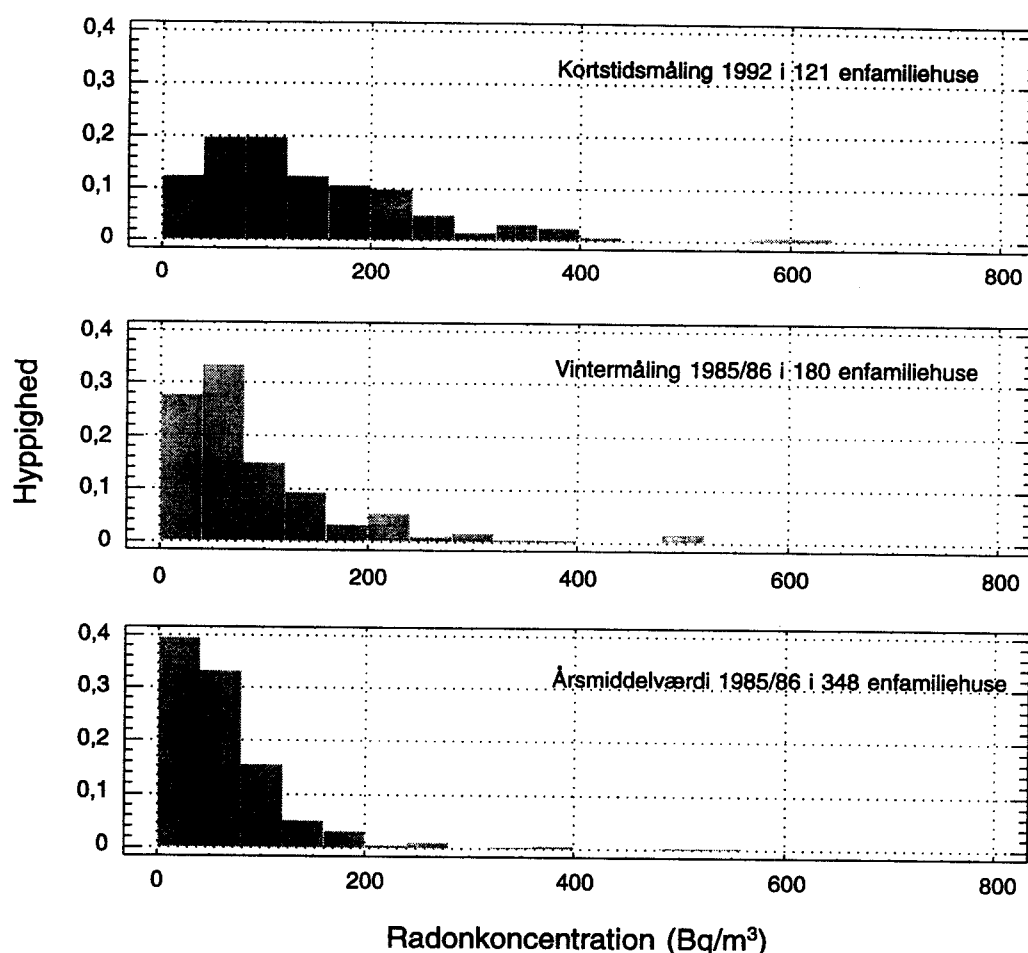


Figur 4.2 Fordeling af måleperiodens længde i 121 énfamiliehuse

Tabel 4.1 Sammenligning mellem radonmålingerne i stuen i énfamiliehuse i 1985/1986 og i 1992

Undersøgelse	Antal	Aritmetisk middelværdi Bq/m ³	Geometrisk middelværdi Bq/m ³	Geometrisk spredning
Kortidsmåling 1992	121	144	107	2,3
Vintermåling 1985/1986	180	93	67	2,2

De relative fordelinger af målingerne i 1992 og i 1985/1986 samt af de bestemte årsmiddelværdier for samtlige 348 énfamiliehuse, der deltog i den landsomfattende undersøgelse fra 1987, er sammenholdt i figur 4.3.

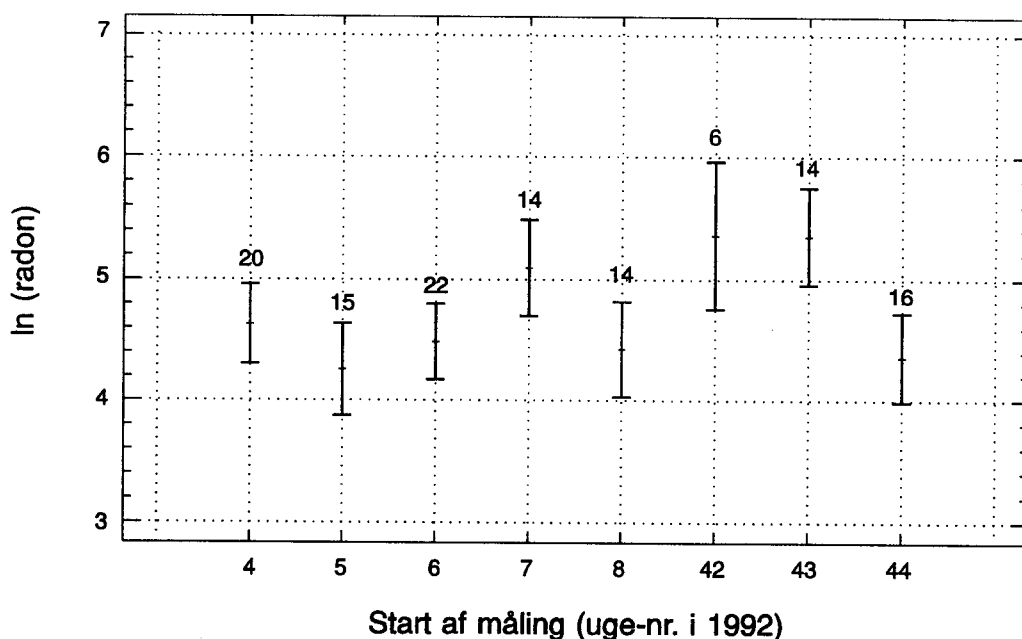


Figur 4.3 Sammenligning af de relative fordelinger af radonmålinger i én-familiehuse i 1985/1986 og i 1992

Da radon er en radioaktiv ædelgas med lang halveringstid i forhold til typiske luftomsætningstider i et énfamiliehus, afhænger radonkoncentrationen i et hus kun af to faktorer, nemlig radontilførslen (kildestyrken) og ventilationen. Radontilførslen og ventilationen kan igen være afhængige af byggetekniske forhold (revner og sprækker mod jorden), meteorologiske forhold og beboeradfærden. Endelig kan jordens egenskaber med hensyn til generation og transport af radon også være bestemmende for radontilførslen. Undersøgelsen af hvilke parametre, der på denne måde har indflydelse på radonkoncentrationen i de undersøgte énfamiliehuse, er udført ved variansanalyser. Da variansanalyser forudsætter, at de sammenlignede grupper af måleresultater er normalfordelt, er analyserne udført på den naturlige logaritme til de målte radonkoncentrationer.

Indflydelsen af måleperiodens start (uge-nummer i 1992) på radonkoncentrationerne er vist i figur 4.4. Variansanalysen viser signifikante forskelle med

hensyn til, i hvilken uge målingen er påbegyndt, f.eks. er middelværdien for målingerne påbegyndt i uge 43 signifikant større end for ugerne 5, 6, 8 og 44. Sådanne forskelle kan hænge sammen med forskelle i de meteorologiske forhold, herunder meteorologiske forhold, som giver anledning til forskelle i beboeradfærden i énfamiliehusene.

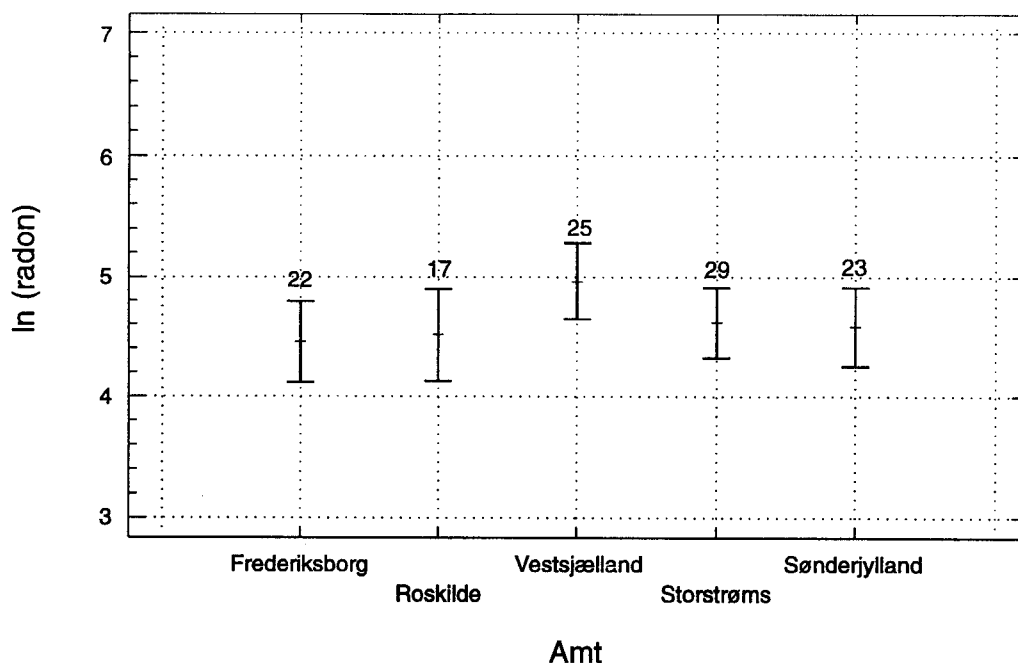


Figur 4.4 Radon opdelt efter måleperiodens start

Den gennemsnitlige døgnmiddeltemperatur udendørs og den gennemsnitlige nedbør over måleperioden for det enkelte énfamiliehus er vurderet på basis af oplysninger fra Danmarks Meteorologiske Institut for stationerne på Flyvestation Skrydstrup og Roskilde Lufthavn. Døgnmiddeltemperaturerne har varieret fra -2 °C til 6 °C. Nedbøren har varieret fra 0 mm til 60 mm. Variationerne i udendørstemperaturen og nedbøren giver dog ikke mulighed for at kunne forklare de i figur 4.4 viste forskelle for de målte radonkoncentrationer.

Målingerne bekræfter således, at korttidsmålinger, 1-3 uger, af radonkoncentrationen i en bolig skal tolkes med betydelig forsigtighed, og at vurdering af radon-årsmiddelværdien for boligen herudfra vil være forbundet med betydelig usikkerhed. Målingerne i denne undersøgelse kan således ikke benyttes til at vurdere, om fordelingen af radon-årsmiddelværdien i nyere, naturligt ventilerede énfamiliehuse er signifikant forskellig fra den repræsentative fordeling for alle énfamiliehuse, der blev bestemt i den tidligere gennemførte landsomfattende undersøgelse (SIS 87).

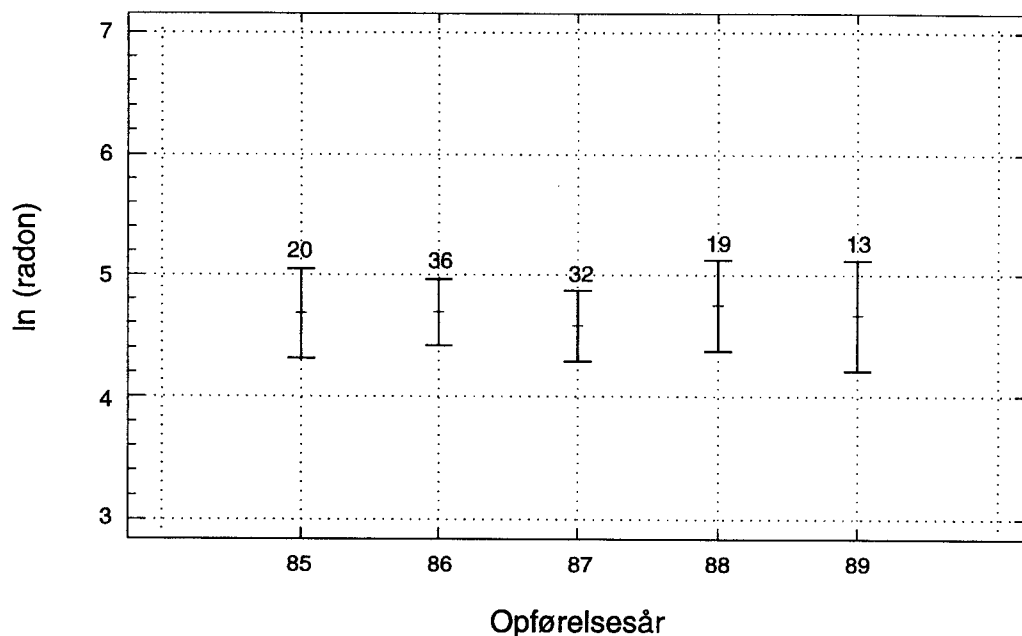
De målte radonkoncentrationer er i det følgende sammenholdt med en række af de resultater og karakteristika for de undersøgte huse, som SBI dels har målt og dels har indsamlet via spørgeskemaer og fra Boligministeriets Bygnings- og Boligregister, BBR. Ved præsentationen er der ikke taget hensyn til de ovenfor omtalte signifikante forskelle med hensyn til måleperiodens start, da en opdeling af materialet på denne baggrund ikke har givet anledning til resultater, der afviger fra de nedenfor beskrevne.



Figur 4.5 Radon opdelt efter amtskommune

I den landsomfattende undersøgelse fra 1987 fandtes signifikante forskelle for radonkoncentrationen i énfamiliehuse mellem de forskellige amter med de højeste gennemsnitlige niveauer i amter, hvor jordbundstypen fortrinsvis består af moræneler (Vestsjællands Amt, Roskilde Amt, Sønderjyllands Amt, Vejle Amt, Storstrøms Amt). I figur 4.5 er vist resultater af en tilsvarende variansanalyse for denne undersøgelse for de 5 amter, hvor hovedparten af radonmålingerne er gennemført. Antallet af målinger i det enkelte amt er vist over variansintervallerne. 5 målinger i Københavns Kommune og Københavns Amt er ikke medtaget i analysen. Målingerne viser ingen signifikante forskelle, men Vestsjællands Amt har, som i 1987, den største gennemsnitlige radonkoncentration. Uden at det har været bevidst planlagt, er målingerne i 1992 netop gennemført i de ovenfor nævnte "morænelers" amter (÷ Vejle Amt, + Frederiksborg Amt). Der er således ikke mulighed for i denne undersøgelse at

sammenligne "morænelers" amter og "sand og grus" amter.

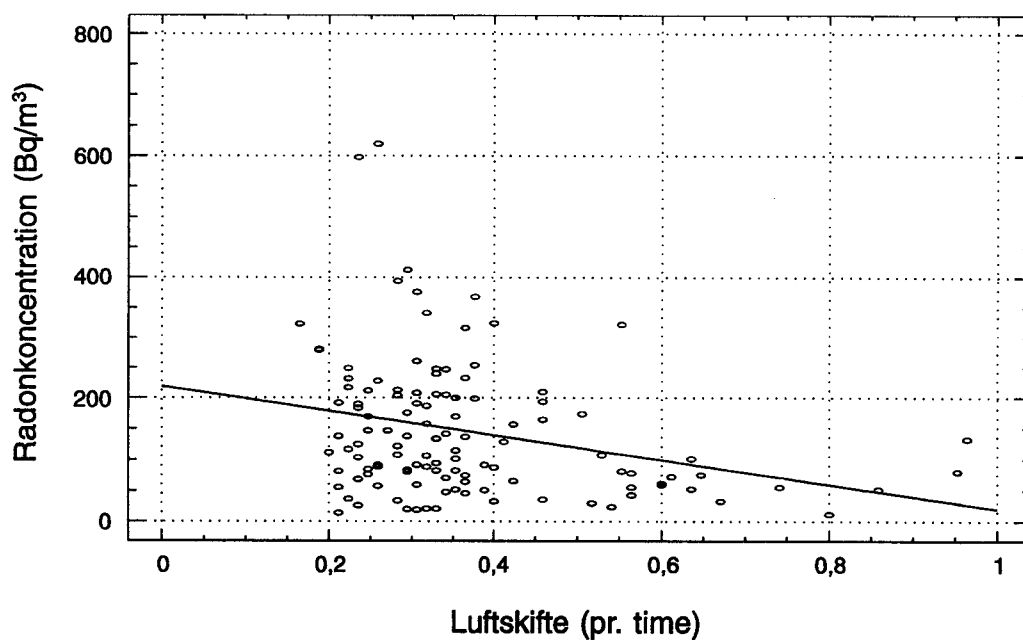


Figur 4.6 Radon opdelt efter opførelsesår

Figur 4.6 viser sammenhængen mellem radonkoncentrationen og opførelsesåret for énfamiliehusene. Et enkelt hus opført i 1984 er ikke medtaget i analysen. Resultaterne viser ingen signifikante forskelle. Der kan således ikke påvises noget fald i radonkoncentrationen i nye énfamiliehus i perioden 1985-1989. Det må i denne sammenhæng bemærkes, at Bygge- og Boligstyrelsens "Vejledning om Radon og nybyggeri" fra 1988 næppe kan nå at have haft indflydelse på nybyggeriet i 1989.

Radonkoncentrationen i et givet énfamiliehus afhænger, som nævnt tidligere, kun af to faktorer, nemlig radontilførslen (kildestyrken) og ventilationen. For danske forhold er de væsentligste kilder til radon i indendørsluften i énfamiliehus indtrængning fra jorden under huset og ekshalation fra byggematerialerne. Indtrængning fra jorden kan ske som trykdriven indtrængning (aktiv) eller som diffusiv indtrængning (passiv). Er radonkilden begrænset til diffusiv indtrængning og ekshalation fra byggematerialerne og dermed uafhængig af undertrykket i huset, vil radonkoncentrationen i et énfamiliehus variere omvendt proportional med luftskiftet. Sker radontilførslen derimod udelukkende ved trykdriven indtrængning vil radonkoncentrationen under iøvrigt konstante forhold (temperaturforskel inde/ude, vindpåvirkning, udeluftventiler) stige med stigende luftskifte (Naz 88).

I denne undersøgelse er sammenhørende værdier af den gennemsnitlige radonkoncentration og det gennemsnitlige luftskifte (målt af SBI) over samme måleperiode (1 - 3 uger) målt for i alt 117 énfamiliehuse. Tilsvarende sæt måledata er ikke tidligere publiceret i danske undersøgelser. Da nettovoluminet af de undersøgte énfamiliehuse er kendt fra BBR-registeret kan radontilførslen (Bq/h) beregnes for det enkelte énfamiliehus (radonkoncentration $\times$ nettovolume $\times$ luftskifte).

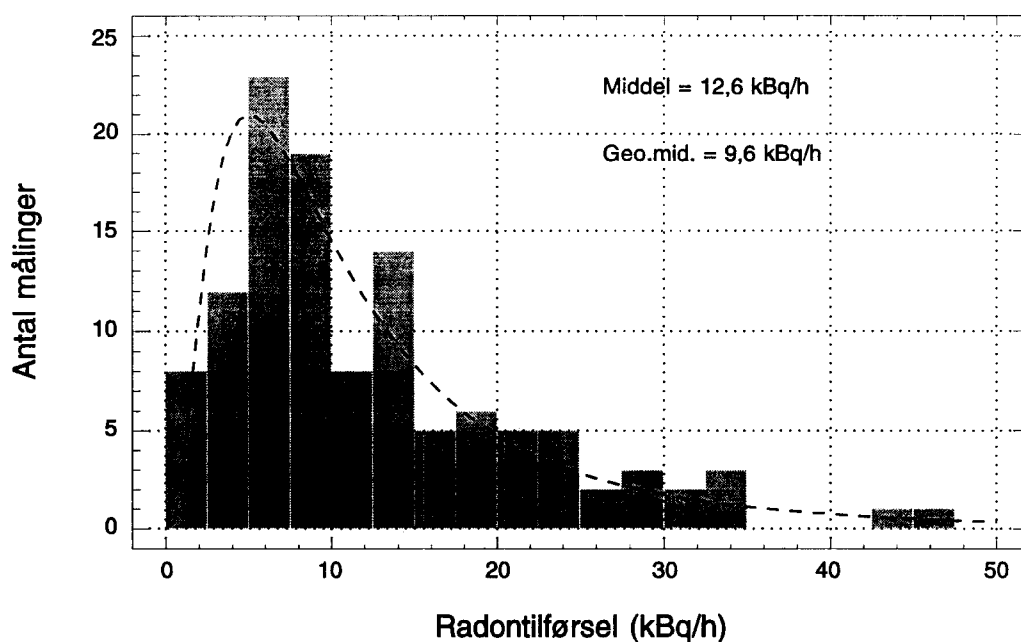


Figur 4.7 Sammenhørende målinger af radonkoncentrationen og luftskiftet i de undersøgte énfamiliehuse

De sammenhørende målinger af luftskiftet og radonkoncentrationen for de 117 énfamiliehuse er vist i figur 4.7. Luftskifterne i denne gruppe af énfamiliehuse varierer fra 0,16 gange pr. time til 0,96 gange pr. time. Middelværdien er 0,37 gange pr. time. Generelt ses en stigning og en større variation i de målte radonkoncentrationer med faldende luftskifte. Den målte sammenhæng svarer kvalitativt til den, som man ville forvente, hvis indtrængningen af radon var uafhængig af undertrykket i huset (omvendt proportionalitet). I 21 af de undersøgte énfamiliehuse svarende til 18 % er det målte luftskifte større end eller lig med bygningsreglementets (BR 82, BR-S 85) minimumskrav på 0,5 gange pr. time. I denne delgruppe af de undersøgte énfamiliehuse er den gennemsnitlige radonkoncentration 81 Bq/m^3 , og med en enkelt undtagelse ligger alle de målte koncentrationer under 200 Bq/m^3 , som er et af flere internationale

organisationer og institutioner anbefalet aktionsniveau for simple foranstaltninger til reduktion af radonniveauet. I delgruppen med luftskifter lavere end 0,5 gange pr. time (96 énfamiliehuse) er den gennemsnitlige radonkoncentration 160 Bq/m^3 , og 31 % af husene ligger over 200 Bq/m^3 . På figur 4.7 er også vist regressionslinien (lineær) for sammenhængen mellem luftskiftet og radonkoncentrationen. Korrelationskoefficienten er -0,29. Variationen i radonkoncentrationen kan dog kun for 8 % vedkommende tilskrives variationen i luftskiftet.

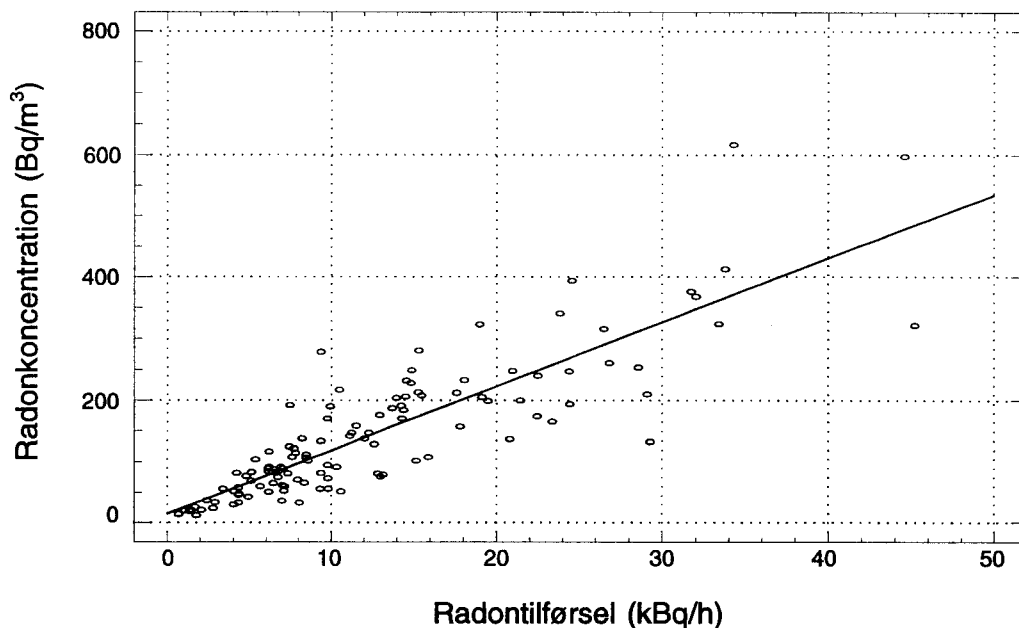
De sammenhørende målinger af luftskiftet og radonkoncentrationen viser, at i énfamiliehuse med et luftskifte på mere end 0,5 gange pr. time er sandsynligheden for at finde et forhøjet radonniveau ($> 200 \text{ Bq/m}^3$) stærkt begrænset.



Figur 4.8 Fordelingen af radontilførslen i 117 énfamiliehuse beregnet ud fra de målte radonkoncentrationer og luftskifter

Fordelingen af de beregnede radontilførsler for de 117 énfamiliehuse er vist i figur 4.8. Radontilførslen varierer fra 0,7 til 45,2 kBq/h med en aritmetisk middelværdi på 12,6 kBq/h og en geometrisk middelværdi på 9,8 kBq/h. Til sammenligning kan det anføres, at radontilførslen fra byggematerialerne i et standard énfamiliehus skønnes at være 1 - 3 kBq/h. De sammenhørende værdier af radontilførslen og radonkoncentrationen er vist i figur 4.9. På figuren er også vist regressionslinien (lineær) for sammenhængen mellem radontilførslen og radonkoncentrationen. Korrelationskoefficienten er 0,86, og

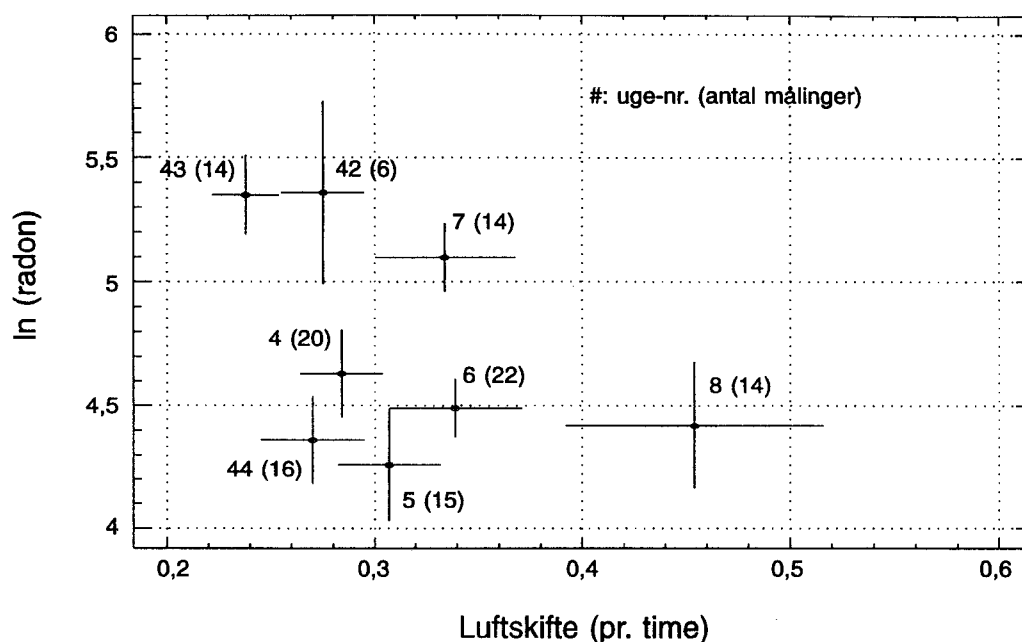
variationen i radonkoncentrationen kan for 73 % vedkommende tilskrives variationen i radontilførslen. Denne undersøgelse demonstrerer således tydeligt, at indtrængning af radon fra jorden er den helt dominerende kilde til radon i énfamiliehuse, og at variationen i radonkoncentrationen mellem énfamiliehuse primært kan forklares ved en varierende indtrængning fra jorden under husene.



Figur 4.9 Sammenhørende værdier af radonkoncentration og radontilførsel i de undersøgte énfamiliehuse

Som anført tidligere er der signifikante forskelle i radonkoncentrationen med hensyn til i hvilken uge målingen er påbegyndt. Signifikante forskelle findes også for de målte luftskifter, men med et andet uge-mønster end for radonkoncentrationen. I figur 4.10 er vist sammenhørende værdier af middelværdi og spredning af logaritmen til radonkoncentrationen og luftskiftet for hver af de 8 startmåleuger i 1992. Af figuren ses, at startmåleugerne i grove træk kan inddeles i følgende tre grupper: 1) høj radon - lavt luftskifte (uge 7, 42 og 43), 2) lav radon - lavt luftskifte (uge 4, 5, 6 og 44) og 3) lav radon - højt luftskifte (uge 8). Som nævnt tidligere giver forskellene i udendørstemperatur og nedbør ikke mulighed for at kunne forklare de fundne forskelle for de målte radonkoncentrationer. Tilsvarende gælder for de målte luftskifter og for den på basis af figur 4.10 foretagne gruppeinddeling af måleugerne.

Installation og hensigtsmæssig brug af udeluftventiler har været anbefalet som et middel til at mindske radonniveauet i boligen, da åbne udeluftventiler

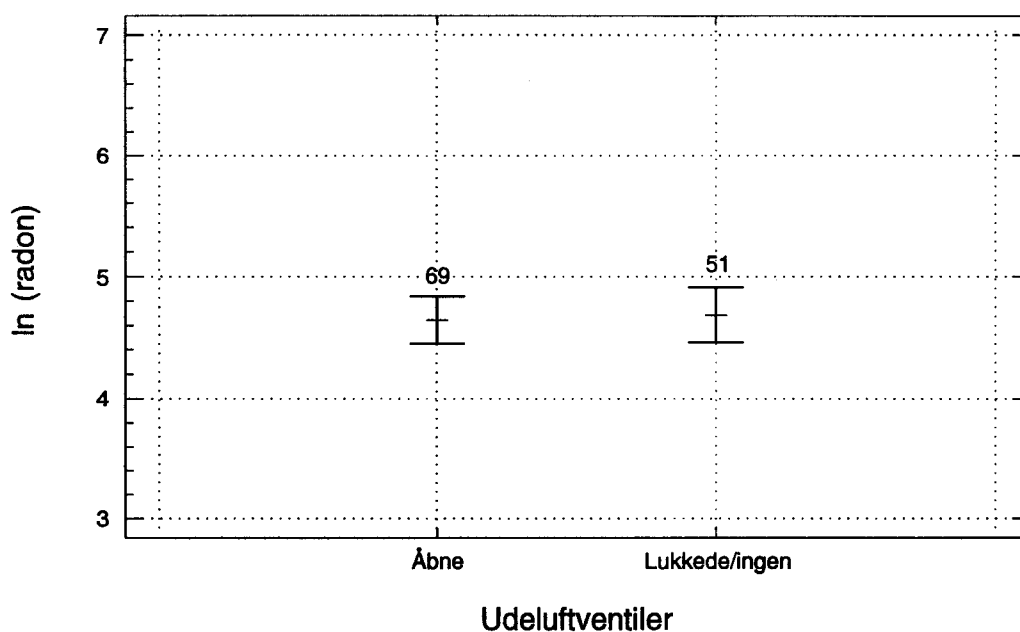


Figur 4.10 Sammenhørende middelværdi og spredning af radon og luftskifte for hver måleuge

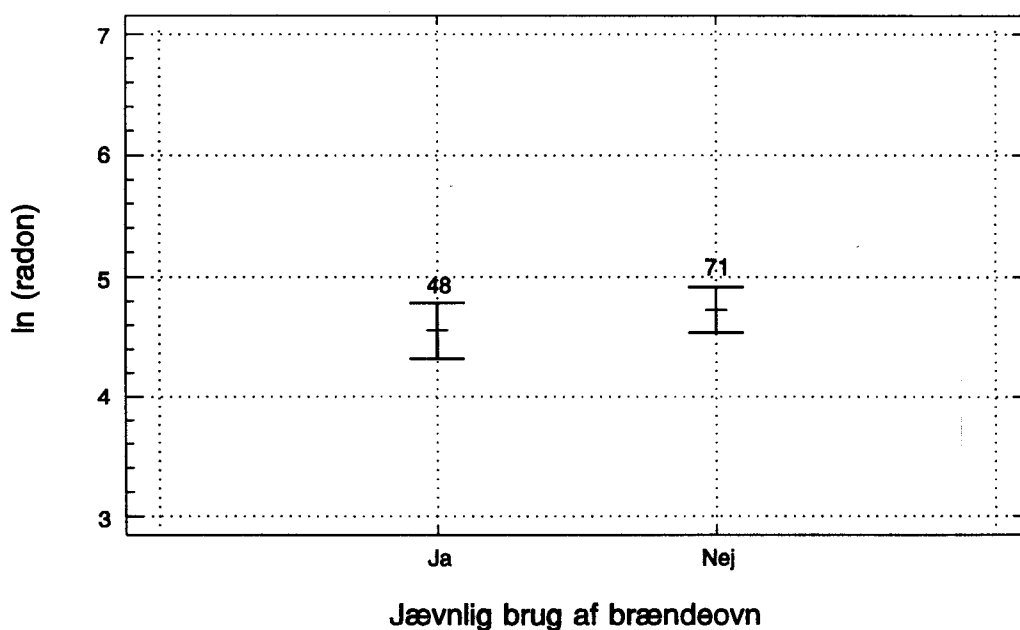
forventes at reducere undertrykket i boligen og forbedre ventilationen (SBI 87). Af SBI's landsdækkende spørgeskemaundersøgelse fremgår det, at der var monteret udeluftventiler i 83 % af de 121 énfamiliehuse, hvor radonkoncentrationen er blevet målt, og at 68 % af husstandene i disse huse opgav, at de normalt havde udeluftventilerne åbne i vintermånederne. I SBI's undersøgelse er husene uden udeluftventiler og huse, hvor beboerne oplyser, at de holder udeluftventilerne lukkede, slået sammen til én gruppe, idet SBI ikke fandt signifikante forskelle mellem de to grupper. Den samme gruppeopdeling er benyttet i denne undersøgelse. SBI fandt en signifikant lavere luftfugtighed samt en højere gennemsnitlig total udelufttilførsel (ikke signifikant) i huse med åbne udeluftventiler end i huse med lukkede eller uden ventiler. For radonkoncentrationen eller radontilførslen er der i denne undersøgelse ikke fundet tilsvarende signifikante eller blot antydningssviske forskelle med hensyn til brugen af udeluftventiler, jf. figur 4.11, som viser analysen for radonkoncentrationen. Dette må betragtes som et overraskende resultat, da udeluftventiler, som nævnt, udover en forbedring af ventilationen også forventedes at reducere undertrykket i boligen med deraf følgende mindre indtrængen af radon fra undergrunden.

I SBI's undersøgelse er der fundet signifikante forskelle i bl.a. total udelufttilførsel (signifikansniveau < 1 %) og luftskifte (signifikansniveau 1-5 %) med

hensyn til, om en lukket brændeovn jævnligt anvendes som supplerende varmekilde eller ej. For radon-delgruppen heraf findes der fortsat signifikante forskelle med hensyn til udeluftstilførslen (signifikansniveau 1 %) og til luftskiftet (signifikansniveau 3 %), men der ses ikke signifikante forskelle med hensyn til den målte radonkoncentration, jf. figur 4.12, eller med hensyn til den beregnede radontilførsel.

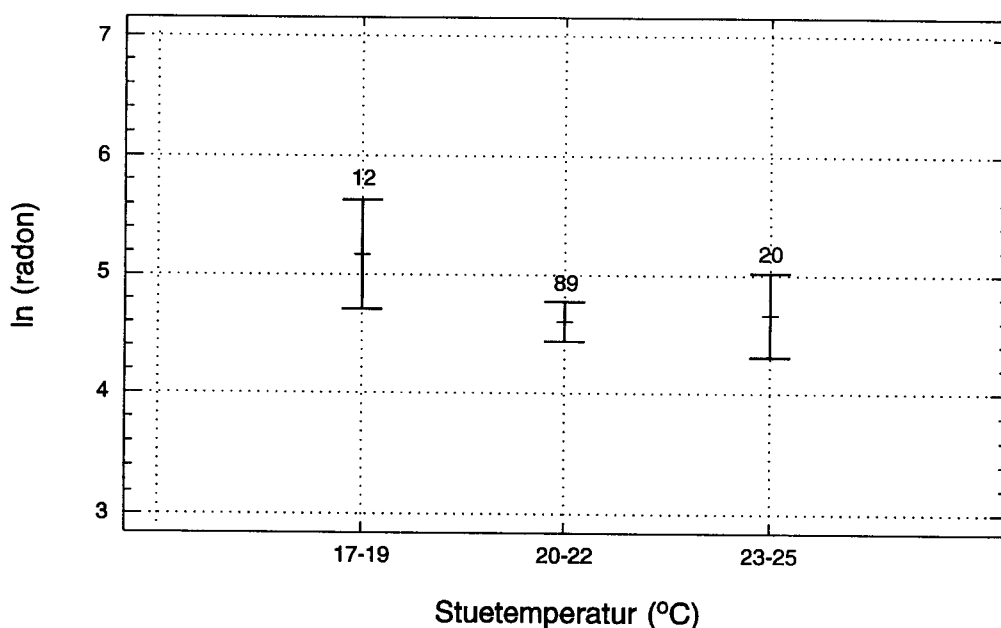


Figur 4.11 Radon opdelt efter brugen af udeluftventiler



Figur 4.12 Radon opdelt efter brugen af brændeovne

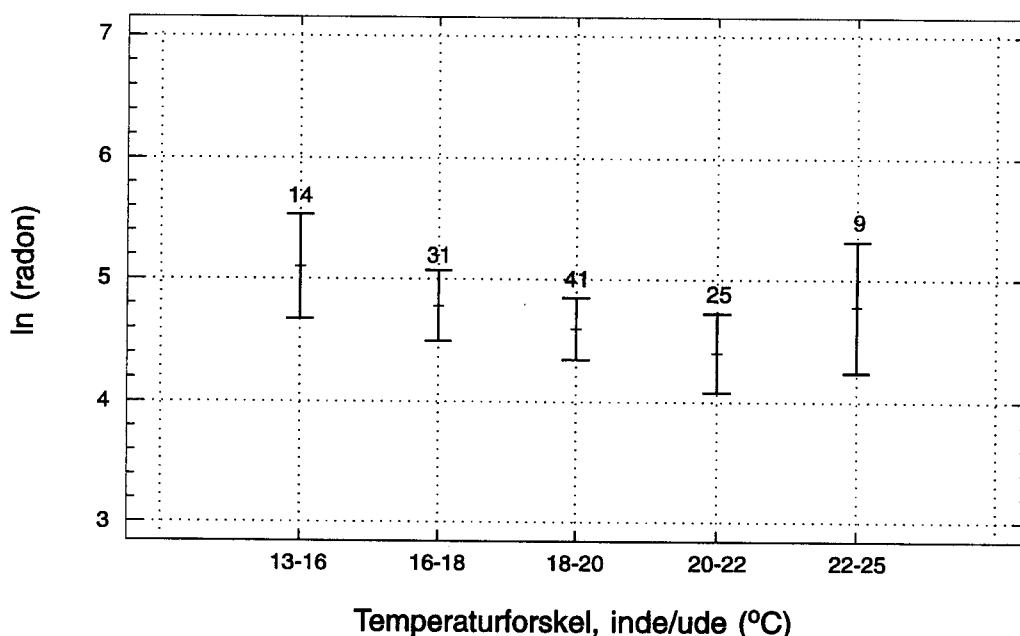
Fra SBI's interviewskema, der er udfyldt i forbindelse med tilbagesendelsen til SBI af de passive måleudstyr, kendes den gennemsnitlige temperatur i stuen i de enkelte énfamiliehuse i måleperioden (i hele grader). Stuetemperaturen i de énfamiliehuse, hvor der foreligger en målt radonkoncentration, har varieret fra 17 °C til 25 °C med en middelværdi på 21,2 °C. Sammenhængen mellem radonkoncentrationen og stuetemperaturen er vist i figur 4.13. Stuetemperaturen er opdelt i tre grupper (17-19, 20-22 og 23-25), og viser en signifikant forskel i radonkoncentrationen mellem grupperne "17-19" og "20-22". Tilsvarende ses en signifikant forskel i luftskiftet mellem gruppen "17-19" (0,25 gange pr. time) og de to øvrige grupper (0,38 gange pr. time).



Figur 4.13 Radon opdelt efter stuetemperatur

Forskellen mellem indendørstemperaturen og udendørstemperaturen kan være af betydning for undertrykket i et hus og dermed også for radonkoncentrationen. Døgnvariationen af temperaturforskellen kan i denne sammenhæng spille en væsentlig rolle. Som nævnt ovenfor kendes den gennemsnitlige indendørstemperatur i stuen i måleperioden (i hele grader). Den gennemsnitlige døgnmiddeltemperatur udendørs over måleperioden for det enkelte énfamiliehus er vurderet på basis af oplysninger fra Danmarks Meteorologiske Institut for stationerne på Flyvestation Skrydstrup og Roskilde Lufthavn. På basis af disse temperaturer kan temperaturforskellen mellem inde og ude forsigtigt skønnes for det enkelte énfamiliehus. Analyser baseret på denne skønnede temperaturforskelle må dog tages med stort forbehold. For de undersøgte énfamiliehuse har

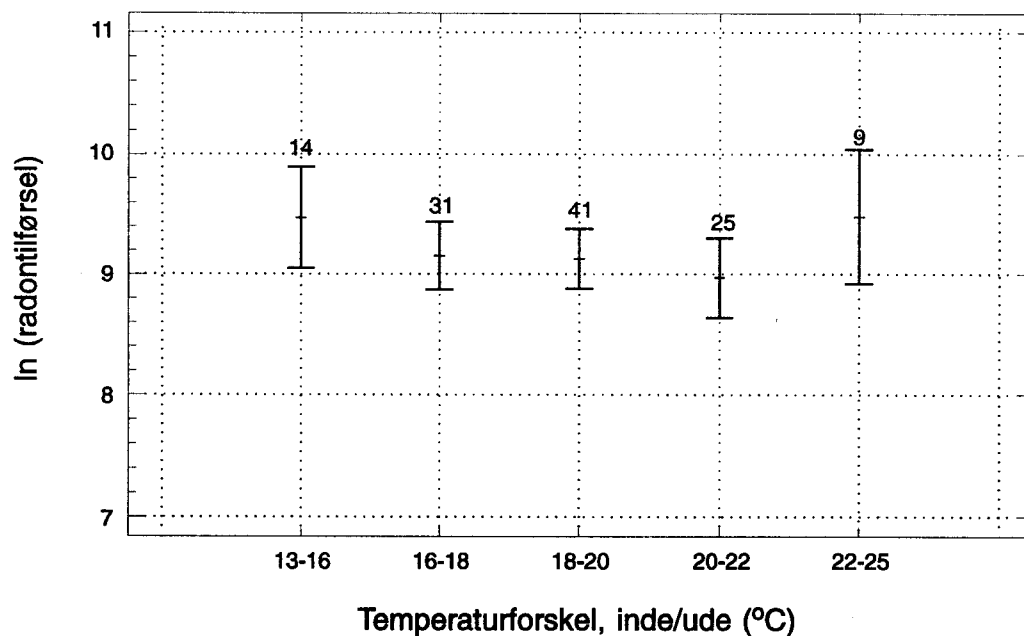
temperaturforskellen varieret fra 13 °C til 25 °C med en middelværdi på 18,7 °C. Sammenhængen mellem radonkoncentrationen og temperaturforskellen er vist i figur 4.14. Ligesom for stuetemperaturen er temperaturforskellen opdelt i grupper (13-16, 16-18, 18-20, 20-22, 22-25). Generelt ses et fald i radonkoncentrationen med stigende temperaturforskel med gruppen "13-16" signifikant forskellig fra grupperne "18-20" og "20-22". For radontilførslen ses også et (ikke signifikant) fald med stigende temperaturforskel, jf. figur 4.15, og for luftskiftet ses en (ikke signifikant) stigning med stigende temperaturforskel. De fundne tendenser er ikke i overensstemmelse med, hvad man ville forvente for et enkelt énfamiliehus, hvor trykdriven indtrængning fra jorden er den dominerende radonkilde, hvis temperaturforskelle var eneste trykgenerende mekanisme. I et sådant tilfælde vil man forvente, at en fordobling af temperaturdifferensen vil medføre en fordobling af radontilførslen og en øgning af luftskiftet med ca. 60 % (Naz 88).



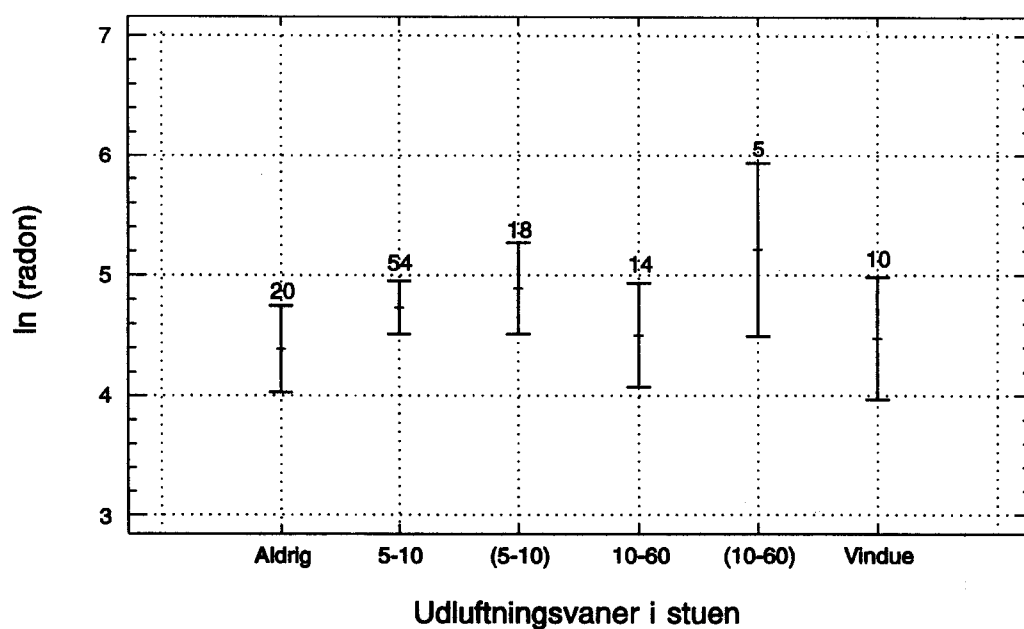
Figur 4.14 Radon opdelt efter forskellen mellem indendørstemperaturen i stuen og udendørstemperaturen

Fra SBI's interviewskema i forbindelse med anbringelsen af måleudstyr i énfamiliehusene foreligger der informationer om beboernes udluftningsvaner i de undersøgte énfamiliehuse. Beboerne har for forskellige rum i huset kunnet vælge mellem følgende 6 udluftningsmåder: *Sjældent eller aldrig*, *Kortvarigt (5-10 min) få gange pr. dag*, *Kortvarigt (5-10 min) flere gange pr. dag*, *Langvarigt (10-60 min) få gange pr. dag*, *Langvarigt (10-60 min) flere gange*

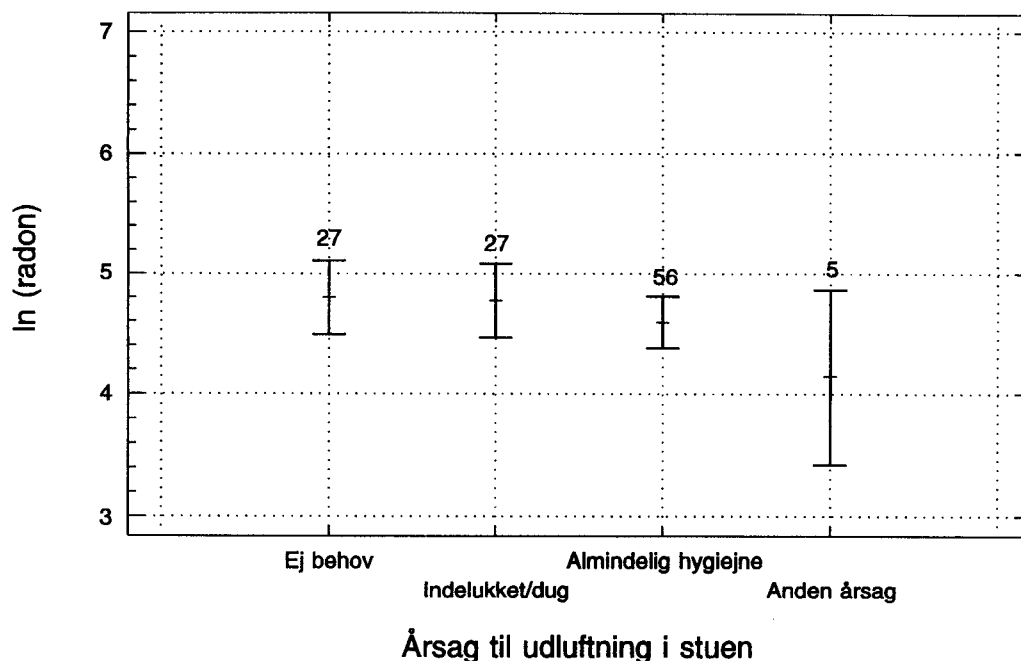
pr. dag eller Altid et vindue på klem. I figur 4.16 er vist sammenhængen mellem radonkoncentrationen og de opgivne udluftningsvaner i opholdsrum/-stue. Figuren viser ingen signifikante forskelle med hensyn til de oplyste udluftningsvaner, og der er heller ikke nogen tendens til lavere radonkoncentration med stigende udluftning.



Figur 4.15 Radontilførslen opdelt efter forskellen mellem indendørstemperaturen i stuen og udendørstemperaturen



Figur 4.16 Radon opdelt efter beboernes udluftningsvaner i stuen



Figur 4.17 Radon opdelt efter beboernes oplyste årsag til udluftning i stuen

Radonkoncentrationerne kan også sammenholdes med beboernes besvarelse i SBI's spørgeskema til den landsdækkende undersøgelse vedrørende årsagen til, at det anses for påkrævet at udlufte dagligt i opholdsrum/stue. Beboerne havde mulighed for at afkrydse mere end én årsag. I figur 4.17 er besvarelsesne opdelt i følgende fire hovedgrupper:

- Der er ikke behov for at udlufte dagligt
- Daglig udluftning fordi luften virker indelukket eller for at undgå dug på vinduerne
- Daglig udluftning af hensyn til almindelig hygiejne
- Daglig udluftning, anden årsag

Der ses ikke signifikante forskelle i radonkoncentrationen med hensyn til årsagen til daglig udluftning.

Analyserne i figur 4.16 og 4.17 er gennemført for udluftningsvaner/årsager til udluftning i opholdsrum eller stuen. Tilsvarende analyser for soveværelse, køkken samt bad/toilet har givet samme resultat. Det er således ikke muligt i denne undersøgelse at påvise effekter på radonkoncentrationen som følge af forskelle i de oplyste udluftningsvaner hos beboerne. Tilsvarende resultater blev fundet i den landsdækkende undersøgelse fra 1987 (SIS 87). Det skal i

denne sammenhæng præciseres, at analyserne i figur 4.16 og 4.17 begge er baseret på spørgeskemaoplysninger fra beboerne om deres daglige udluftningsvaner og årsagerne hertil og derfor ikke nødvendigvis afspejler reelle forskelle i udelufttilførslen. Det har heller ikke i SBI's undersøgelse (SBI 94) været muligt at påvise signifikante forskelle i udeluftstilførslen eller luftskiftet med hensyn til udluftningsvaner og de oplyste årsager hertil.

5. Konklusion og sammenfatning

Med gennemførelsen af denne undersøgelse foreligger der sammenhørende målinger af den gennemsnitlige radonkoncentration og det gennemsnitlige luftskifte over samme måleperiode for 117 nyere, naturligt ventilerede danske énfamiliehuse opført efter 1984. På baggrund af målingerne er radontilførslen beregnet for de undersøgte énfamiliehuse. Målingerne er gennemført i perioder af 1 - 3 ugers længde i fyringssæsonen i 1992. Radonkoncentrationen er målt af Forskningscenter Risø ved hjælp af et passivt radondosimeter baseret på sporfolier. Luftskiftet er målt af Statens Byggeforskningsinstitut ved hjælp af en passiv multi-sporgasteknik, PFT-metoden. Analyserne af de gennemførte målinger og beregninger kan sammenfattes på følgende måde:

- Korttidsmålinger, 1-3 uger, af radonkoncentrationen i en bolig skal tolkes med betydelig forsigtighed, og vurderingen af radon-årsmiddelværdien for boligen herudfra vil være forbundet med betydelig usikkerhed.
- Der kan ikke påvises noget fald i radonkoncentrationen i nye énfamiliehuse i perioden 1985-1989.
- Indtrængning af radon fra jorden er den dominerende kilde til radon i danske énfamiliehuse, og det er primært størrelsen af indtrængningen (og ikke ventilationen), som er bestemmende for radonkoncentrationen i et givet hus.
- Generelt ses en stigning og en større variation i de målte radonkoncentrationer med faldende luftskifte. De sammenhørende målinger af luftskiftet og radonkoncentrationen viser således, at i énfamiliehuse med et luftskifte større end eller lig med $0,5 \text{ h}^{-1}$ er sandsynligheden for at finde et radonniveau over 200 Bq/m^3 stærkt begrænset.
- Der er ikke fundet signifikante forskelle i radonkoncentrationen eller radontilførslen med hensyn til beboernes oplysning om brug af udeluftventiler og om udluftningsvaner i øvrigt.

6. Referencer

- (BBS 93a) Bygge- og Boligstyrelsen, Vejledning om Radon og nybyggeri, 2. udgave 1993.
- (BBS 93b) Bygge- og Boligstyrelsen, Vejledning om Undersøgelse af lufttæthed i bygningskonstruktioner, 1993.
- (BS 87) Byggestyrelsen, Vejledning om Radon og nybyggeri, 1988.
- (BR 82) Bygningsreglement 1982, Bygge- og Boligstyrelsen 1982.
- (BR-S 85) Bygningsreglement for småhuse 1985, Bygge- og Boligstyrelsen 1985
- (Maj 86a) Majborn, B. Measurements of Radon in Dwellings with CR-39 Track Detectors. Nucl. Tracks 12 (1986) 763-766.
- (Maj 86b) Majborn, B. Automated Counting and Analysis of Etched Tracks in CR-39 Plastic. Radiat. Prot. Dosim. 17 (1986) 153-155.
- (Naz 88) Radon and its decay products in indoor air / edited by W.W. Nazaroff and A.V. Nero, A Wiley-Interscience publication 1988.
- (SBI 87) Statens Byggeforskningsinstitut, Radon i boliger, Pjece udarbejdet for Byggestyrelsen, 1987.
- (SBI 94) Statens Byggeforskningsinstitut, Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse, SBI-Rapport 236, 1994.
- (SIS 87) Statens Institut for Strålehygiejne, Naturlig stråling i danske boliger, Sundhedsstyrelsen 1987.

Bilag 1

Kopi fra SBI-rapport (Fremgangsmåde med tilhørende bilag)

Fremgangsmåde

Landsdækkende spørgeskemaundersøgelse

Udtræk fra BBR

Fra Boligministeriets Bygnings- og Boligregister, BBR, blev der foretaget et udtræk af adresser på mere end 2100 fritliggende enfamiliehuse opført efter 1982. Udtrækket blev foretaget tilfældigt, dog således at fordelingen af husene med hensyn til geografisk beliggenhed var repræsentativ for landet i forhold til det samlede antal opførte enfamiliehuse i perioden 1982-89. I forbindelse med udtrækket blev der givet en række oplysninger om husene. Eksempelvis blev der givet oplysninger om husenes opførelsesår, boligareal, antal etager, art af varmeinstallation og opvarmningsmiddel, antal toiletter og baderum, ydervægs- og tagmateriale etc.

Spørgeskema

Samtlige husstande fik tilsendt et brev, som i korte træk informerede om undersøgelsen og dens formål, samt et spørgeskema. Husstandene indgik anonymt i undersøgelsen. Spørgeskemaet er vist i bilag 1. Udformningen af spørgeskemaet er sket i samråd med DIKE, Dansk Institut for Klinisk Epidemiologi.

Blandt de anvendelige spørgeskemabesvarelser, blev ca. 150 huse udvalgt til nærmere undersøgelse.

Udvælgelse af huse til undersøgelse

Ikke geografisk repræsentativ udvælgelse

Det var på forhånd erkendt, at de ca. 150 udvalgte huse ikke ville kunne være repræsentativt geografisk fordelt, fordi det ville falde uden for de økonomiske og de tidsmæssige rammer for undersøgelsen at komme rundt til alle dele af landet. Det blev derfor besluttet, alene at udvælge huse, som var beliggende på Sjælland eller på Lolland-Falster.

Der blev sendt et brev til husstandene på de udvalgte adresser. I brevet blev det forklaret, at foruden at indsamle oplysninger gennem den landsdækkende spørgeskemaundersøgelse, som beboerne tidligere havde deltaget i, var det hensigten med projektet at foretage målinger i en del af husene. Beboerne blev spurgt, om de ønskede at deltage i projektet. I bekræftende fald kunne beboerne udfylde og returnere en vedlagt svarkupon med navn, adresse og telefonnummer.

Målinger på Sjælland, Lolland-Falster og Sønderjylland

Der blev modtaget positive svar fra mindre end 150 husstande. Det var derfor nødvendigt at inddrage huse, som var beliggende uden for Sjælland og Lolland-Falster. Det blev besluttet, at inddrage huse beliggende i Sønderjylland, idet det her var muligt inden for et begrænset område, at gennemføre de resterende målinger.

På grundlag af svarkuponerne blev der taget telefonisk kontakt til beboerne. Formålet var at træffe aftale med beboerne om en dato og et tidspunkt for SBI's besøg i huset for gennemførelse af målingerne.

Gennemførelse af målinger

Passive målemetoder	Det anvendte måleudstyr, som beskrives i kapitlet "Målemetoder" på næste side, var af den passivt registrerende type. Udstyret blev anbragt i husene af SBI, og returneret af beboerne via postvæsnet ca. 2 uger senere.
PFT-metoden	Ventilationsmålingerne blev udført ved hjælp af multi-sporgasteknik, den såkaldte PFT-metode. I hvert hus blev anbragt 6-8 sporgaskilder og 8-12 adsorptionsrør. Kilderne og rørene blev anbragt fordelt i alle husets rum. For at kunne bestemme udelufttilførslen direkte til voksen-soverummet, blev målingerne gennemført som 2-zone målinger. I soverummet blev således anvendt en sporgastype forskellig fra sporgastypen, som blev anvendt i den øvrige del af huset.
Bøgeklods-metoden	Luftfugtighedsmålingerne blev udført ved hjælp af fugt-kalibrerede bøgeklodser. I hvert hus blev anbragt to klodser, én i stuen og én i voksen-soverummet.
Temperaturmåling	Samtidig med anbringelsen af måleudstyret blev rumluftens temperatur målt både i stuen og i voksen-soverummet, og der blev gennemført et kort interview af beboerne vedrørende deres brug af boligen.
Returnering af udstyr	Lidt mere end en uge efter at udstyret var anbragt i huset, blev beboerne pr. brev anmodet om at indsamle udstyret og returnere det til SBI. Vedlagt brevet var et interviewskema, hvor beboerne blandt andet skulle angive datoen og tidspunktet for indsamlingen af udstyret. Oplysningen er af betydning i forbindelse med målinger med passiv måleteknik. Erfaringsmæssigt vil beboerne indsamle og returnere udstyret nogle dage efter, at de har modtaget anmodningen. Således har varigheden af målingerne i de enkelte huse i denne undersøgelse været ca. 2 uger.
Måleperiode	Målingerne fandt sted i opvarmningsperioden i januar, februar og i begyndelsen af marts 1992 samt i oktober og november 1992.

Spørgeskema til landsdækkende undersøgelse

Skemaet er nedfotograferet fra A4-format.

Statens Byggeforskningsinstitut
Postboks 119
2970 Hørsholm

Forskningsprojekt om ventilationsforhold i nye enfamiliehuse

1. Hvor mange personer bor der i boligen? _____ personer
Angiv venligst beboernes alder (fx 45, 37, 7, 2) _____
2. Hvor mange timer pr. uge er der ingen hjemme? ca. _____ timer pr. uge
3. Hvad er det samlede boligareal? _____ m²
(evt. kælder og tagetage, medregnes kun hvis udnyttet til beboelse)
4. Er vinduerne hovedsagelig med 2 lag glas ☐ 3 lag glas ☐

	Ja	Nej
5. Er der en tagetage, der er udnyttet til beboelse?	☐	☐
Er der en kælder, der er udnyttet til beboelse?	☐	☐
6. Er der kælder under <u>hele</u> huset?	☐	☐
- Hvis De har svaret "ja", gå da til spørgsmål 7.		
Er der krybekælder under <u>hele</u> huset?	☐	☐
- Hvis De har svaret "ja", gå da til spørgsmål 7.		
Er der kælder under <u>en del</u> af huset?	☐	☐
Er der krybekælder under <u>en del</u> af huset?	☐	☐
Er der terrændæk (hverken kælder eller krybekælder) under <u>en del</u> af huset?	☐	☐
7. Opvarmes huset primært ved hjælp af <u>egget</u> gas- eller oliefyr?	☐	☐
- Hvis De har svaret "ja": Er der normalt åbent mellem det rum hvor fyret er placeret og resten af huset?	☐	☐
8. Suppleres opvarmningen ved brug af åben pejs?	☐	☐
Suppleres opvarmningen ved brug af lukket brændeovn eller kamin?	☐	☐
9. Er der et ventilationsanlæg, som <u>konstant</u> eller <u>det meste af døgnet</u>		
- <u>både</u> blæser luft ind i <u>og</u> suger luft ud af de fleste rum?	☐	☐
- suger luft ud af flere forskellige rum, foruden køkken og bad/toilet?	☐	☐
- <u>kun</u> suger luft ud af køkken og bad/toilet?	☐	☐
10. Er der i køkkenet en emhætte eller en udsugningsventilator, som De selv kan tænde og slukke, og som har en ventilationskanal, som går til det fri?	☐	☐
11. Er der i bad/toilet en udsugningsventilator, som De selv kan tænde og slukke?	☐	☐
12. Er der i de fleste <u>opholdsrum</u> (dvs. ikke køkken og bad/toilet) friskluft-ventiler/udluftningsventiler i ydervæggen eller i forbindelse med vinduerne?	☐	☐
- Hvis De har svaret "ja": Er ventilerne normalt åbne i vintermånederne?	☐	☐
13. Er der ofte dug på vinduerne, når temperaturen udenfor er omkring 0 °C og rullegardiner <u>ikke</u> er trukket ned?	☐	☐
14. Ryges der dagligt i boligen?	☐	☐

15. Hvordan opleves luftkvaliteten i boligen i vintermånederne?

Frisk ☐
Almindelig ☐
Indelukket ☐

16. Er der i Deres bolig behov for at udlufte dagligt i vintermånederne
(fx. ved åbning af vinduer eller døre)?

	Nej	Ja, fordi luften ellers virker indelukket	Ja, for at undgå fugt og dug på vinduerne	Ja, af hensyn til almindelig hygiejne	Ja, anden årsag
Opholdsrum	☐	☐	☐	☐	☐
Soverum	☐	☐	☐	☐	☐
Køkken	☐	☐	☐	☐	☐
Bad/toilet	☐	☐	☐	☐	☐

17. Dato for skemaets udfyldelse: _____

Tak for Deres medvirken.

Bilag 2

Kopi fra SBI-rapport (Målemetoder med tilhørende bilag)

Målemetoder

Målinger I ca. 150 huse, udvalgt blandt de 1403 huse hvorfra der blev modtaget anvendelige spørgeskemabesvarelser, er der foretaget målinger af ventilations-, fugt- og temperaturforhold. Samtidig udfyldte beboerne et interviewskema. Skemaet er vist i bilag 2.

Interviewskema

Udelufttilførsel

PFT-metoden Målingerne af udelufttilførsler blev udført ved anvendelse af en særlig multi-sporgasteknik, PFT-metoden. PFT står for *Perfluorcarbon Tracer*, idet de anvendte sporgasser er perfluorcarboner, som er organiske forbindelser af perfluoralkylcycloalkan-familien. PFT-metoden er en sporgasteknik efter konstant-dosering princippet. Princippet er, at sporgas frigives kontinuert og passivt fra nogle små sporgaskilder, mens registreringen af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør. Adsorptionsrørene er nogle små glaserør, som indeholder en adsorbent beslagtet med aktivt kul. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved hjælp af termisk desorption og gaschromatografi. Detektoren er en ECD.

Sporgaskilder Målinger med PFT-metoden gennemføres typisk over en periode i størrelsesordenen dage eller uger. Derved bestemmes den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden. I denne undersøgelse har varigheden af de enkelte målinger været ca. 2 uger. Målingerne blev gennemført, mens husene var i normal brug. Måleresultaterne udtrykker således den i praksis forekommende gennemsnitlige udelufttilførsel, idet husstandens brug af huset, fx husstandens udluftningsvaner, indgår i måleresultatet.

Adsorptionsrør

Varigheden af en måling Anvendelse af flere forskellige sporgastyper gør det muligt at bestemme såvel husets gennemsnitlige totale udelufttilførsel som udelufttilførslen til enkelte zoner eller rum i huset. Desuden kan interne luftudvekslinger mellem zonerne bestemmes. Ved gennemførelse af multi-zone målinger anvendes forskellige sporgastyper i de forskellige zoner. I denne undersøgelse blev soverummet i huset undersøgt særskilt. Det undersøgte soverum var voksen-soverummet, idet det må påregnes, at børne-soverum ofte tillige anvendes som opholds- og legerum.

Multi-zone målinger Usikkerheden på en måling ved anvendelse af PFT-metoden indbefatter, foruden usikkerheder som knytter sig til funktionen af sporgaskilder, adsorptionsrør og analyseudstyr, også nogle fejlkilder, som kan henføres til metoden og dens beregningsmæssige grundlag.

Voksen-soverummet Ved målinger med PFT-metoden beregnes den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden blandt andet på baggrund af en målt gennemsnitlig sporgaskoncentration. Det kan vises matematisk, at denne procedure medfører en systematisk undervurdering af den gennemsnitlige udelufttilførsel. Fejlens størrelse afhænger af karakteren af

Måleusikkerhed

Systematisk fejl

variationer i sporgaskoncentrationen i måleperioden. Variationer i sporgaskoncentrationen kan typisk henføres til beboernes brug af huset, herunder åbning af døre og vinduer i forbindelse med udluftning. Ved kortvarige udluftninger vil der kun forekomme mindre udsving i den aktuelle sporgaskoncentration, som til stadighed vil være nær ligevægtskoncentrationen svarende til den gennemsnitlige udelufttilførsel. Fejlen på den beregnede gennemsnitlige udelufttilførsel vil være lille. Længerevarende udluftninger vil medføre større udsving i sporgaskoncentrationen, og den systematiske fejl forøges.

Det skønnes, at den systematiske fejl i praksis vil være højst -15 pct., og instrumentfejlen skønnes til ± 10 -15 pct. En nøjere redegørelse for usikkerheder og fejlkilder ved måling med PFT-metoden findes i [3], hvor også metodens udstyr og anvendelse er nærmere beskrevet.

Luftfugtighed

Bøgeklods-metoden

Rumluftens relative fugtighed blev målt i stuen og i voksen-soverummet. Målingerne blev foretaget med fugt-kalibrerede bøgeklodser med dimensionerne 50 mm $\times$ 48 mm $\times$ 15 mm og skåret således, at fiberretningen er vinkelret på en flade. Der blev anbragt én bøgeklods i hvert af rummene.

Desorption

Metoden beror på, at sorptionskurven for det anvendte træ er kendt. Sorptionskurven for et hygroskopisk materiale angiver sammenhængen mellem den relative luftfugtighed og materialets ligevægtsfugtindhold. Sorptionskurven er forskellig for absorption og desorption, men kun i ringe grad afhængig af temperaturen. Anvendelsen af bøgeklodserne som fugtindikator baseres på desorption, og kalibreringskurven bestemmes på grundlag af nøjagtig vejning efter konditionering i klimakammer. Når træklodserne i praksis eksponeres for variabel luftfugtighed, er sammenhængen mindre veldefineret. Kontrollforsøg har dog vist, at den relative luftfugtigheds middelværdi kan bestemmes med en usikkerhed på ca. 0,05 i miljøer med moderat varierende luftfugtighed. Metoden er nærmere beskrevet i [6].

Lufttemperatur

Ikke passiv måling

Rumluftens temperatur blev målt både i stuen og i voksen-soverummet. Målingerne blev foretaget med et digitaltermometer fabrikat H. Blichfeldt type T-301 C forsynet med kobber-konstantan termoelement.

Rumluftens temperatur blev målt samtidig med at sporgaskilder, adsorptionsrør og bøgeklodser blev anbragt i huset. Temperaturerne er således ikke som de øvrige målinger bestemt ved langtidsmåling som en gennemsnitsværdi for måleperioden.

De målte temperaturer er desuden sammenlignet med beboernes besvarelser på interviewskemaet. Her har beboerne anført de gennemsnitlige temperaturer i måleperioden henholdsvis i stuen og i soverummet. Samtidig har beboerne oplyst, om der findes et termometer i de pågældende rum.

- [3] Bergsøe, Niels C.
SBI-rapport 227: Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1992.
- [6] Nielsen, Ove
SBI-rapport 198: Luftfugtighed i renoverede højhuse med tre ventilationsløsninger. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1989.

Interviewskema i forbindelse med målinger

Skemaet er nedfotograferet fra A4-format.

Forskningsprojekt vedrørende undersøgelse af ventilationsforhold i nye enfamiliehuse

1. Hvornår tog De måleudstyret ned? Dato: _____ Klokken: _____
2. Hvor mange personer beboede boligen i måleperioden? under 16 år: _____
16 år eller over: _____
3. Hvor mange timer daglig i måleperioden var boligen ubenyttet (tom)? ca. _____ timer
4. Hvad var den gennemsnitlige temperatur i måleperioden? i stuen ca. _____ °C
i soveværelset ca. _____ °C

Ja Nej

5. Har De et termometer i stuen? ☐ Ja ☐ Nej
Har De et termometer i soveværelset? ☐ Ja ☐ Nej

6. På hvilken måde udlufter De?

	Opholdsrum	Soveværelse	Køkken	Bad/toilet
Sjældent eller aldrig	☐	☐	☐	☐
Kortvarigt (5-10 min) få gange pr. dag	☐	☐	☐	☐
Kortvarigt (5-10 min) flere gange pr. dag	☐	☐	☐	☐
Langvarigt (10-60 min) få gange pr. dag	☐	☐	☐	☐
Langvarigt (10-60 min) flere gange pr. dag	☐	☐	☐	☐
Altid et vindue på klem	☐	☐	☐	☐

Navn: _____

Adresse: _____

Telefon: _____

Tak for Deres medvirken i forskningsprojektet.