

Sundhedsstyrelsen

En strålehygiejnisk vurdering
af brugen af flyveaske i
byggeindustrien.

SIS

April 1984

STATENS INSTITUT FOR STRÅLEHYGIEJNE
FREDERIKSSUNDSVEJ 378
2700 BRØNSHØJ

FORORD.

Danaske I/S, Aalborg Portland samt Amagerværket, Asnæsværket Enstedværket, Fynsværket, Stignæsværket og Vestkraft takkes for velvillig assistance ved fremstilling og indsamling af de undersøgte beton- og flyveaskeprøver.

Prøvebehandling og de eksperimentelle målinger er udført af laborant Otto Klinder, sammenskrivningen af resultaterne er udført af cand.scient. Kaare Ulbak og rapporten er renskrevet af overassistent Ingrid Qvisgaard.

April 1984.

Statens institut for strålehygiejne
Frederikssundsvej 378
2700 Brønshøj.

Telefon: 02 94 37 73.

INDLEDNING.

Kul indeholder som alle andre naturmaterialer radioaktive stoffer fra uran- og thoriumserierne samt kalium-40. Ved forbrænding af kul på kraftværkerne vil størstedelen af disse radioaktive stoffer forblive i den tilbageværende flyveaske og slagge. Da askeindholdet i kul er af størrelsesordenen 10%, vil aktivitetskoncentrationerne af de radioaktive stoffer i flyveaske og slagge være større end i kullet. Aktivitetskoncentrationerne i flyveasken vil kunne være op til ca. 10 gange større end koncentrationerne af de samme radioaktive stoffer i de danske ler-, sten- og sandmaterialer, som normalt anvendes til fremstilling af teglsten og beton i Danmark (1).

De seneste 10 års overgang til hovedsagelig kulfyring på de danske kraftværker har medført en stadig stigende flyveaskeproduktion. Et anvendelsesområde for denne flyveaske er byggeindustrien. Flyveasken kan således udgøre fra ca. 3 til 25 % af færdig cement og kan desuden direkte indgå i beton, således at den samlede mængde i cement og beton kan udgøre op til 35%.

I 1982 udgjorde flyveaskeproduktionen på de danske kraftværker omkring 1 million tons. Heraf blev 280.000 tons leveret til byggeindustrien, fordelt med 205.000 tons til cementproduktion, 50.000 tons til betonindustrien og 25.000 tons til eksport (2).

I forbindelse med SIS's undersøgelse i 1979 af indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i danske byggematerialer (1) blev der også udført målinger på 10 flyveaskeprøver. Den kraftige udvidelse af brugen af flyveaske i byggeindustrien har imidlertid fremhævet behovet for en mere detaljeret undersøgelse af de mulige strålehygiejniske konsekvenser af denne brug af flyveaske, herunder i særdeleshed hvorledes flyveaske påvirker betons radonexhalationsegenskaber. I det følgende beskrives nærmere de målinger, der er gennemført i denne anledning, samt de konklusioner, der kan drages heraf.

MÅLEPROGRAM.

Måleprogrammet, som er gennemført i perioden november 1981 til august 1983, har primært været tilrettelagt med henblik på:

- 1) bestemmelse af repræsentative værdier for og variationen af aktivitetskoncentrationen af K-40, Ra-226 og Th-232 i den flyveaske, der leveres til byggeindustrien.

- 2) bestemmelse af radonexhalationen fra beton, hvori der indgår flyveaske.

Indsamling af flyveaskeprøver for måling af aktivitetskoncentrationen blev planlagt i samarbejde med Danaske I/S, der er et af elværkerne og Aalborg Portland oprettet selskab for salg og distribution af flyveaske. For seks kulfyrede kraftværker (Amagerværket, Asnæsværket, Enstedværket, Fynsværket, Stigsnæsværket og Vestkraft), som i indsamlingsperioden leverede ca. 90% af den samlede flyveaske til byggeindustrien, blev der fra samtlige enkelt-leverancer af flyveaske til byggeindustrien udtaget en lille prøve. Disse prøver blev samlet til en månedsprøve for det enkelte kraftværk. Månedsprøverne blev herefter målt på SIS ved Ge(Li) gammaspektrometri. De nærmere detaljer ved den anvendte måleteknik er beskrevet i (1). Ialt 69 månedsprøver blev målt. Resultaterne heraf er givet i tabel 1.

Radonexhalationsraten for ren, tør flyveaske fra fire af kraftværkerne blev målt ved at indeslutte al indsamlet flyveaske fra det enkelte værk i en beholder og derefter følge opbygningen af radonkoncentrationen i beholderen som funktion af tiden. De nærmere detaljer ved den anvendte måleteknik er beskrevet i (3). Resultaterne af exhalationsmålingerne er givet i tabel 2 sammen med de heraf afledte emanationskoefficienter. Emanationskoefficienten er defineret som den del af den i prøven producerede radon, der frigives (exhalerer) fra prøven. Emanationskoefficienten beregnes ud fra følgende formel:

$$\eta = \frac{E}{C_{Ra} \cdot \lambda_{Rn}}$$

hvor:

η = radonemanationskoefficient.

E = radonexhalationsraten ($Bq \text{ kg}^{-1}h^{-1}$).

C_{Ra} = Ra-226 aktivitetskoncentrationen i prøven ($Bq \text{ kg}^{-1}$).

λ_{Rn} = henfaldskonstanten for radon-222 (h^{-1}).

I tillæg til exhalationsmålingerne på de rene flyveaskeprøver er der udført exhalationsmålinger på 7 sæt dobbelte betonprøver, hvor den anvendte cement har indeholdt fra 5% til 30% flyveaske. Disse målinger er gennemført i samarbejde med Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor (CtO), Aalborg Portland, og er udførligt beskrevet i (4). Resultaterne fra (4) er gengivet i tabel 3 ligesom resultaterne af radonexhalationen af samtlige 14 individuelle betonprøver er vist grafisk i figur 1.

I forbindelse med exhalationsmålingerne på ovennævnte betonprøver blev aktivitetskoncentrationen af K-40, Ra-226 og Th-232 målt på de anvendte materialer. Resultaterne af disse målinger er givet i tabel 4.

DISKUSSION AF MÅLERESULTATER.

Målingerne af aktivitetskoncentrationerne af K-40, Ra-226 og Th-232 i de indsamlede flyveaskeprøver (tabel 1) viser god overensstemmelse med tidligere danske målinger på flyveaske (1) og (5). Resultaterne ligger endvidere inden for variationsbredden af målinger beskrevet i litteraturen (6). Målingerne viser, at aktivitetsindholdet i flyveasken fra det enkelte kraftværk er nogenlunde konstant i indsamlingsperioden. Det bemærkes, at kraftværkerne groft kan deles i to grupper, hvor Amagerværket og Vestkraft udgør den ene gruppe med et lavere aktivitetsindhold af Ra-226 og Th-232 end de øvrige kraftværker. Dette skyldes, at Amagerværket og Vestkraft fortrinsvis brænder engelsk kul (7), som ifølge (5) har et lidt mindre Ra-226 og Th-232 indhold end kul fra de fleste andre lande.

Sammenlignes de målte værdier for flyveaske med aktivitetsindholdet i normal dansk cement (1) findes et ca. 5 gange større indhold af K-40, et ca. 8 gange større indhold af Ra-226 og et ca. 10 gange større indhold af Th-232.

På trods af det relativt høje Ra-226 indhold i flyveasken er radonexhalationen ikke større end for mange andre byggematerialer. Til sammenligning med tabel 2 er i tabel 5 vist radonexhalationen for en række danske byggematerialer.

Emanationskoefficienter mindre end 1% for de målte flyveaskeprøver bekræfter ligledes den relativt lave radonexhalation for ren tør flyveaske. De fundne emanationskoefficienter er iøvrigt i god overensstemmelse med tilsvarende udenlandske målinger (6). Den lave radonexhalation kan forklares ud fra flyveaskens glasagtige karakter, som skyldes de høje temperaturer, hvorunder flyveasken dannes ved forbrændingsprocessen.

Resultaterne i figur 1 og tabel 3 af radonexhalationsmålingerne på betonprøver, hvor den anvendte cement har indeholdt fra 5% til 30% flyveaske, viser, at brugen af flyveaske i beton ikke ændrer radonexhalationsegenskaberne for betonen. Det skal i denne forbindelse påpeges, at tilsvarende undersøgelser i Norge (8) og Sverige (9) har vist en reduktion af radonexhalationen for beton med flyveaske.

En umiddelbar forklaring på, hvorfor denne effekt ikke er fundet for dansk beton, kan ikke gives. Det bemærkes dog, at emanationskoefficienter på op til 75% er fundet for norsk og svensk beton, mens emanationskoefficienten for dansk beton ligger under 10% (tabel 3 og tabel 4), hvorfor muligheden for en reduktion af radonexhalationen ved tilsætning af flyveaske er væsentlig mindre.

Sammenfattende viser de udførte målinger:

- at flyveaske har et højere aktivitetsindhold end traditionelle danske byggematerialer.
- at radonexhalationen for ren flyveaske er sammenlignelig med radonexhalationen fra andre danske byggematerialer.
- at tilsætning af flyveaske til cement og beton ikke ændrer radonexhalationen for dansk beton.

DOSISBEREGNINGER.

Brug af flyveaske i byggeindustrien vil ifølge forrige afsnit øge gammastrålingen fra de byggematerialer, hvori flyveasken indgår, men vil ikke øge koncentrationen af radon i indendørsluften. I det følgende vurderes derfor kun gammastrålingsdoserne som følge af det forhøjede aktivitetsindhold i flyveaske.

Gammadosis hastigheden i en bygning kan relateres til aktivitetskoncentrationerne af K-40, Ra-226 og Th-232 og deres henfaldsprodukter på følgende måde:

$$D_a = k_K \cdot C_K + k_{Ra} \cdot C_{Ra} + k_{Th} \cdot C_{Th}$$

hvor:

k_K, k_{Ra}, k_{Th} = den absorberede dosishastighed i luft pr. enheds aktivitetskoncentration for henholdsvis K-40, Ra-226 og Th-232 (nGy/h pr. Bq/kg). (specifikke luftdosishastigheder).

C_K, C_{Ra}, C_{Th} = aktivitetskoncentration for henholdsvis K-40, Ra-226 og Th-232 (Bq/kg).

Stranden har i (10) og (8) beregnet værdien af de specifikke luftdosishastigheder for følgende to modelrum:

A). Rum i lejlighed i betonblok.

størrelse: 9 x 5 x 2,5 m³
gulv og loft: 25 cm beton (2.35 g/cm³)
3 vægge: 20 cm beton (2.35 g/cm³)
en kort væg er udeladt for at tage hensyn til vinduer og døre.

B). Rum i villa.

størrelse: 9 x 5 x 2.5 m³
gulve: 25 cm beton (2.35 g/cm³)
vægge og loft udeladt.

Resultaterne af Strandens beregninger er givet i tabel 6.

Ved omregning fra absorberet dosis i luft til dosisækvivalent benyttes de omregningsfaktorer, der er givet i UNSCEAR 1977 rapporten (11).

Ifølge de tidligere gennemførte målinger på danske byggematerialer (1) kan det gennemsnitlige aktivitetsindhold i cement, tilslagsmaterialer og færdig beton uden tilsætning af flyveaske sættes til: K-40: 360 Bq/kg, Ra-226: 20 Bq/kg og Th-232: 12 Bq/kg.

Hovedparten af den beton, der anvendes i byggeindustrien i Danmark, har et cementindhold på 11% eller mindre (12). Forudsættes cementen at indholde 25% flyveaske, vil den færdige beton derfor indeholde knap 3% flyveaske. I tabel 7 er vist resultaterne af beregningerne af det gennemsnitlige årlige dosisækvivalent fra gammastråling ved ophold udendørs 100% af tiden samt ved ophold 80% af tiden i de to beskrevne modelrum under brug af de beskrevne forudsætninger:

Af tabel 7 fremgår det, at tilsætning af 3% flyveaske til beton, direkte eller ved cementproduktionen, vil øge strålingsdosis i en betonlejlighed med 0.03 mSv/år og i en villa, hvor beton kun indgår i gulvet, med 0.01 mSv/år. Ovennævnte doser er baseret på det målte gennemsnitlige aktivitetsindhold i flyveaske. Baseres beregningen på de højeste aktivitetskoncentrationer (K-40: 910 Bq/kg, Ra-226: 210 Bq/kg, Th-232: 190 Bq/kg), og antages det samtidigt, at flyveasken indgår med 25% i cementen og med 3% direkte i betonen (total 6%) fås en øvre grænse for øgningen i strålingsdosis ved brug af flyveaske i den danske betonindustri. Resultatet af denne beregning bliver en øgning i gammastrålingsdosis for betonlejligheder på 0.09 mSv/år og for villaer på 0.04 mSv/år.

Øgningen i gammastrålingsdosis under de beskrevne omstændigheder kan sammenlignes med den samlede (ude + inde) årlige gammastrålingsdosis for beboerne i en betonlejlighed på 0.29 mSv/år ($0.2 \times 0.27 + 0.24$). For en teglstensvilla fås tilsvarende en gammastrålingsdosis på 0.34 mSv/år ($0.2 \times 0.27 + 0.10 + 0.19$), idet dosisbidraget fra teglstensvæggene kan vurderes til 0.19 mSv/år ud fra aktivitetsindholdet i danske teglsten (1), (K-40: 630 Bq/kg, Ra-226: 42 Bq/kg, Th-232: 34 Bq/kg). Da de ovenfor beregnede strålingsdoser er gennemsnitsværdier, vil de aktuelle gammastrålingsdoser i danske boliger kunne udvise en væsentlig variation omkring disse værdier.

Øgningen i gammastrålingsdosis kan endvidere sammenlignes med strålingsdosis fra indånding af radondatterprodukter i indendørsluften, som skyldes exhalationen af radon fra de samme byggematerialer. Forudsættes en radonexhalation (masse) for dansk beton på $0.017 \text{ Bqkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (4), vil radonexhalationen (areal) for en 20 cm tyk betonmur være ca. $4 \text{ Bq m}^{-2}\text{h}^{-1}$, idet den halve tykkelse af muren antages at exhale radon ind i rummet, og densiteten af betonen sættes til 2.35 g/cm^3 . For et luftskifte på 0.5 pr. time vil den resulterende koncentration af radondatterprodukter i indendørsluften da blive 5 Bq/m^3 , idet ligevægtsfaktoren sættes lig 0.5. Benyttes dosismodellen, der er beskrevet i (8) fås et dosisækvivalent fra radon fra byggematerialerne på 0.36 mSv/år. Det skal samtidig bemærkes, at indtrængen af radon fra undergrunden kan forårsage betydelige højere radonkoncentrationer i indendørsluften end radonbidraget fra byggematerialerne.

De mulige sundhedsmæssige konsekvenser af en øgning af strålingsdosis med 0.03 mSv/år kan illustreres ved følgende eksempel. Antages samtlige 5 million danskere at modtage en ekstra strålingsdosis på 0.03 mSv/år, vil den samlede (kollektive) strålingsdosis blive 150 personSv pr. år. Denne stråleudsættelse vil ifølge de normalt anvendte modeller for beregning af risikoen ved stråling muligvis kunne medføre 1-2 ekstra kræftdødsfald pr. år blandt de 5 millioner bestrålede personer.

KONKLUSION.

På baggrund af de gennemførte målinger og dosisberegninger kan følgende konklusioner drages med hensyn til den strålehygiejniske betydning af brugen af flyveaske i den danske byggeindustri:

- at flyveaske har et forhøjet aktivitetsindhold i forhold til traditionelle danske byggematerialer.

- at radonexhalationen for ren tør flyveaske er sammenlignelig med radonexhalationen fra andre danske byggematerialer.
- at tilsætning af flyveaske til cement og beton ikke ændrer radonexhalationen for dansk beton.
- at brug af flyveaske i beton for en betonlejlighed vil medføre en øgning i gammastrålingsdosis til lejlighedens beboere på omkring 0.03 mSv/år. En sådan øgning vil svare til omkring 1/10 af den gennemsnitlige gammastrålingsdosis i en bolig og omkring 1/20 af den gennemsnitlige samlede strålingsdosis, der kan henføres til byggematerialernes radioaktivitet.

REFERENCER.

- (1) Ulbak, K. "Natural Radioactivity in Building Materials in Denmark". Proceedings of Seminar on the Radiological Burden of Man of Natural Radioactivity in the European Community, Paris, December 1979.
- (2) Mouritzen, J., Danaske I/S. Personlig kommunikation.
- (3) Jonassen, N. "The Determination of Radon Exhalation Rates". Health Physics 45(2), 369-376, 1983.
- (4) Ulbak, K. Jonassen, N. and Bækmark, K. "Radon Exhalation from Samples of Concrete with different Porosities and Fly Ash Additives". Radiation Protection Dosimetry.
- (5) Meide, A. "Analyser af radioaktivitetsindholdet i kul, slagge, flyveaske og rengasstøv". Kontraktrapport Forsøgsanlæg Risø, oktober 1983.
- (6) Ericson, S. "Naturlig Radioaktivitet i kol", (litteratursammanställning) AIB, september 1982.
- (7) Jensen, P. Elkraft. Personlig kommunikation.
- (8) Stranden, E. "Assessment of the Radiological Impact of using Fly Ash in Cement". Health Physics 44(2), 145-153, 1983.
- (9) Hildingson, O. "Bestämning av Radonavgång från Flygaska samt Betong innehållande Flygaska". Statens Prövningsanstalt 1982.
- (10) Stranden, E. "Radioactivity of Building Materials and the Gamma Radiation in Dwellings". Phys. Med. Biol. 24, 921, 1979.
- (11) UNSCEAR 1977, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1977 Report to the General Assembly. New York, 1977.
- (12) Bækmark, K. CtO, Aalborg Portland. Personlig kommunikation.
- (13) Naturally Occurring Radiation in the Nordic Countries Levels. Radiation Protection Information 1983. The Radiation Protection Institutes in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.

Tabel 1. Aktivitetskoncentration af K-40, Ra-226 og Th-232 i flyveaske fra seks kraftværker.

Kraftværk	Antal måneds- prøver		Aktivitetskoncentration Bq/kg		
			K-40	Ra-226	Th-232
Amagerværket (nov.81-febr.83)	15	min.	480	120	66
		middel	570	140	78
		max.	670	180	88
Asnæsværket (nov.82-jun.83)	8	min.	280	140	90
		middel	490	150	120
		max.	660	180	140
Enstedværket (nov.81-feb.83)	16	min.	190	130	120
		middel	290	170	160
		max.	430	200	190
Fynsværket (nov.81-feb.83)	14	min.	260	130	100
		middel	520	160	130
		max.	840	190	160
Stignæsværket (nov.81-jan.83)	4	min.	200	140	110
		middel	360	160	140
		max.	500	210	170
Vestkraft (nov.81-nov.82)	12	min.	570	120	77
		middel	710	150	79
		max.	910	170	93
Samtlige værker	69	min.	190	120	66
		middel	500	160	120
		max.	910	210	190
		s.d.	52	13	7

Tabel 2. Ra-226 aktivitetskoncentration, radonexhalation og emanationskoefficient for tør flyveaske fra fire kraftværker.

Kraftværk	Aktivitetskoncen- tration, Ra-226 Bq kg ⁻¹	Radonexhalation Bq kg ⁻¹ h ⁻¹	Emanations- koefficient %
Amagerværket	140	0.0053	0.5
Enstedværket	170	0.0049	0.4
Fynsværket	160	0.0049	0.4
Vestkraft	150	0.0099	0.9

Tabel 3. Ra-226 aktivitetskoncentration, radonexhalation og emanationskoefficient for betonprøver med varierende indhold af flyveaske i den anvendte cement.

Andel flyveaske i cementen %	Aktivitetskoncen- tration, Ra-226 Bq kg ⁻¹	Radonexhala- tion Bq kg ⁻¹ h ⁻¹	Emanations- koefficient %
5	10	0.0085	11
10	11	0.0088	10
15	12	0.0078	8.6
20	13	0.0081	8.4
25	14	0.0092	8.9
30	14	0.0087	8.0
25a)	15	0.0098	8.5

a) portlandflyveaskecement

Tabel 4. Aktivitetskoncentrationer af K-40, Ra-226 og Th-232 i de anvendte materialer i betonprøverne med varierende indhold af flyveaske i den anvendte beton.

	Aktivitetskoncentration Bq kg ⁻¹		
	K-40	Ra-226	Th-232
Normal cement ^{a)}	140	28	22
FA-cement ^{b)}	240	65	52
Sand	160	7.4	5.8
Sten	190	9.2	10
Flyveaske	640	150	81

a) indeholder maks. 5% flyveaske

b) portlandflyveaskecement indeholdende 25% flyveaske

Tabel 5. Ra-226 aktivitetskoncentration, radonexhalation og emanationskoefficient for enkelte prøver af danske byggematerialer.

Materiale	Aktivitetskoncentration, Ra-226	Radonexhalation	Emanationskoefficient
	Bq kg ⁻¹	Bq kg ⁻¹ h ⁻¹	%
Cement	28	0.0015	0.7
Sand	7	0.0025	4.7
Granitskærver	59	0.010	2.3
Beton	35	0.017	6.2
Teglsten	42	0.0006	0.2

Tabel 6. Specifikke luftdosishastigheder for to modelrum.

Modelrum	Specifikke luftdosishastigheder		
	K-40	nGy/h pr. Bq/kg Ra-226	Th-232
lejlighed (A)	0.0658	0.764	0.893
villa (B)	0.0268	0.313	0.374

Tabel 7. Beregnede årlige dosisækvivalenter fra gammastråling ved ophold udendørs og i modelrummene med og uden tilsætning af flyveaske til betonen.

Bestrålingssituation	Tilsætning af flyveaske til betonen %	Årlig dosisækvi- valent fra gam- mastråling mSv/år
Ophold udendørs 100% af tiden a)	-	0.27
Lejlighed (modelrum A) 80% af tiden	0 3	0.24 0.27
Villa (modelrum B) 80% af tiden	0 3	0.10 0.11

a) baseret på en absorberet dosishastighed i luft på 37 nGy/h (13).

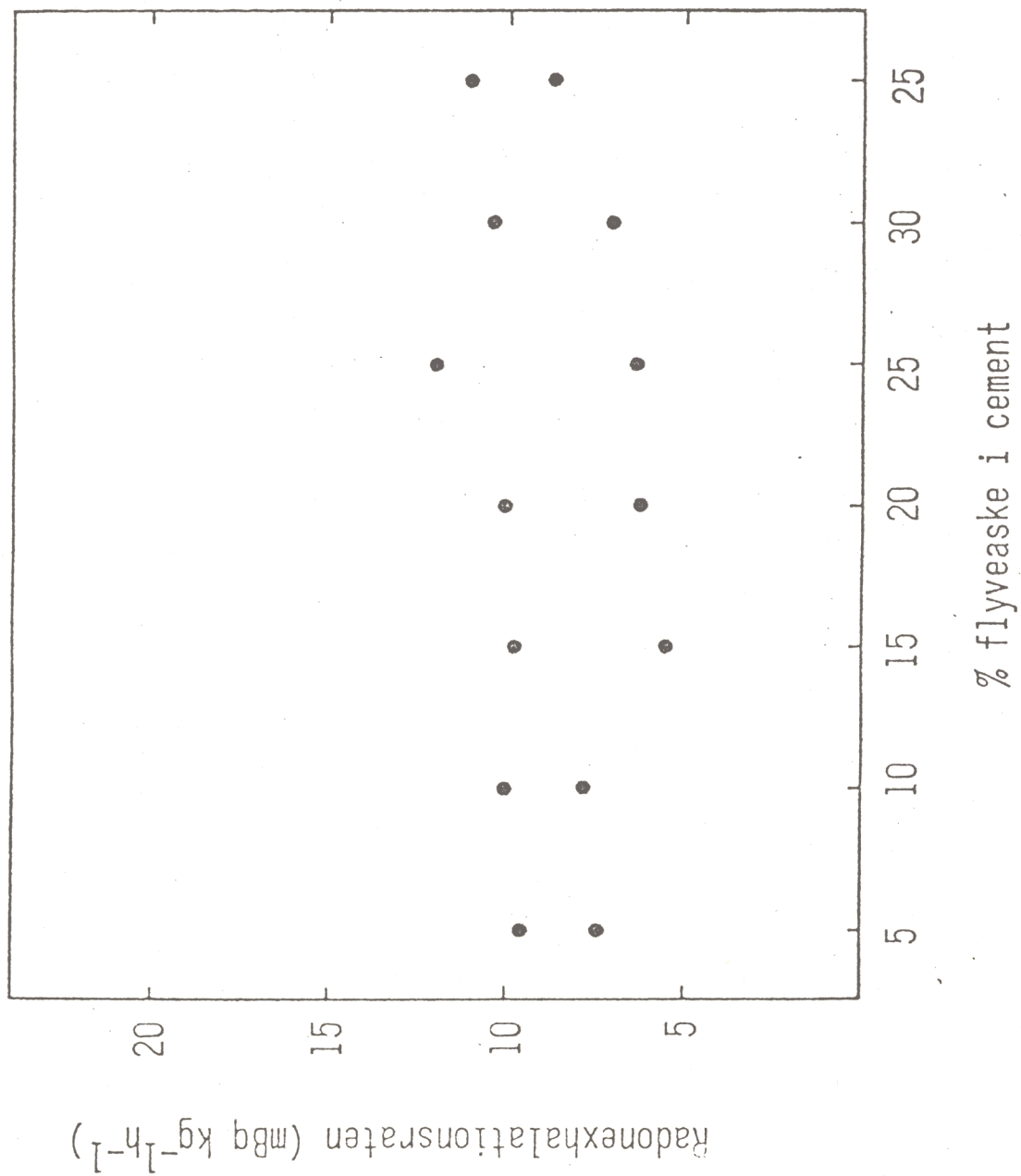


Fig. 1. Radonexhalation fra 14 betonprøver med varierende indhold af flyveaske i den anvendte cement (4).