

August 1980

Radioaktive stoffer i danske byggematerialer.

Kaare Ulbak.

SIS

STATENS INSTITUT FOR
STRÅLEHYGIEJNE
FREDERIKSSUNDSVEJ 378
2700 BRØNSHØJ

NATURLIG STRÅLING I BYGNINGER.

Overalt i vores omgivelser findes radioaktive stoffer, som udsender ioniserende stråling. Vores egen krop indeholder også radioaktive stoffer, og fra solen og verdensrummet kommer stråling, den såkaldte kosmiske stråling.

De største strålingsdoser modtager vi fra det radioaktive stof kalium-40 og fra stofferne i uran- og thoriumserierne. De pågældende stoffer har halveringstider, som er sammenlignelige med jordens alder, hvorfor de stadig findes i naturen. Et af de vigtigste stoffer i uranserien er radium-226. De nævnte radioaktive stoffer udsender bl.a. gammastråling, som er en energirig og meget gennemstrængende stråling, der således bestråler os overalt, hvor vi færdes.

Mængden i jorden af disse naturligt forekommende radioaktive stoffer er meget lille, men varierer fra sted til sted, afhængigt af hvilke sten- og mineralarter som findes i jorden.

Da mange byggematerialer fremstilles af materialer fra jorden og undergrunden, f.eks. teglsten af ler, beton af grus og sand, vil byggematerialerne og dermed de færdige bygninger indeholde radioaktive stoffer. De, der bor eller opholder sig i en bygning, bliver derfor udsat for en bestråling fra bygningen. Bygningen vil dog også skærme for noget af strålingen fra omgivelserne uden for bygningen.

I denne rapport behandles kun strålingsdoserne fra gammastrålingen i danske bygninger. Doser på grund af indånding af den ligeledes naturligt forekommende radioaktive gas radon, som trænger ud fra byggematerialer og undergrunden, berøres ikke. Disse doser vil som hovedregel være større end doserne fra gammastrålingen.

RADIOAKTIVITETSINDHOLDET I BYGGEMATERIALER OG GAMMASTRÅLINGSDOSIS

De radioaktive stoffer, der har betydning i denne forbindelse er kalium-40, radium-226 og thorium-232. Indholdet i byggematerialerne måles og behandles mest praktisk som aktiviteten pr. masseenhed af materialet. Da aktivitet måles i enheden becquerel, forkortet Bq, bliver indholdet angivet i Bq/kg (Bq pr. kilogram).

Bestrålingen angives her som strålingsdosis pr. år. Da dosis måles i enheden millisievert, forkortet mSv, bliver den benyttede enhed her mSv/år (mSv pr. år).

Der er ikke nogen enkel sammenhæng mellem aktivitetsindholdet målt i Bq/kg og den årlige strålingsdosis målt i mSv/år. Væg- og lofttykkelser, tæthed (densitet) af materialer, antal og størrelse af vinduer og døre, forholdet mellem indholdet af kalium-40, radium-226 og thorium-232 m.m. spiller en væsentlig rolle.

Følgende forenklede sammenhæng kan dog angives for de 3 stoffer som et skøn over den gennemsnitlige øgning af den årlige strålingsdosis i forhold til ophold udendørs. Der er her regnet med, at man opholder sig indendørs 80% af tiden.

Er C_K , C_{Ra} og C_{Th} indholdet af henholdsvis kalium-40, radium-226 og thorium-232 i et byggemateriale angivet i Bq/kg indføres for materialet en talstørrelse m , der kaldes gamma-index, og som er defineret på følgende måde:

$$m \approx \frac{C_K}{3000} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200}$$

Størrelsen af den beregnede værdi for gammaindex er et mål for gammastrålingen i en bolig opført af pågældende byggemateriale og dermed også for den årlige strålingsdosis. Den vil derfor kunne benyttes ved sammenligning af forskellige byggematerialers indhold af radioaktive stoffer. For $m = 1$ vil den årlige ekstra strålingsdosis være:

i lejligheder	0,5 mSv/år
parcelhuse	0,3 mSv/år.

Er $m = 2$ vil dosis blive det dobbelte, er $m = 0,5$ vil dosis blive det halve. Doserne i lejligheder vil være større, fordi der normalt bruges mere materiale (tykkere vægge m.m.) end i parcelhuse.

MÅLING AF NATURLIGT FOREKOMMENDE RADIOAKTIVE STOFFER I DANSKE BYGGEMATERIALER.

For at få et overblik over indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i danske byggematerialer har SIS i 1979 målt indholdet af kalium-40, radium-226 og thorium-232 i 257 prøver fordelt på 14 forskellige materialegrupper. Der har ved tilrettelæggelsen af undersøgelsen været lagt vægt på at få så repræsentative værdier som muligt for teglsten og beton. 77% af de målte prøver har derfor tilknytning til disse to byggematerialer.

For betons vedkommende har man valgt at måle på tilslagsmaterialerne frem for færdige betonprøver, dels af hensyn til praktiske forhold ved indsamling af prøverne, dels for at få mulighed for at få en mere nuanceret viden om de enkelte bestanddele af beton, samt endelig fordi tilslagsmaterialerne udgør den væsentligste del af den færdige beton.

Undersøgelsen er udført i samarbejde med Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor (CTO), Aalborg Portland Cementfabrik, som har indsamlet alle prøver af tilslagsmaterialer til beton, cement og færdige betonprøver. For de øvrige prøver er disse afhentet af SIS direkte hos producenten eller importøren, eller de er fremsendt af denne til SIS efter aftale. Prøvetagningsstederne for tilslagsmaterialer til beton og for teglsten er vist på figur 1.

Målingerne er for alle prøverne udført på SIS ved hjælp af en teknik, som muliggør bestemmelsen af særdeles små aktivitetsmængder. Den nedre målegrænse for en prøve på 1 kg har været; kalium-40: 20 Bq/kg, radium-226 og thorium-232: 4 Bq/kg.

Resultaterne for de 14 materialgrupper med angivelse af minimum, maksimum og middelværdi for indholdet af kalium-40, radium-226 og thorium-232 samt for gammaindex er givet i tabel 1. Træ og materialer fremstillet ud fra træ er ikke medtaget i undersøgelsen, da de indeholder helt ubetydelige mængder radioaktive stoffer. I tabellen er endvidere anført for hvilke materialegrupper indsamlingen af prøverne skønnes at være repræsentativ for danske forhold.

I alt er der målt på 107 prøver af tilslagsmaterialer til beton. Da disse har omfattet forskellige materialer så som sand og sten, herunder granit, er der store forskelle i aktivitetsindholdet inden for denne materialegruppe. Fordelingen af de målte værdier for hvert af de tre radioaktive stoffer og for gammaindex er vist i figur 2. Middelværdien for gammaindex for samtlige prøver er 0.25. Granit indeholder større mængder radioaktive stoffer end de øvrige tilslagsmaterialer. Således er middelværdien for gammaindex af de målte granitprøver 0.70, og Rønne granit er det materiale, for hvilket der er målt det største indhold af alle tre stoffer. For de øvrige stenmaterialer er middelværdien for gammaindex 0.24. Man ser her en betydelig forskel mellem stenmaterialer hentet fra henholdsvis Nordsøen og resten af landet inklusive de indre farvande, idet middelværdien for gammaindex er 0,05 for Nordsøen mod 0,29 for resten af stenmaterialerne. For sand er middelværdien af gammaindex 0.19. Her ses en forskel mellem vestjysk sand med gammaindex på 0.10 og de øvrige sandmaterialer fra land og de indre farvande med gammaindex på 0.22.

79 teglsten fra 49 forskellige teglværker er blevet målt. For hvert teglværk er det tilstræbt at få en prøve af en færdig teglsten svarende til hver af de forskellige lertyper som anvendes på stedet (ler til gule sten, ler til røde og brune sten). Målingerne har dog ikke vist nogen generel forskel mellem gule og røde teglsten. Fordelingen af de målte værdier for hvert af de radioaktive stoffer og for gammaindex er vist i figur 3. Det ses, at 2 prøver skiller sig ud fra de øvrige, hvad angår radium-indholdet (figur 3b). Det drejer sig om to molersten fra Mors, og det højere indhold hænger sammen med den vulkaniske oprindelse af moleret. De pågældende molersten har iøvrigt et lavt indhold af kalium og thorium, hvorfor gammaindex adskiller sig meget lidt fra gennemsnittet på 0.52 for samtlige teglstensprøver. Indholdet af de radioaktive stoffer i teglsten varierer naturligvis mellem forskellige teglværker, men generelt er variationer for hele landet dog beskeden, som det også ses af fordelingerne i figur 3. En tydelig forskel ses dog mellem Syd- og Vestsjælland og resten af landet, idet middelværdier for gammaindex i det først nævnte område er 0.65 mod 0.49 for resten af landet.

Denne forskel hænger muligvis sammen med isens bevægelse under den sidste istid. Tilsvarende kan nogle af de nævnte variationer for tilslagsmaterialerne sandsynliggøres på denne måde.

Af de øvrige materialegrupper har cement et relativt lavt indhold af radioaktive stoffer. Dette hænger sammen med et lavt indhold i den kridt, som anvendes ved cementfremstillingen. Indholdet i de færdige betonprøver svarer, som ventet, godt til værdierne for tilslagsmaterialerne. Indholdet i kalksandsten, gasbeton og færdig mørtel er hovedsaglig bestemt af det sand, som indgår i disse materialer, og de målte værdier svarer stort set til, hvad der er fundet for sandmaterialerne i tilslagsmaterialgruppen.

Værdierne for leca er sammenlignelige med de målte værdier for teglsten, netop fordi indholdet opgives pr. masseenhed, og fordi leca også er baseret på ler. En materialegruppe, hvor der er målt høje værdier, er den svenske gasbeton (Ytong), der er fremstillet udfra alunskifer, som har et stort radiumindhold. Dette materiale produceres ikke mere, og anvendelsen af det i Danmark har været beskeden. Klinker og fliser er en gruppe med meget store forskelle på grund af de mange forskellige oprindelsessteder, derudover kan der være en betydelig forskel i indholdet i bærematerialet og i en eventuel glasur. Naturgips og kalk er naturmaterialer med ekstremt lavt indhold af radioaktive stoffer. Da isoleringsmaterialer har en meget lille tæthed kan man ikke måle så små aktivitetsniveauer for disse materialer, som for de øvrige materialer. Alle de målte isoleringsmaterialer har haft værdier, som ligger under denne højere målegrænse. Flyveaske er et affaldsprodukt fra forbrænding af kul i kraftværkerne. Da der ved forbrændingen sker en koncentreret i flyveasken af de i kullene naturligt forekommende radioaktive stoffer, indeholder flyveasken mere radioaktivitet end f.eks. tilslagsmaterialerne og teglsten. Flyveasken anvendes i dag som erstatning for en del af cementen i den færdige beton, derudover anvendes flyveasken også som erstatning for en lille del af leret ved cementfremstilling.

STRÅLINGSDOSER FRA DANSKE BYGGEMATERIALER.

Ved anvendelse af de tidligere nævnte skøn over sammenhængen mellem indholdet af radioaktive stoffer i byggematerialerne og forøgelsen i strålingsdosis ved ophold indendørs kan følgende vurderinger gives for den gennemsnitlige strålingsdosis fra gammastrålingen i danske huse. Man må i denne forbindelse ikke glemme, at der er tale om en grov generalisering, og at der kan være betydelige forskelle fra bygning til bygning, dels på grund af variationen i indholdet af radioaktive stoffer i byggematerialerne inden for samme materialegrupper og dels på grund af forskelle i bygningskonstruktionen.

For en gennemsnitlig dansk beton kan forholdet mellem vægten af det indgående tilslagsmateriale, cement og vand sættes til 11.7 : 1.6 : 1. Benyttes gennemsnitstallene for gammaindex på 0.25 for tilslagsmaterialerne, 0.16 for cement og 0 for vand fås et gennemsnitstal for gammaindex for dansk beton på 0.22.

Dette indebærer, at øgningen af strålingsdosis i lejligheder opført af beton i forhold til ophold udendørs vil være 0.11 mSv/år.

Erstattes 20% af cementen i betonen med flyveaske med et gennemsnitligt gammaindex på 1.19, bliver gammaindex for den færdige beton 0.25 mod 0.22 uden flyveaske. I strålingsdosis svarer dette til 0.13 mSv/år mod 0.11 mSv/år.

Tilsvarende vil den gennemsnitlige værdi for gammaindex på 0.52 for teglsten svare til en ekstra strålingsdosis i parcelhuse opført af teglsten på 0.16 mSv/år.

Antages at 2/3 af de danske boliger består af parcelhuse opført af teglsten, samt at den sidste 1/3 består af lejligheder, hvoraf den ene halvdel er opført af beton og den anden halvdel af teglsten, fås en gennemsnitlig værdi for den ekstra gammastrålingsdosis i danske boliger på 0.17 mSv/år.

Disse talværdier for gammastrålingen fra byggematerialerne kan sammenlignes med værdierne for de øvrige komponenter af baggrundsstrålingen, som omtrentlig er givet ved følgende

Kosmisk stråling	0.30 mSv/år	
Stråling fra radioaktive stoffer i kroppen bortset fra bidrag fra radon i boliger	0.37	-
Stråling fra jorden ved ophold ude hele tiden	0.27	-
Radon i boliger	0.24	-

STRÅLINGSRISIKO.

Der findes ingen mulighed for umiddelbare (akutte) skader af de strålingsdoser, man modtager på grund af baggrundsstrålingen, herunder medregnet doserne fra byggematerialerne. Derimod kan man ikke udelukke muligheden for senskader i form af kræftsygdomme og arvelige sygdomme. Man ved, at senskader kan opstå efter bestråling med store strålingsdoser, men man har hverken kunnet bevise eller modbevise, at der er nogen risiko for skader fra de små doser, som er aktuelle i boliger. Man antager forsigtigt, at risikoen for skader pr. dosisenhed er den samme ved små doser som ved store doser. Man regner normalt med, at risikoen for at dø af en strålefremskaldt kræftsygdom efter bestråling af hele kroppen på 1 mSv er omtrentlig 1: 100.000. Dette indebærer, at af 100.000 bestrålede personer, som har modtaget en strålingsdosis på 1 mSv, er det sandsynligt, at én person vil dø af kræft på grund af bestrålingen. Risikoen for arvelige sygdomme er af samme størrelsesorden som risikoen for kræftsygdomme. Da baggrundsstrålingen i Danmark er omkring 1 mSv/år, svarer disse tal til, at ca. 50 kræftsygdomme pr. år blandt de 5 millioner danskere kan skyldes baggrundsstråling. Til sammenligning kan det nævnes, at der nu totalt dør ca. 13.000 personer om året af kræft i Danmark.

SAMMENLIGNING MED ANDRE LANDE.

Indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i danske byggematerialer må generelt siges at være lavt i forhold til, hvad man ser i en række andre lande. I tabel 2 og 3 er de danske gennemsnitstal for tilslagsmaterialer og teglsten vist sammen med de tilsvarende tal fra de øvrige nordiske lande, Vesttyskland og England.

Indhold af radioaktive stoffer og det beregnede gammaindex for danske byggematerialer
 $m = C_k/3000 + C_{Ra}/300 + C_{Th}/200$

Materiale	Antal prøver	Aktivitetskoncentration, Bq/kg				m	Bemærkninger
			K-40	Ra-226	Th-232		
Tilslagsmateriale til beton	107	min. middel max.	240 360 1150	<4 19 95	<4 13 56	<0.04 0.25 0.98	repræsentative værdier
Cement	6	min. middel max.	<20 90 140	9 20 30	<4 12 21	<0.06 0.16 0.29	repræsentative værdier
Færdig beton	6	min. middel max.	280 360 420	13 16 24	9 13 17	0.18 0.24 0.30	
Beglsten	79	min. middel max.	340 630 900	23 42 86	21 34 58	0.37 0.52 0.78	repræsentative værdier
Kalksandsten og lignende	4	min. middel max.	160 280 340	6 8 11	4 6 11	0.09 0.16 0.20	
Gasbeton	3	min. middel max.	230 280 320	9 15 25	8 10 12	0.15 0.20 0.25	
Gasbeton baseret på alun skifer (svensk oprindelse)	2	middel	1190	670	53	2.90	
Klinker og fliser (fra forsk. lande)	13	min. middel max.	230 710 1080	22 66 108	22 55 73	0.32 0.73 0.96	
Leca	3	min. middel max.	860 910 1000	36 40 43	37 45 51	0.61 0.66 0.71	
Naturgips	12	min. middel max.	<20 <20 35	<4 8 13	<4 <4 6	<0.04 <0.05 0.09	repræsentative værdier
Flyveaske	10	min. middel max.	190 730 1030	110 150 210	74 90 160	0.96 1.19 1.58	repræsentative værdier
Isoleringsmateriale	5	middel	<190	<40	<40	<0.40	
Kalk	5	middel	<20	6	<4	<0.05	
Færdig mørtel	2	middel	380	10	4	0.18	

Tabel 2. Middelindhold af radioaktive stoffer i tilslagsmaterialer for beton i forskellige lande. (Bq/kg)

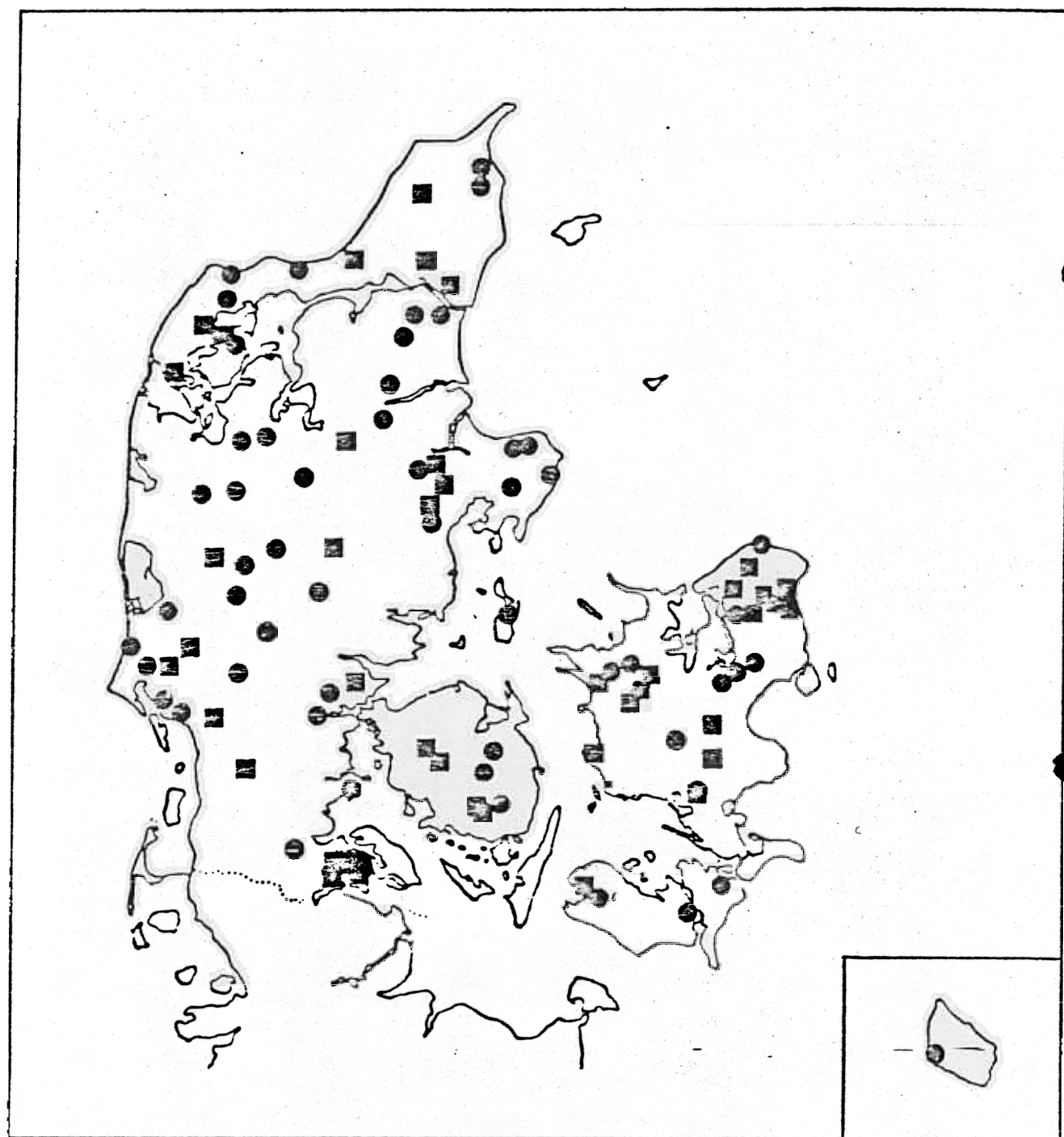
Land	Antal prøver	C_K	C_{Ra}	C_{Th}	m
Danmark	107	360	19	13	0,25
Finland	266	967	34	39	0,63
Norge	137	650	28	36	0,49
Sverige	306	814	48	72	0,79
Tyskland	82	650	48	42	0,59
England	10*	33	4	7	0,06

* granit ikke medtaget.

Tabel 3. Middelindhold af radioaktive stoffer for teglsten i forskellige lande. (Bq/kg)

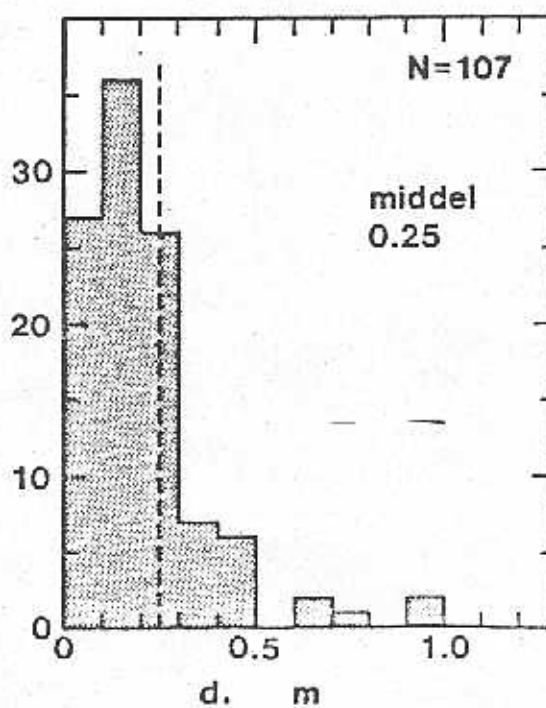
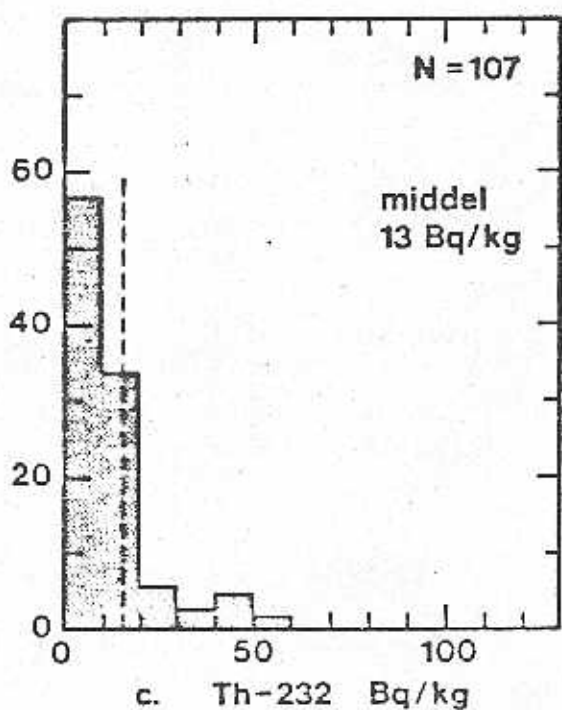
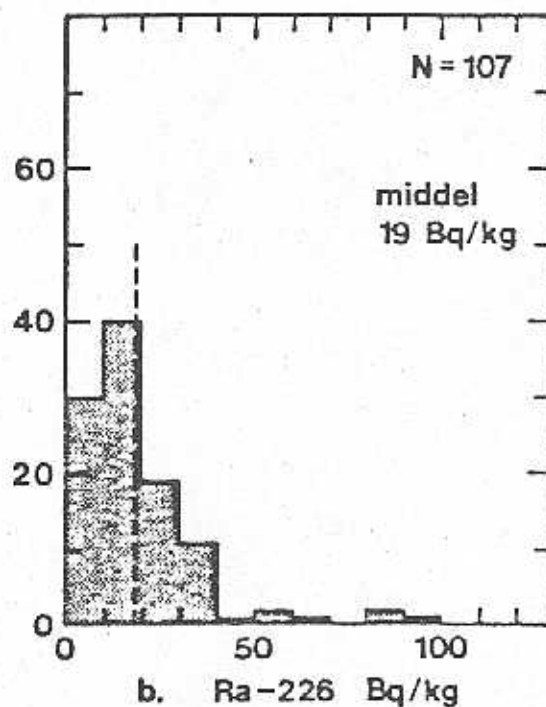
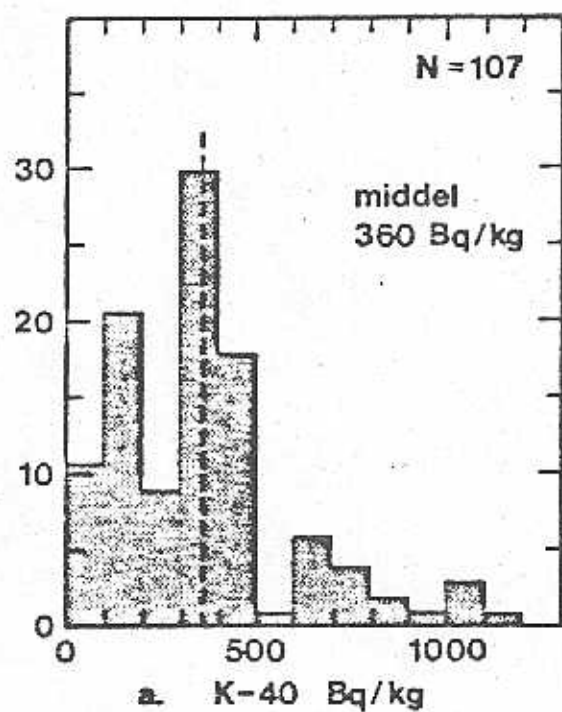
Land	Antal prøver	C_K	C_{Ra}	C_{Th}	m
Danmark	79	630	42	34	0,52
Finland	37	984	80	62	0,90
Norge	18	1140	63	74	0,96
Sverige	12	960	96	127	1,28
Tyskland	109	673	59	67	0,76
England	25	703	52	44	0,63

Figur 1. Prøvetagningssteder for tilslagsmaterialer til beton og for teglsten.



- TILSLAGSMATERIALE
- TEGLSTEN

Figur 2. Antal målinger i hvert aktivitetsinterval for
tilslagsmaterialer til beton.



Figur 3. Antal målinger i hvert aktivitetsinterval for teglsten.

