

Sundhedsstyrelsen

Radioaktive stoffer i drikkevand.

SIS

1987

STATENS INSTITUT FOR STRÅLEHYGIEJNE
FREDERIKSSUNDSVEJ 378
2700 BRØNSHØJ

Sundhedsstyrelsen



SIS

1987

**STATENS INSTITUT FOR STRÅLEHYGIEJNE
FREDERIKSSUNDSVEJ 378
2700 BRØNSHØJ**

FORORD

Peter Gravesen, Danmarks Geologiske Undersøgelser, samt personalet på de undersøgte bornholmske vandværker takkes for velvillig assistance og rådgivning ved planlægning og gennemførelse af undersøgelsen af radioaktive stoffer i dansk drikkevand.

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

April 1987.

Statens Institut for Strålehygiejne
Frederikssundsvej 378
2700 Brønshøj.

Telefon: 02 94 37 73.

FORMÅL.

Undersøgelsens formål har været at fremskaffe et bedre grundlag for vurderingen af befolkningens stråledosis fra naturligt forekommende radioaktive stoffer i drikkevand, samt at kontrollere at der ikke forekommer særligt høje koncentrationer af radioaktive stoffer i drikkevandet for større befolkningsgrupper.

INDLEDNING.

De radioaktive stoffer i uran- og thoriumserierne samt kalium-40 har halveringstider, som er sammenlignelige med jordens alder. Disse radioaktive stoffer findes derfor stadig i varierende mængder i naturen og i vore nærmeste omgivelser. Koncentrationerne i grundvand afhænger af de jord- og bjergarter, hvorigennem grundvandet passerer, samt af de fysiske og kemiske forhold, der er tilstede i undergrunden.

Udenlandske undersøgelser har vist, at man normalt finder lave koncentrationer af de naturligt forekommende radioaktive stoffer i grundvandet i moræneaflejringer og i områder med kalksten, sandsten og skifer. Højere koncentrationer er fundet i områder med uranrige graniter og pegmatiter. På denne baggrund er den danske undersøgelse lagt til rette med hovedvægten på indsamling af prøver fra Bornholm og kun stikprøvevis indsamling af prøver fra resten af landet.

Ligeledes ud fra erfaringerne i udlandet er de indsamlede prøver i første omgang kun analyseret for indholdet af de radioaktive stoffer radon-222 og radium-226 fra uranserien, da stofferne fra thoriumserien normalt vil være tilstede i meget mindre mængder. Prøverne er endvidere ikke analyseret for kalium-40, da indholdet af dette stof i den menneskelige organisme og dermed også stråledosis herfra er konstant, uafhængig af indtaget med føden m.m.

STRÅLEHYGIEJNISKE FORHOLD.

Indholdet af radioaktive stoffer i drikkevand vil give anledning til bestråling af brugerne af vandet. Stråledosis vil være afhængig af hvilke radioaktive stoffer, der er tale om, aktivitetskoncentrationer, vandforbrug, levevis m.m. Til vurdering af de mulige sundhedsmæssige konsekvenser er det derfor nødvendigt at opstille modeller, som bedst muligt beskriver de gennemsnitlige forhold, hvorunder bestrålingen finder sted.

For radon-222 med en halveringstid på 3.8 dage er det nødvendigt at se på to helt forskellige eksponeringssituationer. Ved indtag direkte af ubehandlet vand (ikke kogt og lignende) vil mave-tarmkanalen modtage den største stråledosis fra radon-222. Da radon er en radioaktiv luftart, vil den imidlertid også kunne frigøres til indendørsluften ved brug af vandet. Finske og amerikanske undersøgelser har vist, at man under normale husholdningsforhold kan regne med, at den gennemsnitlige luftkoncentration af radon-222 i en bolig som følge af frigørelse fra vandet vil være ca. én titusindedel af den oprindelige radon-222 koncentration i vandet, når vand- og luftkoncentrationerne angives i samme enhed. Indånding af radon-222 og i særdeleshed af de radioaktive henfaldsprodukter herfra vil give en stråledosis til lungevævet.

For umiddelbart at kunne sammenligne bestrålingen i de to eksponeringssituationer kan stråledosis til henholdsvis mave-tarmkanalen og lungevævet omregnes til en ækvivalent helkropsdosis, som benævnes "effektivt dosis-ækvivalent", og som er et udtryk for den helkropsbestråling, der ville medføre den samme risiko for at få en senere kræftsygdom, som den aktuelle organdosis. Effektivt dosis-ækvivalent måles i enheden mSv (millisievert, 1 mSv = 100 mrem). I tabel 1 er vist de omregningsfaktorer fra aktivitetskoncentration i vand til effektivt dosis-ækvivalent pr. årligt vandindtag, som benyttes i denne rapport. Der er herved antaget et dagligt indtag på 2 liter vand, samt at man opholder sig 80% af tiden indendørs. Det fremgår af tabellen, at frigørelsen af radon fra vandet vil give en ca. 2 gange større stråledosis end ved at drikke vandet.

For radium-226 med en halveringstid på 1600 år vil indtag med vandet være den eneste eksponeringsvej. En del af radium-226 vil blive optaget i knoglerne og bestråle disse i lang tid fremover. Omregningsfaktoren til det samlede effektive dosis-ækvivalent over de efterfølgende 50 år fra et års indtag er givet i tabel 1. Det ses, at for den samme aktivitetskoncentration i vandet vil radium-226 give en ca. 40 gange større stråledosis end radon-222. Som det fremgår af næste afsnit, er måleprogrammet derfor tilrettelagt således, at den nedre målegrænse for radium-226 er væsentlig mindre end for radon-222.

Det bemærkes, at de i tabel 1 angivne omregningsfaktorer er gældende for den voksne del af befolkningen, ligesom der vil kunne være en betydelig variation for den enkelte person omkring disse værdier. For børn vil stråledosis for det samme indtag af radioaktive stoffer ofte være større end for voksne. For indtag af radium-226 kan det beregnes, at det samlede effektive dosis-ækvivalent over de efterfølgende 50 år vil være ca. 30% større for et barn på 10 år og ca. 300% større for et spædbarn på 1 år end for voksne. For en voksen vil ca. 20% af den beregnede 50-års-dosis blive modtaget inden for det første år efter indtaget og ca. 60% inden for de første 10 år

efter indtaget. De tilsvarende tal for et barn på 10 år er ca. 40% og ca. 80% og for et barn på 1 år er de ca. 50% og 90%.

Det er veldokumenteret, at høje stråledoser kan forårsage kræftsygdomme, som viser sig fra få til mange år efter at bestrålingen har fundet sted. For lavere stråledoser regner man også med, at der kan være en vis risiko. Man antager derfor normalt, at risikoen for at dø af en stråle-fremkaldt kræftsygdom efter bestråling er proportional med dosis helt ned til nul. For en helkropsdosis på 1 mSv vurderes risikoen at udgøre omkring 1:100.000. Dette indebærer, at af 100.000 bestrålede personer, som har modtaget en stråledosis på 1 mSv, er det sandsynligt, at en person vil dø af kræft på grund af bestrålingen.

MÅLEPROGRAM.

Indsamling af råvandsprøver fra den enkelte råvandsboring samt af brugsvandsprøver fra Bornholm er foretaget af medarbejdere fra SIS ved besøg på det enkelte vandværk. I alt 29 bornholmske vandværker udvalgt på basis af Bornholms Amtskommunes Vandindvindingsplanlægning fra juni 1982 er blevet besøgt i perioden oktober 1982 til april 1984. Placeringen af de 45 undersøgte råvandsboringer på Bornholm er vist på figur 1.

Indsamling af drikkevandsprøver fra resten af landet er foretaget i forbindelse med SIS's normale besigtigelsesarbejde og har omfattet 25 brugsvandsprøver fra 25 større byer for analyse af radium-226 samt 14 prøver for analyse af radon-222. Prøverne er aftappet pågældende ledningsnet og ikke på selve vandværkerne. Indsamlingsbyerne er vist på figur 2.

Radonkoncentrationen er blevet bestemt ved væskescintillation. På indsamlingsstedet blev 10 ml vand forsigtigt overført ved hjælp af en glassprøjte til et væskescintillationsglas, som på forhånd var fyldt med 10 ml af den anvendte scintillationsvæske. Glasset blev lukket og rystet og derefter målt på SIS ved tilbagekomsten. Resultaterne blev korrigeret for baggrund og henfald og omregnet til passende enheder (becquerel (Bq) pr. liter, $1 \text{ Bq/l} = 27 \text{ pCi/l}$). To væskescintillationsglas blev præpareret ved hver prøvetagning og gav i alle tilfælde det samme resultat under hensyntagen til den statistiske tælleusikkerhed.

Målemetoden er blevet kalibreret ved hjælp af en radium-226 standardopløsning. Ved en 30 minutters tælle tid er den nedre detektionsgrænse 1 Bq/l . Den samlede usikkerhed vurderes at være mindre end 10%.

Radiumkoncentrationen er ligeledes blevet bestemt ved væskescintillation efter kemisk separation fra en 1 liters vandprøve. På prøvetagningsstedet blev vandet normalt opsamlet i en 5 liters polyethylenbeholder. Den kemiske separation og efterfølgende måling blev foretaget på SIS.

Målemetoden er blevet kalibreret ved hjælp af en radium-226 standardopløsning. Ved en 30 minutters tælletid er den nedre detektionsgrænse 0.01 Bq/l. Den samlede usikkerhed vurderes at være mindre end 20%.

MÅLERESULTATER.

I samtlige vandprøver indsamlet uden for Bornholm er der ikke fundet et indhold af hverken radon-222 eller radium-226 over de nedre målegrænser på henholdsvis 1 Bq/l og 0.01 Bq/l. Dette bekræfter tilsvarende udenlandske undersøgelser og i de følgende skal kun målingerne på bornholmske vandprøver omtales nærmere (måleresultaterne for de enkelte vandværker er givet i bilag I).

Fordelingen af radon-222 i 45 bornholmske råvandsprøver er vist i figur 3. Den størst fundne koncentration er 1100 Bq/l. Samtlige 45 prøver har haft et indhold over den nedre målegrænse på 1 Bq/l. I figur 4 er tilsvarende vist fordeling af radon-222 i 10 brugsvandsprøver. Indholdet i brugsvandsprøverne er betydelig lavere end i råvandsprøverne med 50% af prøverne under den nedre målegrænse. I de tilfælde, hvor der er målt på sammenhørende prøver af råvand og brugsvand, er der fundet en 5 til 10 gange mindre radon-222 koncentration i brugsvandet end i råvandet, hvilket betyder, at 80-90% af radonnet frigøres fra vandet under luftningen på vandværket.

Fordelingen af radium-226 i de 45 råvandsprøver er vist i figur 5. Her er den højst fundne værdi 0.55 Bq/l, og 37 prøver (82%) har været under den nedre målegrænse på 0.01 Bq/l. I figur 6 er vist fordelingen af radium-226 i brugsvandsprøverne. For radium-226 ses ikke den store forskel mellem råvand og brugsvand, som det er tilfældet for radon-222, idet sammenhørende målinger har vist, at ca. 30% af radiumindholdet tilbageholdes ved filtreringen af råvandet på vandværket.

Sammenholdes figurerne 3-6 bemærkes det, at to prøver på alle fire fordelinger skiller sig ud i forhold til de øvrige. Disse prøver passer sammen to og to, således at den højeste radon-222 og den højeste radium-226 koncentrationer i både råvand og i brugsvand er fundet på Listed vandværk i Nexø kommune. Tilsvarende er de næsthøjeste koncentrationer fundet på Vestermarie vandværk i Åkirkeby kommune. Dette forhold blev først observe-

ret ved indsamlingen af råvandsprøver fra de to vandværker i efteråret 1982. SIS har derefter gentaget prøveindsamlingen fra disse to værker i 1983 og 1984, idet der ved disse lejligheder blev taget prøver af både råvand og brugsvand. Alle måleresultater for Vestermarie vandværk og Listed vandværk er samlet i henholdsvis tabel 2 og tabel 3. Det fremgår af de to tabeller, at radiumkoncentrationen i både råvand og brugsvand samt radonkoncentrationen i brugsvandet har vist små variationer mellem de forskellige prøveindsamlinger. Derimod er der observeret en vis variation af radonkoncentrationen i råvandet.

På grund af den relativt høje koncentration af radium-226 i råvand og brugsvand fra Listed vandværk er der i tillæg til bestemmelsen af radium-226 gennemført en bestemmelse af indholdet af samtlige langtlevende radioaktive stoffer i uran- og thoriumserierne. Analysen er udført ved kemisk separation og med undtagelse af radium-228 og bly-210 ved alfaspektrometrisk bestemmelse af de enkelte radioaktive stoffer. Resultaterne af disse målinger er givet i tabel 4. Aktivitetskoncentrationer større end 0.01 Bq/l er blevet fundet for uran-238, uran-234, thorium-230, radium-226, bly-210 og polonium-210 fra uran-238 serien. Fra thorium-serien er fundet thorium-232, radium-228 og thorium-228. Endelig er koncentrationen for uran-235 også større end 0.01 Bq/l. Den største koncentration er fundet for uran-234 med 1.3 Bq/l. For uran-238, radium-226 og radium-228 er koncentrationen omkring 0.5 Bq/l. For resten af de identificerede radioaktive stoffer er koncentrationen 0.05 Bq/l eller mindre.

Karakteren af de vandførende lag, hvorfra råvandet pumpes op, er oplyst i Bornholms Amtskommunes oversigt over eksisterende vandforsyningsanlæg (1981) for 34 af de 45 undersøgte råvandsboringer. Disse oplysninger er sammenholdt med de målte radonkoncentrationer i tabel 5. Radonkoncentrationerne i råvand er lavest for boringer i kalk, skifer, sand og grus med middelkoncentrationer mindre end 20 Bq/l. For boringer i sandsten findes en middel koncentration på 60 Bq/l, og for boringer i granit er fundet de højeste værdier med en middelkoncentration på 510 Bq/l. De ovenfor omtalte boringer på Vestermarie og Listed vandværker hører begge til i gruppen af råvandsboringer, hvor vandindvindingen sker fra granitformationer.

I tabel 6 er tilsvarende oplysningerne om de vandførende lag sammenholdt med de målte radiumkoncentrationer. Her har alle boringer i kalk og skifer haft en radiumkoncentration under den nedre målegrænse på 0.01 Bq/l. For boringerne i sand/grus og sandsten er der i 3 ud af 14 boringer henholdsvis 2 ud af 6 fundet en målelig radiumkoncentration. Middelkoncentrationen i disse boringer er omkring 0.025 Bq/l. Boringerne i granit har vist væsentlig højere radiumindhold med en middelkoncentration på 0.28 Bq/l for de 3 boringer ud af 4 undersøgte, hvori der er fundet radium.

Diskussion af måleresultater.

Uden for Bornholm er der som nævnt ikke målt koncentrationer over de nedre målegrænser på 1 Bq/l og 0.01 Bq/l for henholdsvis radon-222 og radium-226. Benyttes de i tabel 1 angivne omregningsfaktorer fra aktivitetskoncentration i vand til årligt effektivt dosisækvivalent svarer de to nedre målegrænser til en stråledosis på henholdsvis 0.006 mSv/år for radon-222 og 0.002 mSv/år for radium-226. For ca. 99% af den danske befolkning vil stråledosis fra indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i drikkevandet derfor være mindre end 0.008 mSv/år.

På Bornholm er der fundet målelige koncentrationer af radon-222 og radium-226 i drikkevandet. Råvandsboringer i granit har vist de højeste værdier med middelkoncentrationen på 510 Bq/l for radon-222 og 0.28 Bq/l for radium-226. Sættes middelkoncentrationen i brugsvandet til 51 Bq/l for radon-222 fås en gennemsnitlig stråledosis for drikkevand fra granitboringer på 0.36 mSv/år, hvoraf 82% (0.30 mSv/år) skyldes radonindholdet.

For drikkevand fra boringer i kalk, sand/grus, sandsten og skifer kan middelkoncentrationen sættes til 2.5 Bq/l for radon-222 og til mindre end 0.01 Bq/l for radium-226. Omregnet til stråledosis svarer dette til 0.017 mSv/år, hvoraf radonbidraget udgør mere end 87%.

De foretagne skøn over middelkoncentrationen af radon og radium for Bornholm og hele landet er samlet i tabel 7 med de tilhørende stråledoser. Forholdene for Vestermarie og Listed vandværker skal dog omtales nærmere.

Stråledosis til en bruger af vand fra Vestermarie vandværk er beregnet i tabel 8, idet der ud fra værdierne i tabel 2 er forudsat en radonkoncentration på 84 Bq/l og en radiumkoncentration på 0.19 Bq/l for brugsvandet. Den samlede stråledosis bliver herved 0.53 mSv/år, hvoraf 0.31 mSv/år stammer fra radon frigjort fra vandet til indendørsluften.

For Listed vandværk er stråledosis beregnet på tilsvarende måde i tabel 9. Den samlede dosis bliver i dette tilfælde 0.85 mSv/år, hvoraf 0.48 mSv/år stammer fra radon i indendørsluften og 0.08 mSv/år stammer fra radium-226 i vandet. Stråledosis fra de øvrige påviste langlivede radioaktive stoffer i uran og thoriumserierne er beregnet i tabel 4 på basis af prøverne indsamlet i maj 1983 og november 1985. Ligesom for radium-226 er stråledosis fra de øvrige langtlivede radioaktive stoffer beregnet som det samlede effektive dosisækvivalent over de efterfølgende 50 år fra et års indtag.

Det ses af tabel 4, at den samlede stråledosis for alle langlivede radioaktive stoffer er ca. 4 gange større end stråledosis fra radium-226 alene. Tages der hensyn til dette kan stråledosis fra radium-226 i tabel 9 øges fra 0.08 mSv/år til 0.32 mSv/år, hvorved den samlede dosis til en bruger af vand fra Listed vandværk kommer op på 1.1 mSv/år.

Af ovennævnte beregninger af den samlede stråledosis fra indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i bornholmsk drikkevand fremgår det, at indholdet af radon-222 i vandet i alle tilfælde bidrager med mere end 80% af den samlede dosis. Det største bidrag fra de langtlivede radioaktive stoffer er fundet for Listed vandværk med en stråledosis på ca. 0.3 mSv/år. På denne baggrund skal forholdene vedrørende radon i drikkevand og indendørsluften omtales nærmere.

Det relativt store indhold af radon-222 i flere af de indsamlede råvandsprøver hænger sammen med, at radon som ædelgas med stor opløselighed i vand relativt let optages i grundvandet fra de omkringliggende formationer i undergrunden og føres frem til råvandsboringen. Ved luftning af råvandet på vandværket frigøres 80-90% af indholdet af radon til luften. Tilsvarende er det også frigørelse af radon til indendørsluften under brugen af vandet i en bolig, der er den væsentligste eksponeringsvej, idet ca. 65% af stråledosis forårsaget af radonindholdet i brugsvandet vil stamme herfra. Da overførelsesfaktoren fra vand til luft som nævnt tidligere er ca. en titusindedel, vil en radonkoncentration på 100 Bq/l i brugsvandet svare til et gennemsnitligt ekstra bidrag til radonkoncentration i indendørsluften på 0.01 Bq/l = 10 Bq/m³.

Radonholdig brugsvand er imidlertid ikke den eneste kilde til radon-222 i indendørsluften. Byggematerialerne og frem for alt jorden under en bolig bidrager også til radonniveauet i indendørsluften i det omfang, radon afgives fra byggematerialerne, og jordluft med en meget høj radonkoncentration kan trænge ind i boligen på grund af bygningskonstruktion, revner, sprækker og lignende forhold. Bidraget fra byggematerialerne giver normalt en gennemsnitlig radonkoncentration i indendørsluften på 0-50 Bq/m³. Bidraget fra undergrunden er størst for enfamiliehuse og udviser en overordentlig stor variation fra hus til hus. Radonkoncentrationer fra 0 til 600 Bq/m³ er således fundet i Danmark. En større landsomfattende undersøgelse af den naturlige stråling i danske boliger er på denne baggrund påbegyndt i 1985, og vil blive afrapporteret i 1987.

De foreløbige resultater af SIS's landsomfattende undersøgelser viser en gennemsnitlig radonkoncentration i danske boliger på ca. 50 Bq/m³. Omregnet til årligt effektivt dosisækvivalent svarer dette til en gennemsnitlig stråledosis til den danske befolkning på ca. 2 mSv/år.

Variationen fra bolig til bolig er som nævnt meget stor med yderpunkter på ca. 0.4 mSv/år henholdsvis ca. 20 mSv/år.

Bestrålingen fra radon i drikkevandet må således ses og vurderes i sammenhæng med såvel den gennemsnitlige stråledosis fra radon i indendørsluften fra samtlige radonkilder som fordelingen af disse stråledoser inden for den danske boligmasse.

Uden for Bornholm foretages vandindvinger stort set kun fra vandførende lag i moræneaflejringer og kalk. På Bornholm sker vandindving i tillæg til moræneaflejringer og kalk også fra sandsten, skifer og granit. Målingerne på og uden for Bornholm har vist lave koncentrationer af naturligt radioaktive stoffer i råvandsboringer i moræneaflejringer, kalksten, sandsten og skifer. Forhøjede koncentrationer er kun fundet for råvandsboringer i granit. Dette er helt på linie med tilsvarende udenlandske undersøgelser. Fremtidige målinger bør derfor tilrettelægges med hovedvægten lagt på måling af vand fra vandboringer i granit. Samtidig bør mindre vandværker, hvor råvandet ikke luftes, påkalde sig særlig opmærksomhed på grund af den væsentlig højere radonkoncentration i brugsvandet sammenlignet med vandværker, hvor råvandet luftes.

Som tidligere omtalt fandtes sammenhørende høje værdier af både radonkoncentrationen og radiumkoncentrationen på Vestermarie og Listed vandværk. I figur 7 er vist sammenhørende værdier af radonkoncentration og radiumkoncentration for alle 47 undersøgte råvandsprøver fra Bornholm. Det fremgår af figuren, at der generelt er en sammenhæng mellem radium- og radonkoncentrationen i de undersøgte prøver, og at radonkoncentrationen i alle tilfælde har været mere end 500 gange større end radiumkoncentrationen. Da den årlige stråledosis for samme aktivitetskoncentration i drikkevand i henhold til tabel 1 er ca. 40 gange større for radium-226 end for radon-222, vil en screening af endnu ikke undersøgte råvandsboringer på Bornholm med henblik på at finde boringer med et forhøjet indhold af radioaktive stoffer kunne gennemføres alene ved bestemmelse af radonkoncentrationen, som måleteknisk og arbejdsmæssigt er en relativt enkel opgave i sammenligning med en radiumbestemmelse.

Konklusion.

På baggrund af de gennemførte målinger og dosisberegninger kan følgende konklusioner drages med hensyn til indholdet af radioaktive stoffer i drikkevand i Danmark og den hermed forbundne bestråling af befolkningen:

- Radon-222 og radium-226 er med undtagelse af Bornholm ikke påvist i drikkevand i koncentrationer over 1 Bq/l henholdsvis 0.01 Bq/l.
- For 99% af den danske befolkning (Bornholm udeladt) vil stråledosis fra indholdet af naturligt forekommende radioaktive stoffer i drikkevandet være mindre end 0.008 mSv/år.
- På Bornholm er påvist radon-222 i samtlige undersøgte råvandsboringer og i 5 ud af 10 undersøgte brugsvandsprøver. Radium-226 er påvist i 8 ud af 45 råvandsprøver og i 4 ud af 10 brugsvandsprøver.
- For råvandsboringer på Bornholm i kalk, sand/grus, sandsten og skifer er der fundet en middelkoncentration for radon-222 på 25 Bq/l og for radium-226 på 0.012 Bq/l. For tilsvarende brugsvandsprøver er middelkoncentrationen for radon-222 2.5 Bq/l svarende til en 1/10 af middelkoncentrationen i råvandet, og for radium-226 er middelkoncentrationen 0.01 Bq/l. Stråledosis for disse boringer vil i middel være 0.017 mSv/år, hvoraf bidraget fra radon-222 udgør ca. 90%.
- For drikkevand fra råvandsboringer på Bornholm i granit er der fundet en middelkoncentration for radon-222 på 51 Bq/l og for radium-226 på 0.28 Bq/l. Stråledosis for disse boringer vil i middel være 0.37 mSv/år, hvoraf bidraget fra radon-222 udgør ca. 80%.
- De højeste koncentrationer af både radon-222 og radium-226 i drikkevand på 130 Bq/l henholdsvis 0.36 Bq/l er fundet i vand fra samme råvandsboring. I denne boring er der også påvist koncentrationer over 0.1 Bq/l af uran-238, uran-235 og radium-228. Stråledosis fra vand fra denne boring vil være 0.77 mSv/år fra indholdet af radon-222 og 0.32 mSv/år fra indholdet af de langtlevende radioaktive stoffer.

Tabel 1. Omregningsfaktorer fra aktivitetskoncentration i vand til effektivt dosisækvivalent (50 år) pr. årligt vandindtag for de beskrevne modeller.

Radioaktivt stof	Eksponeringsvej	Omregningsfaktor mSv/år pr. Bq/l
Radon-222	indtag med føden ^{a)}	0.0022
Radon-222	indånding af luft- båren aktivitet ^{b)}	0.0037
Radium-226	indtag med føden ^{a)}	0.23

a) 1 liter vand pr. døgn

b) overførelsesfaktor vand-luft: 0.0001
indendørsophold i 80% af tiden

Tabel 2. Radon- og radiumkoncentrationen i vandprøver indsamlet fra Vestermarie vandværk, Åkirkeby Kommune.

Prøvetagnings- tidspunkt	Råvand		Brugsvand	
	Radon Bq/l	Radium Bq/l	Radon Bq/l	Radium Bq/l
25.10.82	550	0.19	-	-
03.05.83	740	0.25	81	0.18
03.04.84	480	0.27	86	0.19

Tabel 3. Radon- og radiumkoncentration i vandprøver indsamlet fra Listed vandværk, Nexø Kommune.

Prøvetagnings- tidspunkt	Råvand		Brugsvand	
	Radon Bq/l	Radium Bq/l	Radon Bq/l	Radium Bq/l
26.10.82	920	0.55	-	-
05.05.83	1100	0.49	140	0.36
02.04.84	760	0.52	110	0.35
08.11.85	690	0.44	120	0.15

Tabel 4. Koncentration af de radioaktive stoffer i uran- og thoriumserierne i vandprøven indsamlet 05.05.83 fra Listed vandværk, Nexø Kommune samt effektivt dosisækvivalent (50 år) pr. årligt vandindtag.

Radioaktivt stof	Henfaldsserie	Koncentration	Dosisbidrag
		Bq/l	mSv/år
U-238	U-238	0.54	0.025
U-234	-	1.3	0.067
Th-230	-	0.027	0.003
Ra-226	-	0.49	0.11
Pb-210 (a)	-	0.050	0.050
Po-210 (a)	-	0.050	0.016
U-235	U-235	0.019	0.001
Th-232	Th-232	0.013	0.007
Ra-228	-	0.42	0.10
Th-228	-	0.050	0.004
Samlede dosis			0.38

(a) vandprøve indsamlet 08.11.85.

Tabel 5. Radonkoncentrationen i 45 bornholmske råvandsprøver fordelt efter karakteren af de vandførende lag.

Vandførende lag	Antal råvandsprøver	Radonkoncentration		
		min.	middel	max.
			Bq/l	
Granit	4	69	510	1100
Kalk	2	-	9	-
Sand/grus	14	4	18	58
Sandsten	6	8	60	150
Skifer	8	3	11	47
Uoplyst	11	5	29	150
Alle undtagen granit	41	3	25	150

Tabel 6. Radiumkoncentrationen (C_{Ra}) i 45 bornholmske råvandsprøver fordelt efter karakteren af de vandførende lag.

Vandførende lag	Antal råvandsprøver		Middelkoncentration for prøver med $C_{Ra} > 0.01$ Bq/l
	ialt	$C_{Ra} > 0.01$ Bq/l	
Granit	4	3	0.28
Kalk	2	0	-
Sand/grus	14	3	0.031
Sandsten	6	2	0.020
Skifer	8	0	-
Uoplyst	11	0	-
Alle undtagen granit	41	5	0.027 a)

a) Middelkoncentration for alle 41 prøver er 0.012 Bq/l, når de 36 nulprøver sættes til 0.01 Bq/l.

Tabel 7. Skøn over middelkoncentrationen af radon-222 og radium-226 i drikkevand og dosisbidraget herfra til den danske befolkning.

Område	Middelkoncentration		Dosisbidrag		
	Radon Bq/l	Radium Bq/l	Radon mSv/år	Radium mSv/år	ialt mSv/år
Hele landet undtagen Bornholm	<1	<0.01	<0.006	<0.002	<0.008
Bornholm granitboringer undtaget	2.5	<0.01	0.015	<0.002	<0.017
Bornholm granitboringer	51	0.28	0.30	0.064	0.37

Tabel 8. Effektivt dosisækvivalent (50 år) til en bruger af vand fra Vestermarie vandværk, Åkirkeby Kommune, fra et års vandindtag.

Eksponeringsvej	Antaget vand- koncentration Bq/l	Dosisækvivalent mSv/år
Radon i vand	84	0.18
Radon i luft	84	0.31
Radium i vand	0.19	0.04
Samlede dosis	-	0.53

Tabel 9. Effektivt dosisækvivalent (50 år) til en bruger af vand fra Listed vandværk, Nexø Kommune, fra et års vandindtag.

Eksponeringsvej	Antaget vand- koncentration Bq/l	Dosisækvivalent mSv/år
Radon i vand	130	0.29
Radon i luft	130	0.48
Radium i vand	0.36	0.08 (0.32) ^{a)}
Samlede dosis		0.85 (1.1) ^{a)}

a) Bidraget fra radium-226 multipliceret med 4 for at tage hensyn til de øvrige radioaktive stoffer i uran og thorium-serierne, jvf. tabel 4.

BILAG I.

Målte radon- og radiumkoncentrationer i vand fra bornholmske vandværker (råvand og brugsvand).

Det i kolonne 3 angivne DGU Nr. refererer til Danmarks Geologiske Undersøgelseres registreringsnummer for den enkelte boring.

SIS nr.	DGU nr.	Boring nr.	Vandværk	Kommune	Radon Bq/l	Radium Bq/l	Dato for prøvetagning
1	246-487	1	Vestermarie	Åkirkeby	550	0.19	25.10.82
2	246-487	1	Vestermarie	Åkirkeby	740	0.25	03.05.83
2A	246-487	1	Vestermarie	Åkirkeby	480	0.27	03.04.84
3	-	Brugsvand	Vestermarie	Åkirkeby	81	0.18	03.05.83
3A	-	Brugsvand	Vestermarie	Åkirkeby	86	0.19	03.05.83
4	-	Brugsvand	Åkirkeby	Åkirkeby	4.0	<0.01	03.05.83
5	-	Brugsvand	Smålyngen	Åkirkeby	<1	<0.01	03.05.83
5A	-	Brugsvand	Smålyngen	Åkirkeby	2.4	0.015	03.04.84
6	-	N-8	Smålyngen	Åkirkeby	8.7	<0.01	25.10.82
7	-	Å-8	Smålyngen	Åkirkeby	8.4	<0.01	25.10.82
8	246-223	1	Lobbæk	Åkirkeby	47	<0.01	25.10.82
9	246-613	3	Lobbæk	Åkirkeby	12	<0.01	25.10.82
10	247-98	-	Pedersker	Åkirkeby	7.2	<0.01	27.10.82
11	246-590	-	Boderne	Åkirkeby	58	0.025	27.10.82
12	248-24	1	Sømarken	Åkirkeby	3.4	<0.01	27.10.82
13	248-36	2	Sømarken	Åkirkeby	3.6	<0.01	27.10.82
14	248-39	3	Sømarken	Åkirkeby	4.3	<0.01	27.10.82
15	-	-	Ll.Kalbygård	Åkirkeby	25	<0.01	05.05.83
16	247-6a	-	Åkirkeby	Åkirkeby	37	<0.01	29.10.82
17	-	Brugsvand	Nexø	Nexø	47	0.014	04.05.83
17A	-	Brugsvand	Nexø	Nexø	23	<0.01	02.04.84
18	247-121	Vaseåen	Listed	Nexø	1100	0.49	05.05.83
19	-	Brugsvand	Listed	Nexø	140	0.36	05.05.83
18A	247-121	Vaseåen	Listed	Nexø	760	0.52	02.04.84
19	-	Brugsvand	Listed	Nexø	140	0.36	05.05.83
19A	-	Brugsvand	Listed	Nexø	110	0.35	02.04.84
20	247-121	Vaseåen	Listed	Nexø	920	0.55	26.10.82
21	247-2b	4	Nexø	Nexø	63	0.019	26.10.82
22	247-5c	2	Nexø	Nexø	150	<0.01	26.10.82
23	-	1+3+4	Snogebæk	Nexø	5.3	<0.01	26.10.82
24	247-265	3	Snogebæk	Nexø	7.6	<0.01	26.10.82
25	248-31	1	Gubbegård	Nexø	4.9	<0.01	26.10.82
26	248-38	2	Gubbegård	Nexø	11	<0.01	26.10.82
27	248-46	3	Gubbegård	Nexø	10	0.020	26.10.82
28	427-453	3	Balka	Nexø	7.9	<0.01	26.10.82

SIS nr.	DGU nr.	Boring nr.	Vandværk	Kommune	Radon Bq/l	Radium Bq/l	Dato for prøvetagning
29	247-99	1	Bodilsker	Nexø	120	<0.01	26.10.82
30	248-35,40	1+2	Strandmarken	Nexø	3.3	<0.01	27.10.82
31	246-531	2	Nyker	Hasle	6.6	<0.01	28.10.82
32	244-343	4	Klemensker	Hasle	10	<0.01	28.10.82
33	-	3	Muleby	Hasle	21	<0.01	28.10.82
34	244-127	1	Muleby	Hasle	10	<0.01	28.10.82
35	244-266	Svartingd.	Hasle	Hasle	11	<0.01	28.10.82
36	244-11b	4	Hasle	Hasle	11	<0.01	28.10.82
37	244-271	1	Vang	Hasle	150	0.031	29.10.82
38	244-333	2	Vang	Hasle	18	<0.01	25.10.82
39	-	3+4+5	Klemensker	Hasle	5.5	<0.01	25.10.82
40	246-565	B4	Gøngeherred	Rønne	6.1	<0.01	27.10.82
41	246-588	2	Gøngeherred	Rønne	7.8	<0.01	27.10.82
42	246-555	B9	Robbedale	Rønne	7.1	<0.01	27.10.82
43	246-647	B-25	Stampen	Rønne	13	<0.01	27.10.82
44	246-616	L-1	Stampen	Rønne	4.4	<0.01	27.10.82
45	244-358	34	Rø	All./Gudhj	4.0	<0.01	04.05.82
46	244-358	34	Rø	All./Gudhj	9.9	<0.01	25.10.82
47	244-402	7	Rø	All./Gudhj	69	<0.01	25.10.82
48	244-3b	328	Allinge	All./Gudhj	40	0.054	25.10.82
49	-	Brugsvand	Toft	All./Gudhj	<1	<0.01	04.05.83
50	-	Brugsvand	Langebjerg	All./Gudhj	<1	<0.01	04.05.83
51	-	Hammersh.	Langebjerg	All./Gudhj	38	<0.01	04.05.83
52	-	Brugsvand	Tejn	All./Gudhj	16	<0.01	04.05.83
53	244-350	1	Tejn	All./Gudhj	30	0.015	29.10.82
54	-	Brugsvand	Østerlars	All./Gudhj	<1	<0.01	04.05.82
55	-	-	Østerlars	All./Gudhj	10	<0.01	04.05.83
56	245-54	12	Østerlars	All./Gudhj	9.0	<0.01	04.05.83
57	-	Brugsvand	Christiansø	All./Gudhj	<1	<0.01	06.05.83
58	-	Brugsvand	Koldekilden	All./Gudhj	87	<0.01	26.10.82

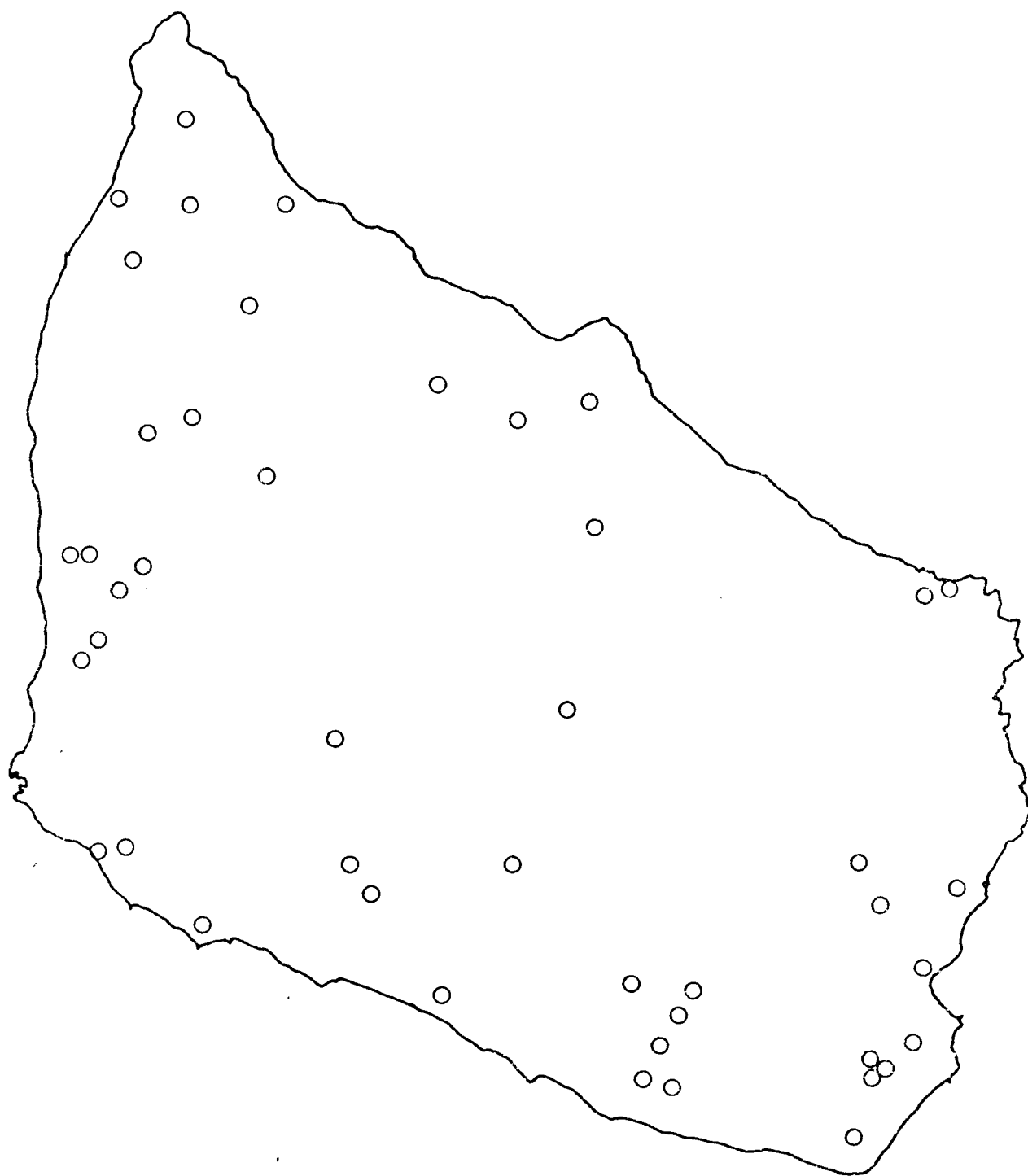


Fig. 1. Placeringen af de 45 undersøgte råvandsboringer på Bornholm.



Fig. 2. Placering af de 25 byer, hvor der er indsamlet drikkevandsprøver.

Fig. 3
Fordelingen af radonkoncentrationen i 45 råvandsprøver
fra bornholmske vandværker.

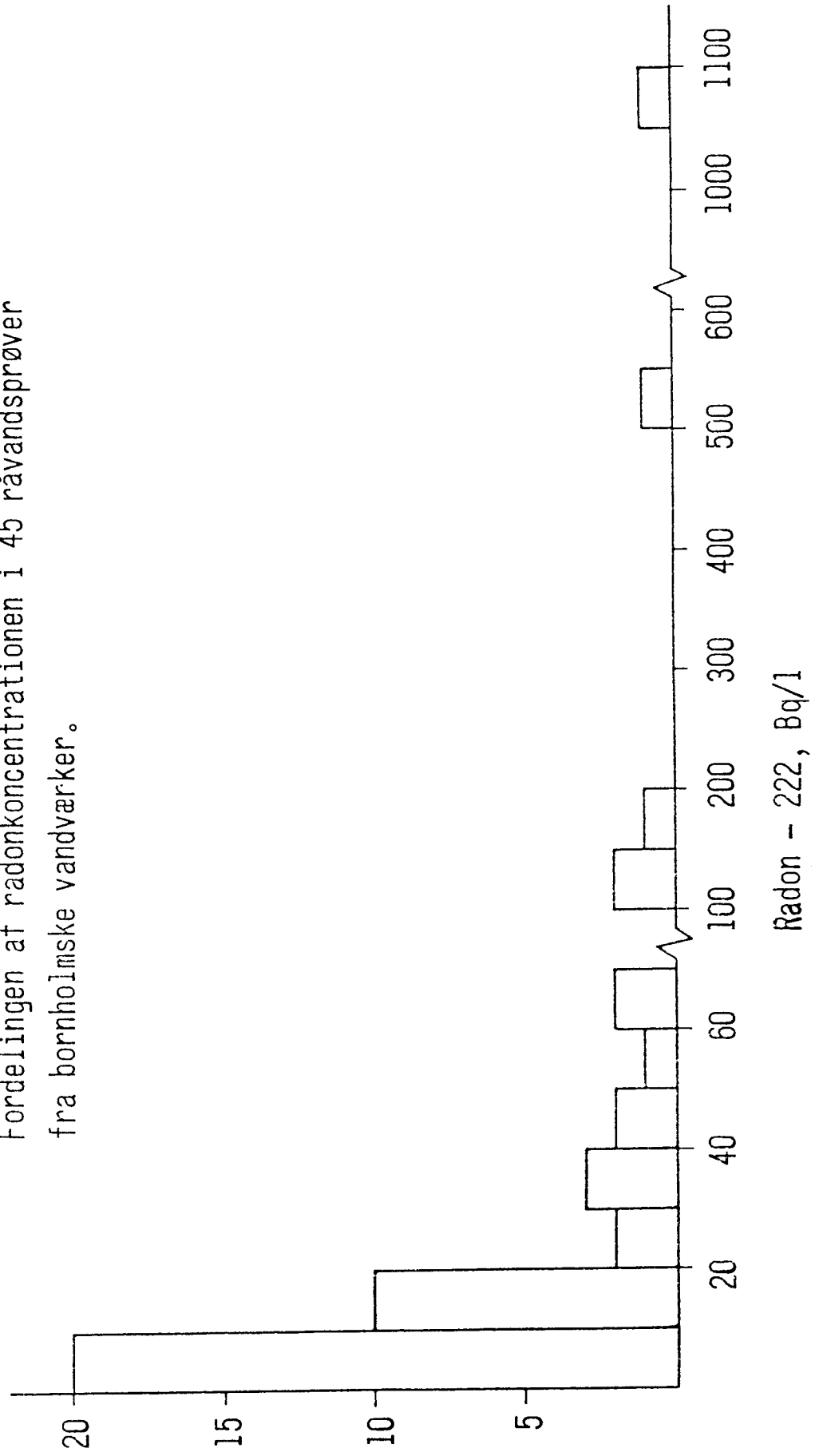


Fig. 4
Fordelingen af radonkoncentrationen i 10 brugsvandsprøver
fra bornholmske vandværker.

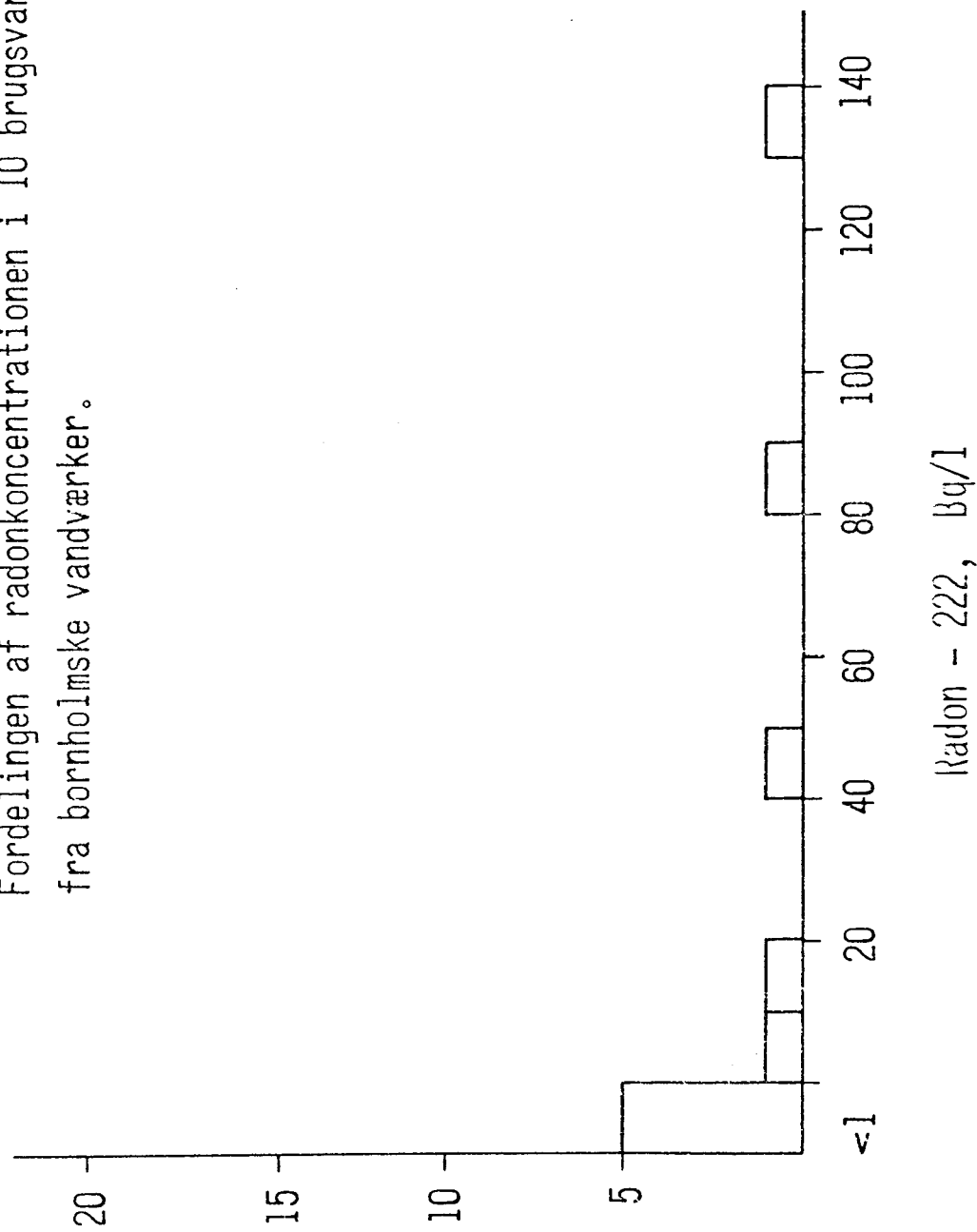


Fig. 5
Fordelingen af radiumkoncentrationen i 45 råvandsprøver
fra bornholmske vandværker.

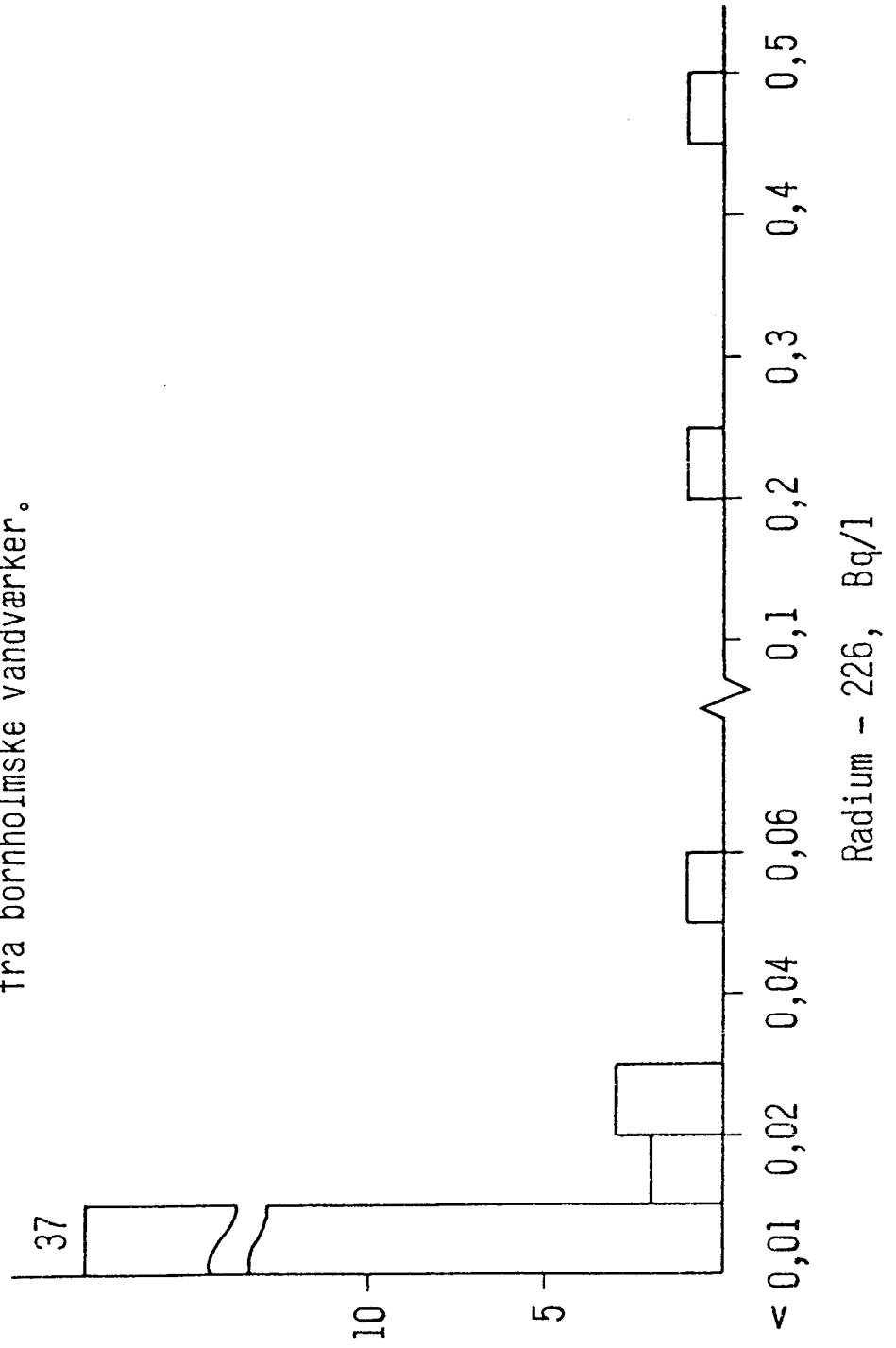


Fig. 6
Fordelingen af radiumkoncentrationen i 10 brugsvandsprøver
fra bornholmske vandværker.

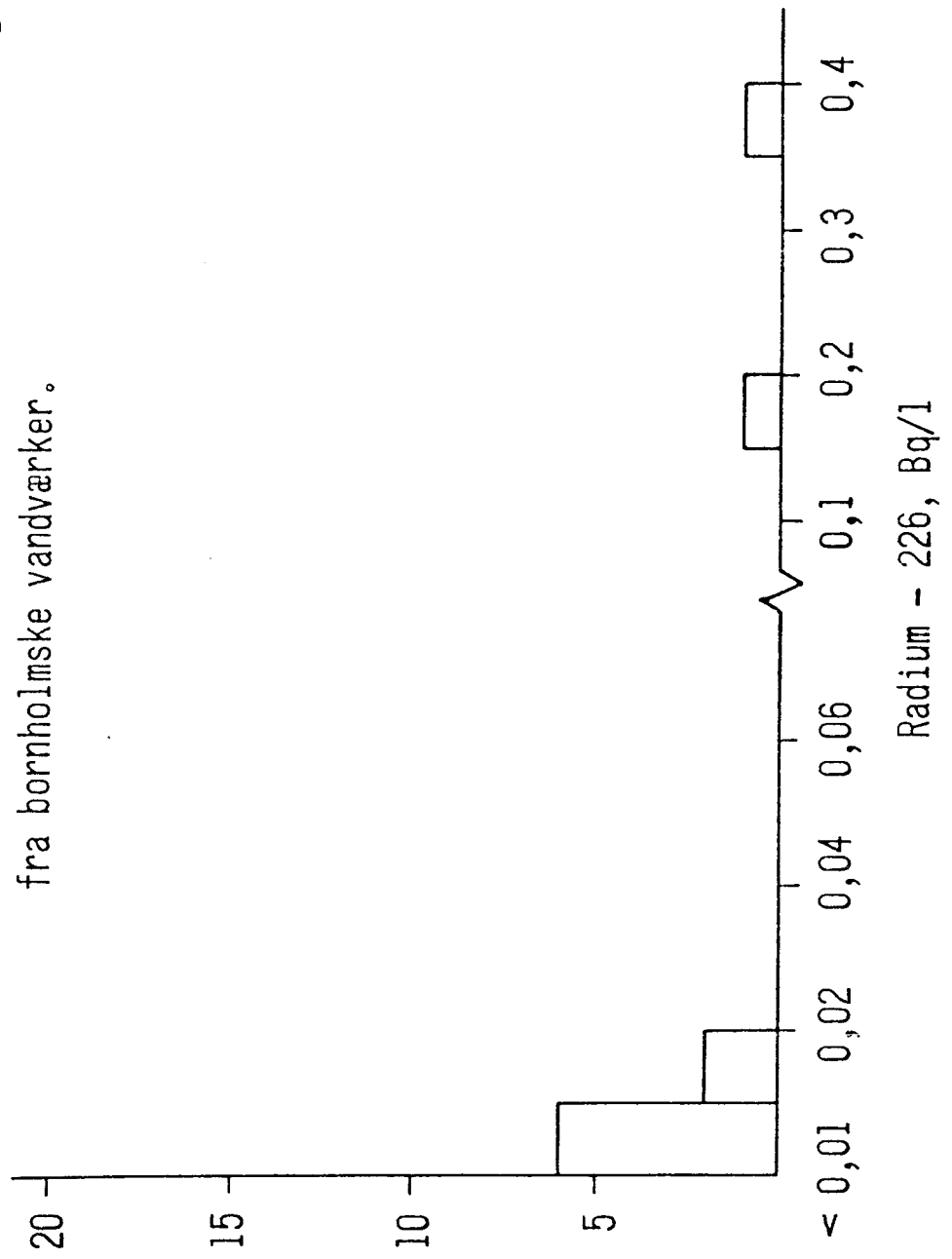


Fig. 7

Sammenhørende værdier af radonkoncentration og radiumkoncentration i 47 bornholmske råvandsprøver.

For området under den optrukne linie gælder, at radonkoncentrationen er mere end 500 gange større end radiumkoncentrationen.

