

Sundhedsstyrelsen

RADON-BOLIGER-STRÅLINGSDOSIS- LUNGEKRÆFTTRISIKO

SIS

1987

STATENS INSTITUT FOR STRÅLEHYGIEJNE
FREDERIKSSUNDSVEJ 378
2700 BRØNSHØJ

INDLEDNING

Statens Institut for Strålehygiejne (SIS) påbegyndte i 1985 en landsomfattende undersøgelse af radonkoncentrationen og gammastrålingen i ca. 500 danske boliger repræsentativt udvalgt. Målingerne afsluttedes i 1986, og undersøgelsen vil blive afrapporteret i 1987. I denne forbindelse har SIS gennemgået de senere års vurderinger af lungekræfttrisikoen fra radon og dets datterprodukter i indendørs-luften. Gennemgangen, som er resumeret nedenfor, har været fulgt af en gruppe bestående af følgende:

Overlæge, dr.med. Harriet Dige-Petersen, Glostrup Sygehus,
Afdelingsleder H. L. Gjørup, Forskningscenter Risø,
Afdelingsleder, dr.techn. Niels Jonassen, Laboratoriet
for teknisk fysik I, Danmarks tekniske Højskole,
Læge Hans H. Storm, Cancerregisteret,
Cand.scient Bjarne Stenum, Statens Institut for Strålehygiejne,
Institutforstander Kaare Ulbak, Statens Institut for Strålehy-
giejne.

Gennemgangen omfatter kun lungekræfttrisikoen ved udsættelse for radondatterprodukter. Ikke-stokastiske skader på lungevævet, som kan opstå ved ekstremt høje eksponeringer, er ikke medtaget, da dette ikke er relevant for danske boligforhold.

RADON OG RADONDATTERPRODUKTER

Radon (radon-222) med en halveringstid på 3,85 dage er en luftart, som dannes ved den radioaktive sønderdeling af radium (radium-226).

Radium er naturligt tilstede i varierende mængder i alle geologiske materialer. Som luftart vil radon kunne trænge ud af de materialer, der indeholder radium, og derefter fordeles i den omgivende luft. Radonkoncentrationen i indendørsluften i en bolig vil afhænge af tilførslen af radon til indendørsluften og ventilationsforholdene.

Radons datterprodukter (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) er kortlivede radioaktive stoffer, som let binder sig til støv- og røgpartikler i luften og udfældes i lungerne ved indånding med deraf følgende alfa-bestråling af lungevævet. Koncentrationen (aktivitets) af datterprodukterne i indendørsluften vil ikke kunne blive større end radonkoncentrationen og afhænger iøvrigt af ventilationsforholdene, udfældning på tilgængelige overflader (plate out), filtrering af luften m.m.

Den strålemæssige belastning af åndedrætssystemet er primært forbundet med tilstedeværelsen i luften af datterprodukterne fra radon. Aktivitetskoncentrationen af radon og de enkelte datterprodukter angives i Bq/m^3 (becquerel pr. kubikmeter luft). Et mål for den samlede potentielle alfaenergi i luften pr. volumenenhed fra de fire radondatterprodukter opgives normalt ved den konstruerede størrelse EER målt i Bq/m^3 (Equilibrium Equivalent Radon concentration, ligevægts ekvivalent radonkoncentration). Den potentielle alfaenergi i luften pr. volumenenhed kan også angives direkte i J/m^3 (Joule pr. kubikmeter) eller i den ældre enhed WL (Working Level, 1 WL = 3700 Bq/m^3 EER). EER svarer til den radonkoncentration i luft, for hvilken radondatterprodukterne ved ligevægt ville have den samme potentielle alfaenergi (samme potentielle strålebelastning af åndedrætssystemet) som den aktuelle luft. EER kan beregnes, når

koncentrationerne af alle radondatterprodukter er kendt, og den vil netop være lig radonkoncentrationen i det tænkte tilfælde, hvor koncentrationen (aktivitets) af radon og alle datterprodukterne er lige store. Forholdet mellem EER og radonkoncentrationen benævnes ligevægtsfaktoren.

Det skal bemærkes, at radonkoncentrationen og EER alene ikke nødvendigvis giver en fuldstændig fysisk karakteristik af en atmosfære for bestemmelse af strålingsdosis til lungevævet. En række fysiske og biologiske parametre kan også være af betydning i denne sammenhæng. Som eksempel på sådanne parametre kan nævnes: partikelstørrelsesfordelingen af de aerosoler, hvortil de fire radondatterprodukter er bundet, indåndingshastighed, deponering i luftrør og lunger, tykkelse af slimlaget i lungerne.

LUNGEKRÆFTRISIKO

Det er veldokumenteret, at minearbejderes udsættelse for høje koncentrationer af radondatterprodukter har fremkaldt det største antal stråleinducerede lungekræfttilfælde, der er fundet i nogen bestrålet befolkningsgruppe (op til 5 gange flere lungekræfttilfælde end forventet). Disse lungekræfttilfælde er fortrinsvis fundet i de øverste forgreninger af luftrøret hos minearbejderne (bronchial cancer). Lungekræfttilfældene opstår ca. 5 til 40 år efter eksponeringen til radondatterprodukter.

En tilsvarende sammenhæng mellem eksponering til radondatterprodukter i boliger og en øget lungekræftforekomst er ikke hidtil blevet bekræftet ved undersøgelser på befolkningsgrupper. Et par undersø-

gelser peger dog på en mulig sammenhæng. Større epidemiologiske undersøgelser af hele befolkningen eller særligt udsatte befolkningsgrupper er påbegyndt i flere lande, og resultaterne heraf kan forventes i løbet af 3-5 år.

Indtil resultaterne af disse undersøgelser foreligger må SIS benytte de vurderinger af lungekræftrisikoen ved radondattereksponering i boliger, som baseres dels på undersøgelser af lungekræftforekomsten hos stråleudsatte minearbejdere og dels på dosimetriske beregninger. Man skal i denne forbindelse være opmærksom på, at eksponeringsomstændighederne i en mine kan være væsentligt forskellige fra forholdene i en bolig. De nævnte vurderinger er bl.a. udarbejdet af Den svenske radonutredningen, US National Academy of Sciences, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, US National Council on Radiation Protection and Measurements, US Environmental Protection Agency og International Commission on Radiological Protection (DS JO 79, BEIR 80, UN 82, NCRP 84, USEPA 86, ICRP 87). Radondattereksponering angives i Bq år/m^3 (gennemsnitlig radondatterkoncentration (EER) målt i Bq/m^3 gange eksponeringstiden målt i år). En anden ofte benyttet enhed er WLM (Working Level Month, 1 WLM = 71 Bq år/m^3 EER).

For en nærmere gennemgang af de forskellige risikovurderinger henvises til de nævnte rapporter. Fælles for alle risikovurderingerne er, at man finder, at en lineær sammenhæng mellem eksponering og risiko giver en god tilpasning til de kendte epidemiologiske og eksperimentelle (dyreforsøg) data om lungekræft efter indånding af radondatterprodukter, hvis særlige store eksponeringer udelades. Dette betyder, at risikoen antages at bero direkte på produktet af

koncentrationen af radondatterprodukterne i indendørsluften og eksponeringstiden, idet der dog i de forskellige risikomodeller og vurderinger kan være taget hensyn til eksponeringens varighed og alderen ved første eksponering.

De fleste vurderinger er baseret på en absolut risikomodel (DS JO 79, BEIR 80, UN 82, NCRP 84, USEPA 86). I en absolut risikomodel antages en given radondattereksponering at medføre en absolut ekstra risiko proportional med eksponeringen for at få lungekræft senere i livet. Risikoen antages således at være ens for alle og uafhængig af andre lungekræftfremkaldende faktorer f.eks. rygning.

I ICRP-50 (ICRP 87) er der også anvendt en relativ risikomodel. I den relative risikomodel antages en given radondattereksponering at medføre en relativ øgning proportional med eksponeringen af den risiko, den enkelte i forvejen har for at få lungekræft. Radonrisikoen angivet absolut vil derfor i den relative model være forskellig mellem f.eks. rygere og ikke-rygere, idet ICRP i modellen implicit antager, at der er en synergistisk effekt mellem radondattereksponering og andre lungekræftfremkaldende faktorer som f.eks. rygning.

I tabel 1 er der efter omregning til samme enheder givet en oversigt over vurderingerne af risikofaktoren ved en radondattereksponering på 1 Bq år/m^3 i de tidligere refererede rapporter fra en række nationale og internationale organer. De anførte risikofaktorer er bedste skøn af middelværdien for mænd og kvinder i en befolkning med en forventet levetid på 70-75 år. I parentes er der anført det usikkerhedsområde, der er opgivet i de enkelte rapporter. For ICRP-50 (ICRP 87) er opgivet referenceværdien for den absolutte livstidsri-

Tabel 1. Risikofaktorer fra forskellige referencer. Risikofaktorerne angiver risikoen for at få lungekræft senere i livet efter eksponering til radondatterprodukter. Faktorerne angiver middelværdi for mænd og kvinder i en befolkning med en forventet levetid på 70-75 år. Risikoen antages at bero direkte på den gennemsnitlige koncentration af radondatterprodukterne gange eksponeringstiden.

Reference	Beregnet antal lungekræfttilfælde pr. million personer pr. Bq år/m ³ EER a)
Svenske Radonutredning, 1979	2.5 (0.8 - 7.5)
BEIR 1980	8.0 (2.8 - 19)
UNSCEAR 1982	1.5 (0.8 - 2.3) b)
NCRP 1984	2.1 (1.4 - 2.8)
USEPA 1986	(3 - 12)
ICRP 1987	2.4 (0.7 - 4.8) c)

a) 1 Bq år/m³ EER er eksponering til 1 Bq/m³ EER i 1 år, som består af 24 x 365 timer. EER = den radonkoncentration i luft for hvilken radondatterprodukterne ved ligevægt ville have samme potentielle alfaenergi som den aktuelle luft.

b) Beregnet ud fra det effektive dosisekvivalent (se side 9) og ICRP's afrundede risikofaktor for kræft, 2×10^{-2} pr. Sv. Denne værdi blev anvendt i SIS's oplæg fra 1983 til en landsomfattende undersøgelse i danske boliger.

c) ICRP's referenceværdi for den absolutte livstidsrisiko for lungekræft. Værdien svarer også til ICRP's primære referenceværdi for den relative risikofaktor anvendt på ICRP's reference befolkning med en "normal" (uden radondattereksponering) lungekræftforekomst på 360 tilfælde pr. 10^6 person år.

siko for lungekræft. Denne værdi svarer også til ICRP's primære referenceværdi for den relative risikofaktor anvendt på ICRP's reference-befolkning, som beregningsmæssigt har en "normal" (uden radondattereksponering) lungekræftforekomst på 360 tilfælde pr. 10^6 person år.

Mest bemærkelsesværdig er forskellen mellem to af de amerikanske vurderinger (BEIR 80, USEPA 86) og de øvrige herunder UNSCEAR fra 1982 (UN 82) og den seneste fra ICRP (ICRP 87), hvor de bedste skøn af risikofaktoren ligger omkring 2×10^{-6} pr. Bq år/ m^3 EER.

På basis af de i tabel 1 anførte risikofaktorer er der i tabel 2 beregnet den tilsvarende livstidsrisiko for lungekræft ved en konstant livslang årlig radondattereksponering på 25 Bq år/ m^3 , hvilket ifølge de foreløbige resultater fra SIS's landsomfattende undersøgelse i danske boliger svarer til den nuværende gennemsnitlige årlige radondattereksponering for den danske befolkning. I tabel 2 er der tilsvarende beregnet det forventede årlige antal lungekræfttilfælde i den danske befolkning på 5 millioner, hvis den gennemsnitlige årlige radondattereksponering over mange år er 25 Bq år/ m^3 .

For ICRP-50 er der beregnet to sæt værdier af livstidsrisikoen og det årlige antal lungekræfttilfælde. Det ene sæt værdier er gældende for den absolutte risikomodel, og det andet sæt er gældende for den relative risikomodel med en tentativt ansat "normal" (uden radondattereksponering) lungekræftforekomst i den danske befolkning på

Tabel 2. Livstidsrisiko og årligt antal lungekræfttilfælde i den danske befolkning beregnet ud fra de i tabel 1 anførte bedste vurderinger af risikofaktoren og en gennemsnitlig årlig radondattereksponering på 25 Bq år/m³ EER.

Reference	Livstidsrisiko associeret med radon for lungekræft ved en total radondattereksponering på 1750 Bq år/m ³ (f.eks. 25 Bq/m ³ EER i 70 år)	Årlig antal ekstra lungekræfttilfælde i den danske befolkning ved en konstant gennemsnitlig årlig radondattereksponering på 25 Bq år/m ³
Svenske Radonutredning, 1979	0.0047	310
BEIR 1980	0.015	1000
UNSCEAR 1982	0.0028	190
NCRP 1984	0.0039	260
ICRP 1987 (absolut risikomodel)	0.0044 a)	290 a)
ICRP 1987 (relativ risikomodel)	0.0061 b)	410 b)

a) De anførte værdier er identisk med de værdier, man får ved brug af den i ICRP-50 anførte relative risikofaktor på ICRP's reference befolkning, hvor den "normale" (uden radondattereksponering) lungekræftforekomst er sat til 360 tilfælde pr. 10⁶ person år.

b) De anførte værdier er beregnet ved brug af den i ICRP-50 anførte afrundede relative risikofaktor på en antaget "normal" (uden radondattereksponering) lungekræftforekomst i den danske befolkning på 500 tilfælde pr. 10⁶ person år.

500 tilfælde pr. 10^6 person år. (Antallet nye af lungekræfttilfælde i Danmark var i 1984 3565).

I tabel 2 er der ikke medtaget værdier beregnet på basis af EPA's risikofaktorer, da EPA kun har angivet et interval for risikofaktoren og ikke et bedste skøn over denne.

STRÅLINGSDOSIS

Sammenligning af risikoen ved radoneksponering i boliger, bestråling fra andre strålingskilder, dosisgrænser for kontrollerbar bestråling m.m. kan foretages på basis af det effektive dosisekvivalent, som er et mål for en ækvivalent helkropsdosis. Det effektive dosisekvivalent opgives i enheden Sv (sievert), ofte anvendes dog den mindre enhed mSv (millisievert).

Opstilling af modeller for omregning fra radondattereksponering til effektivt dosisekvivalent kræver som omtalt tidligere kendskab til en række fysiske og biologiske parametre. I tabel 3 er der efter omregning til samme enheder givet en oversigt over en række publicerede omregningsfaktorer. Med undtagelse af den af J. C. James foreslåede omregningsfaktor ligger alle de refererede faktorer omkring $0.1 \text{ mSv pr. Bq år/m}^3 \text{ EER}$.

AFRUNDEDE RISIKO- OG OMREGNINGSFAKTORER

Vurderingen af risikoen ved radondattereksponering i boliger varierer, som det fremgår af de forrige afsnit, betydeligt. Ved brug af

Tabel 3. Faktorer fra forskellige referencer for omregning fra radondattereksponering til effektivt dosisekvivalent.

Reference	Effektivt dosisekvivalent	
	mSv pr. Bq år/m ³ EER	
Svenske Radonutredning, 1979	0.13	(0.04 - 0.4) a)
NEA 1983	0.076	b)
ICRP 1984	0.1	c)
James 1987	0.21	
NRPB 1987	0.1	d)
ICRP 1987	0.088	

- a) Ekvivalent helkropps-dosis beregnet ud fra de i tabel 1 viste risikofaktorer og ICRP's afrundede risikofaktor for kræft, 2×10^{-2} pr. Sv.
- b) Denne værdi blev anvendt i SIS's oplæg fra 1983 til en landsomfattende undersøgelse i danske boliger.
- c) Angivet i ICRP-39 som en størrelsesordensomregning.
- d) Opgivet af NRPB for radongaseksponering og omregnet til radondattereksponering under brug af en ligevægtsfaktor på 0.5.

de forskellige risikovurderinger er det derfor væsentligt, at man altid gør rede for de forudsætninger, der ligger til grund for anvendelsen af vurderingerne, og at man samtidig er opmærksom på den usikkerhed, der er forbundet hermed. I mange tilfælde ønskes risikoen imidlertid udtrykt ved et enkelt talsæt. I sådanne tilfælde kan det være formålstjenligt at have et sæt afrundede risiko- og omregningsfaktorer, som kan benyttes til angivelse af "et bedste skøn" af størrelsesordenen af risikoen og andre afledte størrelser.

Lungekræfttrisikoen er primært forårsaget af eksponering til radondatterprodukterne. I de fleste tilfælde benyttes imidlertid måling af radongaskoncentrationen og brug af en fast ligevægtsfaktor som udgangspunkt for beregning og vurdering af radondattereksponeringen. Dette er i særlig grad tilfældet, når middeleksponeringen over lange tidsrum ønskes vurderet, som det f. eks. har været tilfældet i SIS's landsomfattende undersøgelse. Da ligevægtsfaktoren i danske boliger ikke varierer mere end mange andre parametre, som vil indgå i en eksponerings- og risikovurdering, med mindre luften er udsat for en særlig behandling (filtrering, elektriske felter m.v.) vil det kunne forsvares, at sætte de afrundede risiko- og omregningsfaktorer direkte i relation til en radoneksponering. For omregningen fra radondattereksponering til radoneksponering vil en generel ligevægtsfaktor på 0.5 være passende.

SIS kan under de nævnte forudsætninger anbefale, at de nedenfor angivne afrundede risiko- og omregningsfaktorer benyttes som bedste skøn af lungekræfttrisikoen ved radondattereksponering fra indendørsluften i boliger i et interval, som varierer fra 1/3 af til 3 gange det bedste skøn. Ved angivelsen af det bedste skøn er den abso-

lutte risikovurdering i ICRP-50 (ICRP 87) tillagt særlig vægt. Ved angivelse af den afrundede omregningsfaktor fra radondattereksponering til effektivt dosisekvivalent er der lagt særlig vægt på NEA rapporten fra 1983.

AFRUNDET RISIKOFAKTOR:

Risikofaktor ved

udsættelse for en livs-

lang gennemsnitlig radon-

koncentration på 1 Bq/m³

8×10^{-5} (pr. Bq/m³ radon)

AFRUNDET OMREGNINGSFAKTOR:

Årligt effektivt dosis-

ækvivalent ved udsættelse

for en gennemsnitlig radon-

koncentration på 1 Bq/m³

0.04 mSv/år (pr. Bq/m³ radon)

Den angivne afrundede risikofaktor svarer i ICRP's relative risiko-model til en relativ øgning af risikoen for lungekræft på 3×10^{-3} pr. Bq/m³ (radon).

De afrundede risiko- og omregningsfaktorer kan eksempelvis anvendes til følgende bedste skøn ved en konstant udsættelse for en radonkoncentration på 50 Bq/m³:

Livstidsrisiko for lungekræft:

$$8 \times 10^{-5} \text{ pr. Bq/m}^3 \times 50 \text{ Bq/m}^3 = 4 \times 10^{-3} = 0.4\%$$

Relativ øgning for at få lungekræft:

$$3 \times 10^{-3} \text{ pr. Bq/m}^3 \times 50 \text{ Bq/m}^3 = 0.15 = 15\%$$

Forventede årligt antal lungekræfttilfælde i en befolkning på 5 millioner:

$$8 \times 10^{-5} \text{ pr. Bq/m}^3 \times 50 \text{ Bq/m}^3 \times 5 \times 10^6 \text{ personer/70 år} \approx$$

300 tilfælde pr. år.

Årligt effektivt dosisækvivalent:

$$0.04 \text{ mSv/år pr. Bq/m}^3 \times 50 \text{ Bq/m}^3 = 2 \text{ mSv/år.}$$

Det skal atter fremhæves, at de ovenfor beregnede talstørrelser er bedste skøn i et interval som går fra 1/3 af til 3 gange den skønnede værdi.

REFERENCER:

- DS JO 79. Radonutredningen 1979, Preliminært förslag till åtgärder mot strålrisk i byggnader. DS JO 1979: 9, Liber förlag 1979.
- BEIR 80. The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation, US National Academy of Sciences, Washington 1980.
- UN 82. UNSCEAR Report to the general assembly with annexes. Ionizing Radiation: Sources and biological effects. United Nations, New York 1982.
- NCRP 84. National Council on Radiation Protection and Measurements, Evaluation of Occupational and Environmental Exposures to Radon and Radon Daughters in the United States, NCRP-Report No 78.
- USEPA 86. United States Environmental Protection Agency. A citizen's guide to radon, What it is and what to do about it, OPA86-004.
- ICRP 87. ICRP-50. Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. A report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP vol 17 No 1, Pergamon Press 1987.
- ICRP 84. ICRP-39. Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. A report of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP Vol 14 No 1, Pergamon Press 1984.
- James 1987 A reconsideration of cells at risk and other key factors in radon daughter dosimetry. ACS Symposium Series 331, p 400-418, American Chemical Society, Washington 1987.
- NRPB 1987 NRPB - GS6, Exposure to Radon Daughters in Dwellings, National Radiological Protection Board, 1987.
- NEA 1983 Nuclear Energy Agency, OECD, Dosimetry aspects of exposure to radon and radon daughter products, NEA expert Report, Paris 1983.