

Rapport

A1C:R 5E28

R88:1982

#1252

Radon i bostäder

**Metod för beräkning av
radondoterhalter i bostäder**

**Björn Bergström
Berill Clavensjö**

Byggforskningsrådet

R88:1982

RADON I BOSTÄDER

Metod för beräkning av radonhalter i bostäder

Björn Bergström
Bertil Clavensjö

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800641-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Bjerking
Ingenjörbyrå AB, Uppsala

I Bygghorskningsrådet's rapportserie redovisar forskaren sitt
anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit
ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R88:1982

ISBN 91-540-3754-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1982

FÖRORD

Detta projekt har haft som mål att ta fram en matematisk modell för att beräkna ungefärliga förväntade värden på radon- och radondotterhalter i inomhusluften. Modellen kan även användas för att beräkna (uppskatta) olika radonkällors bidrag till en konstaterad radonhalt i ett befintligt hus. Detta kan vara av betydelse vid val av åtgärd för att sänka denna radonhalt.

Modellen förutsätter att man har tillgång till värden på eller kan mäta upp för beräkningen nödvändiga parametrar. Dessa är t ex byggnadsmaterialets radonavgivning, markluftens radonhalt, luftläckaget från mark till hus och vattnets radonhalt. I dag kan det vara svårt att få tag i säkra värden på dessa parametrar. Det pågår dock forskning inom de här områdena både inom och utom landet.

Det är i första hand vid nybyggnad men även i samband med ombyggnad, som byggnadskonstruktören kan göra en kontroll av att gällande gränsvärden för radondotterhalten i inomhusluften ej kommer att överskridas.

INNEHÅLL

1	RADON	7
1.1	Hur radon och radondöttrar bildas	7
1.2	Joniserande strålning	7
1.3	Radontransport	9
1.4	Hur radon kommer in i våra bostäder	10
1.5	Definitioner och enheter	10
1.5.1	Aktivitet	10
1.5.2	Koncentration (halt)	12
1.5.3	Exhalationsrat	13
1.6	Gammastrålning	14
1.7	Översikt över gränsvärden och rekommendationer .	14
2	RADON FRÅN BYGGNADSMATERIAL	16
2.1	Allmänt	16
2.2	Beräkningsmodell	17
3	RADON FRÅN MARKEN	18
3.1	Allmänt	18
3.2	Beräkningsmodell	18
3.2.1	Diffusion	18
3.2.2	Läckage	23
4	RADON FRÅN VENTILATIONS LUFTEN	26
5	RADON FRÅN VATTEN	27
5.1	Allmänt	27
5.2	Beräkningsmodell	29

6	BERÄKNING AV TOTALA RADONHALTEN	30
6.1	Radon från byggnadsmaterial C_{bm}	31
6.2	Radon från marken	31
6.2.1	Diffusion genom byggnadsdel C_{md}	31
6.2.2	Läckage genom byggnadsdel C_{ml}	31
6.3	Radon från ventilationsluften C_{v1}	32
6.4	Radon från vatten C_v	32
Bilaga 1	Adresslista till centrala verk och myndigheter m m med visst ansvar i radonfrågor	33
Bilaga 2	Beteckningar	34
Bilaga 3	Formelsammanställning	36
	Litteraturförteckning	38

1 RADON

1.1 Hur radon och radondöttrar bildas

Den naturligt förekommande radioaktiviteten kommer från olika isotoper tillhörande de sönderfallskedjor som inleds med torium-232 (Th) och uran-238 (U) samt från kalium-40 (K). I sönderfallskedjan från uran-238, som är skisserad i figur 1.1 ingår som enda gasformiga produkt radon-222 (Rn). Radon bildas då radium-226 (Ra) sönderfaller. Radonets kortlivade sönderfallsprodukter RaA, RaB och RaC-C' kallas vanligen för radondöttrar. Radondöttrarna kan i luften förekomma som obundna molekyler eller joner, men har stor benägenhet att fastna på dammpartiklar och andra ytor.

1.2 Joniserande strålning

Då ett radioaktivt ämne sönderfaller avges joniserande strålning. Med joniserande strålning menas partiklar eller elektromagnetisk strålning med sådan energi att de kan orsaka jonisation, d v s slå ut elektroner från atomer eller molekyler. Strålningstypen kan vara av i huvudsak tre olika slag.

- | | |
|-----------------------------|---|
| α (alfa)-partikel: | Består av en heliumatomkärna.
Kort räckvidd, några cm i luft.
Hög joniseringsförmåga. Kallas ofta tätjoniserande strålning. |
| β (beta)-partikel: | Består av snabba elektroner.
Räckvidd: ~100 ggr större än α .
Joniseringsförmåga: mycket mindre än α . |
| γ (gamma)-strålning: | Elektromagnetisk strålning (jmf röntgen).
Räckvidd: ~100 ggr större än β .
Joniseringsförmåga: mindre än β . |

Halveringstiden är den tid det tar för ett visst antal radioaktiva atomer att reduceras till hälften. I figur 1.1 är respektive grundämnes halveringstid och strålningstyp angiven.

<u>Grundämne</u>	<u>Halve-</u> <u>ringstid</u>	<u>Strål-</u> <u>ningstyp</u>	<u>Anm</u>
Uran-238 (U)	$4.5 \cdot 10^9$ år	• → α ↘ γ	
(4 mellanled utelämnade)			
Radium-226 (Ra)	1620 år	• → α ↘ γ	
Radon-222 (Rn)	3.82 dygn	• → α ↘ γ	Gas
Polonium-218 (Po)	3.05 min	• → α	RaA
Bly-214 (Pb)	26.8 min	• → β ↘ γ	RaB
Vismut-214 (Bi)	19.7 min	• → β ↘ γ	RaC
Po-214	$1.6 \cdot 10^{-4}$ sek	• → α	RaC'
Pb-210	22 år	• → β ↘ γ	RaD
Bi-210	5 dygn	• → β	RaE
Po-210	138 dygn	• → α ↘ γ	RaF
Pb-206	-	•	Stabil (ej radioaktiv)

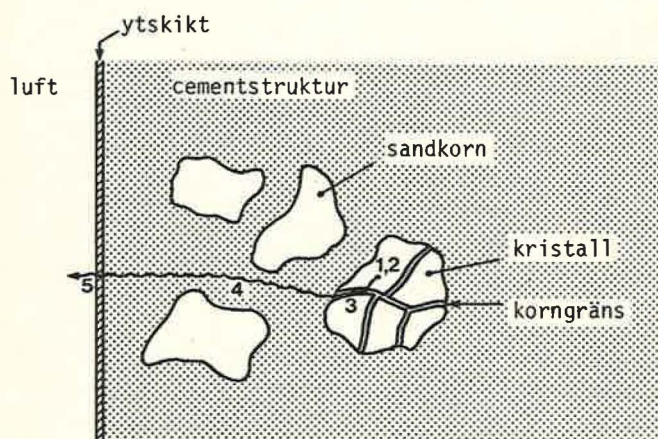
I kedjans nedre del finns några alternativa vägar för sönderfallet ned till bly-206. Dessa har dock inte medtagits här, eftersom de har mycket liten betydelse för den totala strålningen.

Figur 1:1 Sönderfallskedja för uran-238.

1.3 Radontransport

Radon bildas inuti ett material då radium sönderfaller. Eftersom radon är en gas börjar den diffundera ut ur materialet. Det är därför av stor betydelse att känna radonets diffusionshastighet genom bergarter, jord, fyllnings- och byggnadsmaterial. Diffusionshastigheten bestämmer nämligen hur långt radonet hinner diffundera innan det sönderfaller och därmed hur stor del av bildat radon som hinner ut och blandas med den omgivande luften.

När radonet bildats bestämmer den närmaste omgivningen hur långt radonatomer kan röra sig. En modell av betong betraktas för att förklara mekanismen.



Figur 1:2 Radonets väg ut ur betong.

Mekanismen för radonavgången ur betong kan schematiskt delas upp i fem steg med olika diffusionsmotstånd.

- Steg 1: Rekyl vid sönderfall. När α -partikeln slungas ut får radonatomer en rekyl, som av vissa forskare antas ha betydelse för den fortsatta rörligheten. Radonatomer kan då, om rekylens riktning är lämplig, stötas ut ur kristallen till en korngräns eller por.
- Steg 2: Från det inre av en kristall till en korngräns eller por. Diffusionsmotståndet inuti kristallen är mycket stort.
- Steg 3: Ut ur kornet via kristallgräns. Diffusionsmotståndet är mycket litet.
- Steg 4: Radonets väg genom cementstrukturen. Diffusionsmotståndet beror här av porositet, vattenhalt, små och stora sprickor m m.

Steg 5: Genom eventuellt tätt ytskikt (färg, tapet m m).
Motståndet beror av materialet.

Radongasen kan också transporteras ut ur materialets porer till ytan genom strömning (konvektion) p g a tryckskillnader mellan porer och omgivande luft.

En förutsättning för att radonatomen ska kunna röra sig över större avstånd i ett material innan den sönderfaller är, enligt ovan, att den bildas nära en korngräns eller por eller slungas dit genom en rekyl. Den del av bildat radon, som når materialets porer brukar benämnas emanationen. En del av denna mängd radon sönderfaller i porerna, resten avgår till luften och benämns exhalationen. Den mängd radon som avgår från ett material per ytenhet och tidsenhet brukar kallas exhalationsraten.

1.4 Hur radon kommer in i våra bostäder

Uran och radium är naturligt förekommande i marken och därmed även i stenbaserade byggnadsmaterial. Radon avgas därför från byggnadsmaterialet till rumsluften. På motsvarande sätt exhaleras radon från jord och berg till markens luftporer. Härifrån kan radon tränga in i byggnader genom diffusion eller med infiltrerande markluft (läckage). Troligen är det senare i allmänhet den mest betydande mekanismen. Dessutom kan hushållsvattnet innehålla radon, som vid hantering till stor del avgår till luften inomhus.

Radonhalten i rumsluften beror på hur mycket radon som kommer in enligt ovan samt på hur stor luftomsättningen är. Beräkningen av radonhalten behandlas i kapitel 2-5.

1.5 Definitioner och enheter

1.5.1 Aktivitet

Med aktivitet hos ett radioaktivt ämne menas antalet sönderfall per sekund och benämns becquerel (Bq).

1 Bq = 1 sönderfall per sekund.

En äldre enhet för aktivitet är curie (Ci).

1 Ci = $3.7 \cdot 10^{10}$ sönderfall per sekund.

Vanliga multipelenheter är pCi (pico-Ci) och nCi (nano-Ci).

Omvandling mellan de två enheterna visas i tabell 1.1.

Tabell 1.1 Omvandling mellan Bq och Ci

Bq	nCi	µCi	Ci
1	0.027	27	$2.7 \cdot 10^{-11}$
37	1	1000	10^{-9}
0.037	0.001	1	10^{-12}
$3.7 \cdot 10^{10}$	10^9	10^{12}	1

Ett radioaktivt ämnes sönderfallskonstant (λ) beräknas ur

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{0.5}} = \frac{0.693}{t_{0.5}}$$

där $t_{0.5}$ är ämnets halveringstid.

För radon gäller:

$$t_{0.5} = 3.823 \text{ dygn} = 91.75 \text{ h} = 3.30 \cdot 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 0.00755 \text{ h}^{-1} = 2.10 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Aktiviteten av ett ämne är beroende av mängden, atomvikten och halveringstiden:

$$\text{Aktivitet} = \frac{\text{konstant} \cdot \text{massa}}{t_{0.5} \cdot \text{atomvikt}}$$

Exempel:

För radon blir formeln ovan

$$\text{Aktivitet} = \frac{\ln 2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{3.30 \cdot 10^5 \cdot 222} = 5.7 \cdot 10^{15} = \text{Bq per gram radon}$$

Aktiviteten avtar exponentiellt med tiden enligt

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A	aktivitet	Bq
t	tiden	s
λ	sönderfallskonstanten	s^{-1}
A_0	aktiviteten vid $t = 0$	Bq

1.5.2 Koncentration (halt)

Halten av ett radioaktivt ämne i en gas eller vätska mäts i Bq/m^3 och halten i ett fast ämne i Bq/kg .

I tabell 1.2 och 1.3 visas omvandling mellan olika enheter för halter. Radonhalten betecknas i denna rapport med stora C. I tabell 1.2 finns även enheten working level (WL) med. Denna enhet används ofta i utländsk litteratur och definieras som en godtycklig kombination av kortlivade radondöttrar, som i varje liter luft vid fullständigt sönderfall till bly-210 ger upphov till alfastrålning med total energi motsvarande $1.3 \cdot 10^5$ MeV (megaelektronvolt).

Tabell 1.2 Omvandling mellan olika enheter för halter i en gas eller vätska.

Bq/m^3	Bq/l	nCi/l	pCi/l	WL working level
1	0.001	$2.7 \cdot 10^{-5}$	0.027	$2.7 \cdot 10^{-4}$
1000	1	0.027	27	0.27
37000	37	1	1000	10
37	0.037	0.001	1	0.01
3700	3.7	0.1	100	1

Tabell 1.3 Omvandling mellan olika enheter för halter i fasta ämnen.

Bq/kg	Bq/g	nCi/g	pCi/g	pCi/kg
1	0.001	$2.7 \cdot 10^{-5}$	0.027	27
1000	1	0.027	27	27000
37000	37	1	1000	10^6
37	0.037	0.001	1	1000
0.037	$3.7 \cdot 10^{-5}$	10^{-6}	0.001	1

Exempel:

$$10^{-5} \text{ gram Rn} = 5.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

10^{-5} gram Rn i 1 kubikkilometer (km^3) luft är detsamma som ca 57 Bq/m^3 .

För radiuminnehållet används begreppet radiumindex som definieras som

$$\frac{C_{\text{Ra}}}{200}$$

där C_{Ra} är koncentrationen av radium-226 i Bq/kg.

1.5.3 Exhalationsrat

Exhalationsraten är den mängd radon som avgår från ett material per yt- och tidsenhet och mäts i $\text{Bq}/(\text{m}^2\text{h})$. Exhalationsraten betecknas med stora E.

Ibland anges exhalationsraten i förhållande till halten (specifika aktiviteten) av radium, C_{Ra} , i materialet. Den betecknas

$$E_{\text{Ra}} \text{ och har enheten } [\text{Bq}/(\text{m}^2\text{h})] / (\text{Bq}/\text{kg})_{\text{Ra}}.$$

E är då lika med produkten av E_{Ra} och C_{Ra} , d v s

$$E = E_{\text{Ra}} \cdot C_{\text{Ra}}$$

I tabell 1.4 visas omvandling mellan några olika enheter för exhalationsrat.

Tabell 1.4 Omvandling mellan olika enheter för exhalationsrat

$\text{Bq}/(\text{m}^2\text{h})$	$\text{pCi}/(\text{m}^2\text{s})$	$\text{pCi}/(\text{m}^2\text{h})$	atomer/ (m^2s)
1	0.0075	27	132.4
133.2	1	3600	17632
0.037	0.00028	1	4.90
0.00755	0.000057	0.204	1

1.6 Gamma-strålning

Av de naturligt förekommande radioaktiva ämnen som finns, är det främst kalium-40, radium-226 och dess sönderfallsprodukter samt sönderfallskedjan efter torium-232 som bestämmer gammastrålningen. Koncentrationen av kalium, radium och torium vägs ibland samman med begreppet gammaindex som definieras

$$\frac{C_K}{10000} + \frac{C_{Ra}}{1000} + \frac{C_{Th}}{700}$$

där C_K , C_{Ra} och C_{Th} är koncentrationen av kalium-40, radium-226 och torium-232 i Bq/kg.

Gammastrålning anges oftast i mikroröntgen per timme ($\mu R/h$). Enheten är ett mått på den jonisation som gammastrålningen orsakar i luft.

1.7 Översikt över gränsvärden och rekommendationer

För utrymmen där personer stadigvarande vistas gäller följande gränsvärden.

	Radondotterhalt (Bq/m ³)	Gammastrålning ($\mu R/h$)
Nybyggnad	70	50
Ombyggnad	200	-
Befintlig byggnad	400	-

För ny- och ombyggnad finns strålningsbestämmelserna i SBN 1980 kapitel 31 och 36. Där sägs också att byggnadsmaterialet inte får ha gamma- eller radiumindex större än 1 d v s

$$\frac{C_K}{10000} + \frac{C_{Ra}}{1000} + \frac{C_{Th}}{700} < 1$$

$$\frac{C_{Ra}}{200} < 1$$

där C_K , C_{Ra} och C_{Th} är koncentrationerna av kalium-40, radium-226 och torium-232 i Bq/kg.

I planverkets kommentarer till SBN 1980 och planverket "Aktuellt" nr 4/80 ges ytterligare information och rekommendationer om utvärdering av mätresultat.

Radondotterhalten i bostäder varierar i stort sett mellan 20 och 80 procent av radonhalten och ligger normalt mellan 40 och 60 procent. Vid 0.5 omsättningar per timme räknar man med att radondotterhalten är ungefär 50 procent av radonhalten. Det innebär att kravet att radondotterhalten vid nybyggnad ej skall överstiga 70 Bq/m^3 och vid ombyggnad 200 Bq/m^3 motsvarar ca 140 resp 400 Bq/m^3 radon.

2 RADON FRÅN BYGGNADSMATERIAL

2.1 Allmänt

För att kunna beräkna bidraget från byggnadsdelarna till radonhalten i inomhusluften måste byggnadsmaterialens exhalationsrater vara kända. Om de inte är kända, måste de aktuella byggnadsmaterialens exhalationsrater mätas upp.

Exhalationsraten beror, förutom på typ av material, även på porositet, fuktighet, ytbehandling, mängden av sprickor, lufttrycksvariationer, temperatur och på det aktiva skiktets tjocklek. I tabellen nedan ges ungefärliga värden på exhalationsraten för olika byggnadsmaterial. Det bör dock påpekas att värdena kan variera mycket beroende på varifrån råvarorna kommer.

Tabell 2.1 Exhalationsrater för olika byggnadsmaterial*.

Material	Tjocklek cm	C_{Ra} (Bq/kg) _{Ra}	Exhalationsrat Bq/(m ² h)	Ref
Betong	-	-	1.0-1.4	Jona 76
Betong	18	65.9	27.0 ^{+0.5}	Mus 80
"	20	41.6	19.7 ^{+1.1}	"
"	20	48.9	21.7 ^{+1.2}	"
"	20	59.9	22.2 ^{+1.2}	"
Lättbetong:				
Siporex	20	49	2.8 ^{+0.5}	"
"	15	49	1.6 ^{+0.4}	"
"	10	49	1.2 ^{+0.4}	"
"	7	49	1.1 ^{+0.4}	"
Sandbaserad med viss skifferin- blandning	-	-	11	Jona 76
Skifferbaserad	-	-	31	"
Skifferbaserad Dansk baserad på lera	25	2500	8C-85	SP 81
Leca	-	-	0.16-0.24	Jona 76
Tegel	-	-	0.2	"
Gips	6.7	25	0.01-0.02	"
Gips	6.7	319	1.5	Mus 80
Spånplatta	-	-	13.6	"
Fiberplatta	-	-	0.002	Jona 76
			0.004	"

* Exhalationsraterna i tabellen gäller för materialproverna, som har använts vid mätningarna. Värdena redovisas här endast för att visa storleksordningen av radonexhalationen för olika byggnadsmaterial.

2.2 Beräkningsmodell

För att beräkna radonbidraget till inomhusluften från byggnadsmaterialet används följande allmänna uttryck.

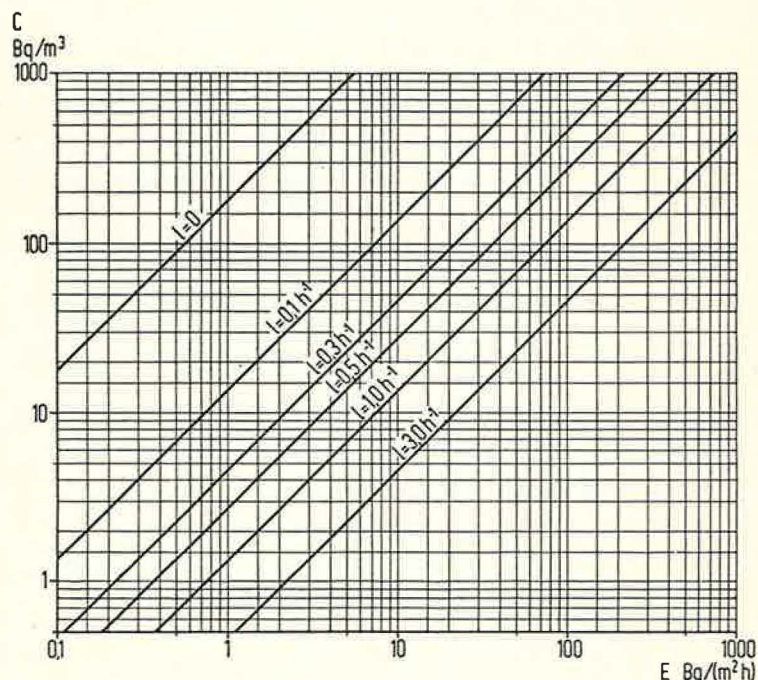
$$C_{bm} = \frac{1}{\lambda \cdot V} \cdot \sum_i E_i \cdot A_i \quad (2.1)$$

C_{bm}	radonbidrag från byggnadsmaterial	Bq/m ³
λ	luftomsättning	h ⁻¹
V	husets volym	m ³
E_i	exhalationsraten för byggnadsdel i	Bq/(m ² h)
A_i	byggnadsdel i:s yta	m ²

$\frac{1}{\lambda \cdot V}$ ska mera noggrant vara $\frac{1}{(\lambda + \lambda) \cdot V}$. Men eftersom sönderfallskonstanten $\lambda (=0.00755 \text{ h}^{-1})$ är mycket mindre än luftomsättningen $\lambda (\approx 0.5 \text{ h}^{-1})$, har λ försumrats. Detsamma gäller för alla efterföljande formler.

I figur 2.1 visas radonkoncentrationen i inomhusluften som funktion av exhalationsraten vid olika luftomsättning.

A/V är förhållandet mellan den radonavgivande ytan och totala volymen. Använt värde på A/V är 1.33 m^{-1} , som är ett medelvärde för en normal lägenhet.



Figur 2.1 Radonkoncentrationen i inomhusluften som funktion av exhalationsraten för radon vid olika luftomsättning. $A/V = 1.33 \text{ m}^{-1}$.

3 RADON FRÅN MARKEN

3.1 Allmänt

All mark innehåller radonhalter många gånger över den nivå som är acceptabel i bostäder. Nedan anges ungefärliga värden på markluftens radonhalt på 1 meters djup för några olika marktyper.

Normal medelmark	1 000 - 20 000	Bq/m ³
Morän över granit	10 000 - 50 000	Bq/m ³
Aktiv mark	100 000 - 1 000 000	Bq/m ³

Till aktiv mark räknas aktiv granit eller tämligen normal granit där radonet har ovanligt lätt att avgå, rödfyr, mark med skifferinblandning och alunskiffermorän.

Det bör påpekas att radonhalten i marken kring ett färdigbyggt hus kan skilja sig väsentligt från radonhalten i den orörda marken innan huset uppfördes. Detta beror bl a på att markens packningsgrad och fuktighet kan ha ändrats, samt på vilken typ av fyllningsmaterial som använts. Det kan därför vara svårt att bestämma den radonhalt, som bör användas vid beräkningarna.

Radonet i markens luftporer kan ta sig in i huset på i huvudsak två olika sätt. Radongasen kan diffundera in genom byggnadsmaterialet samt läcka in genom sprickor mm på grund av husets undertryck. Radon, som kommer in genom diffusion, är i allmänhet försumbart jämfört med övriga radonkällor.

3.2 Beräkningsmodell

3.2.1 Diffusion

Radonet i markens porer på utsidan av en byggnadsdel diffunderar in genom densamma med ett flöde F. Enheten för flödet är Bq/(m²h), dvs samma som för exhalationsraten. För att beräkna flödet genom en byggnadsdel måste materialets porositet och diffusionskoefficient för radon vara kända. Dessutom behövs radonhalten på både in- och utsidan av byggnadselementet. Följande formel kan då användas för att beräkna flödet F (WORK -78).

$$F = D \cdot r \cdot \left[\frac{2C_m - C_{in} \cdot (e^{rT} + e^{-rT})}{e^{rT} - e^{-rT}} \right] \quad (3.1)$$

där $r = \sqrt{\frac{P \cdot \lambda}{D}}$; $\frac{1}{r}$ = diffusionslängden

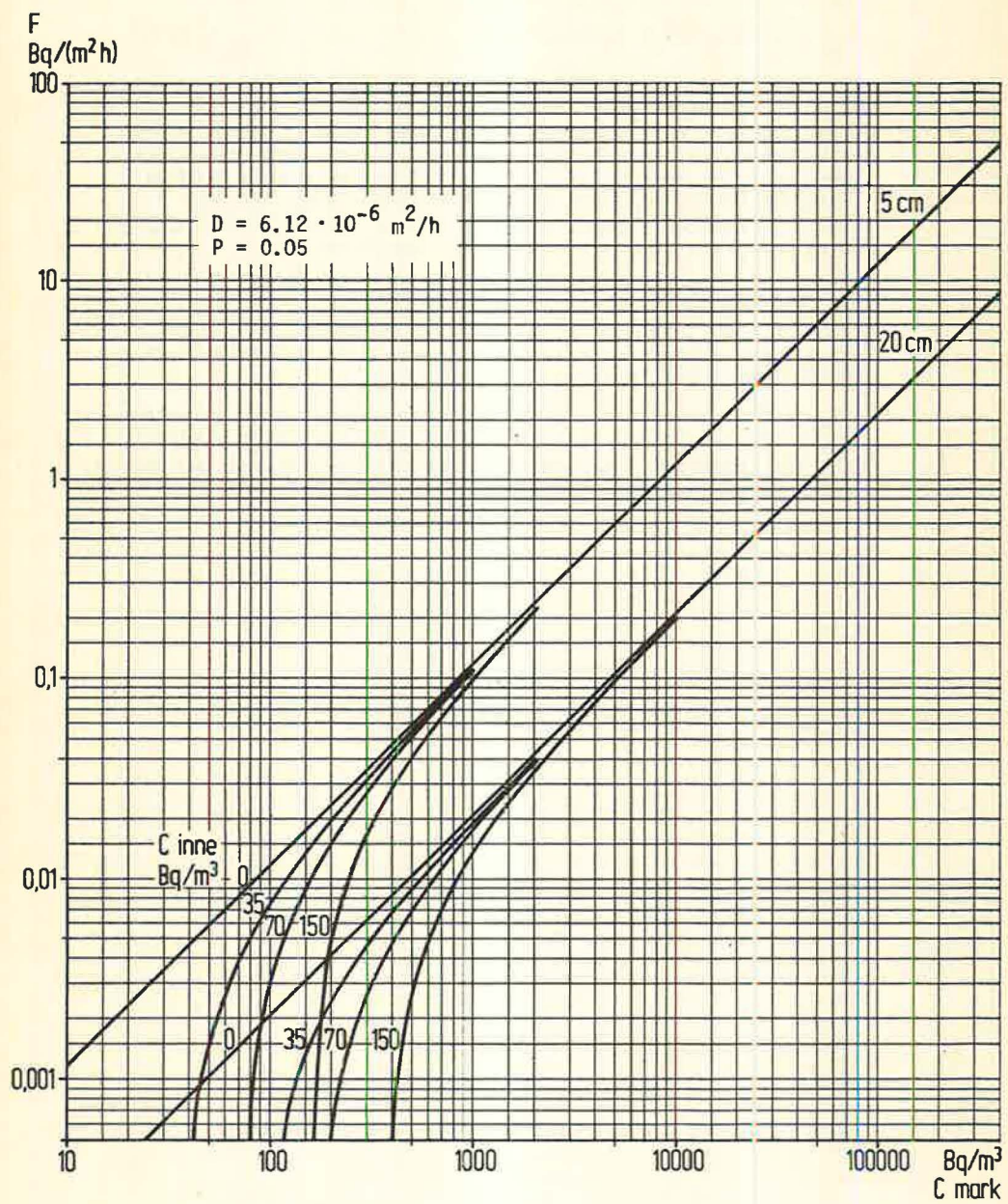
F	flödet genom materialet	Bq/(m ² h)
D	diffusionskoefficienten för radon i materialet	m ² /h
P	materialets porositet	m ³ /m ³
λ	radonets sönderfallskonst = C.00755	h ⁻¹

T	tjockleken på materialet	m
C_m	radonhalten i markens porer	Bq/m ³
C_{in}	radonhalten i inomhusluften	Bq/m ³

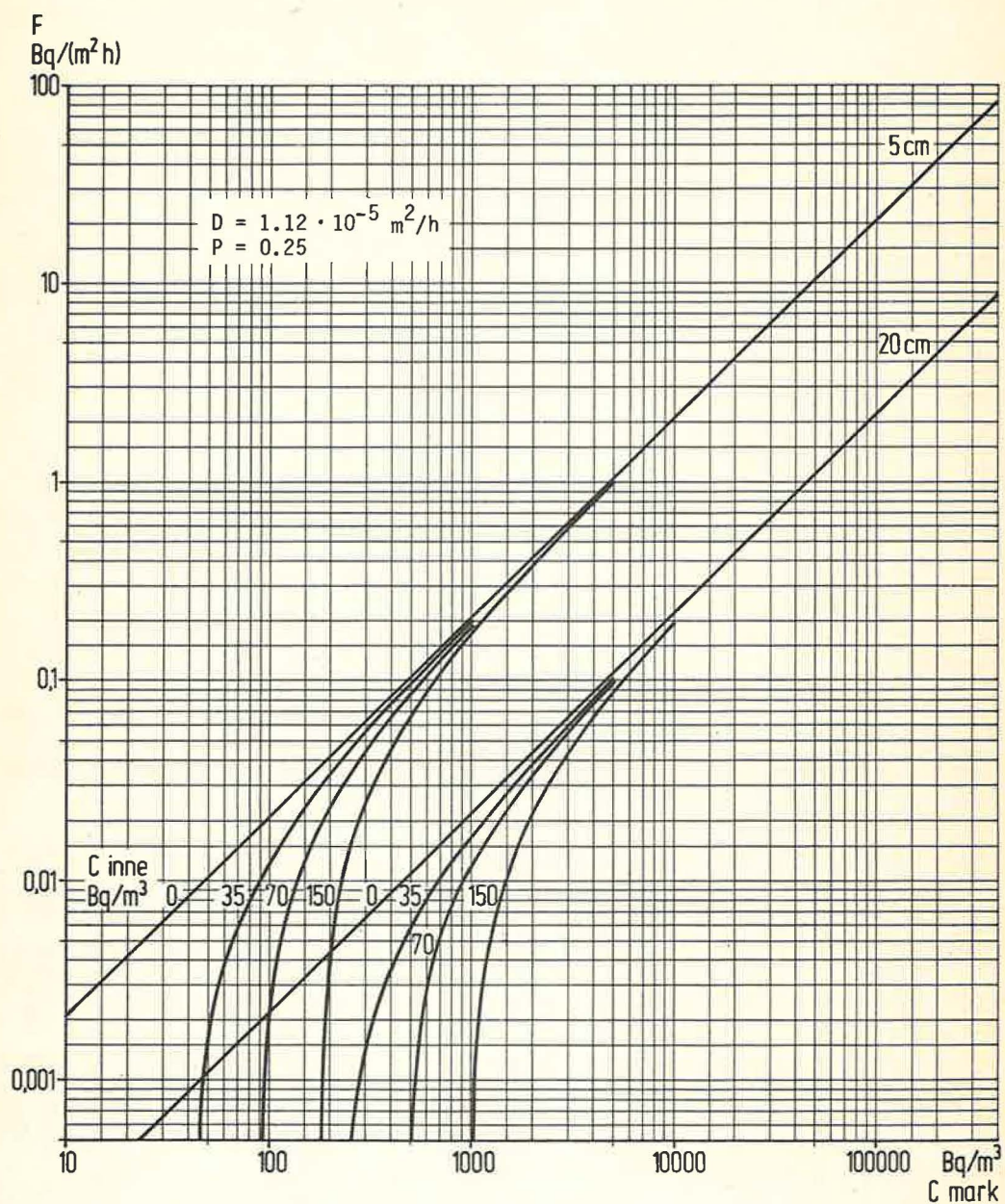
Diffusionskoefficienten i betong har bestämts till $6.12 \cdot 10^{-6} - 1.12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$ beroende på porositeten (WORK -78). Detta kan ej antas gälla oavsett betongkvalitet. Resultatet från flera platser tyder dock på att det i stort ger en riktig bild av radonets diffusion genom betong av god kvalitet. I figur 3.1 och 3.2 redovisas flödet genom väggar av 5 resp 20 cm tjock betong för två olika värden på diffusionskonstanten.

Diffusionslängden i lättbetong har mätts till 0.12 m. (Preliminärt värde från SP -81). Diffusionskonstanten blir då ca $4.38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$. I figur 3.3 visas flödet av radon genom en 25 cm tjock vägg av lättbetong.

Figur 3.1-3.3 visar att radondiffusionen genom en byggnadsdel avtar då radonhalten inomhus ökar vid låg radonhalt i marken. Vid hög radonhalt i marken inverkar inte radonhalten inomhus på diffusionen genom byggnadsdelen.

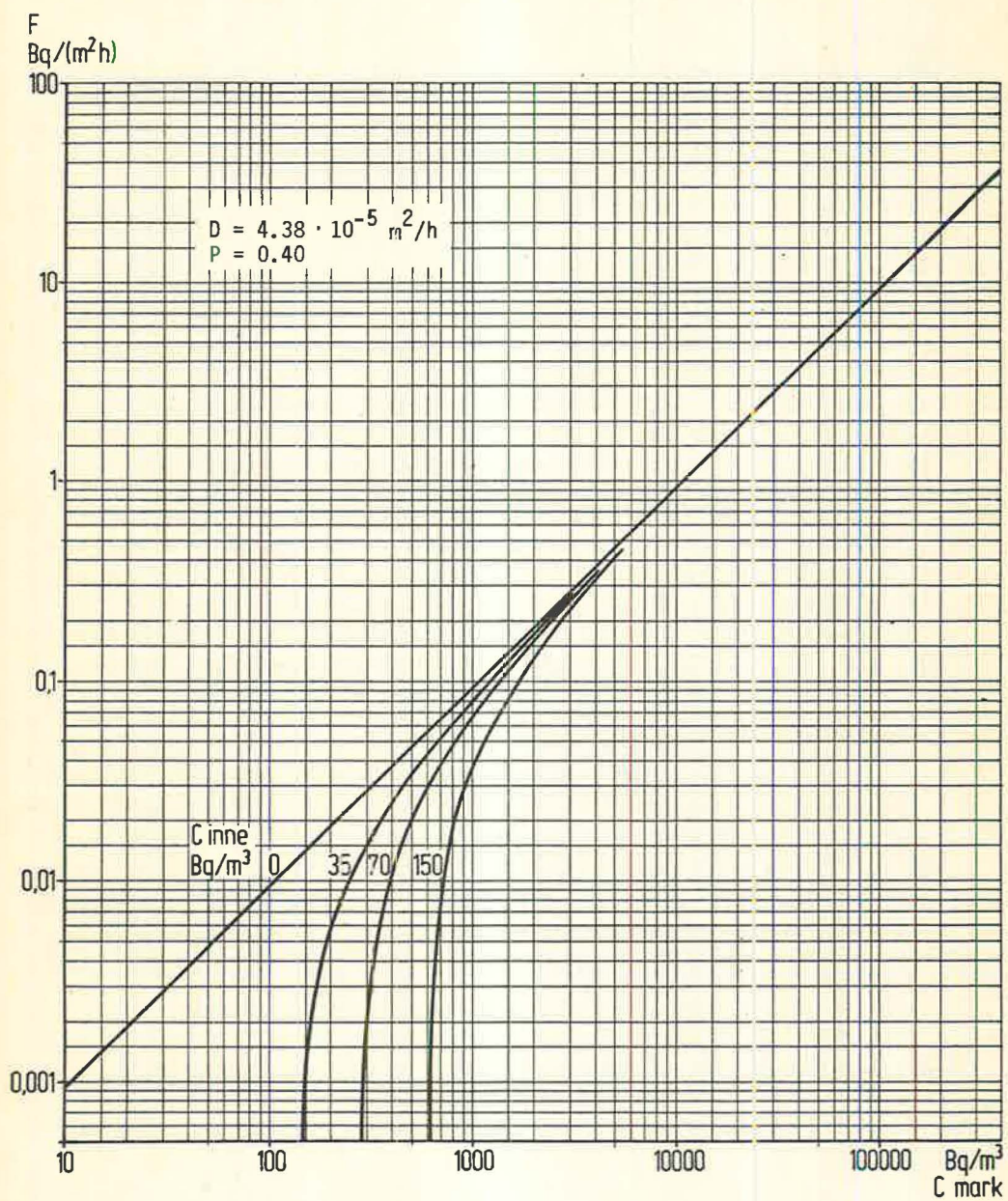


Figur 3.1 Beräknat samband mellan radondiffusion in genom 5 resp 20 cm tjock betongvägg som funktion av radonhalten i markluft omedelbart utanför, samt inverkan av radonhalt i inomhusluften.



Figur 3.2

Beräknat samband mellan radondiffusion in genom 5 resp 20 cm tjock betongvägg som funktion av radonhalten i markluft omedelbart utanför, samt inverkan av radonhalt i inomhusluften.



Figur 3.3 Beräknat samband mellan radondiffusion in genom 25 cm tjock lättbetongvägg, som funktion av radonhalten i markluft omedelbart utanför, samt inverkan av radonhalt i inomhusluften.

För att beräkna radonbidraget till inomhusluften från diffusionen genom byggnadsmaterialet används följande formel: (Jfr radonbidraget från byggnadsmaterial)

$$C_{md} = \frac{1}{\lambda \cdot V} \cdot \sum_i F_i \cdot A_i^u \quad (3.2)$$

C_{md}	radonbidrag från markdiffusion	Bq/m ³
λ	luftomsättning	h ⁻¹
V	husets volym	m ³
F_i	radonflödet genom byggnadsdel i	Bq/(m ² h)
A_i^u	byggnadsdel i:s yta <u>under</u> markytan	m ²

3.2.2 Läckage

Om det finns porer, sprickor eller andra otätheter t ex vid rör genomföringar genom plattan eller grundmuren kan markluft sugas in på grund av undertryck i huset. På detta vis kan betydande mängder radon föras in även om marken inte innehåller ovanligt hög halt radon.

Flödet in av markluft, dvs läckaget, är beroende av tryckdifferensen över sprickan och sprickans area. Men det beror även av sprickans form och ytråhet m m på ett invecklat sätt. Ett uttryck för läckaget kan förenklat skrivas

$$L = \bar{v} \cdot A_{red} \cdot 3600 \quad (3.3)$$

där $\bar{v} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$ och $A_{red} = A \cdot G$

L	läckaget	m ³ /h
\bar{v}	luftens medelhastighet	m/s
ΔP	tryckdifferensen	Pa
ρ	luftens densitet = 1.2	kg/m ³
A	sprickans area	m ²
G	reduktionsfaktor som är en funktion av sprickans form, ytråhet m m, $0 < G < 1$	

Husets undertryck ΔP beror på typen av ventilationssystem. Nedan anges ungefärliga värden på ΔP för några olika ventilationssystem.

Självdrag:	vinter	2 - 10 Pa
	sommar	≈ 0 Pa
F-system		5 - 15 Pa
FT-system	(väljusterat)	≈ 0 Pa

Värdet på reduktionsfaktor G för t ex en spricka är svårt att bestämma. Den bör ligga mellan 0.1 och 0.5 om inte sprickan är alltför grov.

Exempel

En 2 m lång och 0,5 mm bred spricka ger vid

$\Delta P = 10$ Pa ett läckage av (antag $G = 0.5$)

$$L = \bar{v} \cdot A_{\text{red}} \cdot 3600 = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{1.2}} \cdot 2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 \cdot 3600 = 7.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

För att beräkna radonbidraget till inomhusluften från läckaget används följande uttryck

$$C_{m1} = \frac{1}{\ell \cdot V} \cdot C_m \cdot L \quad (3.4)$$

C_{m1}	radonbidraget från markläckage	Bq/m^3
ℓ	luftomsättning	h^{-1}
V	husets volym	m^3
C_m	radonhalten i markens luftporer	Bq/m^3
L	totala läckaget	m^3/h

I figur 3.4 visas hur stort läckage av markluft som kan tillåtas för att radonhalten (radondotterhalten) inomhus ej ska överskrida de olika gränsvärdena. Det har inte i figuren tagits hänsyn till andra eventuella radonbidrag.

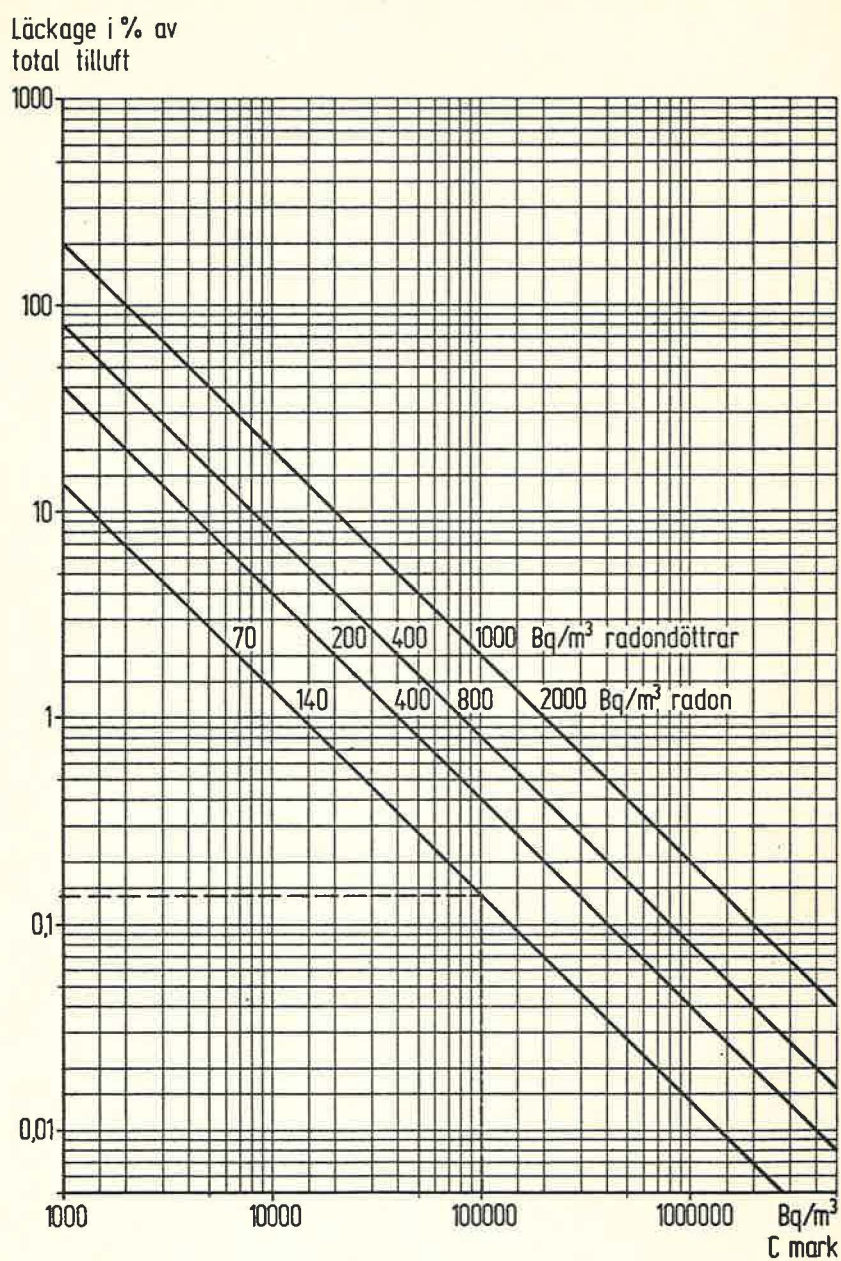
Exempel

I ett hus grundlagt på mark med en radonhalt på 100 000 Bq/m^3 kan det tillåtas ett läckage som är 0.14 % av totala tilluften till huset. (Gränsvärdet 70 Bq/m^3 radondöttrar, se figur 3.4.) Om huset är 100 m^3 med källare och har 0.5 luftomsättningar per timme blir totala mängden tilluft

$$(100 + 100) \cdot 2.5 \cdot 0.5 = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

och maximala läckaget blir då

$$\frac{0.14}{100} \cdot 250 = 0.35 \text{ m}^3/\text{h}$$



Figur 3.4

Största tillåtna läckage av markluft, för att radonhalten (radondotterhalten) inomhus ej skall överskrida gränsvärdena, som funktion av markens radonhalt. Läckaget är uttryckt i procent av totala tilluften till huset (I·V: m³/h) och approximationen $C_{RnD} \approx 0.5 \cdot C_{Rn}$ har använts.

4 RADON FRÅN VENTILATIONSLUFTEN

Radon finns även i luften utomhus. Halten av radon i luften beror på hur mycket radon som avgår från markytan. Är radonhalten hög i marken kan en högre radonhalt i luften förväntas i samma område.

Ett genomsnittsvärde över vanlig mark är ca 4 Bq/m³.

Beräkning av radonbidraget från ventilationsluft.

$$C_{v1} = C_{ute} \quad (4.1)$$

C_{v1} radonbidraget från ventilationsluften Bq/m³

C_{ute} radonhalten utomhus Bq/m³

5 RADON FRÅN VATTEN

5.1 Allmänt

Generellt gäller att grundvatten i magmatiska bergarter, speciellt granit, pegmatit, syenit och porfyr har högst radonhalt. I basiska bergarter som t ex gabbro och diabas är radonhalten vanligen lägre. I de sedimentära bergarterna, kalksten, sandsten m m, är koncentrationen av radon låg.

Grundvatten i morän förefaller innehålla högre radonhalter än grundvatten i andra jordarter.

I insjöar, floder och övrigt ytvatten är radonhalten mycket låg.

Typiska värden på radonhalter i grundvatten i olika miljöer visas nedan.

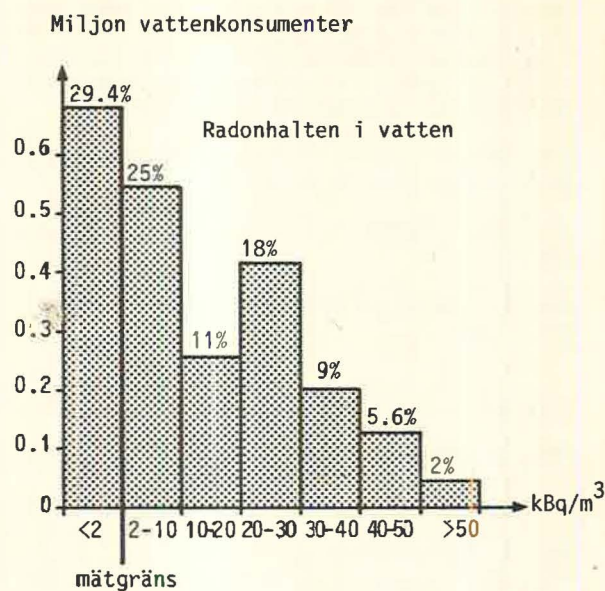
Ytvatten	< 4 000 Bq/m ³
Lösa jordlager	4 000-20 000 "
Sedimentära bergarter	25 000-40 000 "
Magmatiska bergarter ("urberg", granit m m)	100 000-2 000 000 "

Strålskyddsinstitutet (SSI -78) har gjort en undersökning av radonhalten i vattnet i de kommunala vattenverken. Ca 50 % av den totala vattenkvantiteten som levererades från dessa vattenverk produceras av ytvatten, varför dessa har utelämnats på grund av förväntad mycket låg radonhalt. Undersökningen omfattar vattenverk som producerar mer än 200 000 m³/år. Dessa verk betjänar 6.5 miljoner konsumenter.

Resultatet för verk som producerar mer än 1 000 000 m³/år framgår av figur 5.1. Fög vattenverk med en produktion från 200 000 till 1 000 000 m³/år var resultatet likartat.

Undersökningen omfattar endast vattenverk som använder grundvatten och som producerar mer än 1 miljon kubikmeter vatten per år.

Summa vattenkonsumenter = 2.304 miljoner pers



Figur 5.1 Fördelning av antalet vattenkonsumenter, som funktion av radonhalten i vatten (SSI -78).

Bland de kommunala vattenverk, som producerar mindre än 200 000 m³/år finns ett flertal som tar vatten ur bergborrade brunnar. Dessa verk har ännu ej undersökts men kan antagas leverera vatten med högre radonhalter. Speciellt de som har brunnar borrhade i granitisk berggrund.

I privata bergborrade brunnar har i några fall uppmätts mycket höga radonhalter i vatten (upp till 11 000 000 Bq/m³:SSI).

5.2 Beräkningsmodell

För att uppskatta det genomsnittliga bidraget till radonkoncentrationen i inomhusluften från hushållsvattnet, har försök utförts i syfte att bestämma hur stor andel av vattnets radoninnehåll, som övergår till luften vid vanlig hushållsanvändning. Resultatet visas i tabell 5.1.

Tabell 5.1

Användning (i)	Andel radon som övergår till luften (e_i)
Dusch	63 %
Bad	47 %
WC	40 %
Tvätt	90 %
Diskmaskin	90 %
Hushållsvatten, matlagning	30 %
Rengöring	90 %

Vid beräkning av radonbidraget till inomhusluften med hjälp av ovanstående koefficienter används följande formel:

$$C_V = \frac{C_W}{24 \cdot \lambda \cdot V} \cdot \sum_i e_i \cdot W_i \quad (5.1)$$

där

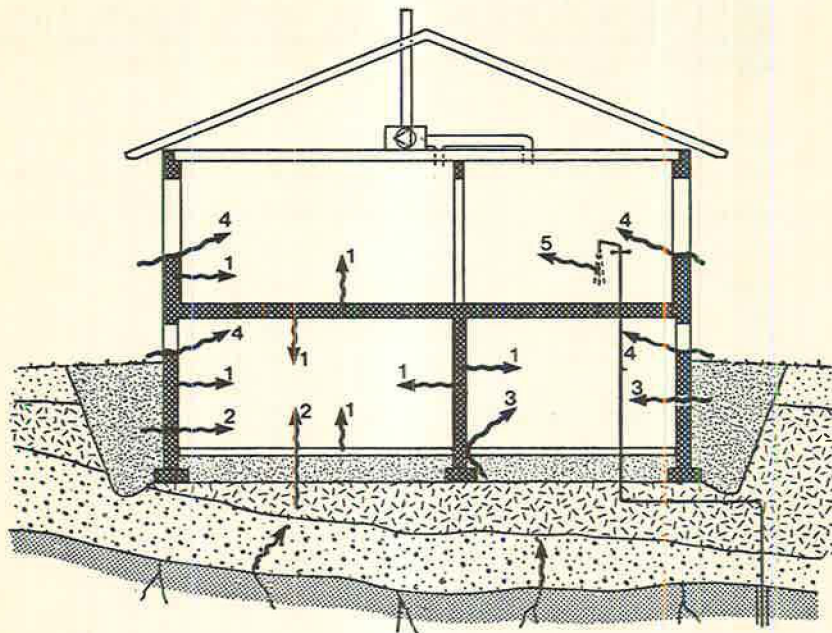
C_V	radonbidraget från hushållsvattnet till inomhusluften	Bq/m^3
C_W	radonkoncentrationen i hushållsvattnet	Bq/m^3
λ	luftomsättning	h^{-1}
V	bostadens volym	m^3
W_i	volym vatten som dagligen används för ändamål i	m^3/dygn
e_i	se tabell 5.1	

Som en grov indikation på hushållsvattnets bidrag till radonhalten i inomhusluften kan anges att $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ radon i vattnet motsvarar 20 Bq/m^3 i luften om vattenförbrukningen är $1 \text{ m}^3/\text{dygn}$ med 50 % radonavgång i en lägenhet på ca 90 m^2 (ca 225 m^3) och ventilationen är 0.5 omsättning per timme.

Detta uttrycks ibland som att radonets övergångskoefficient från vatten till inomhusluft är ca $2 \cdot 10^{-4}$.

OBS! Ovanstående "tumregel" gäller inte där våtutrymmet har mekanisk frånluft.

6 BERÄKNING AV TOTALA RADONHALTEN



Figur 6.1 Radonkällor.

1	Radon från byggnadsmaterial	C_{bm}
2	Radon från marken, diffusion	C_{md}
3	Radon från marken, läckage	C_{ml}
4	Radon från ventilationsluft	C_{vl}
5	Radon från vatten	C_v

Den totala radonhalten i inomhusluften fås genom att summera de olika bidragen enligt

$$C_{Rn} = C_{bm} + C_{md} + C_{ml} + C_{vl} + C_v$$

Ett ungefärligt värde på radondotterhalten vid ca 0.5 luftomsättningar per timme blir då

$$C_{RnD} \approx 0.5 \cdot C_{Rn}$$

De matematiska uttrycken för de olika radonbidragen är sammanställda i bilaga 3.

I kapitel 6.1-6.4 behandlas de olika radonbidragen ur beräkningsmässig synvinkel. Det bör påpekas att det kan vara svårt att få fram värden på vissa parametrar som behövs för beräkningarna. Det gäller framför allt exhalationsrater från byggnadsmaterial, radonets diffusionskonstant genom byggnadsmaterial samt det totala läckaget.

6.1 Radon från byggnadsmaterial C_{bm}

Exhalationsraterna E för de olika ingående byggnadsmaterialen ska bestämmas. Man måste då ta hänsyn till vilken ytbehandling som finns eller kommer att användas. Vissa material kan oftast uteslutas, som t ex alla trämaterial.

Om uppgift på exhalationsraten saknas, kan man eventuellt mäta den. Det är dock både svårt och omständligt. Man kan då istället mäta gammastrålningen från byggnadsdelen och på så sätt få en uppfattning om hur aktivt materialet är. Man bör därvid tänka på att om materialet är ytbehandlat kan radonexhalationen minska medan gammastrålningen istället ökar. Man måste även veta vad som finns bakom byggnadsdelen, t ex aktiv mark, som kan avge stark gammastrålning.

OBS. Invändiga väggar och bjälklag exhalerar radon från båda sidorna.

En kartläggning av radonavgivning från färdiga byggnadsdelar pågår vid statens provningsanstalt i Borås i samarbete med Lunds Universitet.

6.2 Radon från marken

Då radonhalten i markens luftporer C mäts, bör man tänka på att markförhållandena ändras då huset byggs. Bland annat påverkas radonhalten av på vilket djup grundläggningen sker. Dessutom kan markens packningsgrad och fuktighet väsentligt ändras. Även typ av återfyllningsmassor kan påverka den slutliga radonhalten. Uppgifter om markens aktivitet kan eventuellt erhållas från Sveriges geologiska undersökning.

6.2.1 Diffusion genom byggnadsdel C_{md}

Om byggnadsmaterialet har relativt högt diffusionsmotstånd och inte är för tunt, kan denna term försummas, om inte radonhalten i marken är mycket hög ($>50\ 000\ \text{Bq/m}^3$). Byggnadsmaterial, som t ex betong och lättbetong, kan anses ha relativt högt diffusionsmotstånd.

Diffusionen genom ett träbjälklag över t ex en kryppgrund kan oftast försummas jämfört med läckaget genom detsamma. Detta beror främst på att radonhalten i kryppgrunden är väsentligt lägre än i marken samt att ett träbjälklag är relativt otätt.

6.2.2 Läckage genom byggnadsdel, C_{m1}

Radonbidraget till inomhusluften som kommer ifrån infiltrerande markluft ger ofta det helt dominerande bidraget.

Att bestämma totala läckaget av markluft in i huset kan dock vara mycket svårt. Läcket genom synliga sprickor m kan mycket grovt beräknas matematiskt. Men det kan finnas läckageställen som inte är synliga för ögat. Ett sätt kan vara att provtrycka

t ex källarvåningen. Resultatet beror då givetvis på hur tätt det går att få till det övriga av huset.

Det kan därför vid nybyggnad vara lämpligare att beräkna radonbidraget från alla övriga radonkällor först. Därefter kan det maximalt tillåtna läckaget av markluft beräknas med hänsyn till gränsvärdet. Huset kan sedan konstrueras så att detta läckage inte överskrids.

Vid krypgrund ska radonhalten i krypgrunden användas i beräkningarna istället för markens radonhalt.

6.3 Radon från ventilationluften C_{v1}

Radonhalten i ventilationsluften är densamma som i utomhusluften. Detta radonbidrag är ofrånkomligt men oftast mycket litet. Om radonhalten i marken har visat sig vara hög kan det vara lämpligt att mäta även radonhalten i luften. Annars kan normalvärdet 4 Bq/m^3 användas.

6.4 Radon från vatten C_v

Om hushållsvattnet utgörs av ytvatten kan radonbidraget från vattnet försummas.

Om vattnet kommer från kommunala vattenverk med en årsproduktion större än $200\,000 \text{ m}^3/\text{år}$ kan SSI troligen lämna uppgifter om radonhalten.

Om vattnet kommer från mindre, bergborrade brunnar, speciellt i granit, bör radonhalten i vattnet mätas upp.

Vattenförbrukningen per person brukar anges till 200-250 l/dygn. Då blir enligt tumregeln i kapitel 5.2 radonets övergångskoefficient från vatten till inomhusluften ca $0.5 \cdot 10^{-4}$ per person.

Om våtutrymmet har mekanisk frånluft, ventileras en del av radonet bort direkt. Hur stor del som kommer ut i det övriga av huset får bedömas från fall till fall.

Bilaga 1

ADRESSLISTA

till centrala verk och myndigheter m m med visst ansvar i radonfrågor.

Bostadsdepartementet, 103 33 Stockholm. Tel 08/763 10 00.

Bostadsstyrelsen, Box 7844, 103 98 Stockholm. Tel 08/22 85 40.

Bygghälsöversynsmyndigheten, S:t Göransgatan 66, 112 33 Stockholm.
Tel 08/54 06 40.

Jordbruksdepartementet, 103 33 Stockholm. Tel 08/763 10 00.

Socialstyrelsen, Linnégatan 87-89, 106 30 Stockholm.
Tel 08/14 06 00.

Socialstyrelsen, Byrå SN 1, Wallingatan 2, 106 30 Stockholm.
Tel 08/23 60 60.

Statens institut för byggnadsforskning, Box 785, 801 29 Gävle.
Tel 026/10 02 20.

Statens planverk, Box 22 027, 104 22 Stockholm. Tel 08/54 09 40.

Statens provningsanstalt, Box 857, 501 15 Borås. Tel 033/10 20 00.

Statens strålskyddsinstitut, Box 60 204, 104 01 Stockholm.
Tel 08/24 40 80.

Studsviks Energiteknik AB, Fack, 611 01 Nyköping.
Tel 0155/800 00.

Svenska kommunförbundet, Hornsgatan 15, 116 47 Stockholm.
Tel 08/24 85 00.

Sveriges geologiska undersökning, Box 801, 951 28 Luleå.
Tel 0920/976 00.

<u>Beteckningar</u>		<u>kapitel</u>	<u>enhet</u>
A, A_0	Aktivitet	1.5.1	Bq
A_i	Area av byggnadsdel nr i		m^2
A_i^u	Area under markytan av byggnadsdel nr i		m^2
A, A_{red}	Sprickans area resp reducerade area	3.2.2	m^2
C_K	Koncentrationen av kalium-40		Bq/kg
C_{Ra}	" " radium-226		"
C_{Th}	" " torium-232		"
C_{Rn}	Total radonhalt i inomhusluften		Bq/m^3
C_{RnD}	Total radondotterhalt i inomhusluften		"
C_{bm}	Radonbidrag från byggnads-material		"
C_{md}	Radonbidrag från markciffusion		"
C_{ml}	" " markläckage		"
C_{vl}	" " ventilations-luften		"
C_v	Radonbidrag från vatten		"
C_m	Radonhalt i markens luftporer		"
C_{in}	" i inomhusluften	3.2.1	"
C_{ute}	" i utomhusluften		"
C_w	" i vattnet		"
D	Diffusionskoefficient		m^2/h
e_i	Andel av C_w som övergår till luften		-
E, E_i	Exhalationsrat (del nr i)		$Bq/(m^2h)$
E_{Ra}	" i förhållande till C_{Ra}		$[Bq/(m^2h)] (Bq/kg)_{Ra}$
F, F_i	Flöde (diffusion) (del nr i)		$Bq/(m^2h)$

Bilaga 2.2

		<u>kapitel</u>	<u>enhet</u>
G	Reduktionsfaktor	3.2.2	-
L	Läckage av markluft		m ³ /h
ℓ	Luftomsättning		h ⁻¹
P	Porositet		m ³ /m ³
ΔP	Tryckdifferensen hus-ute		Pa
r	1/r = diffusionslängden (m)	3.2.1	m ⁻¹
T	Tjocklek	3.2.1	m
t _{0.5}	Radonets halveringstid = = 3.823 dygn		(s)
t	Tid		s
V	Husets volym		m ³
\bar{v}	Luftens medelhastighet	3.2.2	m/s
W _i	Volym vatten som dagligen användes för ändamål i		m ³ /dygn
λ	Radonets sönderfallskonst = = 0.00755		h ⁻¹
ρ	Luftens densitet ≈ 1.2		kg/m ³

FORMELSAMMANSTÄLLNINGRadon från byggnadsmaterial

$$C_{bm} = \frac{1}{\ell \cdot V} \cdot \sum_i E_i \cdot A_i$$

Radon från marken

Diffusion genom byggnadsmaterial

$$F = D \cdot r \cdot \left[\frac{2C_m - C_{in} \cdot (e^{rT} + e^{-rT})}{e^{rT} - e^{-rT}} \right]$$

där $r = \sqrt{\frac{P \cdot \lambda}{D}}$; $\frac{1}{r}$ = diffusionslängden

$$C_{md} = \frac{1}{\ell \cdot V} \cdot \sum_i F_i \cdot A_i^u$$

Läckage genom byggnadsdel

$$L = \bar{v} \cdot A_{red} \cdot 3600$$

där $\bar{v} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$ och $A_{red} = A \cdot G$

$$C_{m1} = \frac{1}{\ell \cdot V} \cdot C_m \cdot L$$

Radon från ventilationsluft

$$C_{v1} = C_{ute}$$

Radon från vatten

$$C_v = \frac{C_w}{24 \cdot \ell \cdot V} \cdot \sum_i e_i \cdot W_i$$

Totala radonhalten i inomhusluften

$$C_{Rn} = C_{bm} + C_{md} + C_{m1} + C_{v1} + C_v$$

Totala radon-dotterhalten i inomhusluften

Ungefärligt värde vid en ventilation på ca 0.5 omsättning per timme.

$$C_{RnD} \approx 0.5 \cdot C_{Rn}$$

Litteraturförteckning

- Clav -82 Clavensjö, B, et.al. 1982, Radon i bostäder. Byggnadstekniska åtgärder för att minska radonhalten inomhus. Rapport R28:1982 Staten råd för byggnadsforskning.
- Eric -81 Ericson, S-O, 1981, Radon i bostäder, litteraturstudie och förslag till forskningsinsatser. Rapport R128:1981, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Jona -76 Jonassen, U, Mc Laughlin, J P, 1976, Radon in indoor air I. Research report 6 Laboratory of Applied Physics, Technical University of Denmark.
- Mus -80 Mustonen, R. Jan 1980, Measurements of the radon exhalation rates från building materials, Nordic Society för Radiation Protecting, 6-9.
- SP -81 Hildingson, O, Persson, H, Samuelsson, C. 1981, Mätmetod för bestämning av radonavgång från byggnadskonstruktioner. Delrapport av BFR-Projekt Nr 791499-3 Statens Provningsanstalt, byggnadsfysik.
- SPL -81 Strålning i byggnader, 1981, Socialstyrelsen, statens planverk, statens strålskyddsinstitut. Statens planverk rapport 54, 1981.
- SSI 78 Preliminär rapport om undersökning av den naturliga radioaktiviteten i hushållsvatten 1977-1978. Statens strålskyddsinstitut Dnr 42-48/78.
- WORK 78 Workshop on radon and radondaughters in urban communities associated with uranium mining and processing, 1978. AECB. DSMA Report No 1012/915, Elliot Lake, Ontario.