

'Gesloten' bronnen (stralingsbelasting bij ingekapselde bronnen)



Onderwerpen

- Ingekapselde bronnen
- Toepassingen
- Classificatie
- Regelgeving
- Uitwendige bestraling
- Risicoanalyse

Stralingshygiëne voor Toezichthouders Stralingsbescherming (TMS VRS-D/MR B)

(Reader)

1 - 2	Atoombouw; ontstaan van r α -, β - en γ - straling
3 - 4	Logaritmen en wisselwerking straling - materie
5	Afscherming ioniserende straling
6 - 7	Toepassingen van ingekapselde- en open bronnen
8 - 9	Grootheden en eenheden; Detectie
10	Biologische effecten van ioniserende straling
11	Algemene wet- en regelgeving
12 - 13	Specifieke regelgeving ingekapselde/ open bronnen
14 - 15	Praktische stralingsbescherming 'gesloten'/ open br.
16 - 17	Risicoanalyse voor ingekapselde en open bronnen
18 - 19	Trefwoorden en verwijzingen



Bronnen

Definitie Art 1.2 Bbs

Ingekapselde bron:

Radioactieve bron waarvan het radioactieve materiaal permanent in een omhulsel is ingekapseld, dan wel gebonden is in vaste vorm teneinde onder normale gebruiksomstandigheden iedere verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen.



Ingekapselde Bronnen

Radioactieve stoffen die

- zijn **ingebed in of gehecht aan** vast dragermateriaal, of
- omgeven zijn door een **omhulling** van materiaal

Dragermateriaal of omhulling moet voldoende weerstand bieden om onder **normale gebruiksomstandigheden** verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen -> jaarlijkse controle!



Bronnen

Toepassingen

Meting of controle

lasnaden

^{192}Ir , ^{60}Co

1 - 100 GBq

dikte papier (β^-)

^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{137}Cs

40 MBq

(vul)hoogte

^{137}Cs , ^{60}Co , ^{85}Kr (γ 's)

1 - 10 GBq

Chemische analyse

Röntgenfluorescentie (XRF)

^{241}Am , ^{57}Co

40 MBq - 40 GBq

gaschromatografie

^{63}Ni

400 MBq

Medisch

brachytherapie

^{90}Sr / ^{90}Y / ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{125}I

2 - 500 MBq

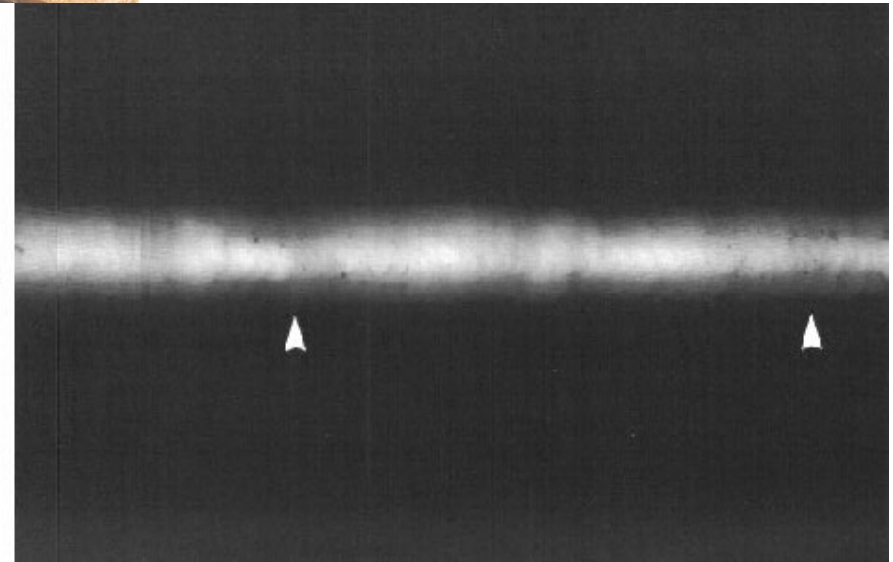
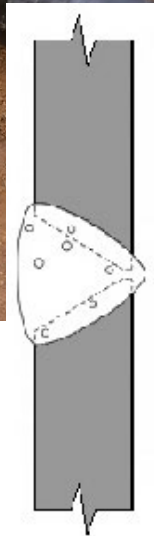
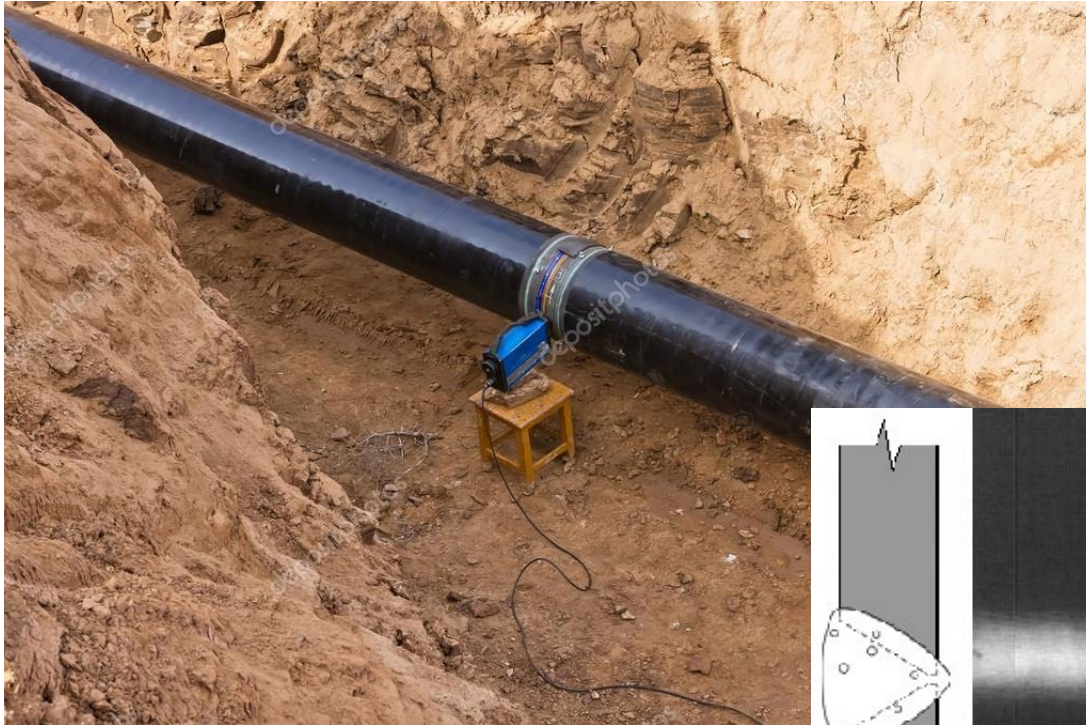
Steriliseren (25-1000 Gy) van voedsel, medische instrumenten e.d.



Bronnen



Bronnen (^{192}Ir / ^{60}Co)



Specifieke regelgeving bronnen: Lekttest

Radioactief materiaal permanent in omhulsel ingekapseld of gebonden in vaste vorm

Lekttest (veegproef):

- Grenswaarde afwrijfbare activiteit: 185 Bq
- Vegen bronhouder: 10 x strengere norm
- 1x per jaar (CD)
- geen lekttest: bronnen $< 1 \text{ MBq}$ en $< 0,02 \text{ Re}_{\text{ingestie}}$
- HASS bronnen (aanvullende eisen beveiliging!)



Specifieke regelgeving bronnen: Encapsulering

Moet voldoen aan ISO-2919 voor encapsulering

ISO 2919 classificering

Ingekapselde bronnen kunnen getest zijn op 5 onderdelen

- temperatuur, thermische schok
- druk
- slag/stoot (stomp voorwerp, valhoogte 1 m)
- vibratie
- puntbelasting (spits voorwerp, valhoogte 1 m)

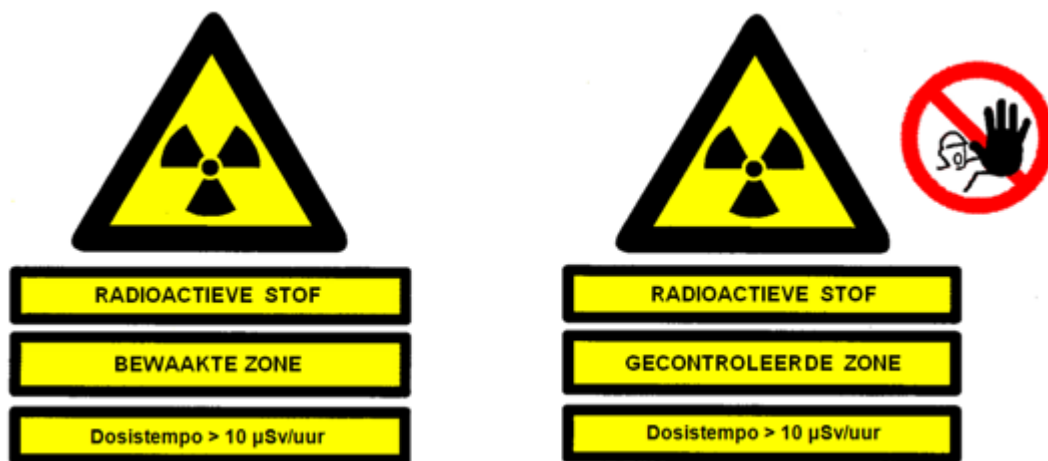
Classificering oplopend van 2 (1 = niet getest) tot en met 6 (strengste test)

Voorbeelden:

^{63}Ni	gaschromatograaf	C32211
^{192}Ir	industriële radiografie	C43313



Specifieke regelgeving bronnen: Signalering



- Plaats een waarschuwingsbord met de tekst **radioactieve stof** en **bewaakte** of **gecontroleerde zone**
- Voeg (indien relevant) de tekst **dosistempo > 10 µSv/uur** toe
- Plaats verbodsbord met de tekst **geen toegang voor onbevoegden** als fysieke toegangscontrole bij gecontroleerde zone ontbreekt
- Opslag in kluis (1 h brandwerend, op 10 cm max 1 µSv/uur, waarschuwingsteken)

Specifieke regelgeving bronnen: Toezicht

Toezicht op toepassingen met ingekapselde radioactieve bronnen:

- Ingekapselde bronnen met gering stralingsrisico
 - Vrijgestelde en registratieplichtige toepassingen
 - Vergunningplichtige bron: in vaste meetopstelling, < 1 mSv/j.
- Toezicht onder verantwoordelijkheid van een CD



Praktische stralingsbescherming

“Rol toezichthouder” 😊



- Voorlichting, instructie en bijscholing
 - Nieuwe werknemers, werk- en veiligheidsinstructies, beheer/uitgifte bronnen
- Signalering (ruimte, bron)
- Periodieke lektest* (CD, KEW)
- RI&E (begrijpen, berekeningen)
- Kernenergiewetdossier (actueel houden)
- Incidenten -> melden aan CD'er

Toezicht onder verantwoordelijkheid van een CD

** Stralingsbeschermingsdeskundige is verantwoordelijk voor lektest!*



KEW Dossier

Tabel 18.2 Inhoud van het kernenergiewetdossier ingekapselde bronnen.

Bedrijfsgegevens	vergunning of registratie, inclusief aanvraag aanwijzing en diploma van toezichthouder stralingsbescherming overeenkomst met stralingsbeschermingsdeskundige plattegronden van het gebouw en omgeving, inclusief terreingrens werkprotocollen, veiligheidsinstructies overzicht blootgestelde werknemers uitslagen persoonsdosimeters
Gegevens per bron	documenten waaruit fabricaat, type, leverancier en leverdatum blijken nuclide, halveringstijd, activiteit, ISO-certificaat ruimtenummer, exacte plaatsaanduiding bij overdracht: ontvangstbewijs
Organisatorisch	actuele risico-inventarisatie en -evaluatie resultaten periodieke lekttest kalibratierapporten monitoren onderhoudsrapporten incidenten



Praktische stralingsbescherming

werknemer

Organisatorische maatregelen:

- Instructie
- Bij gebruik bron:
 - **waarschuwingssignalering** (max. 1 $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ op 10 cm “anderen” / evt. lokale afscherming
 - **Bronnenadministratie / uitgifteregister** kluis
- **Opslag** in kluis na gebruik
- **Incidenten** melden



Praktische stralingsbescherming

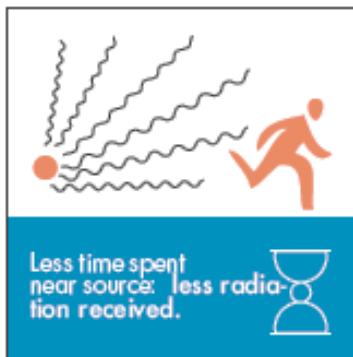
werknemer

Veilig werken:

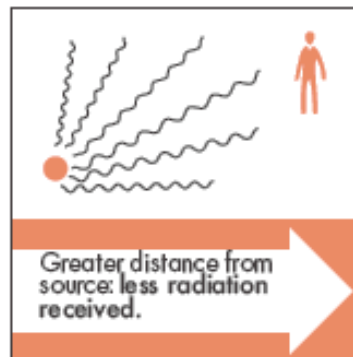
ALARA

Geen onnodige blootstelling/zo laag mogelijke dosis of activiteit

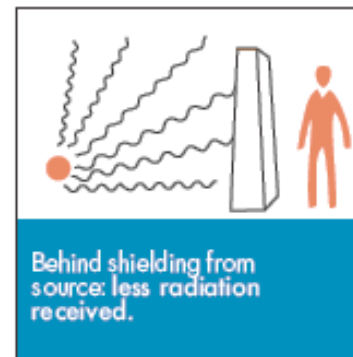
Klassieke maatregelen:



Blootstellingstijd
verkorten



Afstand
(tang/pincet)



Afscherming
(scherm, loodschoort etc)

Persoonlijke beschermingsmiddelen

Bril, loodschoort/loodkraag, loodkasteel. TLD-badge

Praktische stralingsbescherming

werknemer

Afscherming

Alpha-straling:

- Cm's lucht al voldoende!

Bèta-straling:

- laag energetisch, korte dracht (1 mm volstaat!)
- hoog energetisch: materiaal met lage Z-waarde (= minder remstraling) - bv 1 cm perspex

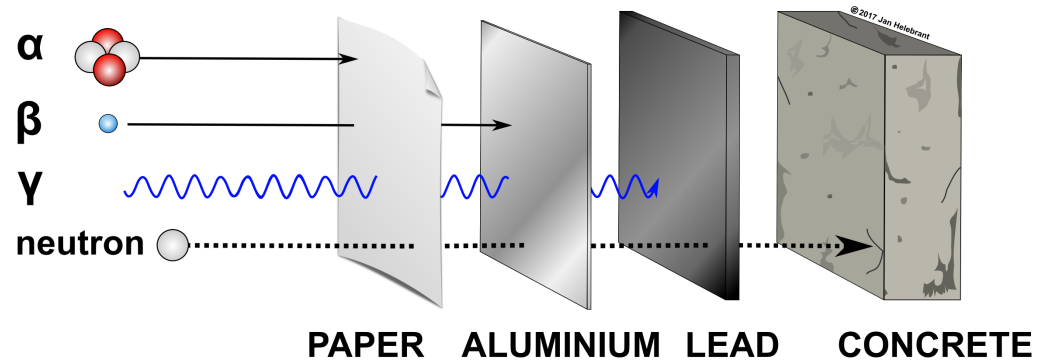
Gamma-straling:

- Hoge Z-waarde zoals lood

Neutronen:

- Beton, water, paraffine

Penetrating power of different types of radiation



Dosimetrie Risicoanalyse ingekapselde bronnen

- Uitwendige bestraling:

- Radioactieve **bron/stof** buiten het lichaam
- Bestraling is momentaan

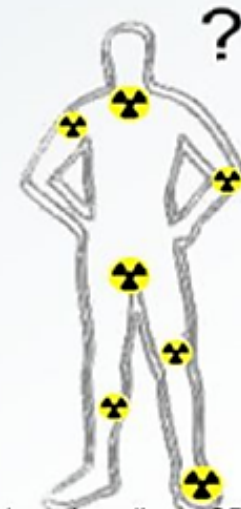


- Inwendige besmetting:

- Radioactieve **stof** in (of op) het lichaam
- Continue bestraling van organen en weefsels

Bij inwendige besmetting spreken we over Volgdosis

De blootstelling aan straling kan immers over vele jaren zijn uitgestrekt

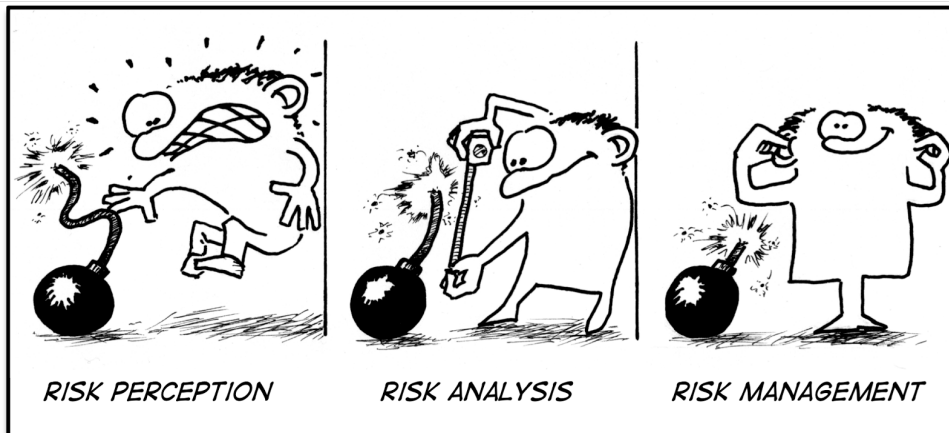


/stralingsbeschermingsdienst SBD-TU/e

RI&E

- Reguliere handelingen
- *Voorziene onbedoelde gebeurtenis (VOG)*

Voorafgaand aan de werkzaamheden!



Voorziene onbedoelde gebeurtenis:

Wat kan er mis gaan met het hanteren van een ingekapselde bron?

Risico Inventarisatie en Evaluatie

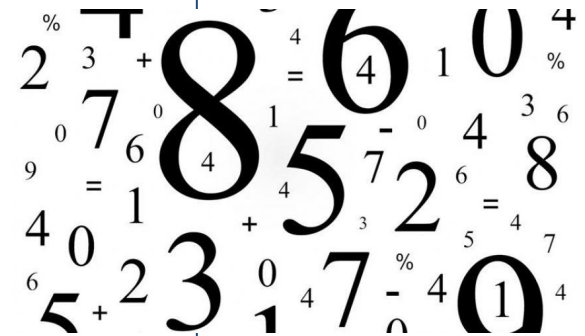
RI&E

- Gegevens bron: nuclide, activiteit en bronconstante
- Emissiegegevens: α , β , γ , energie etc.
- Gebruiksuren per jaar (h)
- Afstand tot naastgelegen ruimtes en terreingrens (m)
- Afscherming (materiaal en dikte)
- Dosisberekeningen (goedkeuring door CD)
 - Maxima niet overschrijden
 - Terreingrens ($< 100 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$)
- **Voorziene onbedoelde gebeurtenissen!**

Conclusie:

Blootgestelde werkers?

Bewaakte/gecontroleerde zone?



Dosisberekening γ -straling:

kwadratenwet

en bronconstante

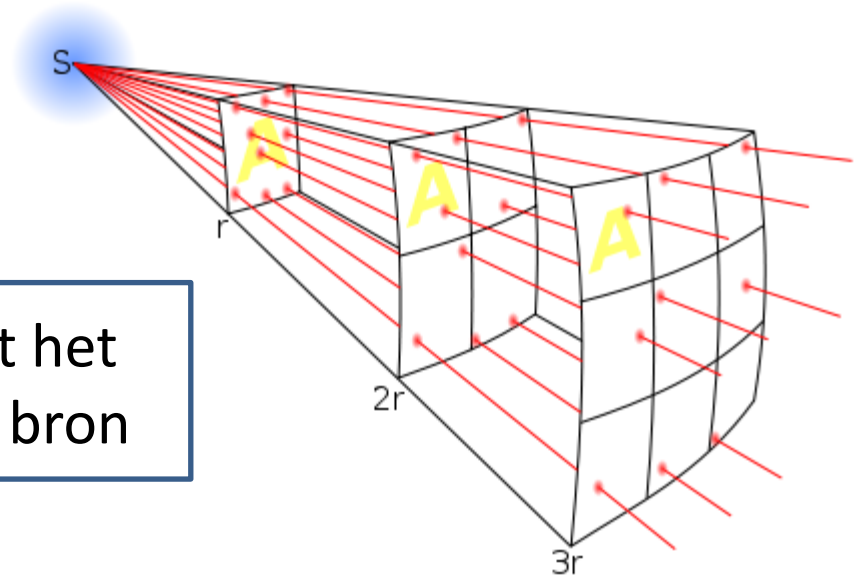
- Dosis **omgekeerd evenredig** met het **kwadraat van de afstand** tot de bron

Deeltjesstraling:

*voorbij de **dracht** van de straling is de dosis nul*

Dosis verlagen door:

2 x zo snel werken òf werkafstand verdubbelen?



https://nl.wikipedia.org/wiki/Omgekeerde_kwadratenwet

Dosimetrie

Uitwendige bestraling

Dosisberekening γ -straling:

kwadratenwet en **bronconstante**

Met de bronconstante (h) kan de activiteit omgerekend worden naar equivalente dosis (H):

$$H = h \times \frac{A \times t \times T}{r^2} \text{ of } H = h \times \frac{A \times T}{r^2}$$

h = bronconstante

A = activiteit in MBq

t = tijd in uren

T = transmissie

r = afstand in m

nuclide

^{22}Na

h ($\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)

0,33

nieuw

0,29

^{60}Co

0,36

0,31

$^{99\text{m}}\text{Tc}$

0,023

0,018

^{131}I

0,066

0,054

^{137}Cs

0,093

0,078

^{192}Ir

0,14

0,11

^{241}Am

0,017

0,005



Vuistregels uitwendige dosis

Vuistregel voor bronconstante γ -stralers: De bronconstante is globaal $h \approx 0,125 \times E_\gamma$ μSv per uur en per MBq op 1 meter van de bron.

Hier is E_γ de totale gamma-energie (in MeV) die door de bron wordt uitgezonden. Het equivalente dosistempo op grotere en kleinere afstanden volgt uit de kwadratenwet.

Vuistregel voor bronconstante β -stralers: De bronconstante $h \approx 10 \mu\text{Sv}$ per uur per MBq op 1 meter van de bron.

Het equivalente dosistempo op grotere en kleinere afstanden volgt uit de hiervoor gegeven kwadratenwet.

*Vuistregel voor **huidbesmetting met β -stralers:*** Het equivalente dosistempo op de huid $h \approx 2 \text{ mSv}$ per uur per **1 kBq per cm^2**

RI&E

Externe bestraling

$$H = h \times \frac{A \times t \times T}{r^2}$$

H = equivalente dosis (in μSv)

h = bronconstante (in $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ per MBq op 1 m)

A = activiteit (in MBq)

t = blootstellingstijd (in uur)

T = transmissie van de afscherming

r = afstand tot de bron (in m)

Eenheid bronconstante h: $\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$; voor β -straling is deze 10 ($\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)

Voor veel radionucliden geldt dat bij vergelijkbare activiteit en energie de equivalente dosis ten gevolge van bèta-straling ruwweg 100 keer zo groot is als die ten gevolge van γ -straling.



RI&E

Voorbeeld berekening huiddosis:

Een monteur pakt een ^{137}Cs bron met de vingers vast. De activiteit van de bron is 400 kBq en de bronconstante $h = 0,093 \mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Hij voert de handelingen die 10 seconden duren 2 x per dag uit, gedurende 200 dagen/jr.

Stel: Afstand bron-huid = 1 mm

Wat is de huiddosis op jaarbasis?

$$H = h \times \frac{A \times t \times T}{r^2}$$

H = equivalente dosis (in μSv)

h = bronconstante (in $\mu\text{Sv/uur}$ per MBq op 1 m)

A = activiteit (in MBq)

t = blootstellingstijd (in uur)

T = transmissie van de afscherming

r = afstand tot de bron (in m)



RI&E

Uitwerking:

Een monteur pakt een ^{137}Cs bron met de vingers vast. De activiteit van de bron is 400 kBq en de bronconstante $h = 0,093 \mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Hij voert de handelingen die 10 seconden duren 2 x per dag uit, gedurende 200 dagen/jr.

Afstand bron-huid = 1 mm

$$H = h \times \frac{A \times t \times T}{r^2}$$

$h = 0,093 \mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$

$A = 400 \text{ kBq} = 0,4 \text{ MBq}$

$t = \text{Op jaarbasis: } 10 \text{ sec} \times 2 \text{ (per dag)} \times 200 \text{ d/j} = 4000 \text{ sec/j} \approx 1,1 \text{ uur/j}$

$T = 1$

$r = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$

$$H_{\gamma, \text{huid}} \approx 0,093 \times \frac{0,4 \times 1,1 \times 1}{0,001^2} = 40\,900 \mu\text{Sv/j} = 41 \text{ mSv/j}$$

RI&E

$$H_{\gamma, \text{huid}} \approx 0,093 \times \frac{0,4 \times 1,1 \times 1}{0,001^2} = 40\,900 \mu\text{Sv/j} = 41 \text{ mSv/j}$$

Jaarlimiet huiddosis:

Niet- kansgebonden effecten,

ooglens
huid en extremiteiten

blootgestelde (A) werknemers

20 mSv
500 mSv



Niet- kansgebonden effecten,

ooglens
huid en extremiteiten

reguliere werknemers

15 mSv
50 mSv

En nu?

N.B. De β -dosis zou een factor 100 hoger zijn: 4,1 Sv/j



Voorbeeld 2:

Onderhoudsmonteur op 1 meter afstand van bron van 400 kBq
gedurende 1 jaar werktijd
Bron is niet afgeschermd

$h = 0,093 \mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 meter

Mag dit?

Uitwerking voorbeeld 2:

Onderhoudsmonteur op 1 meter afstand van bron van 400 kBq
gedurende 1 jaar werktijd

Bron is niet afgeschermd

$h = 0,093 \mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 meter

$t = 2000$ h per jaar

$T = 1$ (geen afscherming)

$A = 0,4$ MBq

$r = 1$ m

Invullen geeft:

$$E \approx 0,093 \times \frac{0,4 \times 2000 \times 1}{1^2} = 74 \mu\text{Sv/j} = 0,07 \text{ mSv/j}$$

Afscherming met lood

A bron = 74 MBq
Bron op 1 meter afstand
 $h = 0,36 \mu\text{Sv}/\text{uur}$ per MBq op 1 meter

Hoeveel lood is er nodig om een Co-60 bron af te schermen voor *niet-blootgestelde* werknemers?

1. Wat is de dosis zonder afscherming?
2. Wat is de limiet voor een niet-blootgestelde werknemer?
3. Is er loodafscherming nodig en zo ja hoeveel?
Zie figuur 5.1 (reader)

Afscherming met lood

A bron = 74 MBq
Bron op 1 meter afstand
h = 0,36 μ Sv/uur per MBq op 1 meter

$$H = h \times \frac{A \times t \times T}{r^2}$$

1. Dosis zonder afscherming:

Geen afscherming dus T=1

t = 2000 u/jaar

$$E \approx 0,36 \times \frac{74 \times 2000 \times 1}{1^2} = 53\,300 \mu\text{Sv} = 53 \text{ mSv}$$

2. Jaarlimiet niet-blootgestelde werknemer = 1 mSv

RI&E

Afscherming met lood

Hoeveel lood is er nodig om een Co-60 bron af te schermen voor *niet-blootgestelde* werknemers?

$$E = 0,36 \times \frac{74 \times 2000 \times 1}{1^2} = 53\,300 \mu\text{Sv} = 53 \text{ mSv}$$

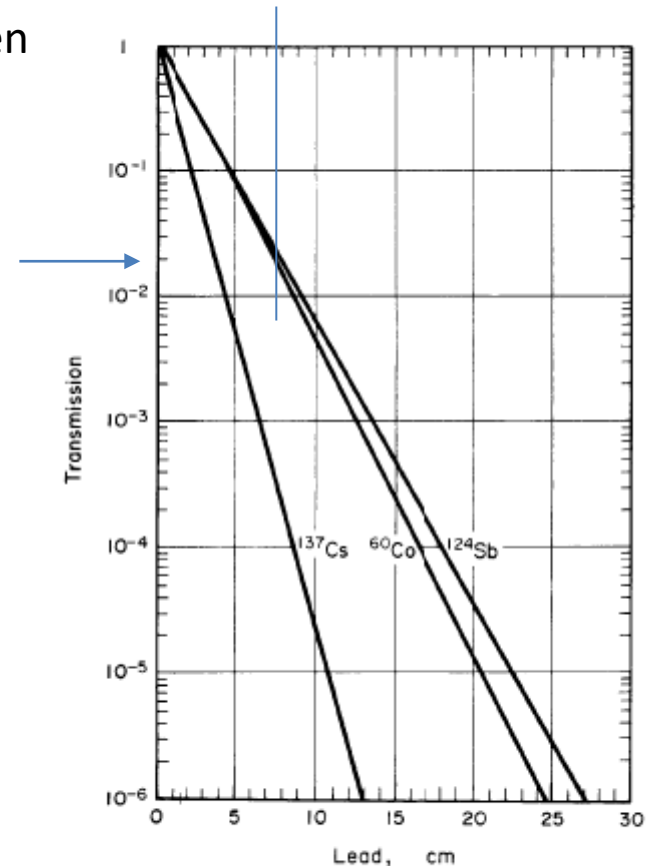
Jaarlimiet is 1 mSv

Dosis is 53 x te hoog -> afscherming nodig!

T mag niet groter zijn dan $1 \text{ mSv} / 53 \text{ mSv} = 0,02$.

Grafiek aflezen bij 2×10^{-2}

Minimaal 7,5 cm lood
(MAAR: denk om ALARA)



RI&E

Incident:

Co-bron (A = 74 MBq) per ongeluk niet teruggeplaatst in 'loodkasteel'.
Werknemer is een werkweek lang blootgesteld aan deze onafgeschermdde bron.

- Afstand tot de bron is 1 meter
- 40 uur per week

$$E = \frac{h \times A}{r^2} \rightarrow \frac{0,31 \times 74}{1^2} = 22,94 \mu\text{Sv/h} \times 40\text{h} = 917 \mu\text{Sv} \rightarrow = 0,92 \text{ mSv} \quad [* \text{ nieuwe waarde van h}]$$

En op 2 meter afstand?

Schatting mbv 'Kwadratenwet': Afstand 2 x zo groot, dosis 4 x zo laag

$$\text{Berekening mbv 'Kwadratenwet': } \left(\frac{1\text{m}}{2\text{m}}\right)^2 = 0,25 \rightarrow 0,25 \times 0,92 \text{ mSv} = 0,23 \text{ mSv}$$



RI&E

Incident: Ingestie bij lekke Am-241 bron;
veegproef zonder handschoenen

Veronderstel 10% opgenomen van 2 kBq afgeveegde activiteit

Bereken de effectieve volgdozis, de E(50)

$$E(50) = A \times e(50)_{\text{ingestie}}$$

A in Bq en e(50) in Sv/Bq

$$e(50)_{\text{ingestie}} \text{ Am-241} = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$$

$$A = 2 \text{ kBq} = 2000 \text{ Bq} \times 10\% \text{ (% opgenomen)}$$

$$E(50) = (2000 \text{ Bq} \times 10\%) \times (2,0 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq}) = 40 \text{ } \mu\text{Sv}$$



