

## **Uitwerkingen**

### **Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3**

**19 mei 2008**

## Vraagstuk 1 Afscherming versnellerruimte

### Vraag 1

De verstrooide energie wordt berekend met de Comptonverstrooiingsformule:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \Theta)} = \frac{6.0 \text{ MeV}}{1 + \frac{6.0 \text{ MeV}}{0.511 \text{ MeV}} (1 - \cos 160^\circ)} = 0.25 \text{ MeV}$$

### Vraag 2

De massieke verzwakkingsdoorsnede bij 250 keV volgt uit tabel 1:  $0.606 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ .

$$T = B \exp(-\mu/\rho \cdot \rho d) = 1 \cdot \exp(-0.606 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \cdot 11.34 \text{ g cm}^{-3} d \text{ cm}) = 1/250$$

Hieruit volgt  $d = 0.8 \text{ cm}$

### Vraag 3a

Aflezend van figuur 2 bij 20 MV levert een luchtkermatempoconstante van  $4 \text{ mGy/mAs}$  op 1 m. Bij een stroomsterkte van 2 mA en een afstand van 3 m wordt dit:

$$\dot{K}_{\text{lucht}} = 4 \text{ mGy mA}^{-1} \text{ s}^{-1} \times 2 \text{ mA} / 3^2 = 0.88 \text{ mGy/s}$$

### Vraag 3b

Uit figuur 3 volgt voor 15 cm lood een transmissie:  $6 \cdot 10^{-3}$

Uit figuur 4 volgt voor 130 cm beton een transmissie:  $1.5 \cdot 10^{-3}$

De transmissie door de samengestelde afscherming:  $6 \cdot 10^{-3} \times 1.5 \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 10^{-6}$

De afstand is nu 3,45 i.p.v. 3,00 meter

Hiermee wordt

$$\dot{K}_{\text{lucht}} = 0.88 \text{ mGy/s} \times 9 \cdot 10^{-6} \times (3/3.45)^2 = 6.0 \text{ nGy/s}$$

### Vraag 4

De Individuele Dosis (ID) bedraagt  $0.96 \text{ mSv}$  aan de buitenmuur.

Op de terreingrens is de ID derhalve  $0.96 \times (3.00 + 1.30 + 0.15)^2 / (3.00 + 1.30 + 0.15 + 1.00)^2 = 0.64 \text{ mSv}$

De MID = ID  $\cdot 0.25 = 0.16 \text{ mSv}$ .

De Actuele Individuele Dosis is gelijk aan de MID omdat op de terreingrens woningbouw gepland is. Dus AID =  $0.16 > 0.1 \text{ mSv}$  (weigeringsgrond voor vergunningen). Het instituut krijgt zonder aanvullende maatregelen geen vergunning.

### Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1	3
2	3
3a	4
3b	4
4	3

<b>Totaal</b>	<i>17</i>
---------------	-----------

## Vraagstuk 2 Doses in en om een tandartsenpraktijk

### Vraag 1

Per opname : 0,5  $\mu$ Sv op 1 meter  
 Afstand :  $\sqrt{(4^2 + 2,3^2)} = 4,61$  m (geldt voor beide; afstanden zijn gelijk)  
 $T_{\text{deur}}$  : 1  
 Aantal opnamen (N) : 2500 + 3200 = 5700

$H^*(10)$  in punt P:  $0,5 \mu\text{Sv/opname} \times 5700 \text{ /jaar} \times 1 \times (1/4,61)^2 = 134 \mu\text{Sv per jaar}$ .

Limiet is 1 mSv/jaar, dus waarde ter plaatse van P voldoet.

### Vraag 2

#### Noord:

Beh.k 1:  $0,5 \mu\text{Sv/opname} \times \text{N/jaar} \times T_{9\text{mm,glas}} \times (1/r)^2 = 0,5 \times 2500 \times 0,24 \times (1/2,1)^2 = 68 \mu\text{Sv/j}$

Beh.k 2:  $0,5 \mu\text{Sv/opname} \times \text{N/jaar} \times T_{200\text{mm,steen}} \times (1/r)^2 = 0,5 \times 3200 \times 7 \cdot 10^{-6} \times (1/2,1)^2 = 0,0025 \mu\text{Sv/j}$

Maximaal omgevingsdosisequivalent is de hoogste van beide: 68  $\mu$ Sv/j

#### Oost:

Beh.k 1:  $0,5 \mu\text{Sv/opname} \times \text{N/jaar} \times T_{48\text{mm,gips}} \times T_{9\text{mm,glas}} \times (1/r)^2 = 0,5 \times 2500 \times 0,08 \times 0,24 \times (1/7,2)^2 = 0,46 \mu\text{Sv/j}$

Beh.k 2:  $0,5 \mu\text{Sv/opname} \times \text{N/jaar} \times T_{9\text{mm,glas}} \times (1/r)^2 = 0,5 \times 3200 \times 0,24 \times (1/2,6)^2 = 57 \mu\text{Sv/j}$

In dit geval is het maximaal omgevingsdosisequivalent gelijk aan de som van beide: 57  $\mu$ Sv/j

### Vraag 3

ID = de waarde zoals berekend in vraag 2

MID = ID  $\times$  0,25

AID = ID  $\times$  ABC-factor  $\times$  0,25\*

ABC-factor: Niet doorgaande weg langs de bron, direct grenzend aan woongebied (spelende kinderen), is 0,1

\*niet van toepassing: stoep is geen binnenruimte, afschermingsfactor mag niet meegenomen worden in berekening

	ID (in $\mu$ Sv/j)	MID (in $\mu$ Sv/j)	AID (in $\mu$ Sv/j)
Noordzijde	68	17	6,8
Oostzijde	57	14	5,7

Omdat de maximale waarden worden gevraagd kan bij de beantwoording worden volstaan met de waarden aan de noordzijde van het gebouw. Secundair Niveau (SN) is 10  $\mu$ Sv/j. Alleen de AID voldoet aan het SN

**Vraag 4**

Effectieve dikte beton = 11 cm

$$\text{Bovenwoning: } 0,5 \mu\text{Sv/opname} \times \text{N/jaar} \times T_{110\text{mm,beton}} \times (1/r)^2 = 0,5 \times 3200 \times 6 \cdot 10^{-4} \times (1/2,2)^2 = 0,20 \mu\text{Sv/j}$$

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 2</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1	4
2	5
3	4
4	4
<b>Totaal</b>	<b>17</b>

**Vraagstuk 3      2006 – Twintig jaar later****Vraag 1**

$$A = \lambda N = \lambda \times (\text{massa} / \text{atoommassa}) \times N_{\text{avogadro}}$$

$$\lambda = 0,69315 / [1,277 \cdot 10^9 \text{ (j)} \times 365,2425 \text{ (d/j)} \times 24 \text{ (h/d)} \times 3600 \text{ (s/h)}] = 1,72 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$$

$$A = 1,72 \cdot 10^{-17} \text{ (s}^{-1}) \times [1 \text{ (g)} \times 0,0117 \cdot 10^{-2} / 39,1 \text{ (g mol}^{-1})] \times 6,022 \cdot 10^{23} \text{ (mol}^{-1})$$

$$= 31,0 \text{ Bq per gram kalium}$$

**Vraag 2**

$$R_{\text{bruto}} = 796 / 2200 = 0,362 \text{ tps}$$

$$\sigma_{\text{bruto}} = \sqrt{796 / 2200} = 0,013 \text{ tps}$$

$$R_{\text{nul}} = 1056 / 3300 = 0,320 \text{ tps}$$

$$\sigma_{\text{nul}} = \sqrt{1056 / 3300} = 0,010 \text{ tps}$$

$$R_{\text{netto}} = 0,362 - 0,320 = 0,042 \text{ tps}$$

$$\sigma_{\text{netto}} = \sqrt{(0,013)^2 + (0,010)^2} = 0,016 \text{ tps}$$

**Vraag 3a**

Extrapolatie van figuur 1 naar een energie van 1461 keV levert  $\varepsilon = 0,0017$ . In verband met de lastige extrapolatie uit deze figuur wordt  $\varepsilon = 0,0017 \pm 0,0003$  goedgekeurd.

**Vraag 3b**

$$R_{\text{netto}} = Ay\varepsilon$$

Volgens de gegevens is  $y = 0,107$ .

Een betrouwbaarheidsinterval van 95% correspondeert met  $2\sigma$ -grenzen.

De  $^{40}\text{K}$ -activiteit bedraagt dus:

$$\text{minimaal } (0,042 - 2 \times 0,016) / (0,107 \times 0,0017) = 0,010 / 0,000182 = 55 \text{ Bq}$$

$$\text{maximaal } (0,042 + 2 \times 0,016) / (0,107 \times 0,0017) = 0,074 / 0,000182 = 4,1 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

**Vraag 4**

Uit de resultaten van 1 en 3b volgt:

$$\text{minimaal } 54,9 \text{ (Bq)} / 31,0 \text{ (Bq/g)} = 1,8 \text{ g kalium}$$

$$\text{maximaal } 407 \text{ (Bq)} / 31,0 \text{ (Bq/g)} = 13 \text{ g kalium}$$

Het kaliumgehalte bedraagt dus:

$$\text{minimaal } 1,8 \text{ (g kalium)} / 390 \text{ (g droge stof)} = 0,0045 \text{ gram kalium per gram droge stof}$$

$$\text{maximaal } 13 \text{ (g kalium)} / 390 \text{ (g droge stof)} = 0,034 \text{ gram kalium per gram droge stof}$$

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 3</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1	3
2	4
3a	3
3b	4
4	3
<b>Totaal</b>	<b><i>17</i></b>

## Vraagstuk 4 Inwendige besmetting met $^{131}\text{I}$

### Vraag 1

$$A_{\max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} / e_{50}$$

$$p = -2; q = 2; r = 0$$

$$A_{\max} = 0,02 \times 10^{-2+2+0} / 1,1 \cdot 10^{-8} = 1,8 \text{ MBq}$$

De activiteit waarmee gewerkt werd (7,1 MBq) is groter dan  $A_{\max} = 1,8 \text{ MBq}$ . Er mag dus met deze activiteit mag niet open op tafel worden gewerkt. Op zijn minst is lokale afzuiging noodzakelijk, beter nog een zuurkast.

### Vraag 2

Opname van vluchtig jodium, dus  $\text{I}_2$ -damp (klasse SR-1);

We maken gebruik van gegevens voor schildkliertelling na een 0,25 dag:  $1,1 \cdot 10^{-1} \text{ Bq}$  per Bq inname

$$A_{\text{inname}} = 1,9 \cdot 10^3 \text{ Bq} / 1,1 \cdot 10^{-1} \text{ Bq Bq}^{-1} = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$E_{50} = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Bq} \times 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

### Vraag 3a

$$A(t) = \frac{\dot{P}}{\lambda_{\text{eff}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{eff}} t})$$

$$\dot{P} = \frac{(7,1 - 5,3) \text{ MBq}}{0,5 \text{ h}^{-1}} = 3,6 \text{ MBq} \cdot \text{h}^{-1}$$

$\lambda_{\text{eff}} = 8 \text{ h}^{-1}$  (incl. fysisch verval  $8,004 \text{ h}^{-1}$ ) omdat het verval verwaarloosd kan worden ten opzichte van het ventilatievoud.

$$A(0,5) = \frac{3,6 \text{ MBq} \cdot \text{h}^{-1}}{8 \text{ h}^{-1}} (1 - e^{-8 \times 0,5}) = 0,44 \text{ MBq}$$

Merk op dat dit bijna de verzadigingsactiviteit is  $\{(1 - e^{-8 \times 0,5}) = 0,98\}$ . Een berekening volgens  $A(0,5) = \dot{P} / \lambda$  (met argumentatie) kan daarom goed worden gerekend.

De activiteit is verdeeld over het ruimtevolumen van  $8 \times 4 \times 3 \text{ m} = 96 \text{ m}^3$

Concentratie:  $0,44 \text{ MBq} / 96 \text{ m}^3 = 4,6 \text{ kBq/m}^3$

### Vraag 3b

$$A_{\text{inname}} = 4,6 \text{ kBq/m}^3 \times 1,2 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,5 \text{ h} = 2,8 \text{ kBq}$$

$$E_{50} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Bq} \times 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$$



**Vraag 4**

De methode uit vraag 2 is het meest betrouwbaar omdat hier wordt uitgegaan van de activiteit die werkelijk in het lichaam is terechtgekomen.

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 4</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1	3
2	3
3a	5
3b	3
4	2
<b>Totaal</b>	<b>16</b>