

UITWERKINGEN

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboud Universiteit/UMC St.Radboud	RU/UMC
TU Eindhoven	TU/e

Examendatum: 12 mei 2014

Vraagstuk 1 Patiëntentoilet

Vraag 1.1

Bereken de activiteit van de gemorste urine die de schoonmaker moet opruimen onder de aanname dat bij iedere patiënt 0,1% van de urine op de vloer naast de toiletspot terecht komt.

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t} = 600 \text{ (MBq)} \times 0,4 \times 2^{-3/6} = 170 \text{ MBq}$$

Patiënt van 11 uur loost 170 MBq, morst 0,1% = 0,17 MBq

Gemorste activiteit om 17.00 uur (wanneer schoonmaker komt)=

$$0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-6/6} = 0,085 \text{ MBq}$$

Patiënt van 12 uur: $0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-5/6} = 0,095 \text{ MBq}$.

Patiënt van 13 uur: $0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-4/6} = 0,107 \text{ MBq}$

Patiënt van 14 uur: $0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-3/6} = 0,120 \text{ MBq}$

Patiënt van 15 uur: $0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-2/6} = 0,135 \text{ MBq}$

Patiënt van 16 uur: $0,17 \text{ [MBq]} \times 2^{-1/6} = 0,151 \text{ MBq}$

$$\Sigma \text{activiteiten} = 0,085 + 0,095 + 0,107 + 0,120 + 0,135 + 0,151 = 0,69 \text{ MBq}$$

Vraag 1.2

Bepaal of de jaarlijkse uitwendige dosis bij eenzelfde dagelijkse besmetting leidt tot overschrijding van de dosislimiet voor de schoonmaker.

totaal gemorst op de vloer 0,69 MBq per dag.

$$H = \dot{H} \times \Delta T = h \times \frac{A}{r^2} \times \Delta T = 0,023 \text{ [}\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2\text{]} \times \frac{0,69 \text{ [MBq]}}{0,5^2 \text{ [m}^2\text{]}} \times 10 \text{ [min]}$$

$$= 0,063 \text{ [}\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \times \frac{10}{60} \text{ [h]} = 0,011 \text{ }\mu\text{Sv per dag}$$

$$H = 0,011 \text{ [}\mu\text{Sv]} \times 5 \text{ [dagen/week]} \times 50 \text{ [weken]} = 2,7 \text{ }\mu\text{Sv per jaar}$$

Dosislimiet (= 1 mSv) wordt dus niet overschreden.

(N.B. Bij berekening met 1 MBq; $H = 3,8 \text{ }\mu\text{Sv}$)

Vraag 1.3

Laat door middel van een berekening zien of de aanname van 0,1% morsen reëel is.

5 tps in 1 ml geteld met een efficiency van 20%, dus 25 tps met een yield van 0,889 = 28,1 dps ofwel Bq in 1 ml

$$\text{Ook via formule } \varepsilon = \frac{R}{y \cdot A} \rightarrow A = \frac{R}{y \cdot \varepsilon} = \frac{5}{0,889 \cdot 0,2} = 28,1 \text{ Bq}$$

5 liter bevat $28,1 \text{ [Bq]} \times 5000 \text{ [ml]} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Bq} = 0,14 \text{ MBq}$ (afkomstig van een gereinigd oppervlak van 2 m^2).

Volgens de aanname (0,1% morsen op de vloer) wordt er maximaal 0,69 MBq gemorst (uitkomst vraag 1.1b).
De aanname is dus een overschatting, maar wel van dezelfde orde grootte.

Vraag 1.4

Wat is de jaarlijkse equivalente dosis op de huid onder de besmette handschoen, wanneer deze besmetting op telkens dezelfde plaats van de handschoenen plaatsvindt?

Gemiddeld 10 kBq op $10 \text{ cm}^2 = 1000 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$

$$H = 5 \cdot 10^{-11} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2] \times 15 [\text{min}] \times 60 [\text{sec/min}] \times 1000 [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}]$$

$$= 45 \mu\text{Sv per keer.}$$

$$= 45 [\mu\text{Sv} \cdot \text{wk}^{-1}] \times 50 [\text{wk}] = 2,3 \text{ mSv per jaar}$$

Vraag 1.5

Wat is de effectieve volg dosis op jaarbasis van deze schoonmaker als gevolg van de inwendige besmetting door het onhygiënisch werken?

Besmetting op één handschoen = 10 kBq
 $10 [\text{kBq}] \times 12 [\text{maanden}] = 120 \text{ kBq}$

$$E = 2,2 \cdot 10^{-11} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] \times 120 \cdot 10^3 [\text{Bq}] = 26,4 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} = 2,6 \mu\text{Sv}$$

Puntentelling

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	4
1.2	4
1.3	4
1.4	3
1.5	3
Totaal	18

Vraagstuk 2 Afscherming ^{60}Co -bron

Vraag 2.1

Bereken de benodigde dikte van de betonnen muur tussen S en A, rekening houdend met de primaire bundel en de lekstraling. Er hoeft geen rekening te worden gehouden met eventuele afscherming door het fantoom.

Eis op positie A: $E < 0,020 \text{ [mSv/wk]} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/wk}$

$D(\text{onafgeschermd}) = 100 \text{ [Gy/h]} \times 5 \text{ [h/wk]} \times 1^2/5^2 \text{ [m}^2/\text{m}^2] = 20 \text{ Gy/wk}$

$E(\text{onafgeschermd}) = 20 \text{ [Gy/wk]} \times 1 \text{ [Sv/Gy]} = 20 \text{ Sv/wk}$

Benodigde transmissie: $T = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ [Sv/wk]} / 20 \text{ [Sv/wk]} = 1,0 \cdot 10^{-6}$

Benodigde betondikte volgt uit ICRP-33 blz. 47: $d = 130 \text{ cm}$ (marge: 128-132 goed rekenen, 125 of minder volledig fout rekenen, 135 of meer volledig fout rekenen)

Dit is natuurlijk ook voldoende voor de lekstraling.

Vraag 2.2

Toon aan dat de benodigde dikte van de betonnen muur tussen S en B 63 cm is, wanneer alleen rekening wordt gehouden met de lekstraling.

Eis op positie B: $E < 0,020 \text{ [mSv/wk]} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/wk}$

$D(\text{lek}) = 20 \text{ [h/wk]} \times 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ [Gy/h]} \times 1^2/2^2 \text{ [m}^2/\text{m}^2] = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ [Gy/wk]}$

$E(\text{lek}) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ [Gy/wk]} \times 1 \text{ [Sv/Gy]} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv/wk}$

Benodigde transmissie: $T = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ [Sv/wk]} / 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ [Sv/wk]} = 2,0 \cdot 10^{-3}$

Benodigde betondikte volgt uit ICRP-33 blz. 47: $d = 63 \text{ cm}$. (marge: 60-65 goed rekenen, 55 of minder volledig fout rekenen, 70 of meer volledig fout rekenen)

Vraag 2.3

Bereken de bijdrage van de aan het fantoom verstrooide straling aan het dosistempo in Gy/week in elk van de punten B en B' als de muur tussen S en B (B') nog niet aanwezig is.

Stroostraling in punt B' d.w.z. voor een verstrooiing onder 90°

Uit ICRP blz 56 volgt voor deze hoek een verstrooiingspercentage van $0,002\% = 2 \cdot 10^{-5}$ per 100 cm^2 op 1 m.

$D(\text{strooi in B'}) = 100 \text{ [Gy/h]} \times 5 \text{ [h/wk]} \times 1 \text{ [m}^2] / 0,6^2 \text{ [m}^2] \times 400 \text{ [cm}^2] / 100 \text{ [cm}^2] \times 2 \cdot 10^{-5} \times 1/2^2 \text{ [m}^2/\text{m}^2] = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Gy/wk}$

Stroostraling in punt B d.w.z. verstrooiing onder: $180^\circ - 73,3^\circ = 107^\circ$

Uit ICRP-33 blz. 56 volgt voor deze hoek een verstrooiingspercentage van $0,006\% = 6 \cdot 10^{-5}$ per 100 cm^2 op 1 m.

De afstand van F tot B bedraagt 2,09 m.

$D(\text{strooi in B}) = 100 \text{ [Gy/h]} \times 5 \text{ [h/wk]} \times 1^2 \text{ [m}^2] / 0,6^2 \text{ [m}^2] \times 400 \text{ [cm}^2] / 100 \text{ cm}^2 \times 6 \cdot 10^{-5} \times 1^2 \text{ [m}^2] / 2,09^2 \text{ [m}^2] = 7,6 \cdot 10^{-2} \text{ Gy/wk}$

NB. De afstand FB is weliswaar groter dan de afstand FB' maar de achterwaartse verstrooiing is sterker dus is in B de bijdrage van de verstrooide straling aan het dosistempo groter dan in B'.

Vraag 2.4

Bepaal de benodigde muurdikte om in de punten B en B' te voldoen aan de eisen, wanneer alleen rekening wordt gehouden met de verstrooide straling.

Voor de verstrooide straling is het punt B bepalend.

Benodigde transmissie in B voor de verstrooide straling bedraagt:

$$T = 2 \cdot 10^{-5} / 7,6 \cdot 10^{-2} = 2,6 \cdot 10^{-4}$$

Benodigde betondikte (ICRP-33 blz. 60: 107° ligt tussen 90° en 124°): 46 cm (marge: 44-48 goed rekenen, 42 of minder volledig fout rekenen, 50 of meer volledig fout rekenen)

NB. De verstrooide straling valt onder een hoek van 73,3° op de wand. De betondikte nodig voor de stroostraling heeft eigenlijk slechts $46 \text{ cm} \times \sin 73,3^\circ = 44 \text{ cm}$ te zijn.

Puntentelling

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	4
2.2	4
2.3	4
2.4	4
Totaal	16

Vraagstuk 3 Lektest van een ^{207}Bi -bron

Vraag 3.1

Ga na of de bron volgens de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen geveegd moet worden. Ga uit van de activiteit van de bron op 12 mei 2014 en veronderstel dat de gegevens op het etiket correct zijn.

Volgens de MIRD-gegevens is $T_{1/2} = 31,55$ jaar.

Op 12 mei 1966 was de activiteit $100 \cdot 10^{-6} [\text{Ci}] \times 3,7 \cdot 10^{10} [\text{Bq} \cdot \text{Ci}^{-1}] = 3,7 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.

Sinds die tijd is 48 jaar verlopen.

De activiteit op 12 mei 2014 is $3,7 \cdot 10^6 [\text{Bq}] \times e^{-0,693 \times 48 / 31,55} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.

De activiteit bedraagt meer dan 1 MBq en dus moet er volgens de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen geveegd worden.

Vraag 3.2a

Bereken de afgeveegde activiteit op basis van de netto-inhoud van de fotopiek die met de kleinste relatieve fout gemeten is. Motiveer uw keuze van de fotopiek.

Aantal telpulsen $N = A_{\text{afgeveegd}} \times f_{\gamma} \times \varepsilon_{\gamma} \times t$

De relatieve fout in het aantal telpulsen is $\sigma_N / N = 1 / \sqrt{N}$.

De fotopiek bij 570 keV heeft het grootste aantal telpulsen en dus de kleinste relatieve meetfout.

teltijd $t = 10\,000 \text{ s}$

emissierendement $f_{\gamma} = 0,977$

telrendement $\varepsilon_{\gamma} = 0,0053$ (aflezen uit figuur 1)

activiteit $A_{\text{afgeveegd}} = N / (f_{\gamma} \times \varepsilon_{\gamma} \times t)$
 $A_{\text{afgeveegd}} = 1778 / (0,977 \times 0,0053 \times 10\,000 [\text{s}])$
 $A_{\text{afgeveegd}} = 34,3 \text{ Bq}$

Vraag 3.2b

Bereken de standaarddeviatie in de in vraag 2a berekende afgeveegde activiteit.

De standaarddeviatie in de berekende afgeveegde activiteit is:

$$\sigma_A = \sigma_N / (f_{\gamma} \times \varepsilon_{\gamma} \times t)$$

$$\sigma_A = \sqrt{1778} / (0,977 \times 0,0053 \times 10\,000 [\text{s}]) = 0,81 \text{ Bq}$$

Alternatief:

$$\sigma_A = (\sigma_N / N) \times A_{\text{afgeveegd}} = (1 / \sqrt{N}) \times A_{\text{afgeveegd}}$$

$$\sigma_A = (1 / \sqrt{1778}) \times 34,3 [\text{Bq}] = 0,81 \text{ Bq}$$

Vraag 3.3

Beschrijf hoe op grond van de vastgestelde besmetting moet worden gehandeld.

Omdat de bronhouder geveegd is, is de besmettingsnorm $185 \text{ [Bq]} / 10 = 18,5 \text{ Bq}$.

De afgeveegde activiteit is $34,3 \text{ Bq}$ dit corresponderend met:

$$34,3 \text{ [Bq]} \times 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ [Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] = 4,4 \cdot 10^{-8} \text{ Re}_{\text{ing}}$$

Omdat de afgeveegde activiteit meer is dan de besmettingnorm maar (veel) minder dan $2 \cdot 10^{-5} \text{ Re}_{\text{ing}}$ moet er opnieuw worden geveegd.

(N.B. Ook voor 100 Bq geldt dat dit meer is dan de besmettingsnorm en minder dan $2 \cdot 10^{-5} \text{ Re}_{\text{ing}}$)

Vraag 3.4

Bereken de effectieve dosis als gevolg van uitwendige bestraling tijdens de uitvoering van de lekttest; ga er hierbij van uit dat de lekttest 1 minuut duurt en dat de gemiddelde afstand tussen bron en lichaam gedurende deze handeling 50 cm bedraagt.

De effectieve dosis ten gevolge van uitwendige bestraling bedraagt:

$$E = h \times A_{\text{bron}} \times t / r^2$$

$$E = 0,2 \text{ [\mu Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1}] \times 1,3 \text{ [MBq]} \times (1 / 60) \text{ [h]} / (0,50 \text{ [m]})^2$$

$$E = 0,0173 \text{ [\mu Sv]} = 17 \text{ nSv}$$

Puntentelling

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	3
3.2a	3
3.2b	3
3.3	4
3.4	4
Totaal	17

Vraagstuk 4 Besmette duiven

Vraag 4.1

Bepaal de activiteit op het verendek van de duif op grond van de 1 uur durende huidbesmetting, waarvan wordt aangenomen dat de daarbij opgelopen huiddosis overeenkomt met de maximaal toegestane jaarlijkse equivalente huiddosis voor een lid van de bevolking.

De maximale toegestane equivalente huiddosis voor de bevolking is $50 \text{ mSv} \cdot \text{j}^{-1}$. Aangezien de genoemde besmetting wordt opgelopen in 1 uur en dit de enige bijdrage tot de huiddosis in dat jaar is, geldt de limiet voor de blootstelling in het ene uur, waarin het radioactieve cesium van het verendek op de handen aanwezig is.

Equivalente huiddosis: $50 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1} = 13,8 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1}$

Oppervlak bij huidbesmetting: 30 cm^2

$h_{\text{huid}} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$ (inclusief $^{137\text{m}}\text{Ba}$)

$$A = \frac{O \cdot H_{\text{huid}}}{h} = \frac{30 [\text{cm}^2] \cdot 13,8 \cdot 10^{-6} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1}]}{5 \cdot 10^{-10} [\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2]} = 0,83 \text{ MBq}$$

De bovenstaande activiteit komt overeen met 3 promille.

100% is dan:

$$A_{\text{duif}} = 0,83 \cdot 10^6 [\text{Bq}] / 0,003 = 0,277 \cdot 10^9 [\text{Bq}] = 0,28 \text{ GBq}$$

Vraag 4.2

Bepaal of deze duiven inderdaad, op basis van de activiteit in het verendek, bij sterfte afgevoerd moeten worden als radioactief afval.

Afval is radioactief als het zowel de vrijgavegrens voor de activiteitsconcentratie als de vrijgavegrens voor totale activiteit overschrijdt.

De vrijgavegrens voor totale activiteit is $A_v = 10 \text{ kBq}$. Boven de 10 kBq totale activiteit is de vrijstellingsgrens overschreden. De activiteit van de duif is $0,28 \text{ GBq}$, waardoor deze vrijstellingsgrens is overschreden. [N.B. ook bij de variant van 300 MBq is deze vrijstellingsgrens overschreden.]

De vrijgavegrens voor activiteitsconcentratie is $C_v = 10 \text{ Bq/g}$. Boven de 10 Bq/g activiteitsconcentratie is deze vrijstellingsgrens overschreden. Omgerekend naar de duif is dat $10 [\text{Bq/g}] \times 800 [\text{g}] = 8 \text{ kBq}$ minimale activiteit. Aangezien de activiteit van de duif $0,28 \text{ GBq}$ bedraagt wordt ook deze vrijstellingsgrens overschreden.

[N.B. ook bij de variant van 300 MBq is deze vrijstellingsgrens overschreden.]

De activiteit van de duif (0,28 GBq) overschrijdt beide grenzen: een dode duif is radioactief afval.

[N.B. ook bij de variant van 300 MBq zijn beide vrijstellingsgrenzen overschreden en is een dode duif radioactief afval.]

Vraag 4.3

Wat is door de eenmalige besmetting van de huid de bijdrage van de equivalente huiddosis aan de effectieve dosis?

Activiteit op begintijdstip volgens vraag 1 is 3 promille van 0,28 GBq verdeeld over 30 cm²: $0,003 \times 280 \text{ [MBq]} / 30 \text{ [cm}^2\text{]} = 28 \text{ kBq/cm}^2$. Bij lineair afslijten is de gemiddelde besmetting van de huid $28 / 2 = 14 \text{ kBq/cm}^2$.

$$\dot{H}_{\text{huid}} = \frac{h \times A}{O} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ [Sv} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{cm}^2\text{]} \times 14 \cdot 10^3 \text{ [Bq} \cdot \text{cm}^{-2}\text{]} = 7,0 \text{ } \mu\text{Sv/s}$$

$$H_{\text{huid}} = \dot{H}_{\text{huid}} \times t = 7,0 \text{ [}\mu\text{Sv/s]} \times 3600 \text{ [s/hr]} \times 24 \text{ [hr/d]} \times 5 \text{ [d]} = 3,0 \text{ Sv}$$

De equivalente dosis van de gedeeltelijk bestraalde huid kan worden gebruikt om de bijdrage aan de effectieve dosis te berekenen door te middelen over het totale orgaan (17000 cm²) en gebruik te maken van de weefselweegfactor 0,01:

$$(0,01 \times 3,0 \text{ [Sv]} \times 30 \text{ [cm}^2\text{]}) / 17000 \text{ [cm}^2\text{]} = 5,34 \times 10^{-5} \text{ [Sv]} = 53 \text{ } \mu\text{Sv}$$

(N.B. voor 300 MBq komt de berekening uit op 57 μSv)

Vraag 4.4

Bepaal het omgevingsdosisequivalent ten gevolge van de externe straling, indien de duif 10 seconden wordt vastgepakt.

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10,g) &= \frac{2A}{L_{\text{max}}} \frac{h(10)}{g} \arctan\left(\frac{L_{\text{max}}}{2g}\right) \\ \dot{H}^*(10,g) &= \frac{2 \times 0,28 \cdot 10^3 \text{ [MBq]}}{0,4 \text{ [m]}} \times \frac{0,093 \text{ [}\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2\text{]}}{0,3 \text{ [m]}} \times \arctan\left(\frac{0,4 \text{ [m]}}{2 \times 0,3 \text{ [m]}}\right) \\ \dot{H}^*(10,g) &= 255 \text{ } \mu\text{Sv/h} \end{aligned}$$

$$H^*(10) = \dot{H}^*(10) \times t = 255 \text{ [}\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \times \frac{10 \text{ [s]}}{60 \times 60 \text{ [s} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}} = 0,71 \text{ } \mu\text{Sv}$$

(N.B. voor 300 MBq wordt het eindresultaat 0,76 μSv)

Puntentelling

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	4
4.2	4
4.3	4
4.4	4
Totaal	16