

UITWERKINGEN

**Examen
Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van
coördinerend deskundige**

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

Examendatum: 9 december 2019

Vraagstuk 1: Incident met een bron

Vraag 1.1a [5 punten]

Bereken het omgevingsdosisequivalent ten gevolge van externe straling die de onderhoudsmedewerker heeft opgelopen tijdens het uitsnijden van de lasnaad. Neem hierbij aan dat de afstand van de werknemer tot de bron 0,5 m bedroeg en dat de handeling 45 minuten in beslag nam.

Zonder afscherming

$$H^*(10) = 0,072 \text{ (}\mu\text{Sv/h per MBq/m}^2\text{)} \cdot 1950 \cdot 10^3 \text{ (MBq)} \cdot (45/60) \text{ (h)} / (0,5 \text{ m})^2 \\ = 421 \cdot 10^3 \mu\text{Sv} = 421 \text{ mSv}$$

[formule, juiste tijd, afstand en antwoord 2 punten]

Halveringsdikte van ijzer voor 215 keV is $d_{1/2} = 6 \text{ mm}$ **[1 punt]**

Transmissie pijpleiding is $T = B (0,5)^{d/d_{1/2}} = 2 \cdot (0,5)^{7 \text{ mm} / 6 \text{ mm}} = 2 \cdot 0,5^{1,17} = 0,9$ **[1 punt]**

Met afschermende werking van pijpleiding

$$H^*(10) = 421 \cdot 10^3 \text{ (}\mu\text{Sv)} \cdot 0,9 = 375 \text{ mSv}$$
 [1 punt]

Vraag 1.1b [3 punten]

Maak een schatting van de effectieve dosis ten gevolge van de externe straling die de onderhoudsmedewerker heeft opgelopen.

Keuze geometrie AP **[1 punt]**

voor AP-geometrie en 215 keV is $E / H^*(10) = 0,85$ **[1 punt]**

$$E = 0,85 \cdot 375 \text{ (mSv)} = 319 \text{ mSv}$$
 [1 punt]

Vraag 1.2 [3 punten]

Bereken de maximale equivalente huiddosis met de aanname dat de activiteit 8 uur op de huid aanwezig is geweest.

$$H_{\text{huid}} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ (Sv/s per Bq/cm}^2\text{)} \cdot 8 \text{ (h)} \cdot 3600 \text{ (s/h)} \cdot 30 \cdot 10^3 \text{ (Bq/cm}^2\text{)} \\ = 0,035 \text{ Sv} = 35 \text{ mSv}$$
 [1 punt H_{huid} , 1 punt correctie tijd, 1 punt antwoord]

Vraag 1.3 [3 punten]

Bereken op basis van bovenstaande gegevens de maximaal mogelijke effectieve volg dosis ten gevolge van inwendige besmetting.

Ga uit van longzuiveringsklasse M (ongunstigste geval)

$$e(50)_w = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$$
 [1 punt]

Totale lichaamstelling na 24 h = 1 d is $5,7 \cdot 10^{-1} \text{ Bq per Bq inname}$ **[1 punt]**

$$E(50) = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ (Sv/Bq)} \cdot 15 \cdot 10^3 \text{ (Bq)} / 5,7 \cdot 10^{-1} \text{ (Bq per Bq inname)} \\ = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} = 45 \mu\text{Sv}$$
 [1 punt]

EMBARGO 9 december 2019

Vraag 1.4 [2 punten]

Noem twee stralingshygiënische tekortkomingen die naar aanleiding van dit incident zijn te constateren.

Als voorbeelden kunnen worden genoemd (zinvolle alternatieven worden ook goed gerekend): **[1 punt per goed argument]**

Let op: bij meer dan twee argumenten wordt er per fout gegeven argument 1 punt aftrek gegeven. **[-1 punt per fout argument]**

- De radiografiemedewerker droeg blijkbaar geen elektronische persoonsdosimeter met alarmfunctie, anders had hij bij het verwijderen van de foto's een alarm gehoord.
- De bron werd niet in de (of een) container geplaatst nadat de foto was gemaakt
- De besmetting in de hal werd op ondeugdelijke manier schoongemaakt
- Tijdens de opruimingsactie werden andere werkzaamheden niet stilgelegd
- De stralingsbeschermingsdeskundige werd niet onmiddellijk gewaarschuwd

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1a	5
1.1b	3
1.2	3
1.3	3
1.4	2
Totaal	16

Vraagstuk 2: Behandeling van botmetastasen

Vraag 2.1 [4 punten]

Hoeveel mL van het radiofarmacon moet aan de patiënt worden toegediend?

De patiënt moet $80 \text{ kg} \cdot 50 \text{ kBq/kg} = 4,0 \text{ MBq}$ toegediend krijgen. **[1 punt]**

Op de referentiedatum is de activiteitsconcentratie:

$$6,0 \text{ MBq}/6,0 \text{ mL} = 1,0 \text{ MBq/mL}$$

Het moment van toediening is drie dagen (72 uur) later. **[1 punt]**

Hierdoor moet een vervalcorrectie worden toegepast:

$$\text{Activiteitsconcentratie: } 1,0 \text{ MBq/mL} \cdot 2^{-3,0/11,4} = 0,83 \text{ MBq/mL} \quad \mathbf{[1 \text{ punt}]}$$

Er moet dus $4,0/0,83 = 4,8 \text{ mL}$ van het radiofarmacon worden toegediend.

[1 punt]

Vraag 2.2 [4 punten]

Concludeer op basis van een berekening of het optrekken van de spuit in de situatie zoals hierboven beschreven uitgevoerd mag worden volgens de 'Bijlage radionuclidenlaboratoria' uit de huidige vergunning.

Op het moment van binnenkomst in het ziekenhuis is de activiteit:

$$6,0 \text{ MBq} \cdot 2^{-2,75/11,4} = 5,1 \text{ MBq}.$$

$$A_{\max} = 0,02 \cdot 10^{p+q+r} \quad \text{en} \quad X_{\max} = \frac{A_{\max}}{e(50),inh}$$

Optrekken van een spuit $\rightarrow p = -1$

C-laboratorium $\rightarrow q = 2$

Maximale ventilatieparameter $\rightarrow r = 2$ **[3 parameters opzoeken = 1 punt]**

Invullen in formule:

$$A_{\max} = 0,02 \cdot 10^{-1+2+2} / 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ Bq} = 2,9 \cdot 10^6 \text{ Bq} = 2,9 \text{ MBq} \quad \mathbf{[2 \text{ punten}]}$$

$2,9 \text{ MBq} < 5,1 \text{ MBq}$, het mag volgens de huidige regels niet. **[1 punt]**

Wel of niet toepassen van vervalwet heeft geen invloed op de conclusie.

Vraag 2.3a [4 punten]

Bereken de effectieve volg dosis van de patiënt als gevolg van de injectie, zoals die zou volgen uit de gegevens van de fabrikant. Maak hierbij gebruik van de Bijlage 'Meest relevante dosimetrische bijdragen aan de dosis voor de patiënt na injectie van het radiofarmacon'.

De equivalente orgaandosis volgt uit de geabsorbeerde orgaandosis door vermenigvuldiging met de stralingsweefactor (alfadeeltjes: $w_R=20$) **[1 punt]**

De bijdrage aan de effectieve volg dosis volgt door vermenigvuldiging met de weefselweefactor w_T , waarbij in rekening moet worden genomen dat de weefselweefactor voor de dikke darm conform ICRP-30 moet worden opgesplitst in het onderste en bovenste deel van de dikke darm.

Orgaan	D _{orgaan}	H _{orgaan}	H _{orgaan, 4MBq}	w _T	Bijdrage aan e(50)	Bijdrage aan e(50) 4 MBq
	Gy/MBq	Sv/MBq	Sv		Sv/MBq	Sv
Botoppervlak	1,15	23	92	0,01	0,23	0,92
Dikke darm (onderste deel)	0,046	0,92	3,68	0,05	0,046	0,17
Dikke darm (bovenste deel)	0,032	0,64	2,56	0,07	0,045	0,18
Rode beenmerg	0,14	2,8	11,2	0,12	0,33	1,34
Sommatie		27,4	109,4		0,65	2,6

[Rekenen met $w_T = 1$ punt]

De $e(50)_{\text{injectie}}$ wordt nu verkregen door de afzonderlijke bijdragen te sommeren:
 $e(50)_{\text{injectie}} = 0,65 \text{ Sv/MBq} = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$. **[1 punt]**

De patiënt krijgt 4 MBq toegediend.

$E(50)_{\text{injectie}} = 4 \cdot 0,65 = 2,6 \text{ Sv}$. **[1 punt]**

Vraag 2.3b [2 punten]

Beargumenteer of deze effectieve volg dosis relevant is voor de patiënt.

De hier berekende effectieve volg dosis is van een orde grootte die voor deze patiënten niet relevant is. De behandeling wordt primair toegepast voor pijnverlichting en levensduurverlenging van enkele maanden. Stochastische effecten t.g.v. de behandeling zijn bij deze patiënten niet te verwachten.

NB. De hier gehanteerde rekenmethodiek is voor dit lage dosis gebied feitelijk niet correct, echter is dat pas bekend na de berekening.

Vraag 2.4 [5 punten]

Bereken het maximaal aantal patiënten dat het ziekenhuis kan behandelen met ^{223}Ra zonder de vrijstelling voor lozing op het riool te overschrijden.

De geloosde activiteit (W) wordt berekend volgens $W = A \cdot e_{(50),ing} \cdot CR_w$

$A = 0,15 \cdot 4 \text{ MBq} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Bq}$, [1 punt]

$e_{(50),ing} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$

$CR_w = 0,1$ (tabel 4, bijlage 2 Bbs). [1 punt]

$W = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Re}_{ing}$.

$W_{max} = 10 \text{ Re}_{ing}$, vrijgestelde lozing. (art. 10.3 Bbs) [1 punt]

Er wordt al 4 Re_{ing} geloosd. [1 punt]

$(10 - 4)/6 \cdot 10^{-3} = 1000$ patiënten om W_{max} te bereiken. [1 punt]

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	4
2.2	4
2.3a	4
2.3b	2
2.4	5
Totaal	19

Vraagstuk 3: Bestraling van bloembollen

Vraag 3.1 [6 punten]

Bepaal de benodigde afschermingsdikte van de betonnen vloer, zodat de maximale jaardosis in punt P (uit figuur 1) niet overschreden wordt.

Met formule 11.4 uit Bos et al.: $\beta = Pd^2/WUT$

Max effectieve dosis voor niet-blootgestelde werknemers = 0,3 mSv/j \rightarrow

$$\frac{0,3[mSv \cdot j^{-1}]}{1,35[Sv \cdot Gy^{-1}]} = 0,22 mGy \cdot j^{-1} \quad [1 \text{ punt}]$$

$$P = \frac{0,22[mGy \cdot j^{-1}]}{30[wk \cdot j^{-1}]} = 0,0074 mGy \cdot wk^{-1}$$

$$W = 10[mA] \cdot 5[d \cdot wk^{-1}] \cdot 3[h \cdot d^{-1}] \cdot 60[min \cdot h^{-1}] = 9000 mA \cdot min \cdot wk^{-1}$$

$$\beta = \frac{Pd^2}{WUT} = \frac{0,0074 \left[\frac{mGy}{wk} \right] \cdot 5^2 [m^2]}{9000 \left[mA \cdot \frac{min}{wk} \right] \cdot 1 \cdot 1} = 2,1 \cdot 10^{-5} mGy \cdot (mA \cdot min)^{-1} \text{ op 1 meter}$$

De kist houdt 42% van de straling tegen:

$$\beta = \frac{2,1 \cdot 10^{-5}}{(1-0,42)} = 3,5 \cdot 10^{-5} mGy \cdot (mA \cdot min)^{-1} \text{ op 1 meter} = \text{limiet} \quad [3 \text{ punten}]$$

Aflezten uit bijlage 1, de curve voor 250 kV geeft bij $1 \cdot 10^{-4}$: 45 cm beton, dan mist er nog $3,5 \cdot 10^{-1}$, dit kan bijvoorbeeld worden afgelezen tussen $1 \cdot 10^{-4}$ en $3,5 \cdot 10^{-4}$ dit is 5 cm. Er is in totaal 50 cm beton nodig. [2 punten]

Alternatief:

$$13,9[mGy \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1} \cdot m^2] \cdot \frac{1}{5^2[m^2]} \cdot 10[mA] \cdot 30[wk] \cdot 5[d \cdot wk^{-1}] \cdot 3[h \cdot d^{-1}] \cdot 60[min \cdot h^{-1}] \cdot 1,35[Sv \cdot Gy^{-1}] \cdot 1[U] \cdot 1[T] \cdot (1 - 0,42)[T_{kist}] \cdot T_{nodig} = 0,3 [mSv]$$

Bij het gebruik van deze alternatieve methode is het noemen van U en T geen vereiste.

$$T_{nodig} = \frac{0,3}{117544} = 2,55 \cdot 10^{-6}$$

\rightarrow Genormeerd aflezen bij $2,55 \cdot 10^{-6} \cdot 13,9 = 3,5 \cdot 10^{-5}$

Aflezten geeft: 50 cm beton, zie hierboven voor aflezen buiten grafiek. (2x weglaten van 13,9 geeft direct genormeerde waarde en is goed)

Vraag 3.2a [6 punten]

Bereken het jaarlijkse omgevingsdosisequivalent in punt Q (uit figuur 1), indien de deur geen afscherming biedt. Neem omwille van de eenvoud aan dat er in dit geval geen verzwakking en daarmee ook geen verstrooiing plaatsvindt in de kist met bloembollen. Er vindt dus alleen verstrooiing op de vloer plaats.

Aflezen van 0 cm afscherming bij 250 kV geeft:

13,9 mGy/mA·min op 1 meter. **[1 punt]**

Op 2,5 meter is dat $13,9 \cdot 1^2/2,5^2 = 2,22$ mGy/mA·min **[1 punt]**

$2,22$ [mGy/mA·min] · 10 [mA] · 60 [min/h · 5 h/d · 3d/wk · 30 wk/j] = $6 \cdot 10^5$ mGy/j op de betonvloer. **[1 punt]**

Aflezen van 90 graden strooistraling voor 250 kV geeft dat 0,018% van het dosistempo op het aangestraalde oppervlak in die richting wordt weerkaatst per 100 cm². **[1 punt]**

Aangestraalde oppervlak = $0,3 \text{ m}^2 \cdot 10^4 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 3000 \text{ cm}^2$ **[1 punt]**

$6 \cdot 10^5 \text{ mGy/j} \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot (3000 / 100) \cdot 1/3^2 = 360,3 \text{ mGy/jaar}$
 $\rightarrow 1,35 [\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}] \cdot 360,3 \text{ mGy/j} = 486 \text{ mSv/j}$ **[1 punt]**

Vraag 3.2b [3 punten]

Hoe dik is het afschermingsmateriaal dat moet worden aangebracht op de deur? Rond af op hele mm's.

Transmissie = $0,3/486,4 = 6,2 \cdot 10^{-4}$ ($6 \cdot 10^{-4}$ voor 0,5 Sv) **[1 punt]**

μ/ρ voor 150 keV $0,207 \text{ m}^2/\text{kg} (\cdot 10) = 2,07 \text{ cm}^2/\text{g}$ **[1 punt]**

$e^{-\mu d} = 6,2 \cdot 10^{-4} \rightarrow \ln(6,2 \cdot 10^{-4}) = -\mu d$

$d = \ln(6,2 \cdot 10^{-4}) / -(2,07 \cdot 11,34) = 0,31 \text{ cm} = 4 \text{ mm lood}$

[naar boven afgerond = **1 punt]**

Vraag 3.3 [2 punten]

Waarom mag build-up in de met lood afgeschermdde deur worden verwaarloosd?

Goede antwoorden zijn:

- Lood heeft een hoge Z, gecombineerd met een lage versnelspanning geeft dat het foto-effect dominant is. De fotonen worden eerder gestopt dan dat ze bijdragen aan de build-up.
- Voor de transmissie is gerekend met comptonfotonen van 150 keV, terwijl de bundel gemiddeld een lagere energie heeft en dit zorgt voor een overschatting en zou de Build-up verder verlagen richting 1.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	6
3.2a	6
3.2b	3
3.3	2
Totaal	17

Vraagstuk 4. Radioactief ziekenhuisafval

Vraag 4.1 [4 punten]

Bepaal de totale detectie-efficiëntie in cps/Bq van de plaatdetectoren. Ga er hierbij vanuit dat de bron zich exact in het midden van beide plaatdetectoren bevindt. De plaatdetectoren mogen als deel van een boloppervlak worden gezien.

$$\epsilon_{\text{tot}} = \epsilon_{\text{geo}} \cdot \epsilon_{\text{intr}} \cdot \text{yield} \quad [1 \text{ punt}]$$

$$\epsilon_{\text{geo}} = \frac{\text{oppervlakte van de detector}}{4\pi (r)^2} = \frac{2 \cdot (24,6 \text{ cm} \cdot 48,4 \text{ cm})}{4\pi (75 \text{ cm})^2} = 0,034 \quad [2 \text{ punt}]$$

$$\epsilon_{\text{tot}} = 0,034 \cdot 0,17[\text{count/foton}] \cdot 0,889 [\text{foton per desintegratie}] = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ cps/Bq.} \quad [1 \text{ punt}]$$

Vraag 4.2 [3 punten]

Bereken de minimaal detecteerbare activiteit (MDA) als de plaatdetectoren een signaal moeten afgeven bij overschrijding van de achtergrond met 99,9% (3σ) betrouwbaarheid.

De achtergrond is 3,55 cps

$$\text{MDA} = \frac{3 \sqrt{R_a}}{\epsilon_{\text{tot}}} = \frac{3 \sqrt{\frac{3,55 \text{ cps}}{0,2 \text{ s}}}}{5,1 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \text{ kBq}$$

Vraag 4.3 [5 punten]

Concludeer op basis van een berekening of deze pleister te meten is met de nieuwe plaatdetectoren als je rekening houdt met een betrouwbaarheidsinterval van 95% (2σ) op de meting met de GM-buis?

$$A = \frac{R_{\text{netto}}}{\epsilon} = \frac{\left(\frac{1240 \text{ counts}}{60 \text{ s/min}} - \frac{532 \text{ counts}}{300 \text{ s/min}} \right)}{0,0027 \text{ cps/Bq}} = 7,0 \text{ kBq} \quad [1 \text{ punt}]$$

95% betrouwbaarheid is 2σ

$$\sigma_{R_{\text{netto}}} = \sqrt{\frac{R_b}{t_b} + \frac{R_a}{t_a}} = \sqrt{\frac{1240 \text{ counts}}{60 \text{ s}} + \frac{532 \text{ counts}}{300 \text{ s}}} = 0,59 \text{ cps} \quad [2 \text{ punten}]$$

$$2\sigma = 2 \cdot 0,59 \text{ counts} = 1,18 \text{ counts}$$

$$A_{2\sigma} = \frac{\sigma_{R\text{netto}}}{\varepsilon} = \frac{1,18}{2,7 \cdot 10^{-3} \text{ cps/Bq}} = 437 \text{ Bq} = 0,4 \text{ kBq} \quad [1 \text{ punt}]$$

De pleister bevat $7 \text{ kBq} \pm 0,4 \text{ kBq} > \text{MDA} (2,5 \text{ kBq})$, dus meetbaar. [1 punt]

Vraag 4.4 [4 punten]

Doe enkele aannames en beargumenteer of het ziekenhuis mogelijk vrijgavegrenzen overschrijdt wanneer de in dit vraagstuk beschouwde pleisters bij het reguliere afval terecht zouden komen.

Aannames: een pleister weegt maximaal 1 gram en er verdwijnen jaarlijks 250 werkdagen · 8 pleisters per dag = 2000 pleisters bij het reguliere afval.

Aanname werkdagen [1] en pleisters per dag [1]. [2 punten]

De activiteitsconcentratie is bij een pleister van 1 gram ($7 \text{ kBq} / 1 \cdot 10^{-3} = 7 \text{ MBq/kg}$) en dus groter dan 100 kBq/kg [1 punt]

en de activiteit overschrijdt op jaarbasis de vrijgavegrens van 10 MBq ($10 \text{ MBq} / 7 \text{ kBq}$ is ongeveer 1400 pleisters) [1 punt]

NB. De grenswaarde van 10 MBq wordt alleen gehanteerd als vrijstellingsgrens, niet als vrijgavegrens. Dit is een foutje in het examen. De vrijgavegrens voor activiteit staat beschreven in de Verordening basisveiligheidsnormen en bedraagt slechts 30 kBq .

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	4
4.2	3
4.3	5
4.4	4
Totaal	16