

**Nascholingsmiddag
Stralingsbescherming voor
coördinerend
stralingsbeschermingsdeskundigen**

1 december 2022

Vraagstukken

In dit document treft u twee examenvraagstukken uit het examen voor coördinerend stralingsbeschermingsdeskundigen van 12 december 2021 aan. In het eerste vraagstuk staan aspecten van een RI&E in een dierenartspraktijk centraal. Het tweede vraagstuk gaat over de activering van koolstof bij protonenbestraling. U wordt geadviseerd eerst de onderdelen uit het boek 'Stralingshygiëne voor stralingsbeschermingsdeskundigen' te lezen die als cursusmateriaal worden verstrekt.

Vraagstuk 1: Risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) dierenkliniek [19 punten]

In een dierenkliniek worden röntgenfoto's van gezelschapsdieren gemaakt. U maakt een risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) voor de dierenarts.



Afbeelding 1.1: De dierenarts houdt het gezelschapsdier vast tijdens het maken van een röntgenfoto.

De dierenarts heeft altijd een loodschort aan en houdt het dier met loodhandschoenen vast, zie afbeelding 1.1. De loodhandschoenen zijn bedoeld om de handen te beschermen tegen strooistraling en hebben een verwaarloosbaar effect op de effectieve dosis. Het is niet de bedoeling dat de loodhandschoenen in de primaire bundel komen.

Gegevens:

- Maximaal ingestelde buisspanning volgens de protocollen: 75 kV
- Gemiddelde buislading (mAs-waarde) per foto: 8,0 mA·s
- Per jaar worden er maximaal 1000 röntgenfoto's gemaakt
- Het gemiddelde bestraalde oppervlak bedraagt 600 cm² op een afstand van 1,1 meter van het focus
- De gemiddelde afstand van de dierenarts tot het dier bedraagt 0,5 m
- De luchtkerma vrij in lucht (K_a) door strooistraling bedraagt 16,0 $\mu\text{Gy}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ op 0,5 meter afstand van het verstrooiend object
- Conversiecoëfficiënt voor de primaire bundel: $H_{\text{huid}}/K_a = 1,0 \text{ Sv/Gy}$
- Conversiecoëfficiënt voor de strooistraling: $E/K_a = 0,8 \text{ Sv/Gy}$
- De dikte van het loodschort bedraagt 0,25 mm
- De dikte van de loodhandschoen bedraagt 0,5 mm
- **Bijlage blz. 5:** Output van een röntgenbuis en transmissie van een brede bundel röntgenstraling door lood
- **Bijlage blz. 6:** Het beschermingsrendement van loodschorten

Bij radiologische toepassingen is het gebruikelijk om te rekenen met het dosisoppervlakteproduct (de DOP-waarde). Dit is de dosis van de primaire bundel vermenigvuldigd met de oppervlakte van de röntgenbundel.

Vraag 1.1 [5 punten]

Bereken het dosisoppervlakteproduct per foto [in Gy·cm²].

Bekijk **Bijlage blz. 6**.

Vraag 1.2a [2 punten]

Beargumenteer waarom alle curves bij toenemende looddikte naderen tot een waarde die aanzienlijk lager is dan 100%.

Indien u geen antwoord op vraag 1.1 heeft kunnen vinden, kunt u verder rekenen met 0,4 Gy·cm² per foto.

Vraag 1.2b [4 punten]

Bereken de effectieve jaardosis voor de dierenarts.

De dierenarts geeft aan dat het wel eens voorkomt dat hij met zijn handen (in loodhandschoenen) in de primaire bundel komt. Hij schat in dat dit voorkomt bij 1 op de 50 foto's die hij maakt.

De foto's worden met een belichtingsautomaat gemaakt. Wanneer de loodhandschoenen de primaire bundel verzwakt en de detector van de belichtingsautomaat (deels) afschermt, zal de automaat de belichtingstijd verlengen bij gelijke buisstroom. Ga er vanuit dat de belichtingstijd met een factor 1,25 wordt verlengd.

Vraag 1.3 [4 punten]

Bereken de equivalente huiddosis van de hand, gemiddeld over enig cm² bestraald huidoppervlak, als gevolg van de beschreven voorziene onbedoelde gebeurtenis.

De indeling van werknemers in een blootstellingscategorie moet altijd worden gedaan op basis van een berekening van de som van de reguliere en potentiële dosis, zonder toepassing van de afschermdende werking van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Aanvullende gegevens

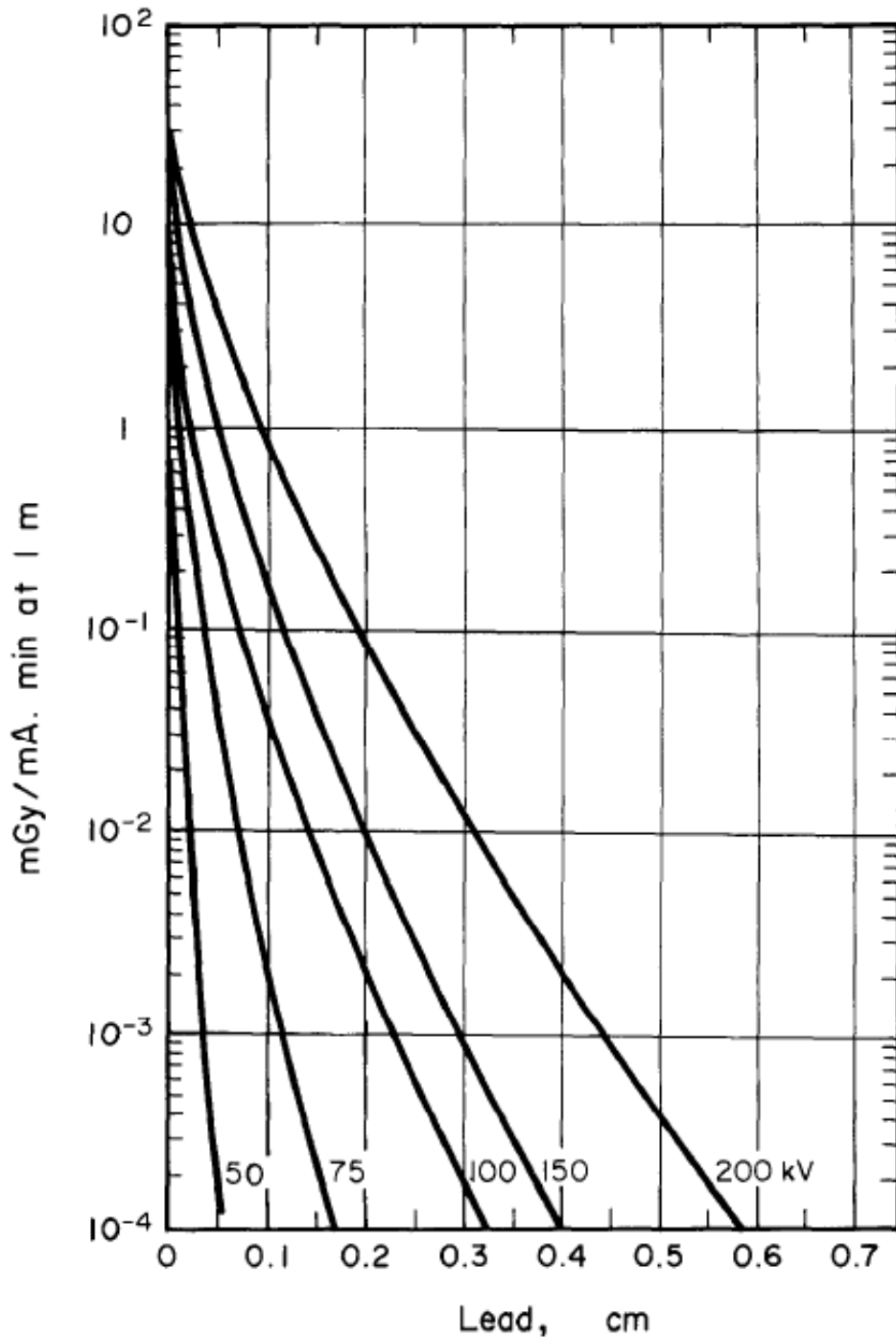
- Voor de onafgeschermdede equivalente huiddosis bij de beschreven voorziene onbedoelde gebeurtenis mag 0,7 mSv worden aangenomen
- Er hoeft in de rest van dit vraagstuk geen rekening met de equivalente ooglensdosis te worden gehouden

Vraag 1.4 [4 punten]

Concludeer op basis van voorgaande berekeningen, gegevens en relevante dosiscriteria in welke blootstellingscategorie de dierenarts moet worden ingedeeld.



Output van een röntgenbuis en transmissie van een brede bundel röntgenstraling door lood



Transmissie van brede bundel röntgenstralen door lood, dichtheid 11.350 kg m^{-3} .
Getalwaarden snijpunten met de y-as: 28,7 bij 200 kV, 18,3 bij 150 kV, 9,6 bij 100 kV, 6,1 bij 75 kV en 2,6 bij 50 kV. Ontleend aan ICRP-33.

Het beschermingsrendement van loodschorten

Het beschermingsrendement geeft de relatieve afname van de effectieve dosis weer bij het dragen van het loodschort ten opzichte van het niet dragen van een loodschort bij blootstelling aan strooistraling. Het beschermingsrendement is afhankelijk van de dikte van het lood en de buisspanning waarbij de röntgenstraling is opgewekt die de strooistraling veroorzaakt.

Beschermingsrendement

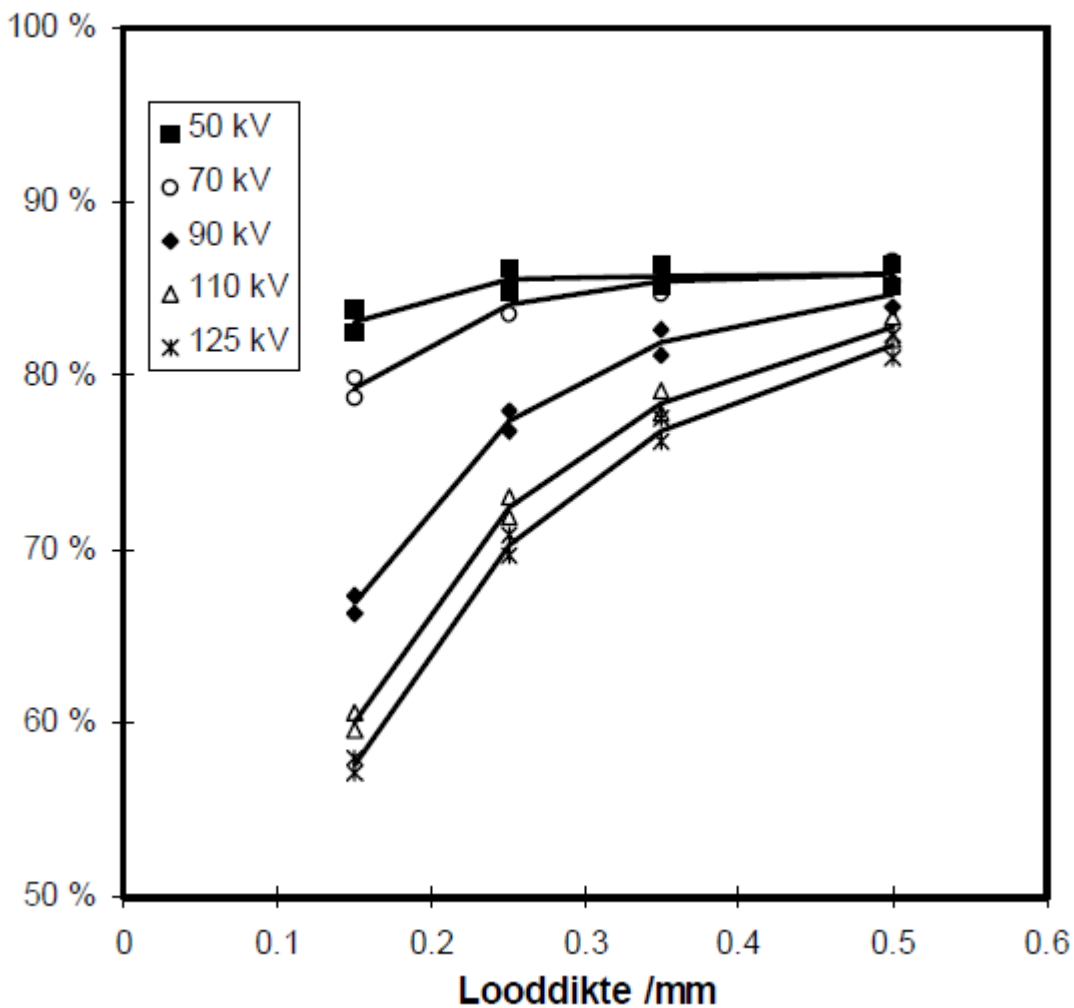
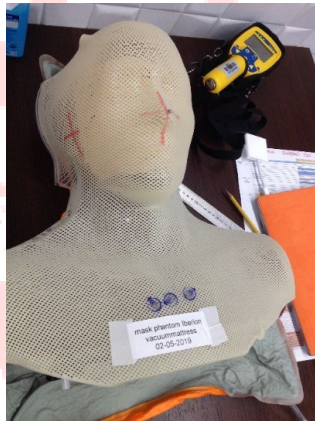


Figure 3 Beschermingsrendement voorzijde-loodschorten (80% AP, 20% LAT) en rondom-loodschorten (60% AP, 30% LAT en 10% PA)

Vraagstuk 2: Activering fixatiemaskers bij protonentherapie [12 punten]

In een centrum voor protonentherapie worden patiënten met tumoren in het hoofd-halsgebied bestraald met protonen. In dit vraagstuk wordt ervan uitgegaan dat de energie van deze protonen 150 MeV bedraagt.

Patiënten worden tijdens de bestraling gefixeerd met behulp van een gelaatsmasker. Door de bestraling met protonen wordt dit fixatiemasker enigszins geactiveerd. Het masker mag daarom pas na enige tijd de bestralingsruimte verlaten. U wordt gevraagd deze 'afkoeltijd' te berekenen.



Afbeelding 2.1: fixatiemasker (gelaatsmasker)

Gegevens:

- Het relevante isotoop in het materiaal waarvan het fixatiemasker is gemaakt is ^{12}C , het relevante activeringsproduct is ^{11}C
- De massadichtheid van ^{12}C in het materiaal bedraagt 1,0 g per cm^3
- De dikte van het masker is 1,0 mm
- De halveringstijd van ^{11}C bedraagt 20,39 min
- Het getal van Avogadro is $N_{\text{Avogadro}} = 6,022 \cdot 10^{23}$ per mol
- De kans dat een interactie van een proton met het fixatiemasker plaatsvindt is $1 - e^{-\sigma nd}$, waarbij σ de werkzame doorsnede, n het aantal atoomkernen per bestraalde volume-eenheid en d de dikte van het te passeren materiaal is
- Het totaal aantal geproduceerde protonen bij een bestraling bedraagt $1,8 \cdot 10^{13}$
- Van de geproduceerde protonen bereikt 0,50% het fixatiemasker
- U mag er in dit vraagstuk van uitgaan dat alle protonen loodrecht op het fixatiemasker invallen
- Tabel 2.1: werkzame doorsnedes voor de productie van ^{11}C bij enkele energieën (ontleend aan F. Horst et al, Phys. Med. Biol. 64 (2019) 205012)

Protonenergie (MeV)	σ (mbarn)
122	50
153	46
184	42

Tabel 2.1: Werkzame doorsnedes voor de productie van ^{11}C

Vraag 2.1 [2 punten]

Geef een mogelijke kernreactie die optreedt bij het ontstaan van ^{11}C tijdens de bestraling van het masker met protonen.

Vraag 2.2 [4 punten]

Toon met een berekening aan dat de kans dat een interactie van een proton met het fixatiemasker plaatsvindt (en waarbij een ^{11}C -kern ontstaat), gelijk is aan $2,3 \cdot 10^{-4}$.

Voor de volgende vraag mag het verval van ^{11}C tijdens de bestraling worden verwaarloosd.

Vraag 2.3 [3 punten]

Bereken de door een bestraling geïnduceerde ^{11}C -activiteit in het masker.

Aanvullende gegevens:

- De relevante vrijgavegrens voor de activiteitsconcentratie ^{11}C in vast materiaal bedraagt 1 Bq/g (Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)
- Het gewicht van het gelaatsmasker bedraagt 40 g
- Indien u het antwoord op vraag 2.3 schuldig bent gebleven mag u voor vraag 2.4 uitgaan van 10 kBq

Vraag 2.4 [3 punten]

Bereken het aantal uren dat nodig is om het masker te mogen vrijgeven.