

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and Consultancy Group
Technische Universiteit Delft
Boerhaave/IRS-stralingsbeschermingscursussen
Rijksuniversiteit Groningen
Radboud Universiteit/ UMC St.Radboud

NRG
TUD
BHC/IRS
RUG
RU/UMC

examendatum: 19 mei 2008
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

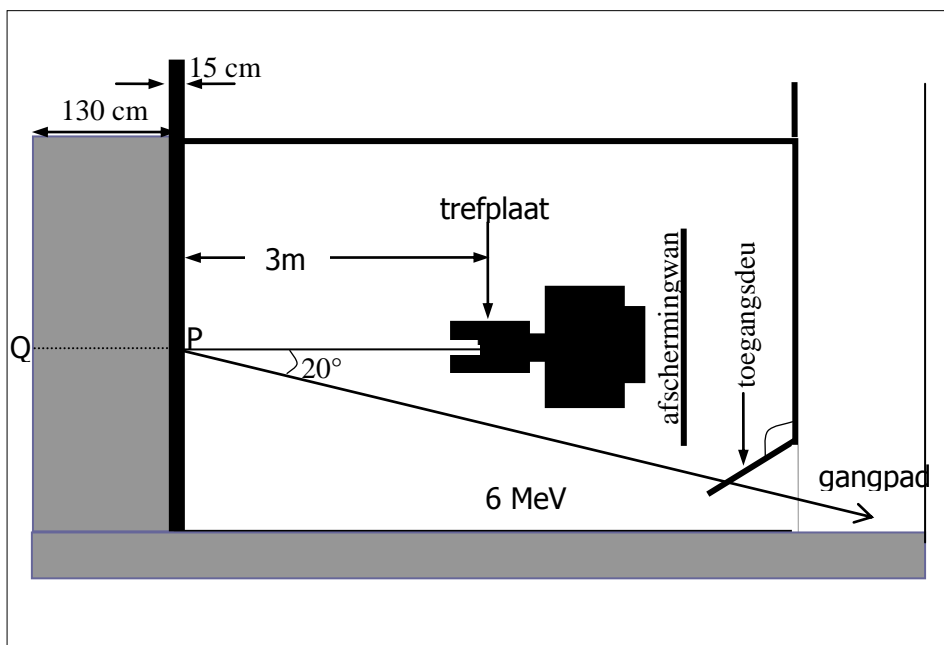
- Deze examenopgaven omvatten 21 genummerde pagina's. Wilt u dit controleren!**
- Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen en het grafiekenpapier dient u in te leveren.
- Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
- Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke **berekeningsmethode** en volgens welke **beredenering** u tot de oplossing komt.*
- Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
- Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - vraagstuk 1 : 17 punten
 - vraagstuk 2 : 17 punten
 - vraagstuk 3 : 17 punten
 - vraagstuk 4 : 16 punten

Vraagstuk 1 Afscherming versnellerruimte

Een onderzoeksinstituut beschikt over een 6 MV versneller. Hiermee worden elektronen versneld die vervolgens op een trefplaat remstralingsfotonen produceren. Met deze fotonenbundel wordt onderzoek verricht. Het is de enige bron van ioniserende straling in dit instituut. De versnellerruimte bevindt zich aan het eind van een gang op de begane grond. Om te voorkomen dat de verstrooide fotonenbundel op het gangpad een verhoogd stralingsniveau veroorzaakt is een afschermingswand van lood in de versnellerruimte aangebracht (zie Figuur 1). Uit metingen op het gangpad ter hoogte van de toegangsdeur blijkt dat deze wand niet voldoet d.w.z niet lang genoeg is.

Gegevens:

- Tabel 1. Massieke verzwakkings- en energieabsorptiedoorsneden in lood.
Soortelijke massa lood = $11,34 \text{ g/cm}^3$.
- Figuur 1. Plattegrond van de versnellerruimte en het gangpad met daarin aangegeven de (verstrooide) fotonenbundel.
- Figuur 2. Luchtkermatempoconstante op 1 m afstand van de trefplaat als functie van de versnelspanning.
- Figuur 3. Transmissie in lood van een fotonenbundel opgewekt met versnelde elektronen van 10, 20 en 30 MV.
- Figuur 4. Transmissie in beton van een fotonenbundel opgewekt met versnelde elektronen van 10, 20 en 30 MV.



Figuur 1. Plattegrond van de versnellerruimte en het gangpad.

Vraag 1

Bereken de maximale energie van de fotonen die onder de weergegeven hoek ($\theta = 160^\circ$) op het gangpad komen. Ga uit van een geheel geopende deur.

De deskundige geeft opdracht de afschermingswand te verlengen, zodanig dat het luchtkermaptempo van de verstrooide straling voldoende gereduceerd wordt. Om te voldoen aan de geldende limieten moet de verstrooide straling gereduceerd worden met een factor 250.

Vraag 2

Bereken de minimale dikte van de verlenging van de afschermingswand indien deze uit lood wordt opgebouwd. Verwaarloos bij de beantwoording van deze vraag de afschermende werking van de deur. Ga uit van een opbouwfactor $B = 1,0$ en neem aan dat de afschermingswand loodrecht staat op de verstrooide fotonenbundel.

Op een zeker moment besluit men de versneller te vervangen door een 20 MV versneller. Deze zal worden geplaatst op dezelfde plek als de vorige versneller. De nieuwe versneller zal standaard worden ingesteld op een stroomsterkte van 2 mA. De deskundige wordt gevraagd de stralingsintensiteit van de nieuwe versneller te bepalen.

Vraag 3a

Hoe groot zal het luchtkermaptempo zijn in de directe bundel aan de binnenkant van de muur ter plaatse van punt P?

Het deel van de muur waar de directe bundel op valt, is voorzien van lood met een dikte van 15 cm. De muur heeft daar een dikte van 130 cm beton.

Vraag 3b

Hoe groot zal het luchtkermaptempo zijn aan de buitenkant van de muur ter plaatse van punt Q? Neem aan dat de transmissie door de samengestelde (lood/beton) wand gelijk is aan het product van de transmissie door de loodwand en de transmissie door de betonwand.

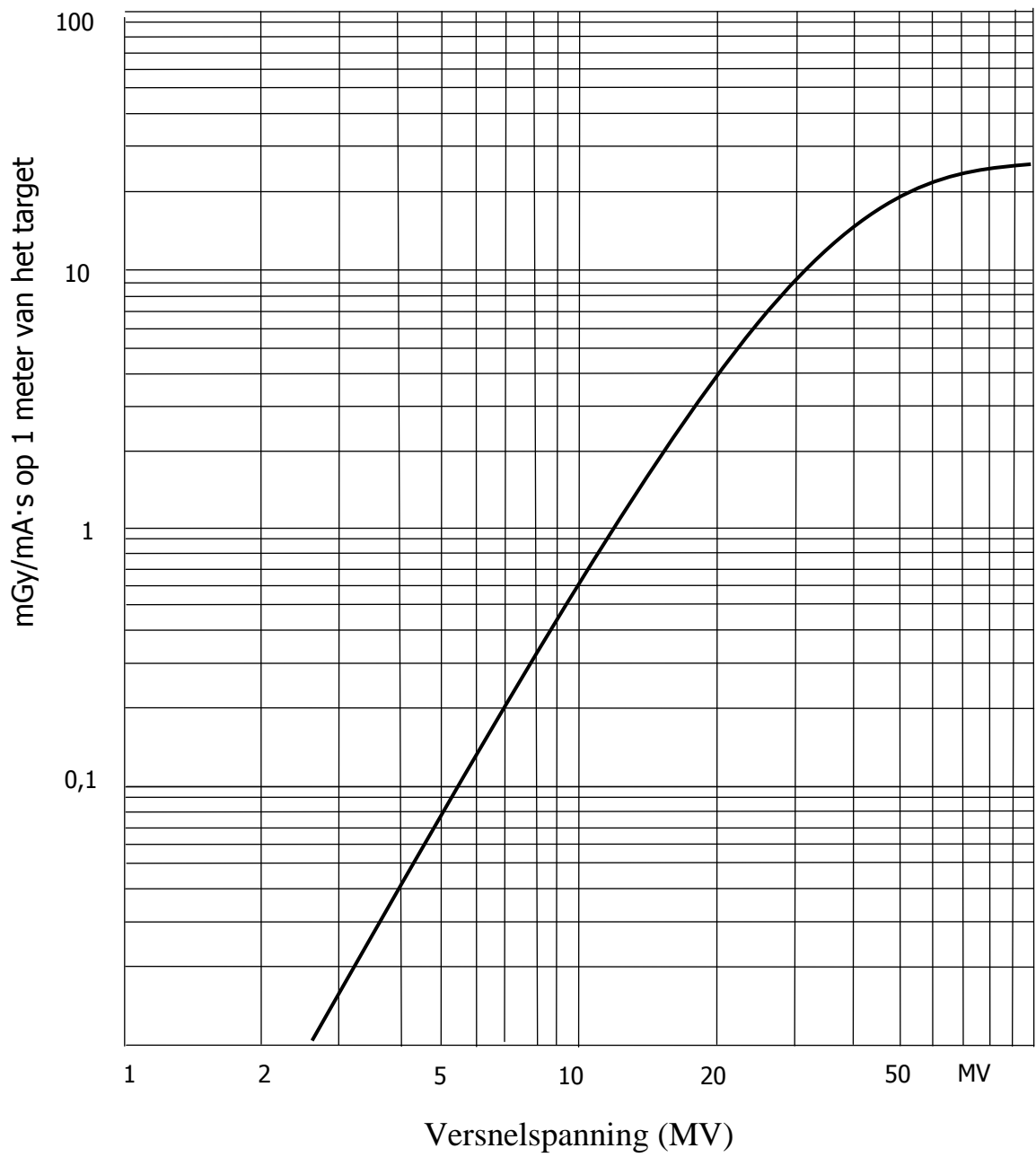
De deskundige heeft berekend dat de effectieve dosis aan de buitenmuur 0,96 mSv per jaar zal zijn. Nog voor de (wijziging van de) vergunning wordt aangevraagd blijkt dat de directie een deel van het terrein heeft verkocht. In het gemeentelijke bestemmingsplan is opgenomen dat aan de terreingrens een appartementencomplex zal verrijzen. De grens daarvan zal zich op 1 m van de muur van de versnellerruimte bevinden, in het verlengde van de directe bundel.

Vraag 4

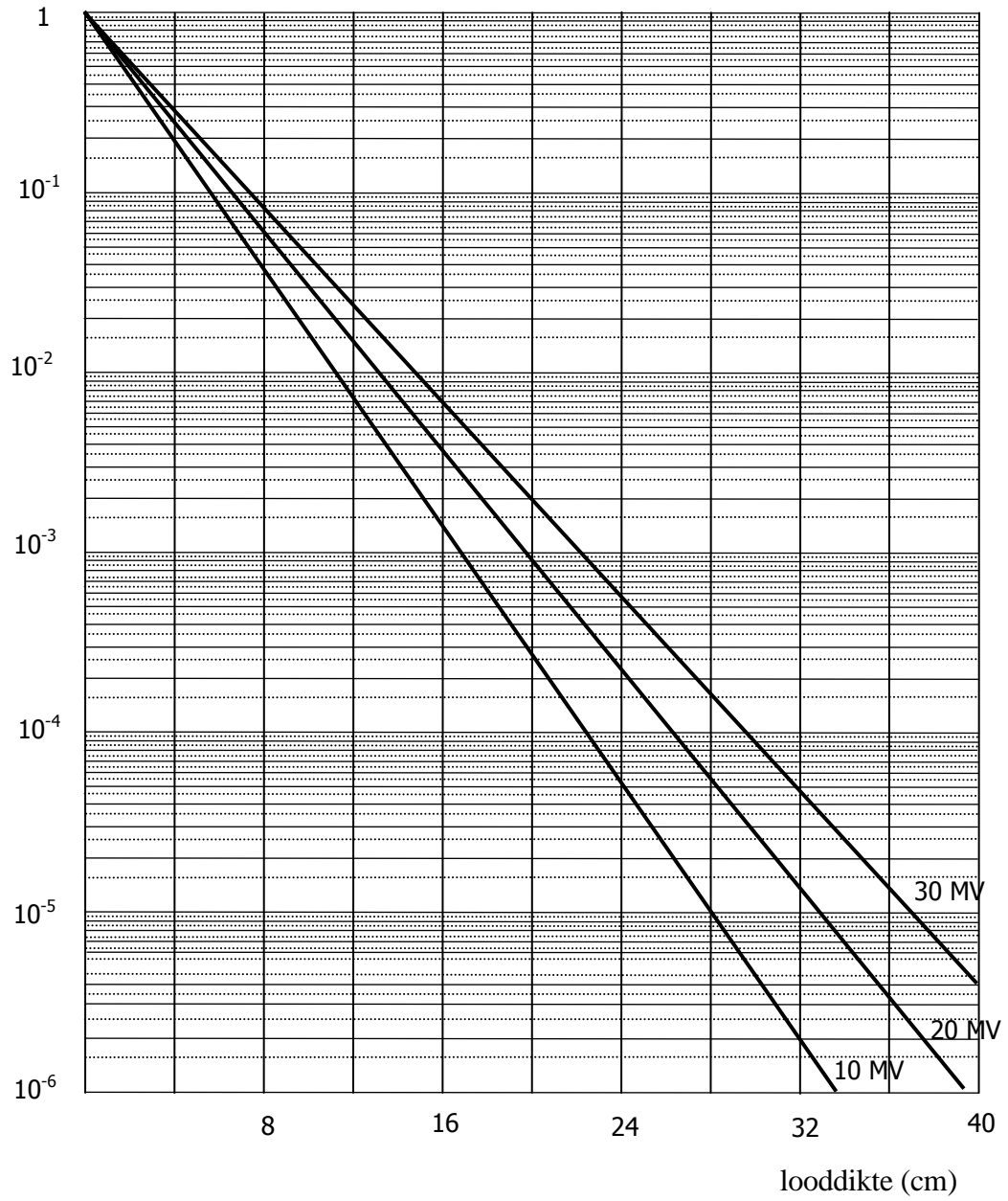
Geef met een berekening aan of de overheid zonder dat het instituut nadere maatregelen neemt, een nieuwe vergunning voor de versneller zal kunnen verlenen.

Tabel 1. Massieke verzwakkings- en energieabsorptiedoorsneden in lood (dichtheid = 11,34 g/cm³)

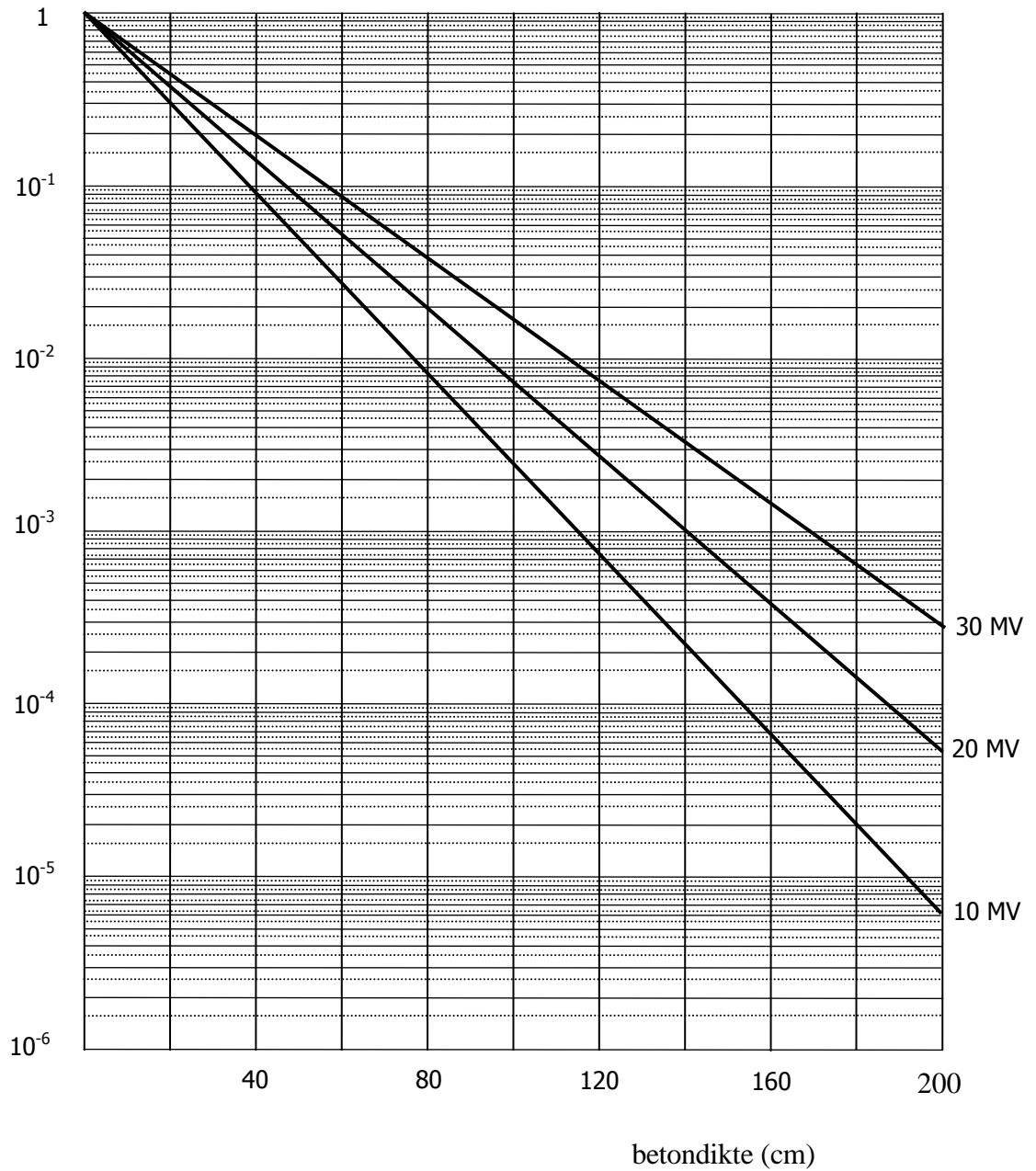
Energie keV	μ/ρ cm ² /g	μ_{en}/ρ cm ² /g
50	8,04	6,63
100	5,55	2,09
150	2,01	1,10
200	0,999	0,610
250	0,606	0,376
300	0,403	0,253
350	0,300	0,186
400	0,232	0,142
450	0,192	0,115
500	0,161	0,095



Figuur 2. Luchtkermatempoconstante op 1 m afstand van de trefplaat als functie van de versnelspanning.



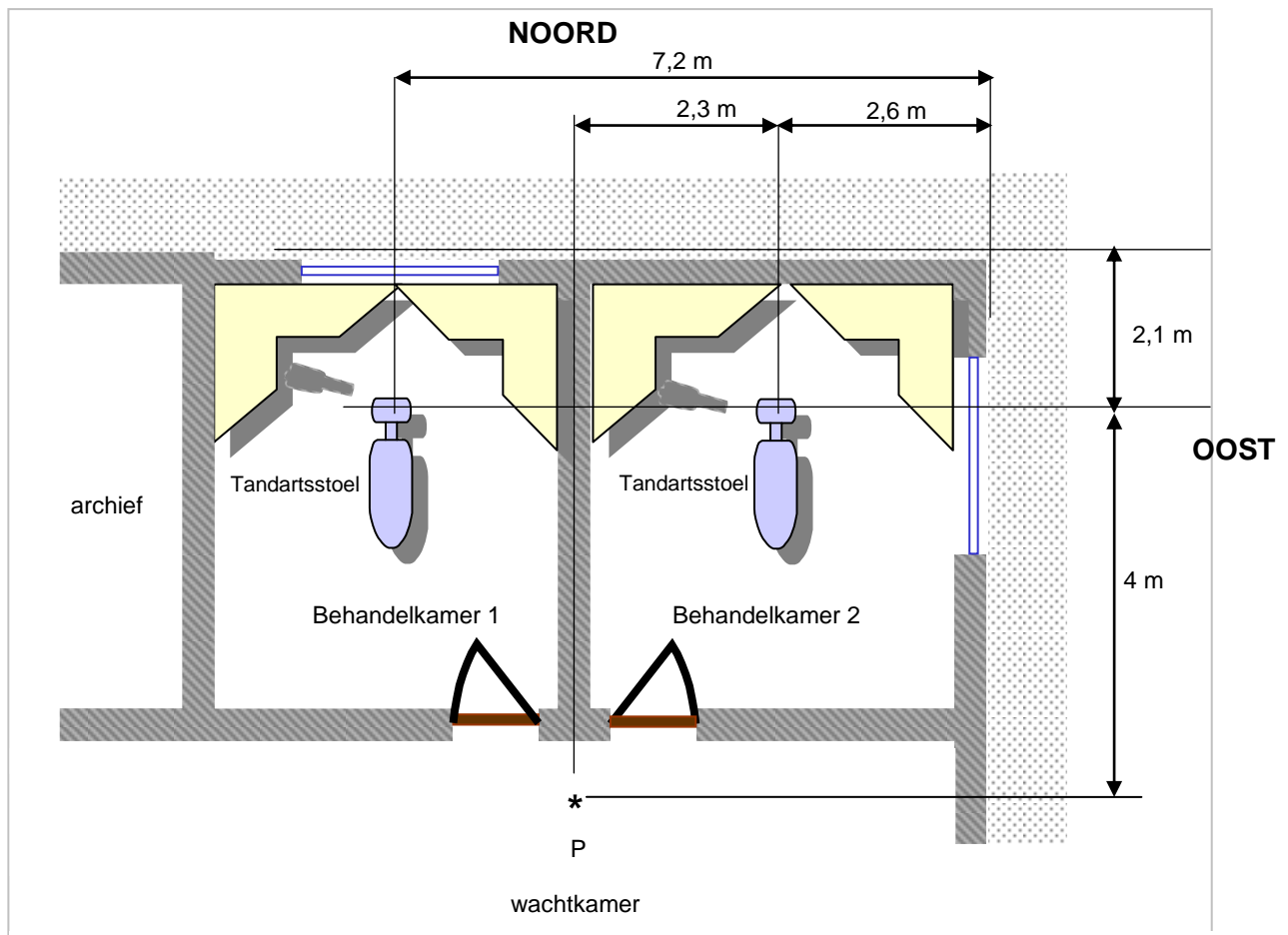
Figuur 3. Transmissie in lood van een fotonenbundel opgewekt met versnelde elektronen van 10, 20 en 30 MV.



Figuur 4. Transmissie in beton van een fotonenbundel opgewekt met versnelde elektronen van 10, 20 en 30 MV

Vraagstuk 2 Doses in en om een tandartsenpraktijk

Een tandartsenpraktijk bevindt zich in het hoekpand van een blok nieuwbouwwoningen aan een niet doorgaande weg. De praktijk heeft geen eigen grond rondom het pand. De buitenmuur grenst direct aan een stoep. Deze tandartsenpraktijk heeft twee behandelkamers met röntgenapparatuur. De toestellen hebben beide een maximale buisspanning van 70 kV. In verband met melding van nieuwe apparatuur worden er dosisberekeningen uitgevoerd. Voor toetsing aan dosislimieten mag het omgevingsdosisequivalent gelijkgesteld worden aan de effectieve dosis.



Figuur 1 Plattegrond van een deel van de tandartsenpraktijk

Gegevens:

Buiten muren	halfsteens met spouw, totaal 20 cm steen
Binnen muren	48 mm gipsplaat
Deuren	lichte boarddeuren; de afscherming ten gevolge van deze deuren mag verwaarloosd worden.
Beglazing	dubbelglas, dikte 5 mm-12 mm- 4 mm (waarbij de middelste waarde de spouw betreft, dus luchtledig is).
Aantal opnamen per jaar	behandelkamer 1 : 2500 behandelkamer 2 : 3200

Bijlagen:

- transmissiecurven van röntgenbundels van diverse buisspanningen voor glas, steen/beton en gips.
- selectie uit MR-AGIS deel II

Er zijn metingen verricht op 1 meter rondom het hoofd van de patiënt tijdens röntgenopnamen. Uit deze metingen blijkt dat het omgevingsdosisequivalent in alle richtingen varieert van 0,1 tot 0,5 μSv per opname. Veiligheidshalve wordt aangenomen dat het omgevingsdosisequivalent ten gevolge van 1 opname, rondom de patiënt, op 1 meter afstand 0,5 μSv bedraagt.

Punt P (zie plattegrond) is het ongunstigste punt voor patiënten in de wachtkamer. Op dit punt geldt een jaarlimiet voor de effectieve dosis van 1 mSv.

Vraag 1

Toon met een berekening van het omgevingsdosisequivalent in punt P aan dat deze jaarlimiet niet wordt overschreden.

Vraag 2

Bereken het maximale omgevingsdosisequivalent aan de terreingrens voor de noord- en de oostzijde van het gebouw. Houd voor de noordzijde van het gebouw alleen rekening met het dichtstbijzijnde röntgentoestel.

Vraag 3

Bereken, uitgaande van uw antwoorden bij vraag 2, voor de terreingrens de maximale waarden van de Individuele Dosis (ID), de Multifunctionele Individuele Dosis (MID) en de Actuele Individuele Dosis (AID). Welke van de hierboven vermelde dosiswaarde(n) voldoen aan het secundair niveau?

De nieuwbouwwoning van de eigenaar van de praktijk bevindt zich boven de behandelkamers. In een nieuwbouwwoning zijn de tussenvloeren doorgaans van kanaalplatenbeton, zo ook in deze situatie. De totale dikte van de vloer is 30 cm. Voor afschermingsberekeningen moet echter worden uitgegaan van een effectieve dikte van deze vloer van 11 cm. De hoogte vanaf het hoofd van de patiënt tot aan het vloerniveau op de 1^e verdieping bedraagt 2,2 meter.

Vraag 4

Bereken het maximale omgevingsdosisequivalent op jaarbasis recht boven behandelkamer 2, ten gevolge van handelingen in behandelkamer 2.

BIJLAGE 1: Selectie uit: MR-AGIS (april 2003) bijlage.deel II**6.5 Berekening van MID (multifunctionele individuele dosis) en AID (actuele individuele dosis)****6.5.1 Algemeen**

(.....) Voor zowel MID als AID bestaat de berekening uit een som van (gecorrigeerde) individuele dosisbijdragen. Voor AID worden echter andere of additionele correctiefactoren toegepast dan voor MID.

6.5.2 Berekening van de multifunctionele dosis MID**Multifunctionele externe blootstellingdosis en afschermingfactoren**

Bij de berekening van de externe blootstellingdosis voor potentiële bewoners van een gebied wordt continue blootstelling verondersteld en afscherming door de woning zelf (zie § 6.3). De waarde die voor onafgeschermd verblijf in de buitenlucht geldt (ID_{ext} , zie § 6.4.2), wordt vermenigvuldigd met een factor die rekening houdt met de afscherming die door de woning zelf wordt geboden. Op basis van een globale schatting van de afscherming door een standaardwoning voor gammastraling van verschillende energieën en van verschillende soorten bronnen is de waarde van de afschermingfactor gesteld op 0,25:

$$MID_{ext} = ID_{ext} \cdot 0,25 \text{ [Sv/a]}$$

waarin:

MID_{ext} = jaarlijkse externe blootstellingdosis bij bewoning, of multifunctionele externe blootstellingdosis [Sv/a]

ID_{ext} = jaarlijkse externe blootstellingdosis voor onafgeschermd verblijf [Sv/a] (zie formule 6.1)

De kritieke groep voor de berekening van MID_{ext} is de groep die woont op de locatie waar het effectieve dosistempo het hoogst is.

6.5.3 Berekening van de actuele dosis AID**De berekening van de actuele dosis AID is alleen nodig voor de emissiesoorten waarvoor MID het Secundair Niveau overschrijdt.**

Indien er sprake is van bewoning of, gezien het bestemmingsplan, bewoning mogelijk is, is AID gelijk aan MID.

Indien er geen sprake is van bewoning (en deze volgens het bestemmingsplan ook niet mogelijk is), dan worden bij de berekening van AID andere of additionele correctiefactoren toegepast ten opzichte van MID. AID zal in dit geval kleiner zijn dan MID.

De berekening van AID geschiedt analoog aan die van MID (.....).

Actuele Blootstelling Correctiefactoren (ABC-factoren)

De hierboven genoemde doses zijn direct evenredig aan de blootstellingduur. Als er ter plaatse niet gewoond wordt, zal de feitelijke blootstellingduur korter zijn dan bij bewoning. Om daarmee rekening te houden wordt een correctiefactor toegepast, de Actuele Blootstelling Correctiefactor (ABC factor) genoemd.

In tabel 6.2 worden de ABC factoren gegeven voor verschillende bestemmingen. Voor iedere beschouwde situatie dient de aangegeven waarde te worden gebruikt. Indien het feitelijk gebruik niet onder de in tabel 6.2 genoemde categorieën valt, dient een toepasselijke keuze te worden gemaakt uit de in de tabel vermelde waarden.

tabel 6.2

ABC factoren*)

Actuele Blootstelling Correctiefactoren

Vervoer over de weg	0,001 ⁰⁾
Watergebied bestemd voor (doorgaande) beroepsscheepvaart	0,01 ¹⁾
Aanleghavens voor passanten	0,03 ²⁾
Jachthavens en vaste ligplaatsen voor beroepsvaart en Volkstuinen	0,1 ³⁾
Kampeertreinen	0,2 ⁴⁾
Dagrecreatiegebied (park, bos, duin, water, strand), dus geen kampeertreinen	0,03 ⁵⁾
Parkeertrein	0,01 ⁶⁾
Snelweg, andere doorgaande (stads)wegen, niet doorgaande wegen niet direct grenzend aan woongebied en wegen binnen industrieterreinen	0,01 ⁷⁾
Niet doorgaande weg langs de bron, direct grenzend aan woongebied (spelende kinderen), Taxistandplaats	0,1 ⁸⁾
Weiland of akkerbouw	0,01 ⁹⁾
Belendende industrieën, instellingen, kantoorgebouwen etc, zonder bewoning	0,2 ^{10) 11)}

*) Indien de bron in het algemeen niet gedurende 24 uur per dag in bedrijf is, moet daarvoor eventueel gecorrigeerd worden; indien de bron een bepaalde blootstelling per jaar geeft, maar alleen gedurende werktijden, kan geen correctie voor (werk)verblijftijd worden gehanteerd

0) Onder aanname dat de normaal geldende vervoersbepalingen blijven gelden.

1) Een bemanning van een boot zal bij *langs varen* nooit langer dan in totaal 3,6 dagen per jaar ter hoogte van een bron verblijven. Bij *aanleggen* bij een terrein geldt het schip als onderdeel van het terrein en gelden dus de arbeidsnormen voor dat terrein, behalve indien het een woonboot betreft.

2) De verblijftijden bij één bron zullen doorgaans niet meer dan 12 dagen per jaar zijn (1/30e jaar)

3) In jachthavens etc vertoeft men in het algemeen niet meer dan in totaal ca 1 maand per jaar. In volkstuinen verblijft men in het algemeen alleen overdag.

4) Op kampeertreinen verblijven velen gedurende de gehele zomerperiode.

5) Zeilen, zwemmen, vissen en zonnen zal bij dagrecreatie niet langer dan 8 uur per dag gedurende 30 dagen per jaar plaatsvinden precies bij een bepaalde bron of inrichting.

6) Een persoon zal bij normaal gebruik niet langer dan in totaal ca 15 min per dag op een parkeertrein vertoeven.

7) Zelfs op een snelweg waar regelmatig files staan - bijvoorbeeld voor de Coentunnel - zal een passant gemiddeld over een jaar nooit meer dan 15 min per dag precies voor die ene bron of inrichting staan. Dit geldt ook voor doorgaande (stads)wegen.

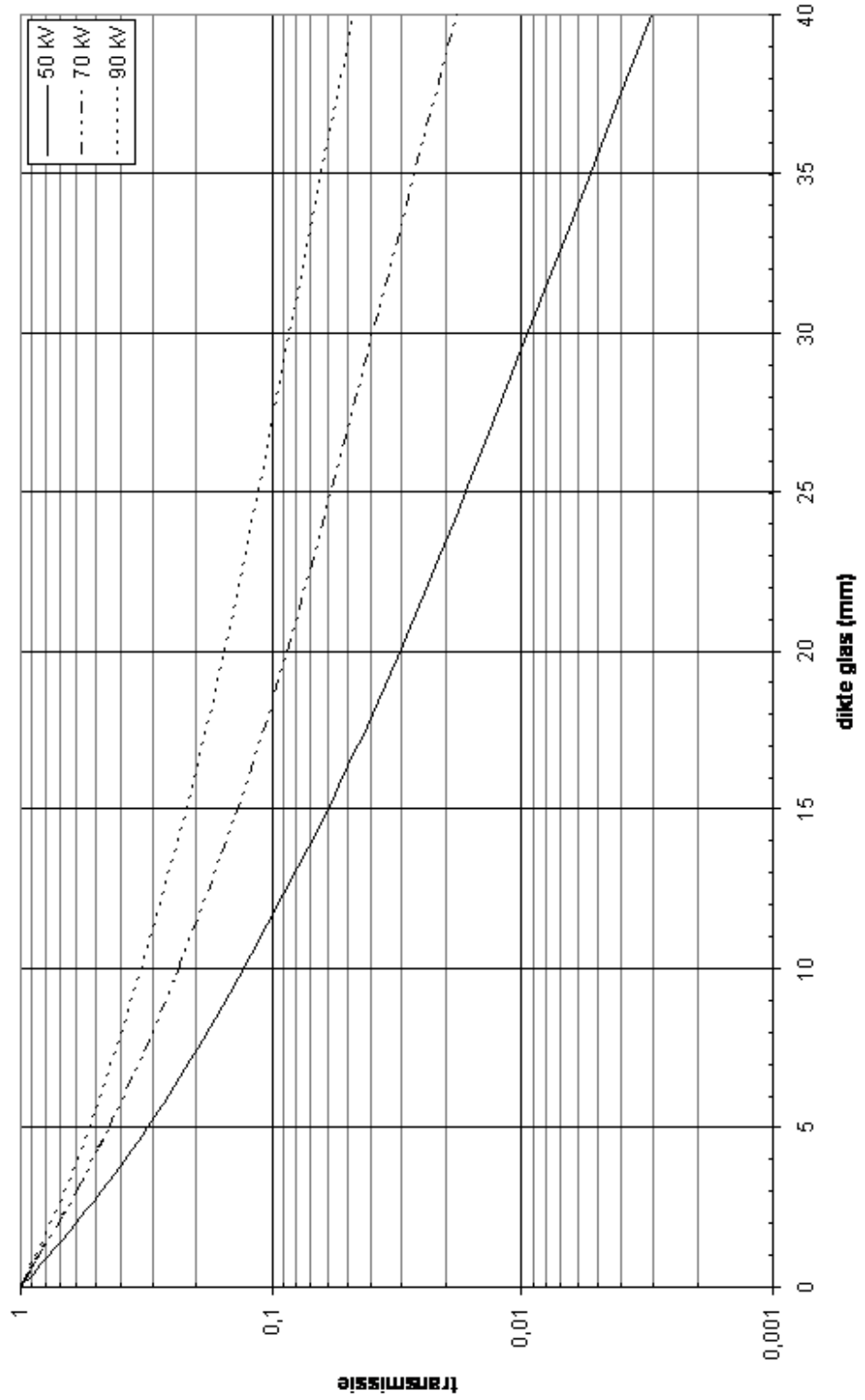
8) Op een stoep bij een woongebied kan iemand zich theoretisch gedurende enige tijd per dag bevinden, spelende kinderen bijvoorbeeld. Deze kunnen in principe het hele jaar door buiten spelen, niet alleen op dagen met aangenaam weer, wat in het algemeen wel geldt voor recreatiegebieden.

9) Een boer zal zich nooit de gehele werktijd vlak bij de terreingrens bevinden, maar zich ophouden in het gehele gebied. Bovendien werkt hij gemiddeld maar 8 uur per dag buiten.

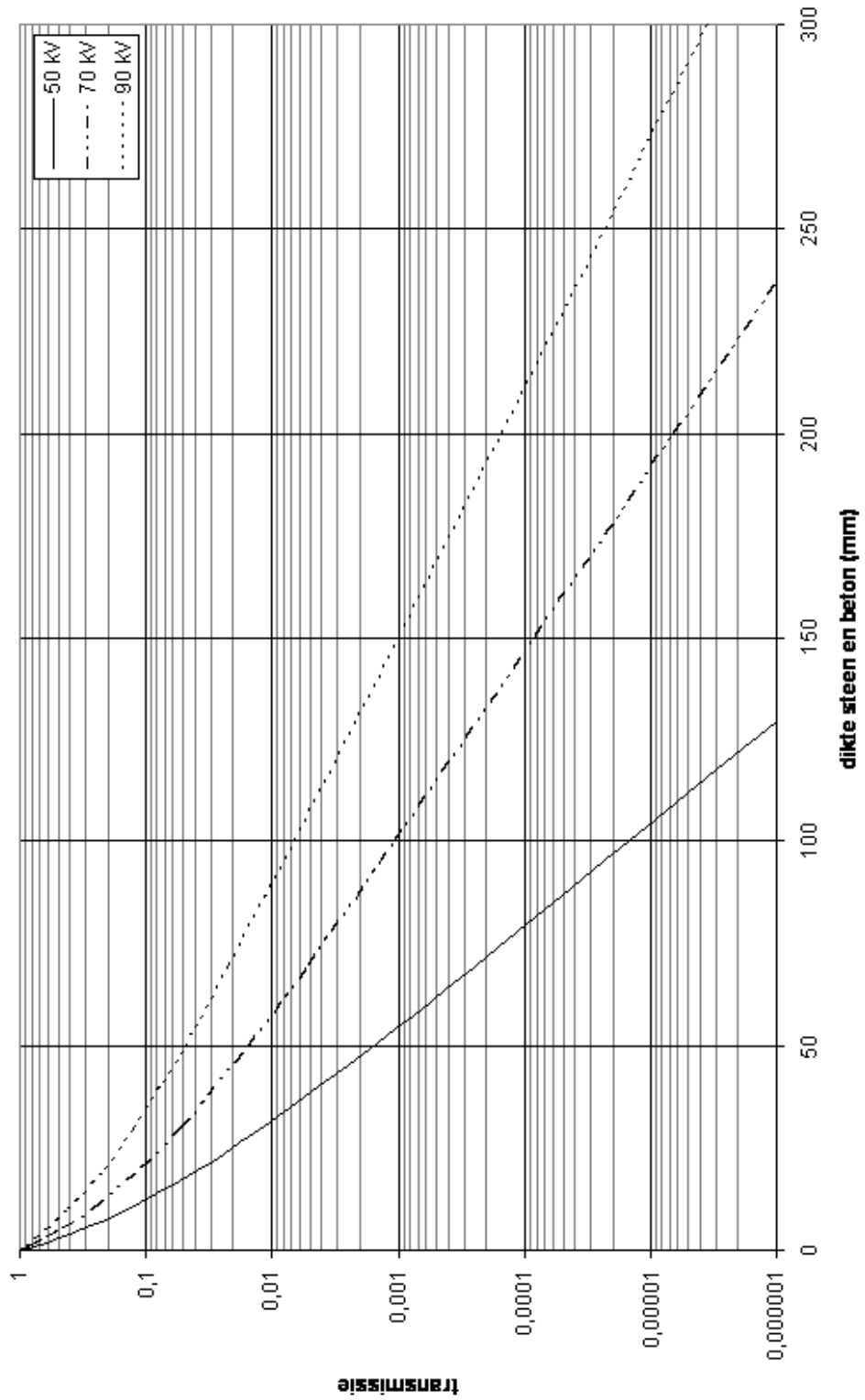
10) De huidige werktijd is nog maar ca 1800 uur, dat wil zeggen 1/5 van een jaar.

11) Indien het werk doorgaans binnen plaatsvindt, moeten in dit geval zowel de ABC-factor als de afschermingfactor (zie § 6.5.2) gehanteerd worden.

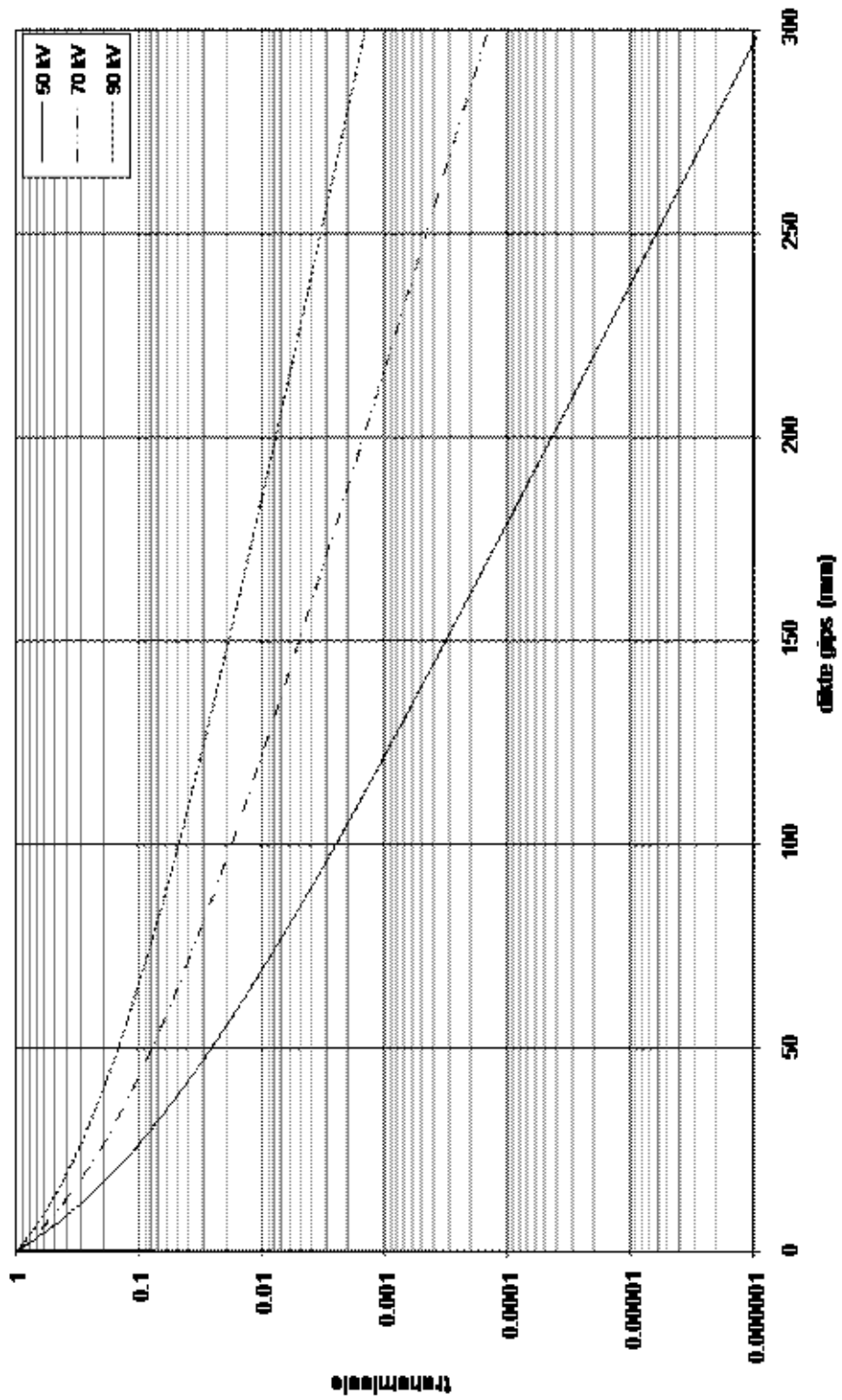
transmissie van röntgenstraling door glas



transmissie van röntgenstraling door steen en beton



transmissie van röntgenstraling door gips



Vraagstuk 3 2006 – Twintig jaar later

De verantwoordelijk deskundige van een researchlaboratorium krijgt bezoek van een collega die in de zomer van 2006 een vakantiereis door Wit-Rusland heeft gemaakt. Omdat deze collega nieuwsgierig was of er twintig jaar na dato nog sporen te vinden zijn van het kernreactorongeval in Tsjernobyl, verzamelde hij tijdens zijn vakantie mos, bladeren, walnoten en dennenappels in de bossen rondom de hoofdstad Minsk. Hij vraagt de verantwoordelijk deskundige of deze door middel van meting kan vaststellen of er sprake is van verhoogde radioactiviteit en, zo ja, om welk(e) radionuclide(n) het gaat. De deskundige beschikt over een Ge-detector waarvan het rendement geïkt is.

Gezien de vele jaren die sinds het ongeval zijn verlopen, richt de deskundige zijn aandacht allereerst op het energiegebied in het gammaspectrum rond de 662 keV-lijn afkomstig uit het radioactieve verval van ^{137}Cs . Op deze plaats in het spectrum valt geen verhoogde activiteit te ontdekken.

Wel valt het de deskundige op dat in het spectrum van het bosmateriaal de inhoud van de 1461 keV-lijn, afkomstig van het radioactief verval van het natuurlijke radionuclide ^{40}K , duidelijk groter is dan in het achtergrondspectrum. De meetresultaten voor dit energiegebied (verkregen tijdens lunchpauzes van de deskundige) zijn 796 telpulsen in 2200 seconden met bosmateriaal en 1056 telpulsen in 3300 seconden zonder bosmateriaal.

Gegevens:

- Figuur 1: Het detectorrendement ϵ van de meetopstelling als functie van de gamma-energie.
- De totale massa van het verzamelde bosmateriaal bedraagt 390 gram droge stof.
- De atoommassa of molaire massa van kalium bedraagt $39,1 \text{ g mol}^{-1}$.
- Natuurlijk kalium bestaat voor 0,0117 atoom-% uit ^{40}K .
- De halveringstijd van ^{40}K is $T_{1/2} = 1,277 \cdot 10^9 \text{ j}$.
- Het emissierendement van de 1461 keV-lijn, afkomstig van het verval van ^{40}K , is $y = 0,107$.
- Het getal van Avogadro $N_{\text{avogadro}} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Vraag 1

Bereken uit bovenstaande gegevens de specifieke activiteit van natuurlijk kalium (in Bq per gram kalium).

Vraag 2

Bepaal het netto teltempo (in telpulsen per seconde) in de ^{40}K -lijn tengevolge van het bosmateriaal en de standaarddeviatie hierin.

Vraag 3a

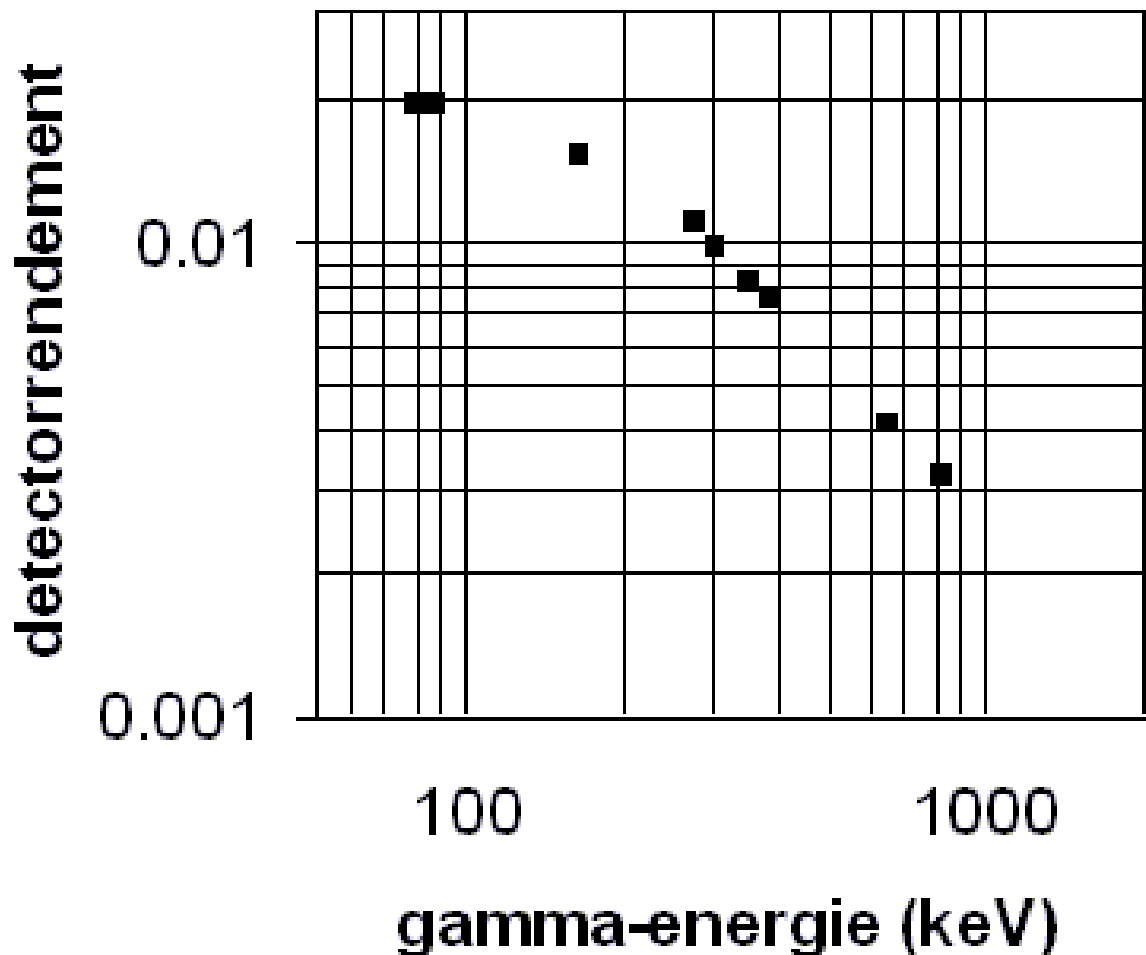
Bepaal door middel van extrapolatie uit figuur 1 het detectorrendement bij 1461 keV.

Vraag 3b

Hoe groot zijn op basis van het meetresultaat de minimale en de maximale waarde van de ^{40}K -activiteit in het bosmateriaal, uitgaande van een betrouwbaarheidsinterval van 95%?

Vraag 4

Bereken het minimale en het maximale kaliumgehalte van het bosmateriaal (in gram kalium per gram droge stof).



Figuur 1: Het detectorrendement (aantal geregistreerde pulsen per foton dat op de **detector** valt) van de meetopstelling als functie van de fotonen-energie (in keV).

Vraagstuk 4 Inwendige besmetting met ^{131}I

In een C-lab wordt voor onderzoeksdoeleinden gewerkt met 7,1 MBq jodium-131 in een waterige, niet-vluchtige oplossing. De analist voert hiermee diverse eenvoudige bewerkingen uit op tafel.

Op een bepaald moment, zonder dat hij het in de gaten heeft, voegt hij per ongeluk een aangezuurde vloeistof bij het jodium. Hierbij komt terstond een hoeveelheid radioactieve jodiumdamp (I_2) vrij.

Pas na 0,5 uur bemerkt de analist de fout. Hij sluit snel het flesje met jodium-131 af en plaatst het direct in de zuurkast. Vervolgens bepaalt hij opnieuw de activiteit. Deze bedraagt nu 5,3 MBq.

Na consultering van de stralingsdeskundige wordt besloten tot een schildkliermeting bij de analist. Deze vindt precies 6 uur na het incident plaats. Hierbij wordt een activiteit van 1,9 kBq in de schildklier vastgesteld.

Gegevens:

- Bijlage 1: Gegevens en metabool model ^{131}I : uit Keverling Buisman: Handboek Radionucliden (2^{de} druk) (BetaText, 2007).
- Bijlage 2: Tabel 12.1 uit Bos et al.: Inleiding tot de stralingshygiëne (Sdu, 2007)
- Ademvolumetempo bij lichte werkzaamheden: $1,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- Gegevens C-lab:
 - ruimteafmetingen: $8 \times 4 \times 3 \text{ m}$ ($l \times b \times h$)
 - ventilatievoud: 8 h^{-1}

Vraag 1

Is het, volgens de richtlijn radionuclidenlaboratoria, toegestaan de hiervoor beschreven handelingen met jodium-131 uit te voeren? Motiveer uw antwoord aan de hand van een berekening.

Vraag 2

Bereken aan de hand van de resultaten van de schildkliermeting de effectieve volg dosis van de analist.

Vraag 3a

Bereken de activiteitsconcentratie (Bq/m^3) in de lucht van het laboratorium op het moment dat het jodium weer terug in de zuurkast werd geplaatst.

Vraag 3b

Bereken de effectieve volg dosis aan de hand van de resultaten uit vraag 3a. Veronderstel hierbij dat de analist gedurende de tijd dat het flesje open op tafel stond werd blootgesteld aan de hiervoor berekende activiteitsconcentratie.

Vraag 4

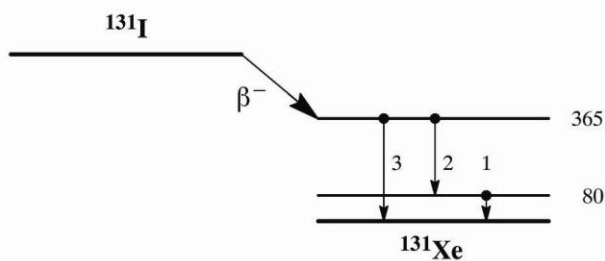
Welke methode om de effectieve volgdozis vast te stellen acht u het meest betrouwbaar? Motiveer uw antwoord.

BIJLAGE 1

 ^{131}I **$Z = 53$** **Halveringstijd en vervalconstante**

$$T_{1/2} = 8,021 \text{ d} = 6,93 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,00 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,894	192 606
γ_1	0,026	80
ce K γ_1	0,036	46
γ_2	0,061	284
γ_3	0,812	365

Bronconstanten

Kermtempo in lucht	$k = 0,052 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosis-equivalenttempo	$h = 0,066 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 4,60 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 3 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,7 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{131}I is een belangrijk splijttingsproduct. Het wordt veelvuldig toegepast in de diagnostische en therapeutische nucleaire geneeskunde.

N = 78

131I

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat jodium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 70% directe uitscheiding en 30% naar de schildklier. Jodium in de schildklier verblijft aldaar met een biologische halveringstijd van 80 dagen, van waaruit het in de vorm van organisch jodium homogeen over het lichaam wordt verdeeld. Het verblijf in andere organen/weefsels dan de schildklier geschiedt met een halveringstijd van 12 dagen. Een tiende van het organisch jodium wordt onmiddellijk uitgescheiden via de faeces, terwijl de rest (90%) terugkeert in het transfercompartiment. Zodoende wordt de biologische halveringstijd in de schildklier effectief gelijk aan 90 dagen.

N.B. Dit model geldt niet voor patiënten, zie pagina 14.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie

Damp (I₂) $f_1 = 1$ Klasse SR-1Damp (CH₃I) $f_1 = 1$ Klasse SR-1 70% depositieOverige verbindingen $f_1 = 1$ Klasse F**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)**

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie F	Inhalatie I ₂	Inhalatie CH ₃ I	
$e(50)(w)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$4,5 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq
$e(50)(b)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$7,6 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$4,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^8$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq

Gegevens voor schildkliertelling (na eenmalige inname)

Tijd (d)	Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname)			
	$f_1 = 1$	F	I ₂	CH ₃ I
0,25	$6,0 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-1}$
1	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$
2	$2,5 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,2 \times 10^{-1}$	$1,7 \times 10^{-1}$
3	$2,3 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$	$1,6 \times 10^{-1}$
5	$1,9 \times 10^{-1}$	$9,0 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$
7	$1,6 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$

165

BIJLAGE 2

Tabel 12.1 Waarde van de verspreidingsparameter p voor bepaalde werkzaamheden in het laboratorium, volgens de 'Richtlijn Radionuclidenlaboratoria'.

Toepassing	p
Eenvoudige bewerking met gassen	-4
Hanteren van poeders in 'open' systeem, bijvoorbeeld mengen of malen	
Vloeistof met temperatuur tegen kookpunt	
Sterk spattende bewerking	
Labeling met vluchtig nuclide (bijvoorbeeld jodium)	-3
Koken van vloeistoffen in 'gesloten' systeem	
Centrifugeren en mengen op vortex	
Eenvoudige bewerking van poeders in 'gesloten' systemen	
Opslag van edelgas in toediensysteem	
Labeling met niet-vluchtig nuclide	-2
Eenvoudige chemische bepaling met tracers (bijvoorbeeld RIA)	
Kortdurend zeer eenvoudig nat werk, zoals pipetteren van een klein volume van een niet-vluchtige verbinding uit een voorraad-oplossing	-1
Eenvoudige werkzaamheden in 'gesloten' systemen zoals:	
– Elutie Tc-generator	
– Optrekken van spuiten	
– Labeling in gesloten systemen	
– Kalibratie I-131 capsule	
Metingen aan stoffen in moeilijk verspreidbare vorm (bijvoorbeeld in ampul)	
Opslag van radioactief afval in werkruimte	