

RIVM rapport 610100004/2002

Detectie van radioactief schroot met poortdetectoren

Onderzoek aan een testprotocol

RO Blaauboer, RMW Overwater

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling van het Ministerie van VROM en is uitgevoerd onder projectnummer 610100, project 'Ondersteuning beleid ioniserende straling', mijlpaal 'diverse ondersteuning'

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

Abstract

There are various possibilities for radioactive sources to end up in a shipment of scrap metal. These sources could be artificial ones or for instance tubing from the oil and gas extraction industry containing natural radioactive deposits. In any case, it is undesirable that these sources end up in a smelter or blast-furnace and be mixed with clean material in some new ironwork.

Beside the fact that scrap metal dealers do not like to encounter radioactivity in their scrap, the government makes it mandatory starting 2003 for some of the larger traders to examine the incoming shipments. If scrap is delivered by truck this inspection usually is carried out using gate monitors. The truck slowly drives through a corridor with several detectors. If activity is detected an alarm is given.

To get a better overview of the gate monitors installed, and to check whether they conform to some minimal requirements or not, an intercomparison campaign is under development. On the basis of measurements with some gate monitors and supporting calculations, the possibility of a list of demands necessary for such an intercomparison was explored. This report is an account of this research, including the choice of experimental sources, the testing configuration and some other recommendations resulting in a draft protocol for an intercomparison.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 4 |
| 1 Inleiding | 5 |
| 1.1 Doel van het onderzoek | 5 |
| 1.2 De context van het onderzoek | 5 |
| 1.3 Indeling van het rapport | 6 |
| 2 Instrumenten en meetprocedure | 7 |
| 2.1 Het gammastralingsniveau | 7 |
| 2.2 Metingen Jewometaal B.V. | 11 |
| 2.3 Metingen Van Dalen B.V. | 14 |
| 2.4 Samenvatting metingen | 17 |
| 3 Berekeningen aan de detectieprocedure | 18 |
| 3.1 Doel van de berekeningen | 18 |
| 3.2 Het rekenmodel MARMER | 18 |
| 3.3 Onderscheiden situaties | 19 |
| 3.4 Doorgerekende scenario's | 21 |
| 3.5 Conclusies | 23 |
| 4 Conclusies | 24 |
| 4.1 Conclusies uit het onderzoek | 24 |
| 4.2 Eisen en aanbevelingen voor een meetprotocol | 25 |
| 5 Concept Protocol ringonderzoek poortdetectoren | 27 |
| 5.1 Lijst van vaste eisen en handelingen | 27 |
| 5.2 Procedurestappen | 27 |
| Referenties | 29 |
| Bijlage 1 Verzendlijst | 30 |

Samenvatting

Er zijn diverse mogelijkheden waardoor radioactief materiaal in een partij schroot terecht kan komen. Het kan dan gaan om kunstmatige bronnen of bijvoorbeeld om ijzeren pijpen uit de olie- en gaswinning waarin zich een laag natuurlijke radioactiviteit heeft vastgezet. In alle gevallen is het gewenst dat deze bronnen niet in een smelterij of hoogoven worden gemengd met 'schoon' materiaal bij de productie van nieuwe ijzerproducten.

Afgezien van het feit dat schroothandelaren ook zelf liever geen radioactiviteit in hun schroot hebben, wordt het voor een aantal grotere bedrijven door de rijksoverheid vanaf 2003 verplicht gesteld dat zij hierop controleren. Bij de aanvoer van schroot per vrachtwagen vindt dergelijk onderzoek veelal plaats met zogenaamde poortdetectoren. De vrachtwagen rijdt hierbij langzaam tussen een aantal detectoren door. Indien activiteit wordt gedetecteerd, wordt gealarmeerd.

Om een beter beeld te verkrijgen van de poortdetectoren zoals die worden toegepast en om te zien of ze aan bepaalde door de overheid gestelde minimumeisen voldoen, is een ringonderzoek in voorbereiding. In dit rapport is aan de hand van metingen bij enkele bedrijven met een poortdetector en ondersteund door enige berekeningen, onderzocht aan welke eisen een dergelijk ringonderzoek dient te voldoen. Daarbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld een keuze van de te gebruiken testbronnen, de testconfiguratie en eventuele andere aanbevelingen. Het eindresultaat is een concept protocol voor het uitvoeren van een ringonderzoek.

1 Inleiding

1.1 Doel van het onderzoek

Naar aanleiding van het RIVM rapport ‘Normering van detectie van radioactief schroot met poortdetectoren’ [1] is bij VROM de behoefte aan een vervolgonderzoek ontstaan. Al is er dan nog geen norm, een inzicht in de stand van zaken en de vergelijkbaarheid betreffende de vele tientallen poortdetectoren is wel gewenst. Dit inzicht zou verkregen kunnen worden door het uitvoeren van een ringonderzoek onder een groot aantal belanghebbende bedrijven met poortdetectoren.

In voorbereiding op een dergelijk ringonderzoek en als verdere onderbouwing daarvan was er behoefte aan een nadere concretisering van de daarbij te volgen procedure. Hierbij kan gedacht worden aan een beschrijving van te hanteren testbron(nen), transportsnelheid en -hoogte van en in de vrachtwagen en de eventuele afscherming van bron en/of achtergrond. Deze onderwerpen zouden dan bijvoorbeeld terug kunnen komen in een testprotocol ten behoeve van de Inspectie. Afhankelijk van de resultaten en nader overleg met de opdrachtgever kan dan op basis van die resultaten worden gewerkt aan de opzet van een ringonderzoek. Dit kan dan in samenwerking met een daartoe uitgerust bedrijf worden uitgevoerd. Dit rapport zou daarbij een (concept) voor een ringonderzoek protocol opleveren. Vooralsnog lijkt het daarbij zinnig om aan te sluiten bij standaard methodieken, zodat bij een eventueel beschikbaar komen van een norm geen (grote) wijziging van het ringonderzoek meer hoeft plaats te vinden. De resultaten van het ringonderzoek zelf zijn overigens geen onderwerp van dit rapport. Het ringonderzoek zal later, in het kader van of als voorbereiding op de evaluatie van de norm die over enkele jaren zal plaatsvinden, worden uitgevoerd.

Voor het onderzoek wordt de volgende vraagstelling gehanteerd:

- a Wat zijn de verschillende problemen die verwacht kunnen worden en hoe moet daar mee omgegaan worden (bijvoorbeeld afscherming, detector karakteristieken, detectie-software, instellingen)? Nadere definitie hiervan vindt plaats op basis van testmetingen aan een tweetal poortdetectoren en enkele onderbouwende berekeningen.
- b Hoe kan zo goed en snel (pragmatische eis) mogelijk een onderzoek worden uitgevoerd aan een poortdetector in het kader van een ringonderzoek? Hoe vertaalt dit zich in eisen?
- c Is het mogelijk een test protocol op de stellen voor een ringonderzoek aan poortdetectoren.

In het onderzoek wordt alleen detectie met poortdetectoren (aan weerszijde van de mogelijk besmette lading) beschouwd. Handmonitoren en monitoren aan de grijper van een kraan waarmee schepen worden gelost, blijven vooralsnog buiten beschouwing.

1.2 De context van het onderzoek

Omdat er nog geen norm is voor de toegepaste detectie apparatuur zal de hier beschreven methode niet direct iets zeggen over het al dan niet voldoen aan een dergelijke mogelijk nog te ontwikkelen norm. Wel zal de toepassing ervan een indruk geven van de operationaliteit en de onderlinge verschillen en relatieve gevoeligheid van de verschillende typen apparatuur.

Het resultaat van het onderzoek zegt echter niet direct iets over welke bronnen in schroot nu wel of niet gedetecteerd kunnen worden. Dat is immers sterk afhankelijk van onder andere de

afschermende werking van het al dan niet aanwezig schroot, de bronlocatie in het schroot, het type straling en de energie daarvan.

In het eerdergenoemde rapport [1] is voor een aantal situaties, waarin zich een bron midden in een met versnipperd schroot ('frag') gevulde container bevond, doorgerekend welke bronnen nog wel en welke niet meer gedetecteerd zouden kunnen worden. Het gaat in die gevallen steeds om activiteiten die een factor 100 tot 1000 boven die van de in dit onderzoek gebruikte onafgeschermd testbronnen liggen.

Het doel van een eventueel hierop volgend ringonderzoek is dus niet om vast te stellen welke bronnen gemeten kunnen worden, maar welk stralingsniveau nog gedetecteerd kan worden.

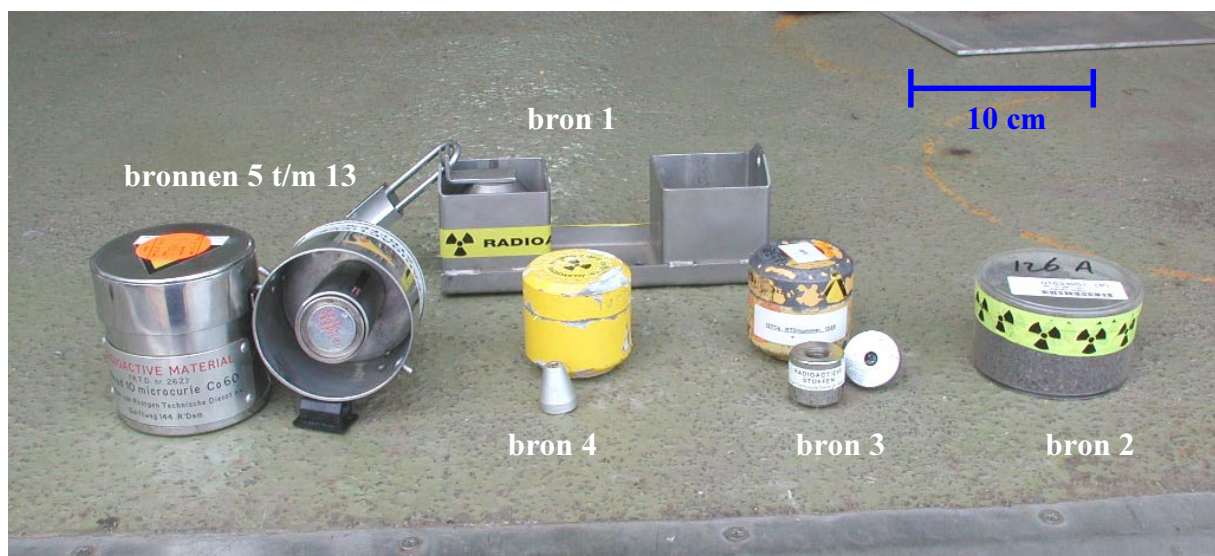
1.3 Indeling van het rapport

Het voorliggende rapport is een neerslag van het hiervoor beschreven voorbereidende onderzoek. Eerst wordt daarbij ingegaan op de apparatuur en de te gebruiken testbronnen (hoofdstuk 2). In dit zelfde hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de gehanteerde meetprocedure bij de eerste testmetingen op het RIVM terrein en de meetseries bij twee schrootbedrijven waar de poortdetectoren werden getest. Vervolgens (hoofdstuk 3) zijn de resultaten van de berekeningen aan enkele van de meetscenario's vergeleken met de metingen. Daarbij ligt de nadruk meer op de kwalitatieve onderbouwing van de meetprocedure dan op de exacte modellering. In hoofdstuk 4 worden de conclusies van de verschillende meet- en rekensessies bijeengebracht en wordt tevens een lijst van conclusies cq. eisen voor een op te stellen protocol gegeven. In hoofdstuk 5 zijn deze eisen en aanbevelingen samengebracht in een concept voor een ringonderzoek protocol.

2 Instrumenten en meetprocedure

2.1 Het gammastralingsniveau

Voor het testen van de poortdetectoren is gebruik gemaakt van een aantal testbronnen van verschillende samenstelling en bronsterkte (zie Tabel 1 en Figuur 1). De bronsterktes zijn dusdanig gekozen dat gammastralingsniveaus van 5-30 nSv·h⁻¹ op een afstand van 2 à 3 m van de bronnen wordt bereikt. Hierbij is gebruik gemaakt van de gammaconstanten Γ zoals gegeven in het Handboek Radionucliden [2]: voor ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co en ²²⁶Ra zijn dit 93, 360 resp. 260 nSv·h⁻¹ op 100 cm per MBq.



Figuur 1: Gebruikte bronnen; nummers zijn zoals opgegeven in Tabel 1.

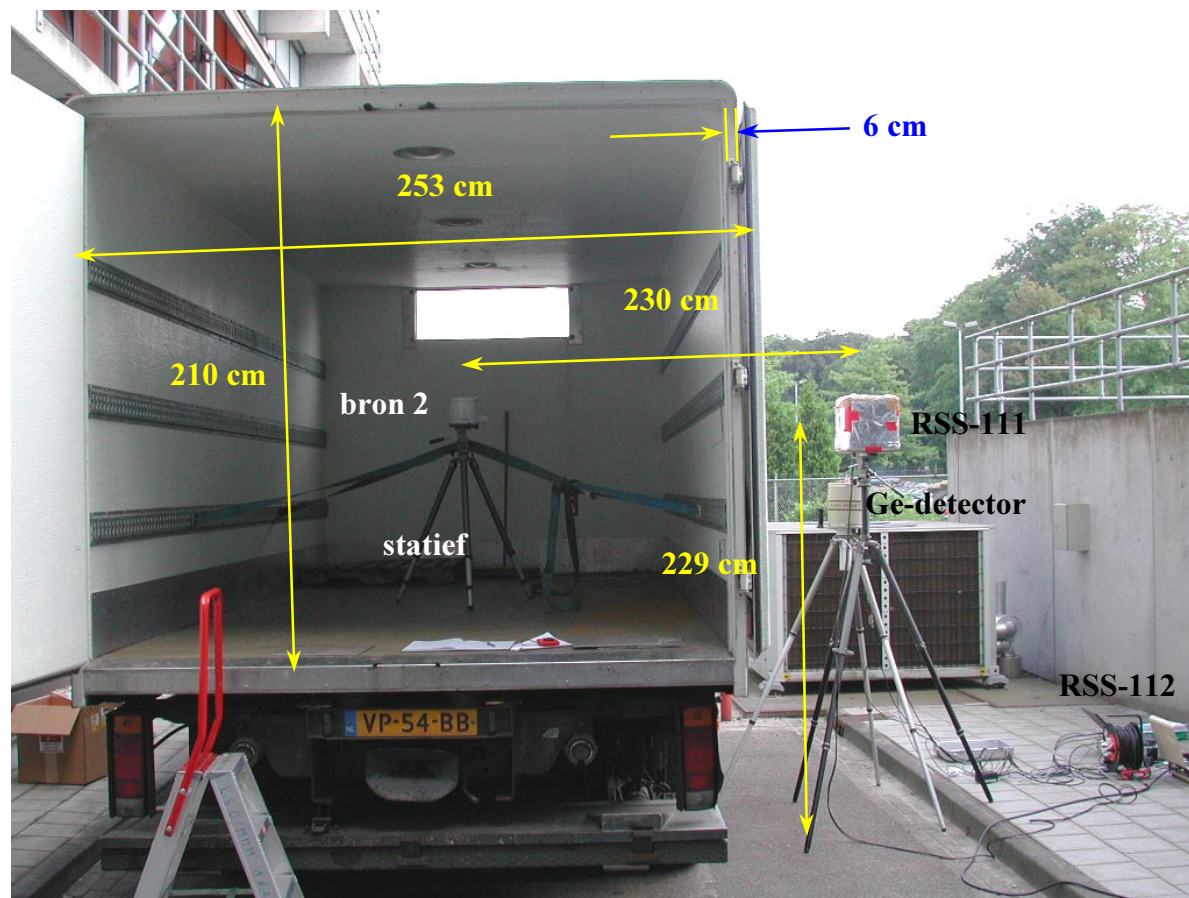
Tabel 1: Karakteristieken van de gebruikte bronnen

| bron | nuclide(n) | bronsterkte (1 juli 2002) | herkomst | berekend gammastralingsniveau op 230 cm (nSv·h ⁻¹) |
|------|--------------------------------------|---------------------------|----------|--|
| 1 | ¹³⁷ Cs | ca. 45 MBq | RTD | 792 |
| 2* | ²³⁸ U + ²³² Th | 314 kBq + 6 kBq | RIVM | 15 |
| 3 | ¹³⁷ Cs | 236 kBq | RTD | 4,2 |
| 4 | ¹³⁷ Cs | 340 kBq | RTD | 6,0 |
| 5-13 | ⁶⁰ Co | 31 kBq per stuk | RTD | 2,1 per stuk |

* tantalite erts

Om te bepalen wat de gemeten stralingsniveau's van de bronnen zijn op 230 cm van de bron is een testmeetopstelling gebruikt. De testbronnen zijn één voor één geplaatst op een statief, dat in het midden van een RIVM vrachtauto was gefixeerd met sjorbanden (Figuur 2). De hoogte van het statief was dusdanig dat een op het statief gepositioneerde bron zich op een hoogte van 229 cm boven het wegdek bevond. Door nu aan de buitenkant van de vrachtauto op een afstand van

230 cm van het midden van de vrachtauto en op 229 cm boven de grond het stralingsniveau te monitoren kan het niveau ter plaatse van een poortdetector worden bepaald.



Figuur 2: RIVM meetwagen met daarin het statief en bron. Naast de meetwagen de RSS-111, de RS-112 en een portable germaniumopstelling.

De stralingsniveaumetingen zijn uitgevoerd met een hoge-druk-ionisatievat van het fabrikaat Reuter-Stokes, type RSS-111, serienummer Z-3906 met daaraan gekoppeld een elektrometer met uitleesunit RSS-112, serienummer L-239. Uitlezing van de meetgegevens is gedaan via de RS232-poort van de RS-112 naar een laptop (Figuur 2).

Er bestaan verschillende grootheden die aangeduid kunnen worden met de term gammastralingsniveau. Op de RSS-112 is default het exposietempo \dot{X} in $\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$ af te lezen. Een veel gebruikte maat voor het gammastralingsniveau is het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$. Voor het nauwkeurig berekenen van het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ moet strikt genomen het gammaspectrum uitgezonden door de bron in aanmerking genomen worden. Een redelijk goede schatting is echter ook mogelijk met een vaste omgevingsdosisequivalentkalibratiefactor $N_{H^*(10)}$ (in $\text{nSv}/\mu\text{R}$):

$$\dot{H}^*(10) = N_{H^*(10)} \times \dot{X}. \quad (1)$$

De apparatuur is van 1984 tot 2001 zes maal gekalibreerd. Voor $N_{H^*(10)}$ wordt internationaal veelal de waarde voor ^{137}Cs gehanteerd [3]. De in dit rapport gebruikte kalibratiefactor is hiervoor 10,92 $\text{nSv}/\mu\text{R}$ met een onzekerheid van circa 3%.

De testmetingen op het RIVM voor elk van de bronnen zijn als volgt uitgevoerd:

- De RSS-111 wordt opgesteld met het midden van het ionisatievat op een afstand van 230 cm van de bron en op een hoogte van 229 cm boven het wegdek.
- Er worden N metingen van 30 s elk uitgevoerd, waarvan na afloop het gemiddelde en de standaardafwijking van de N metingen wordt bepaald.
- Allereerst wordt een achtergrondbepaling uitgevoerd van ten minste 50 metingen van 30 s. Het resultaat van deze achtergrondbepaling en de onzekerheid hierin wordt aangegeven met: $S_{\text{BKG}} \pm \Delta S_{\text{BKG}}$
- Vervolgens wordt elk van de bronnen na elkaar op het statief geplaatst en een bepaling gedaan van het bruto stralingsniveau veroorzaakt door de bron plus achtergrond. Het resultaat van deze bepaling en de onzekerheid hierin wordt aangegeven met: $S_{\text{bruto}} \pm \Delta S_{\text{bruto}}$
- Het toegevoegde stralingsniveau en de onzekerheid hierin per bron zijn dan gelijk aan:

$$S_{\text{netto}} = S_{\text{bruto}} - S_{\text{BKG}}$$

$$\Delta^2 S_{\text{netto}} = \Delta^2 S_{\text{bruto}} + \Delta^2 S_{\text{BKG}}$$

De resultaten van de metingen gedaan op 15 en 18 juli 2002 zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: *Gemeten stralingsniveau's van de gebruikte bronnen*

| bron | nieuwe naam | nuclide(n) | bijzonderheid | gemeten gammastralingsniveau S_{netto} , op 230 cm ($\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) |
|--------------------------|-------------|------------------------------------|---------------------------|---|
| 1a | A | ^{137}Cs | zonder wolfram bronhouder | $820,1 \pm 1,6$ |
| 1b | B | ^{137}Cs | met wolfram bronhouder | $34,4 \pm 0,6$ |
| 2 | C | $^{238}\text{U} + ^{232}\text{Th}$ | afscherming door erts | $9,9 \pm 0,7$ |
| 3 | D | ^{137}Cs | | $4,9 \pm 0,4$ |
| 3+4 | E | ^{137}Cs | 2 bronnen tegelijk | $10,8 \pm 1,5$ |
| 5 t/m 7 | F | ^{60}Co | 3 stuks tegelijk | $6,9 \pm 0,5$ |
| 5 t/m 9 | G | ^{60}Co | 5 stuks tegelijk | $9,8 \pm 0,4$ |
| 5 t/m 13 | H | ^{60}Co | 9 stuks tegelijk | $18,3 \pm 1,5$ |
| achtergrond 15 juli 2002 | | | | $64,4 \pm 0,5$ (S_{BKG}) |
| achtergrond 18 juli 2002 | | | | $66,2 \pm 0,3$ (S_{BKG}) |

De bronnen uit Tabel 2 zijn vervolgens gebruikt om de detectiegrenzen van twee poortdetectoren te bepalen. Hiervoor is een bezoek gebracht aan de firma Jewometaal Stainless Processing B.V. (kortweg Jewometaal B.V.) in Rotterdam (16 juli 2002) en de firma Van Dalen B.V. in Nieuwerkerk a/d IJssel (22 juli 2002).

De resultaten van de metingen worden in de volgende twee paragrafen besproken.

De testmetingen op het RIVM zijn uitgevoerd met een veronderstelde poortbreedte van 460 cm (afstand bron detector is halve poortbreedte: 230 cm). De stralingsniveau's ter plaatse van de poortdetector bij de bedrijven kunnen dus anders zijn als de poortbreedte afwijkt van de testbreedte. Hiervoor is te corrigeren, door aan te nemen dat voor een niet afgeschermd bron de kwadratenwet geldt.

Het stralingsniveau S bij een poortbreedte van x cm ter plaatse van de detector vergeleken met het op het RIVM gemeten stralingsniveau S_{RIVM} is:

$$S = S_{\text{RIVM}} \left(\frac{460}{x} \right)^2 \quad (2)$$

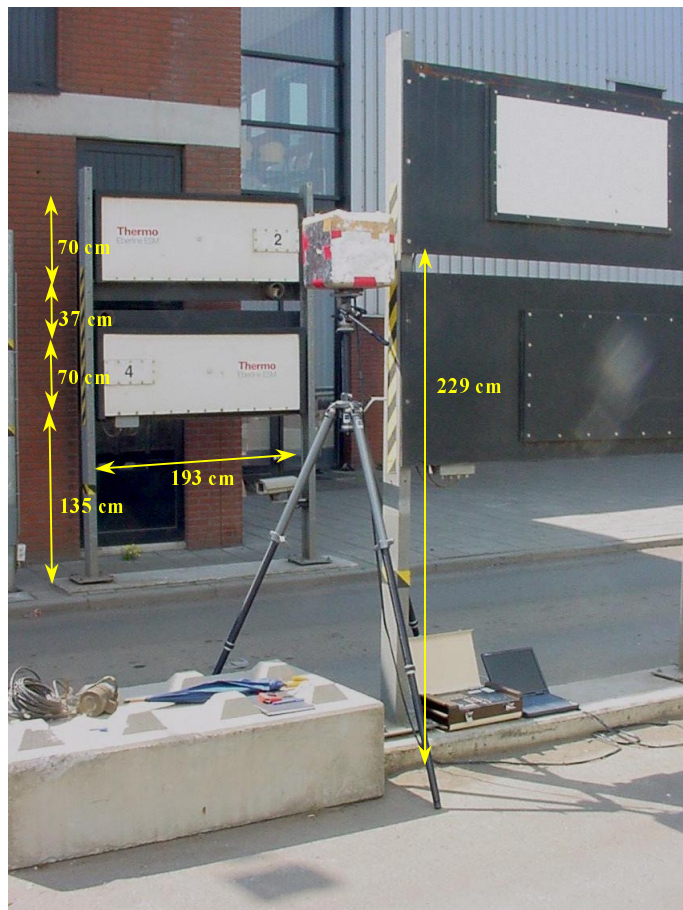
Om te controleren of de apparatuur naar behoren werkt en om een idee te hebben van de afwijking in de gemeten dosistampi voor de bronnen A t/m H door de verschillende poortbreedten, is bij beide schrootbedrijven met de onafgeschermd ^{137}Cs -bron (bron A) de RIVM-test herhaald. Hiervoor is de vrachtauto stilgezet in de poort, de (afgeschermd) achtergrond ter plaatse van de poort bepaald met de RSS-111 en vervolgens – nadat bron A is geplaatst – het verhoogde stralingsniveau.

Om de afscherming van de vrachtauto te bepalen is tevens het achtergrond-stralingsniveau bepaald nadat de vrachtauto is weggereden.

De alarmeringstest van de poort is uitgevoerd door een van de bronnen B t/m H in de vrachtauto te plaatsen en tien keer door de poort te rijden. Hierbij wordt genoteerd of een alarmering heeft plaats gevonden of niet. De data wordt digitaal opgeslagen op een aan het systeem gekoppelde PC. Een alarmering leidt tevens bij de beide onderzochte poortdetectoren tot een geprinte rapportage.

2.2 Metingen Jewometaal B.V.

De firma Jewometaal B.V. te Rotterdam is in het bezit van een Eberline FHT 1388 poortdetector (zie Figuur 3 en Figuur 4). De poortdetector bezit volgens de fabrikant verschillende unieke eigenschappen (Tekstbox 1), waarmee lage detectiegrenzen mogelijk zijn.



Eberline FHT 1388

- 2 of (in dit geval) 4 detectoren met groot volume (elk 100 x 50 x 5 cm = 25 liter)
- Continue achtergrond update
- NBR mode (Natural Background Rejection). De NBR techniek maakt gebruik van de gemiddelde energie van de gemeten straling en reageert direct op veranderingen in dit gemiddelde. Variaties in de natuurlijke achtergrond worden hiermee gecompenseerd.
- Compensatie van afschermingseffecten door de vrachtauto mogelijk

Tekstbox 1: Specificaties van fabrikant

Figuur 3: Poortdetector Eberline FHT 1388 bij de firma Jewometaal B.V.



Figuur 4: Poortdetector Eberline FHT 1388 bij de firma Jewometaal B.V.

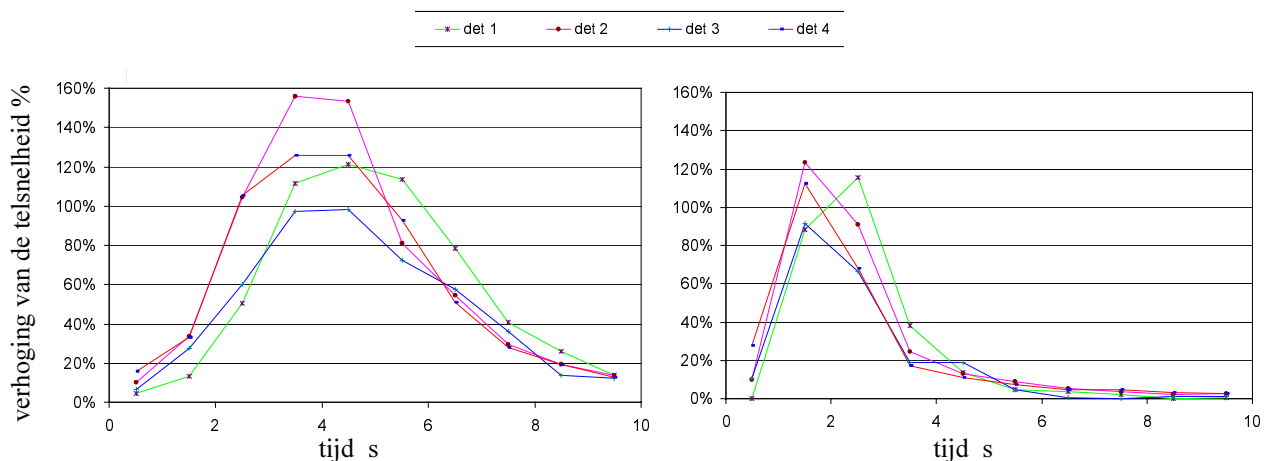
Op 16 juli 2002 zijn door R.M.W. Overwater van RIVM/LSO metingen uitgevoerd aan de poortdetector van de firma Jewometaal B.V. Bij deze metingen waren mw. M.H. Tijmsmans van VROM-Inspectie Regio Zuid-West (VI-ZW) en R.G.C. Janssen van de Röntgen Technische Dienst B.V. (RTD) aanwezig.

Signalering door de poortdetector van aanwezigheid radioactiviteit kan plaatsvinden op meerdere criteria: a) meer dan 10% verhoging van de achtergrond (al dan niet verlaagd door vrachtauto) (=gehele energiebereik), b) meer dan 10% verhoging van ^{137}Cs telkanaal (=lage energiebereik), en c) meer dan 10% verhoging van ^{60}Co telkanaal (=hoge energiebereik). Beide laatste criteria berusten op het NBR-principe (Tekstbox 1).

Als eerste is bron B, een ^{137}Cs -bron in wolfram container, op het statief geplaatst en is de RIVM vrachtauto tienmaal door de poort gereden. Bij Jewometaal B.V. bestaat de mogelijkheid om de poort vanuit twee rijrichtingen te betreden, hetgeen ook gedaan is. De oneven metingen zijn bij het binnenrijden uitgevoerd, de even metingen bij het verlaten van het terrein. Signalering heeft plaatsgevonden bij alle metingen van bron B op zowel het criterium van meer dan 10% verhoging ten opzichte van de achtergrond als ook het criterium van meer dan 10% verhoging in het ^{137}Cs telkanaal.

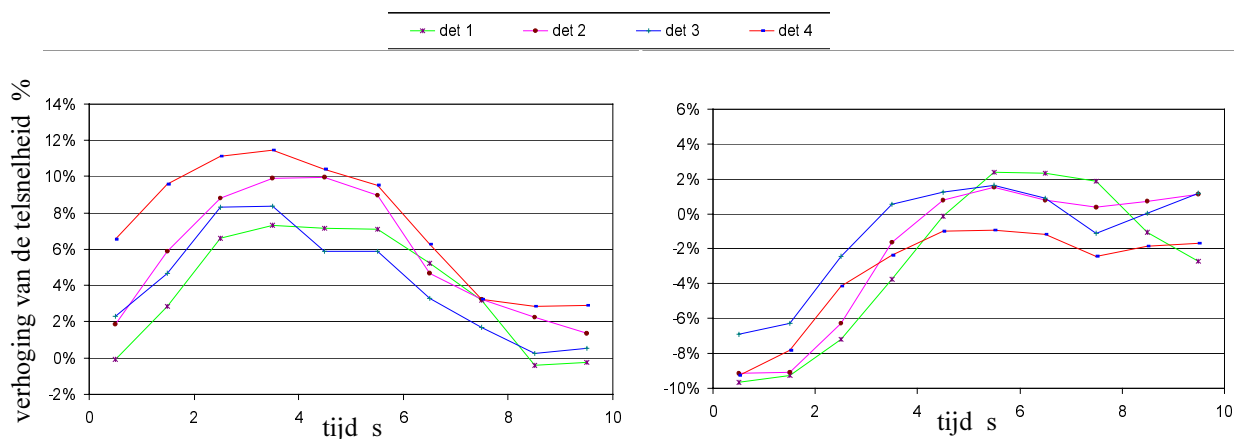
Om de poortdetector optimaal te laten functioneren wordt door de fabrikant aanbevolen de snelheid van het voertuig te beperken tot maximaal wandeltempo ($5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Bij hogere snelheid is de meting in dit rapport als ‘niet-geldig’ bestempeld, hoewel soms toch nog een alarmering heeft plaatsvonden. Bepaling van te hoge snelheid is gedaan op basis van visuele waarneming (zie Figuur 5). Scoringspercentages moeten daarom worden gerelateerd aan het aantal geldige metingen.



Figuur 5: Voorbeelden van enkele metingen aan bron B met detectoren 1 t/m 4. De horizontale as geeft de duur van de scan aan in seconden, terwijl de verticale as de verhoging van de telsnelheid in procenten weergeeft. Links de meting bij normale snelheid, rechts bij te hoge snelheid.

Vervolgens zijn de metingen aan de andere bronnen uitgevoerd: één erts-bron ($^{238}\text{U} + ^{232}\text{Th}$) (C), een tweede ^{137}Cs -bron (D) en drie ^{60}Co -bronnen (F, G en H). Alarmering van bron C vond plaats op basis van een verhoging van meer dan 10% boven het achtergrondniveau, terwijl de overige bronnen in geval van alarmering dit meestal deden op basis van het NBR-principe. Voor enkele voorbeelden zie Figuur 6. De resultaten van alle metingen zijn weergegeven in Tabel 3.



Figuur 6: Voorbeelden van enkele metingen met detectoren 1 t/m 4. De horizontale as geeft de duur van de scan aan in seconden. Links meting van bron C en rechts meting van bron D beide bij normale snelheid.

Tabel 3: Scoringspercentages alarmering van de poortdetector voor verschillende bronnen

| bron | stralingsniveau ^{a)} (nSv·h ⁻¹) | aantal metingen | aantal geldige metingen ^{b)} | aantal alarmeringen ^{c)} | percentage (%) ^{c)} |
|------|---|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| B | 37,6 ± 0,7 | 10 | 10 | 10 / 10 | 100 / 100 |
| C | 10,8 ± 0,8 | 10 | 8 | 8 / 8 | 80 / 100 |
| D | 5,4 ± 0,4 | 10 | 10 | 10 / 10 | 100 / 100 |
| F | 7,5 ± 0,5 | 4 | 4 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| G | 10,7 ± 0,4 | 10 | 10 | 5 / 5 | 50 / 50 |
| H | 20,0 ± 1,6 | 10 | 10 | 10 / 10 | 100 / 100 |

a) berekend op basis van resultaten in Tabel 2 en poortbreedteverhouding

b) indien de snelheid hoger is dan de door de fabrikant aangegeven max. snelheid is de meting ongeldig verklaard

c) eerste waarde op basis van alle metingen, tweede waarde op basis van alle geldige metingen

Tevens is er iets langer gemeten aan het achtergrondstralingsniveau ter plaatse van de poortdetector met behulp van de Reuter-Stokes RSS-111. Dit is gedaan met en zonder de aanwezigheid van de vrachtauto in de poort. Na afloop van deze metingen is bron A (¹³⁷Cs-bron, uit wolfram container) op het statief geplaatst en is de aanname van de kwadratenwet zoals vermeld in paragraaf 2.1 getoetst. Resultaten van deze metingen zijn vermeld in Tabel 4. Het dosistempo blijkt bijna 10% hoger dan op het RIVM terrein door de relatief smalle poort.

Tabel 4: Gemeten stralingsniveau's van de achtergrond en van bron A

| meting | stralingsniveau (nSv·h ⁻¹) | verwacht op basis van kwadratenwet (nSv·h ⁻¹) |
|------------------------------------|---|--|
| BKG1 = achtergrond zonder auto | 89,5 ± 0,3 | |
| BKG2 = achtergrond met auto | 82,4 ± 0,3 | |
| bron A, excl. achtergrond met auto | 896,6 ± 1,3 | 896,3 ± 1,7 |

2.3 Metingen Van Dalen B.V.

De firma Van Dalen B.V. te Nieuwerkerk a/d IJssel is in het bezit van een Bicron ASM 6000 poortdetector (zie Figuur 7 en Figuur 8). De poortdetector bezit volgens de fabrikant eveneens verschillende unieke eigenschappen (Tekstbox 2), waarmee lage detectiegrenzen mogelijk zijn.



Bicron ASM 6000

- 4 detectoren met een groot volume (elk 25 liter)
- Continue achtergrond update
- Compensatie van afschermings-effecten door de vrachtauto
- Dynamische scan om de locatie van de bron in de lading aan te geven
- Controle op de snelheid

Tekstbox 2: Specificaties van fabrikant

Figuur 7: Poortdetector Bicron ASM 6000 bij de firma Van Dalen B.V.



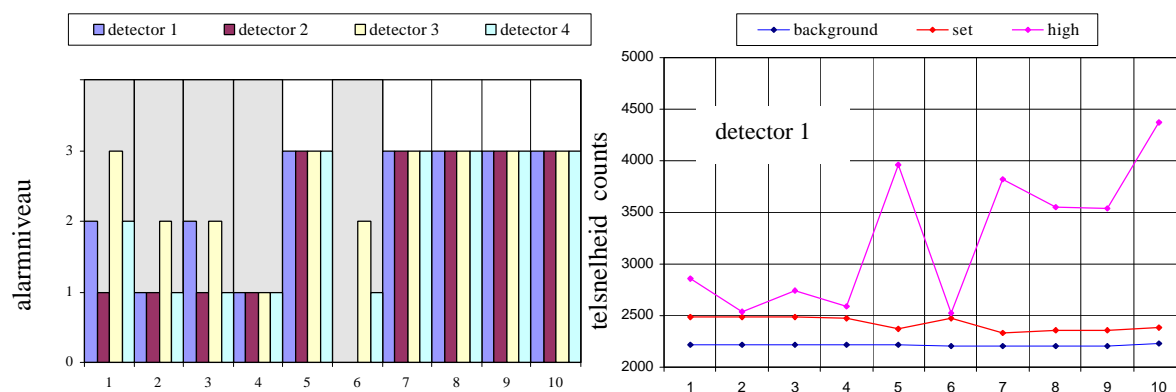
Figuur 8: Poortdetector Bicron ASM 6000 bij de firma Van Dalen B.V.

Op 22 juli 2002 zijn door R.M.W. Overwater van RIVM/LSO metingen uitgevoerd aan de poortdetector van de firma Van Dalen B.V. Nieuwerkerk a/d IJssel. Bij deze metingen waren P.P.A.M. Arends van VROM-Inspectie Regio Zuid-West (VI-ZW) en R.G.C. Janssen van de Röntgen Technische Dienst B.V. (RTD) aanwezig.

Signalering door de poortdetector van aanwezige radioactiviteit vindt plaats op basis van het criterium dat het gemeten stralingsniveau met meer dan 3,5 keer de wortel uit de achtergrond is verhoogd (Tekstbox 2).

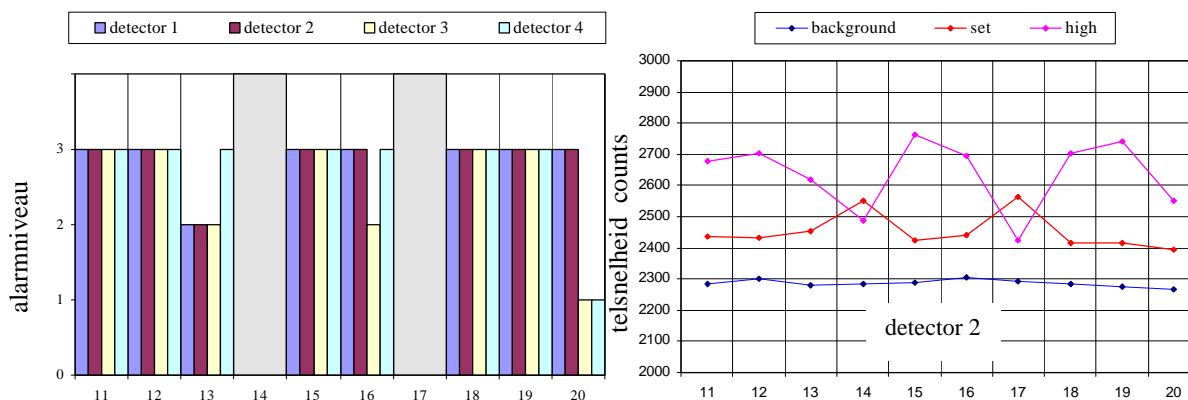
Als eerste is bron B, ^{137}Cs in wolfram container, op het statief geplaatst en is de RIVM vrachtauto tienmaal door de poort gereden.

Signalering heeft plaatsgevonden bij alle metingen van bron B. Om de poortdetector optimaal te laten functioneren wordt door de fabrikant aanbevolen de snelheid van het voertuig te beperken tot maximaal 5 mph ($8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Overschrijden van deze snelheid moet volgens de manual van het apparaat leiden tot een alarmering. Om welke reden dan ook heeft dit snelheidsalarm niet gefunctioneerd op 22 juli, wat tot gevolg heeft dat veel metingen in dit rapport als 'niet-geldig' zijn bestempeld, aangezien de geregistreerde snelheid meer dan 5 mph was (zie Figuur 9). Scoringspercentages moeten daarom worden gerelateerd aan het aantal geldige metingen.



Figuur 9: Metingen aan bron B. De horizontale as geeft het nummer van de meting aan. Links is het alarmeringsniveau weergegeven voor elk van de 4 detectoren, waarbij arcering aangeeft dat de maximale snelheid is overschreden (=ongeldige meting). Rechts zijn de achtergrondtelsnelheid (background), de detectiegrens (set) en de hoogste meetwaarde (high) weergegeven voor detector 1.

Vervolgens zijn de metingen aan de andere bronnen uitgevoerd: één erts-bron ($^{238}\text{U} + ^{232}\text{Th}$) (C), twee additionele ^{137}Cs -bronnen (D en E) en drie ^{60}Co -bronnen (F, G en H). Alarmering vond over het algemeen alleen plaats als de snelheid niet werd overschreden. Overschrijding had tot gevolg dat de correctie voor de verlaging in de achtergrond volledig mis ging en daardoor werkelijke verhogingen niet werden gezien. Voor enkele voorbeelden zie Figuur 10. De resultaten van alle metingen zijn weergegeven in Tabel 5.



Figuur 10: Metingen aan bron C. De horizontale as geeft het nummer van de meting aan. Links is het alarmeringsniveau weergegeven voor elk van de 4 detectoren, waarbij arcering aangeeft dat de maximale snelheid is overschreden. Rechts zijn de achtergrondtelsnelheid, de detectiegrens en de hoogste meetwaarde weergegeven voor detector 2. Te zien is dat bij te hoge snelheid (metingen 14 en 17) de 'set'-waarde sterk verhoogd is en de 'high'-waarde sterk verlaagd.

Tabel 5: Scoringspercentages alarmering van de poortdetector voor verschillende bronnen

| bron | stralingsniveau ^{a)} (nSv·h ⁻¹) | aantal metingen | aantal geldige metingen ^{b)} | aantal alarmeringen ^{c)} | percentage (%) ^{c)} |
|------|---|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| B | 44,4 ± 0,8 | 10 | 5 | 10 / 5 | 100 / 100 |
| C | 12,8 ± 0,9 | 10 | 8 | 8 / 8 | 80 / 100 |
| D | 6,3 ± 0,5 | 10 | 3 | 3 / 3 | 30 / 100 |
| E | 13,9 ± 1,9 | 10 | 10 | 10 / 10 | 100 / 100 |
| F | 8,9 ± 0,6 | 2 | 2 | 0 / 0 | 0 / 0 |
| G | 12,6 ± 0,5 | 10 | 8 | 7 / 7 | 70 / 88 |
| H | 23,6 ± 1,9 | 10 | 8 | 8 / 8 | 80 / 100 |

a) berekend op basis van resultaten in Tabel 2 en poortbreedteverhouding

b) indien de snelheid hoger is dan de door de fabrikant aangegeven max. snelheid is de meting ongeldig verklaard

c) eerste waarde op basis van alle metingen, tweede waarde op basis van alle geldige metingen

Tevens zijn langere metingen uitgevoerd aan het achtergrondstralingsniveau ter plaatse van de poortdetector met behulp van de Reuter-Stokes RSS-111. Dit is gedaan met en zonder de aanwezigheid van de vrachtauto in de poort. Na afloop van deze metingen is bron A (¹³⁷Cs-bron, uit wolfram container) op het statief geplaatst en is de aanname van de kwadratenwet zoals vermeld in paragraaf 2.1 getoetst. Resultaten van deze metingen zijn vermeld in Tabel 6. Er blijkt een iets grotere afwijking te bestaan tussen berekende en gemeten waarde voor bron A. Dit is deels te verklaren door de opstelling, die hier op een helling stond (zie ook Figuren 7 en 8) en de meetfout in de afstand tot de vrachtwagen (enkele procenten).

Tabel 6: Gemeten stralingsniveau's van de achtergrond en van bron A

| meting | stralingsniveau (nSv·h ⁻¹) | Verwacht op basis van kwadratenwet (nSv·h ⁻¹) |
|------------------------------------|---|--|
| BKG1 = achtergrond zonder auto | 73,4 ± 0,4 | |
| BKG2 = achtergrond met auto | 68,1 ± 0,4 | |
| bron A, excl. achtergrond met auto | 1134,4 ± 1,6 | 1058,0 ± 1,7 |

2.4 Samenvatting metingen

Beide poortdetectoren vertonen een verminderde of zelfs slechte werking wanneer de snelheid van de vrachtauto te hoog is. Middels signalering moet door de poortdetector aangegeven worden dat de snelheid niet laag genoeg is (stapvoets ofwel ten hoogste 5 mph), maar dit is helaas niet altijd het geval.

→ **alarmering voor overschrijding van snelheidsgrens onmisbaar**

Wat betreft detectiegrenzen verschillen de poortdetectoren niet sterk:

Voor zowel de Eberline FHT 1388 als de Bicron ASM 6000 is de detectiegrens voor ^{137}Cs kleiner dan $5 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$, voor de gehanteerde natuurlijke (erts) bron ($^{238}\text{U}_{\text{sec}}$ en $^{232}\text{Th}_{\text{sec}}$) kleiner dan $10 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ en voor ^{60}Co kleiner dan $15 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.

→ **m.b.v. van enkele natuurlijke ($^{238}\text{U}_{\text{sec}}$ en $^{232}\text{Th}_{\text{sec}}$), ^{137}Cs - en ^{60}Co -bronnen met stralingsniveau's ter plaatse van de poort variërend tussen 5 en $20 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ is het betrekkelijk eenvoudig een bovengrens voor de detectiegrenzen van de poort te bepalen**

3 Berekeningen aan de detectieprocedure

Ter ondersteuning van de metingen zijn ook enkele berekeningen uitgevoerd. Het gaat dan vooral om de te verwachten bijdragen van terrestrische en kosmische straling en vrachtwagen (afscherming) met bron aan het dosistempo zoals dat ook is gemeten met de Reuter Stokes.

3.1 Doel van de berekeningen

Het doel van de berekeningen is om inzicht te krijgen in de invloed van diverse parameters op het dosistempo, zoals afscherming van de achtergrondstraling door de vrachtwagen en afstand bron-detector. Zie voor diverse andere parameters een recent ander rapport over dit onderwerp [1]. Ook nu weer kan met de resultaten van de berekeningen het verloop van het gemeten signaal, het teltempo, in de tijd worden gesimuleerd. Deze simulaties zijn in enkele gevallen vergeleken met meetgegevens van de twee ‘test-bedrijven’ Jewometaal B.V. en Van Dalen Metaal B.V.

3.2 Het rekenmodel MARMER

Het rekenmodel MARMER maakt gebruik van een zogenaamd point-kernel afschermingsmodel [4, 5, 6, 7, 8]. Het dosistempo $D(r_d)$ door externe straling op een specifieke locatie d op een afstand r van de bron, r_d , wordt berekend met:

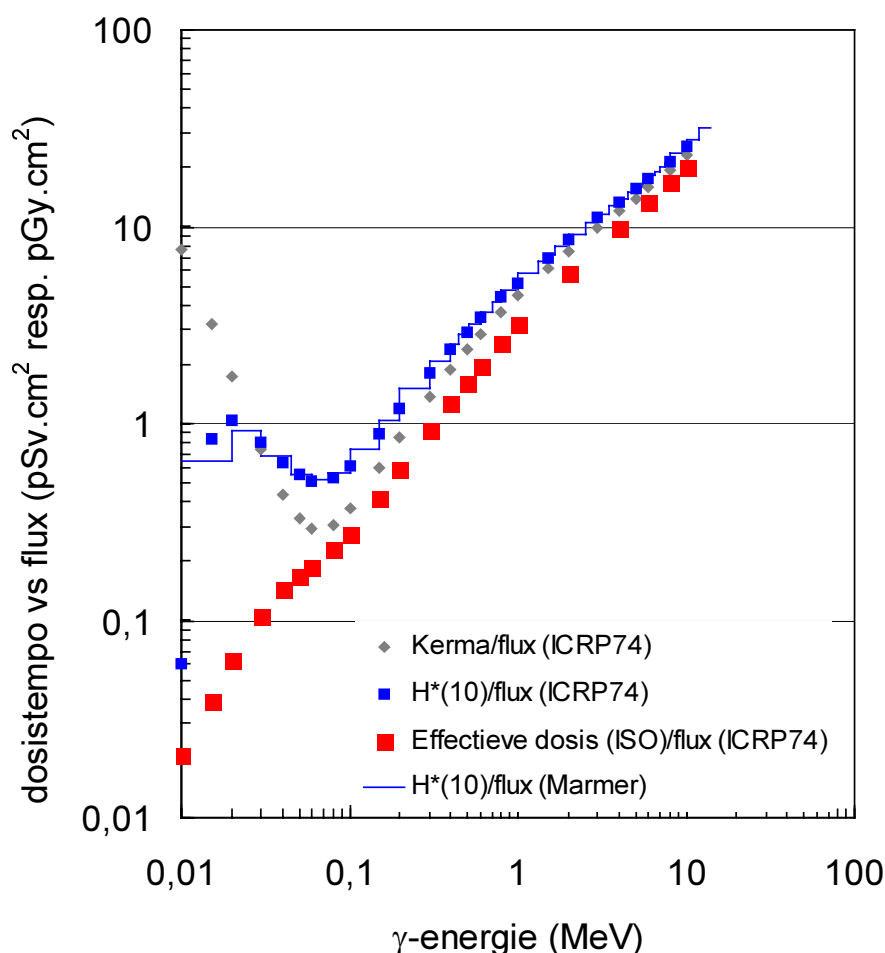
$$D(\vec{r}_d) = \int_{V_s} \int_0^{\infty} B(Z, \sum_i (\mu_i(E) \cdot r_i), E) \cdot R(E) \cdot S_V(\vec{r}_s, E) \cdot \frac{\exp(-\sum_i (\mu_i(E) \cdot r_i))}{4\pi(\sum_i r_i)^2} dE d\vec{r}_s \quad (3)$$

Het dosistempo door de niet-verstrooide straling wordt daarbij berekend met een kernel, een functie die het verband met de afstand r (tussen bron en dosislocatie) en de afschermende werking van de tussenliggende materie beschrijft. De bijdrage van de verstrooide straling wordt hierin verwerkt door een zogenaamde buildup factor B , die afhankelijk is van het atoomnummer Z van het afschermende materiaal i , de weglengte door het materiaal, r_i (tussen locaties \vec{r}_s en \vec{r}_d), en de energie van de invallende niet-verstrooide straling, E .

De afscherming, door de tussenliggende materie, en verzwakking, door de ruimtelijke uitbreiding, is in de laatste factor (de breuk) ondergebracht. Overigens is het berekende dosistempo een functie van de sterkte van de bron, S_V (aantal gamma-emissies per seconde, volume eenheid en energie interval), die op haar beurt (bij inhomogene volume bronnen) weer functie is van locatie \vec{r}_s en energie E , en de aangenomen receptor respons, $R(E)$. De receptor kan een detector zijn in het geval van een gemodelleerde meting of de mens in het geval van een dosismodellering voor de mens. In de hier beschreven berekeningen is het omgevingsdosis-equivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ als grootheid toegepast, zoals beschreven in ICRP-74 [9], zie ook Figuur 11. Het omgevingsdosis-equivalent wordt veel gebruikt bij externe straling in het buitenmilieu. Ook de gebruikte Reuter Stokes apparatuur is hierop gekalibreerd.

Een bron, zoals bijvoorbeeld een stuk radioactief schroot of de bodem, zendt een energiespectrum uit. Voor die bron dient, zoals aangegeven, de point-kernel functie te worden geïntegreerd over het gehele volume V_s van de bron en over alle voor het specifieke radionuclide van belang zijnde gamma-energieën E .

Het model is in eerste instantie ontwikkeld om berekeningen te doen aan afschermingen in bestralingsruimten en transportcontainers voor gebruikte brandstofstaven. Validatie van het model heeft vooral plaatsgevonden met meetdata van bestralingsfaciliteiten. De ‘fouten’ in de rekenresultaten geven alleen de onzekerheid (in het resultaat) die door de grootte van de samplefrequentie wordt bepaald (een maat van nauwkeurigheid van de berekening) en dus niet de onzekerheid in de verschillende parameters, zoals afstand tot bron, maatvoering van afscherming en bronsterkte.



Figuur 11 Dosistempo versus fotonenflux ([pSv] of [pGy] per eenheid van fotonenflux [cm⁻²]). Weergegeven zijn de tempi voor kerma, omgevingsdosisequivalent H(10) en effectieve dosis volgens de ICRP [9]. Deze laatste voor een isotrope aanstraling. Tevens zijn de discrete dosistempostappen (voor de in Marmar toegepaste energiestappen) gegeven, zoals die via interpolatie uit de ICRP-getallen volgen en in Marmar zijn ingevoerd.*

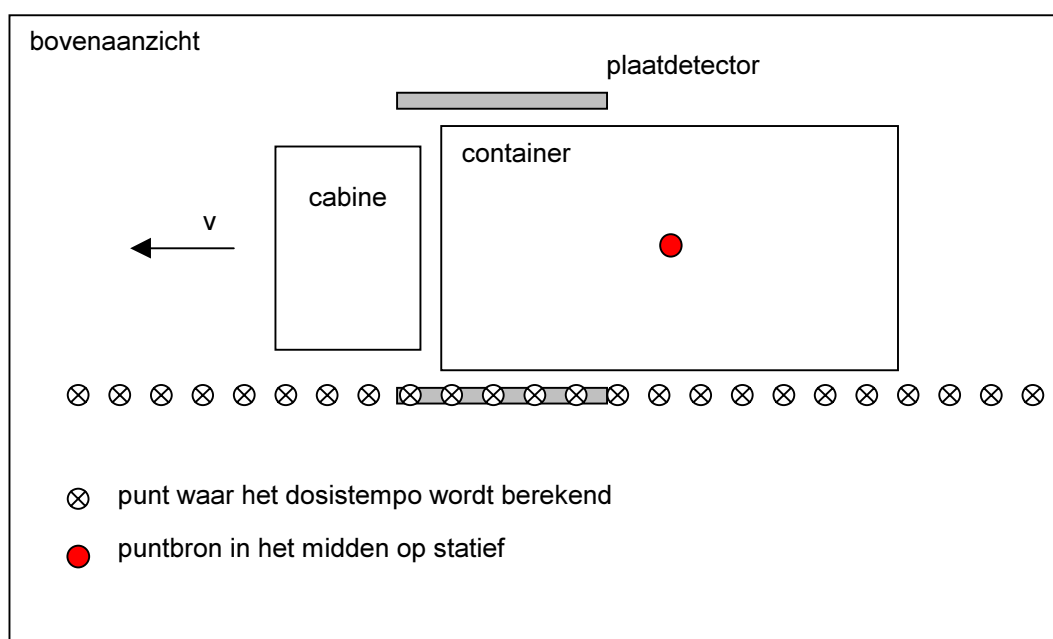
3.3 Onderscheiden situaties

Evenals in het eerder genoemde rapport over dit onderwerp [1] wordt uitgegaan van een vrachtwagen die langs een detector rijdt. In dit rapport worden daarbij echter de werkelijke maten van de vrachtwagen (een RIVM vrachtwagen met container, zoals reeds eerder

beschreven in hoofdstuk 2) gebruikt evenals zaken als de doorrijbreedte van de poortdetector bij de bedrijven waar meetsessies zijn uitgevoerd.

De situatie die is gemodelleerd, is in Figuur 12 weergegeven. Een auto met schrootcontainer rijdt met snelheid v van enkele m s^{-1} (4 tot $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) tussen twee plaatdetectoren. Het gaat om het dosistempo ter plaatse van deze plaatdetectoren.

Ter simulatie van de werkelijkheid wordt echter niet het dosistempo berekend op de locatie van de detector met langsrijdende auto, maar juist het dosistempo op verschillende locaties ten opzichte van de vrachtwagen (zie puntenrij in Figuur 12). Voor een aantal locaties, beginnend op 10 m vóór de vrachtwagen tot circa 13 m er achter, wordt iedere 0,5 m het dosistempo berekend voor een hoogte van 2,29 m. Op deze hoogte bevindt zich het midden van de gemodelleerde container en de plek waar bronnen op een statief geplaatste kunnen worden.



Figuur 12 Situatieschets van een RIVM vrachtwagen met container in een poortdetector

In de berekeningen is verder nog van de volgende aannamen en keuzen uitgegaan.

- 1 Tijdens de meting met een poortdetector schermen de auto, de container en het schroot de achtergrond deels af. Alleen de terrestrische straling wordt afgeschermd. De afscherming van kosmische straling (circa $40 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$) wordt verwaarloosd, vooral vanwege de veel 'hardere' straling die nauwelijks wordt afgeschermd. Ook de bodem aan de 'achterzijde' van de detector wordt meegenomen in het dosistempo, omdat de Reuter Stokes, in afwijking van de plaatdetectoren in de poort, niet is voorzien van afscherming (lood) aan deze 'achterzijde'. Overigens levert dit alleen een constante additionele dosisbijdrage. De aangenomen concentratie van natuurlijke radionucliden in de bodem is als volgt: bij de dichtheid van de bodem van $1,75 \text{ ton per m}^3$ zijn concentraties voor ^{214}Pb , ^{214}Bi (^{238}U -reeks), ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl (^{232}Th -reeks) en ^{40}K van respectievelijk 25, 25, 25, 25, 25, 9 en $400 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ gebruikt. De genoemde concentraties zijn typisch voor de situatie in Nederland [10]. De daadwerkelijke activiteit die natuurlijk ook wordt bepaald door betonpalen, gebouwen, bestrating en dergelijke is hieruit door schaling verkregen met het gemeten achtergrond stralingsniveau.
- 2 Het dosistempo wordt berekend op een reeks posities langs de auto.

- 3 De afmetingen van de container zijn: circa 5,6 meter lang, 2,4 m breed en 2,1 meter hoog. De afstand tussen de grond en de onderkant van de container is circa 1,25 m. De afstand tussen de poortdetector en de zijwand van de container zijn afhankelijk van het bedrijf. Bij de metingen op het RIVM bedroeg deze circa 1,05 m (Reuter Stokes), bij Jewometaal 0,95 m en bij Van Dalen Metaal 0,80 m. Deze afstanden zijn benaderingen, omdat de vrachtwagen niet exact midden tussen de poortdetectoren zal doorrijden.
- 4 Het geheel van vrachtwagencabine en container bevindt zich op een chassis van 10 cm dik 'ijzer'. Bij de wanden van de cabine is voor 1 cm dik ijzer(-equivalent) gekozen en bij de container voor 6 cm dik hout (polyester laag gevuld met een of ander licht materiaal).

3.4 Doorgerekende scenario's

Uit de Marmer berekeningen is voor een lege vrachtwagen (=RIVM-vrachtwagen met lege container) een afscherming berekend die voor Jewometaal (zie Figuur 13) en Van Dalen op de meetdagen is vastgesteld op respectievelijk circa $8,5 \pm 1,0 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ en $7,1 \pm 1,0 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Het verschil wordt vooral veroorzaakt door een verschil in terrestrische achtergrond. De gemeten verlagingen ('dips') zijn in beide gevallen iets minder diep dan de berekende, namelijk $7,1 \pm 0,4$ en $5,3 \pm 0,6 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Dit heeft mogelijk te maken met een toch iets andere verdeling van de natuurlijke radioactiviteit over de verschillende reeksen en/of een iets 'dunnere' vrachtwagen (chassis) dan aangenomen.

Tabel 7 Vergelijking resultaten berekening en meting op RIVM-terrein. Resultaten komen redelijk met elkaar overeen gezien de onnauwkeurigheid in exacte afstand bron-detector en onzekerheid in metingen en berekeningen. Voor de cesiumbron in een wolfraam container blijkt het echter lastig een passende berekening uit te voeren. Zie ook tekst.

| Type bron | Bron nummer | Berekend *) (MARMER) $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ | Gemeten (RIVM terrein, vrachtwagen) en RSS-111 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ |
|--|-------------|--|---|
| 45 MBq ^{137}Cs | A | $754,3 \pm 1,5$ | $820,1 \pm 1,6$ |
| 45 MBq ^{137}Cs in wolfraam container ca. 2,5 cm dik | B | $10,31 \pm 0,04$ (2,5 cm wolfraam) $24,32 \pm 0,07$ (2 cm wolfraam) | $34,4 \pm 0,6$ |
| tantaal erts – 314 kBq ^{238}U sec en 6 kBq ^{232}Th sec | C | $14,72 \pm 0,04$ (erts als puntbron) $9,54 \pm 0,11$ (incl. modell. erts) | $9,9 \pm 0,7$ |
| 236 kBq ^{137}Cs | D | $3,95 \pm 0,01$ | $4,9 \pm 0,4$ |
| 236 kBq + 340 kBq ^{137}Cs | E | $9,66 \pm 0,02$ | $10,8 \pm 1,5$ |
| doos 3 ^{60}Co bronnen à 31 kBq | F | $5,64 (\pm 0,005)$ | $6,9 \pm 0,5$ |
| doos 5 ^{60}Co bronnen à 31 kBq | G | $9,40 (\pm 0,005)$ | $9,8 \pm 0,4$ |
| doos 9 ^{60}Co bronnen à 31 kBq | H | $16,92 (\pm 0,005)$ | $18,3 \pm 1,5$ |

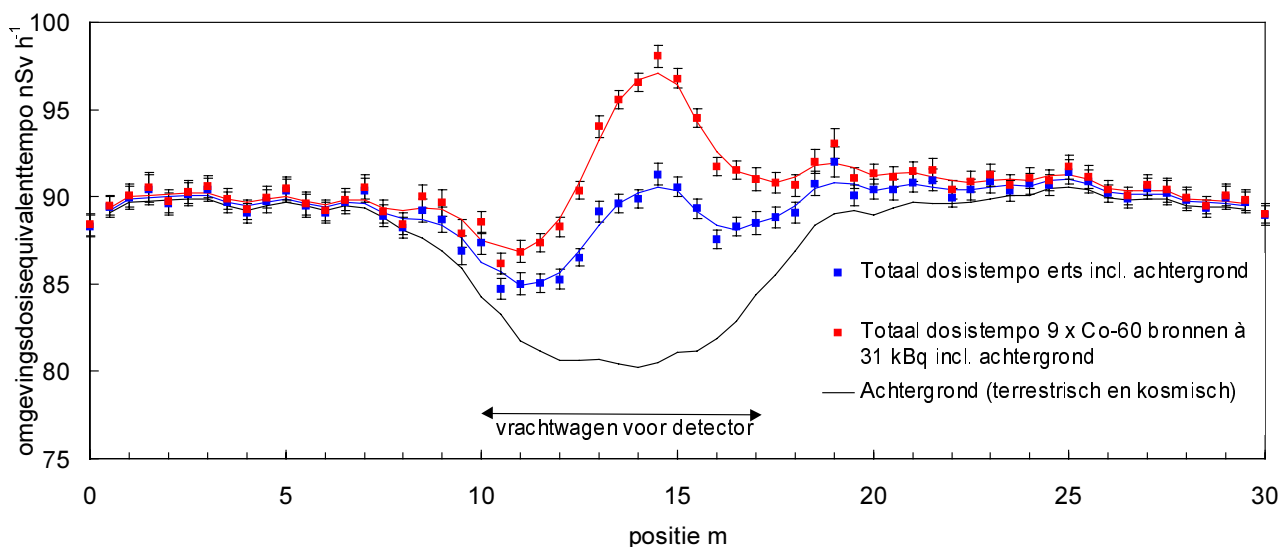
sec: in evenwicht met vervalproducten

*) bij een fout 0,005 is de berekende fout kleiner dan standaard wordt berekend in twee decimalen en dus kleiner dan 0,005 en daarom hier weergegeven tussen haakjes; zie ook eind 3.2 voor nadere uitleg over deze fout

Voor de verschillende gehanteerde bronnen (zie hoofdstuk 2) is het effect op het omgevingsdosistempo berekend. Daarbij is rekening gehouden met de reductie van de natuurlijke achtergrond. In Tabel 7 is als voorbeeld de dosisbijdrage door de specifieke bronnen gegeven voor de meetlocatie op het RIVM terrein. Voor de twee andere locaties wijken de absolute waarden overigens niet sterk af.

Het berekende dosistempo door de diverse bronnen is iets lager dan gemeten met de Reuter Stokes. Deels liggen de resultaten overigens nog wel binnen de meetfout. Er zijn enkele uitzonderingen. Voor de ^{137}Cs bron van circa 45 MBq wordt een te lage en bij afscherming met wolfrum zelfs een veel te laag dosistempo berekend. Dit wordt veroorzaakt door de in het wolfrum (materiaal met hoge Z) geproduceerde röntgenstraling. Deze straling wordt in de Marmer berekeningen niet meegenomen. De Reuter Stokes detecteert deze dosisbijdrage wel. De geproduceerde röntgenstraling is ook goed te meten door de scintillatiedetectoren van de poort. Bij de Jewo poort is zelfs een verhoging van het teltempo met circa 150% gemeten (Figuur 5), terwijl het omgevingsdosistempo ten gevolge van de ^{137}Cs bron (in wolfrum container) slechts circa 40% van de achtergrond was. Bron D die (onafgeschermd) slechts een zevende van dat stralingsniveau haalt, levert een teltempoverhoging van circa 7%, een verhoging die beter in overeenstemming is met de bijdrage aan het omgevingsdosistempo van circa 6%.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat, wanneer röntgenstraling wordt geproduceerd, een veel betere detectie kan plaatsvinden. Voor het vaststellen van de detectiegrens van een poortdetector is het daarom niet aan te bevelen om de grootte van een testbron (stralingsniveau) te 'regelen' met het aanbrengen van een afscherming met hoge Z-waarde. Zoveel mogelijk onafgeschermd bronnen dienen te worden gehanteerd als testbron.



Figuur 13 Berekend omgevingsdosistempo bij de Jewometaal B.V. poortdetector ten gevolge van een lege (RIVM-)vrachtwagen, één met een ertsmonster als bron en één waarin zich een doos met negen ^{60}Co bronnen van elk 31 kBq bevindt. In alle drie gevallen is het achtergrondstralingsniveau hetzelfde en wordt het verschil slechts veroorzaakt door het al of niet aanwezig zijn van een bron.

Om een goed beeld te krijgen van de detectie van verschillende bronnen is, zoals reeds eerder aangegeven, gekozen voor drie brontypen die een breed deel van het energiespectrum representeren. Een goed voorbeeld hiervan is de tantaalerts bron, een natuurlijke bron. In Tabel 7 is het berekende omgevingsdosistempo gegeven voor twee berekende geometrieën van deze bron.

De benadering van de bron als puntbron blijkt niet meer juist. Zelfabsorptie in monster is belangrijk geworden en dient te worden verdisconteerd. Een dergelijke bron zendt een scala aan gamma-energieën uit. In Figuur 13 is voor deze bron het berekende dosistempo weergegeven (blauw) voor de Jewometaal poort. Duidelijk is dat zonder achtergrondcorrectie de natuurlijke bron niet boven deze achtergrond uit komt. In Figuur 6 (bron C) is echter duidelijk te zien dat de verhoging van het dosistempo binnen de 'dip' door de vrachtwagen goed gemeten wordt. De teltempoverhoging komt met circa 8% zelfs aardig overeen met de verhoging van het omgevingsdosistempo van circa 11%. Ook de gemeten verhoging van het teltempo (circa 20%) ten gevolge van een ^{60}Co bron (bron H) is in overeenstemming met de bijdrage aan het dosistempo (19%, zie Figuur 13).

3.5 Conclusies

Voor een belangrijk aantal van de gedetecteerde bronnen bij Jewometaal B.V. (Eberline FHT 1388) lijkt de (afgeschermd) achtergrond op de juiste wijze te worden verdisconteerd. Bij de metingen bij Van Dalen B.V. is dit, door de geringere toegankelijkheid van de meetgegevens, moeilijk te achterhalen, maar treedt een vreemde fout op als de vrachtwagen te hard rijdt (zie ook paragraaf 2.3). Overigens lijkt de verhoging van het teltempo goed overeen te stemmen met de verhoging van het omgevingsdosistempo. Als sprake is van röntgenstraling door afscherming van de testbron met wolfram of een ander hoge-Z materiaal, dan kan het teltempo bij de poortdetector aanzienlijk toenemen in afwijking van wat verwacht wordt op basis van het dosistempo. Ten behoeve van een goede vergelijking en voor het vaststellen van een ondergrens voor de detectiegrens van een poortdetector is het daarom niet aanbevolen een dergelijke afscherming rond een testbron te gebruiken.

4 Conclusies

Uit het onderzoek volgen enkele conclusies die vrij specifiek van aard zijn. Een aantal is echter direct vertaalbaar naar eisen en aanbevelingen voor de ontwikkeling van een protocol voor een ringonderzoek naar poortdetectoren.

4.1 Conclusies uit het onderzoek

- Uit de meetsessies bij de twee schrootbedrijven blijkt dat, zoals verwacht gezien de uitgezonden gammastraling (zie ook paragraaf 4.1 in [1]), bij dezelfde activiteit de ^{137}Cs bronnen het laagste detecteerbare dosistempo produceren, gevolgd door de natuurlijke bron (het erts) en de ^{60}Co bronnen. Bij de onderzochte typen poortdetectoren (van Eberline en Bicron) zijn de bijbehorende omgevingsdosistempi (ter plaatse van de detector) afgerond niet hoger dan 5, 10 en 15 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Het is mogelijk dat deze niveau's hoger liggen bij minder hoog gekwalificeerde detectie-apparatuur. De detectieniveau's kunnen ook nog onder de 5 $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ liggen, maar dit is dan te typeren als goed.
- Vanwege het uitgezonden spectrum aan gamma-energieën kan bij kunstmatige bronnen (hier de ^{137}Cs en ^{60}Co) beter gecorrigeerd worden voor de achtergrond, dat wil zeggen is de achtergrond beter te onderscheiden. Bij het ertsmonster is belangrijker of de absolute waarde van de dosisbijdrage (het gehele spectrum wordt 'opgetild') een bepaalde verhoging overschrijdt.
- Indien bronnen in 'massieve' (hoge-Z) afschermingen worden gebruikt (vb. ^{137}Cs in wolfram container), dan is een lawine aan röntgenstraling het gevolg en heeft het meetsignaal van de poortdetector geen direct verband meer met het dosistempo, en kan aanzienlijk hoger zijn dan op basis van het dosistempo verwacht mag worden. In een reële situatie kan deze röntgenstraling optreden, maar ook weer (deels) worden afgeschermd door schroot. Voor een eerlijke vergelijking is het zaak dit in een testsituatie te voorkomen. Overigens is het wel zo dat sommige bronnen (bijvoorbeeld β -stralers zoals ^{90}Sr) juist beter zichtbaar zijn als ze (enigszins) worden afgeschermd.
- Te snel rijden levert een verhoging van het detectieniveau op en eventueel zelfs een onterechte 'goedkeuring van een lading'. Vraag is of de alarmering op de doorrijnsnelheid van de poortdetectoren wel operationeel is. Dit dient te worden gecontroleerd.
- Indien een bron deels is afgeschermd (zoals bij de ^{60}Co bronnen die half in een metalen container verpakt waren, zie Figuur 1 (hoofdstuk 2.1), kan een afwijkend patroon ontstaan tussen de detectoren aan weerszijden van het transport. Aan de ene zijde is de bron bijvoorbeeld wel afgeschermd en aan de andere niet. Sommige detectiesystemen kunnen deze verschillen vaststellen en daarmee tot een alarm leiden. Het is ter vergelijking van verschillende detectoren (eenvoudig tot meer geperfioneerde) echter beter een zo symmetrisch mogelijke situatie te benaderen.
- De testbronnen, zoals die hier zijn beschreven (behalve de 45 MBq cesiumbron), zijn een factor 100 tot 1000 kleiner dan die welke nog juist meetbaar zijn als de vrachtwagencontainer niet leeg is, maar gevuld met schroot (1000 kg m^{-3}), zie referentie [1].

4.2 Eisen en aanbevelingen voor een meetprotocol

Vooral uit de verschillende meetsessies komt een aantal zaken naar voren dat in een ringonderzoek voor poortdetectoren van belang zou kunnen zijn. Van een testprotocol voor een onderzoek van een poortdetector zouden de volgende conclusies dan ook deel moeten uitmaken.

- De doorrijnsnelheid is een zwak punt; veelal zullen de (zwaar geladen) vrachtwagens niet hard rijden omdat ze juist op een weegbrug stil hebben gestaan of afremmen om op een weegbrug te stoppen, maar als met te hoge snelheid ($> 5 \text{ mph} = \text{circa } 8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) wordt doorgereden, dan kan soms het alarm voor te snel rijden niet afgaan, als dit al aanwezig is. De consequentie kan zijn een ten onrechte goedgekeurde lading. Daarnaast is de meetnauwkeurigheid minder ofwel de detectiegrens hoger naarmate de snelheid van het voertuig hoger is.
- De afregeling van de poortdetectoren is soms de oorzaak van verschillen in gevoeligheid voor radioactieve bronnen. Een bekend voorbeeld is de al dan niet automatische correctie voor de afscherming van de terrestrische achtergrondstraling door de vrachtwagen met lading. Het is echter mogelijk dat deze verschillen in de praktijk niet van belang zijn, bijvoorbeeld als nooit sprake is van zwaar beladen vrachtwagens, of als schroot al dan niet op pallets met een vorkheftruck door de poortdetector wordt gereden. Het is dan ook van belang voor latere vergelijking (met andere poortdetectoren) in een ringonderzoek en bij een nadere kwantitatieve waardering dat wordt vastgelegd welke afregeling is gekozen of wordt toegepast.
- Het vaststellen of er sprake is van een radioactieve bron in een lading schroot wordt door verschillende fabrikanten op verschillende wijze geïmplementeerd in hun poortdetectoren. Zo kan er sprake zijn van achtergrondcorrectie (voor afscherming door voertuig en lading), of wordt kunstmatige radioactiviteit vastgesteld uit een of andere vorm van spectrum analyse. Om de verschillende detectoren zoveel mogelijk gelijk te behandelen, is het aan te bevelen om een drietal brontypen te hanteren die een breed scala aan fotonenergieën representeren. Hierbij moet gedacht worden aan een ^{137}Cs bron, een ^{60}Co bron en een ‘natuurlijke’ bron zoals erts of een specifieke radiumbron.
- Ten behoeve van het testen van de poortdetector is het aan te bevelen om een radioactieve testbron in het midden van de testvrachtwagen te monteren op een hoogte die overeenkomt met circa 230 cm boven de grond. Deze hoogte komt redelijk overeen met de gemiddelde hoogte van het midden van de detectoren van een poortdetectiesysteem.
- Omdat er bij het transport tussen de poortdetectoren mogelijk ‘problemen’ optreden, zoals fluctuaties in de achtergrond, net iets te snel rijden, of foutieve meting, is het aan te bevelen om met iedere bron tienmaal door de poort te rijden. Hiermee kan de kans dat een meting ten onrechte wordt goedgekeurd of juist afgekeurd worden verkleind.
- Bij goed afgestelde poortdetectoren zal er een alarmering plaatsvinden als een passerende kunstmatige radioactieve bron ter plaatse van de detector een verhoging van het omgevingsdosis-equivalenttempo tot gevolg heeft van circa $5 - 10 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. In andere gevallen, of bijvoorbeeld bij meer natuurlijke spectra, kan dat iets hoger zijn. Om toch met een zekere nauwkeurigheid iets te kunnen zeggen over de juistheid van de werking van een poortdetector is het aan te raden om een aantal bronnen van hetzelfde type maar verschillende sterkte voorhanden te hebben. Gezien de afmetingen van een vrachtwagen (met container) en van de doorgaans gebruikte poortdetectoren zal een detector zich ongeveer op één meter afstand bevinden van de zijkant van een dergelijk voertuig. Het is dan ook aanbevolen om per genoemd brontype een drietal exemplaren met een dusdanige sterkte te gebruiken dat deze op circa één meter naast de vrachtwagen(container) een omgevingsdosistempo genereren van respectievelijk 5, 10 en $20 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Als blijkt dat

alarmering reeds optreedt bij de kleinste bronnen is het testen met de grotere bronnen vanzelfsprekend niet meer nodig en kan dan achterwege blijven.

- Het is aan te bevelen de bronnen zodanig te plaatsen dat geen eenzijdige afscherming plaatsvindt.

5 Concept Protocol ringonderzoek poortdetectoren

Voor het uitvoeren van een ringonderzoek aan poortdetectoren is het van belang dat dit volgens een vaste procedure verloopt. Ter ondersteuning van een dergelijk ringonderzoek dient het hier volgende concept protocol. Een meer definitief protocol kan ontstaan als nadere invulling is gegeven aan de procedure. Zo zal bijvoorbeeld de opbouw van een vrachtwagen bij het onderzoek specifieke eisen stellen aan de toe te passen bronnen en is het tevens denkbaar dat in bepaalde gevallen een gewijzigde volgorde van procedurestappen wordt gevolgd. Het (concept) protocol wordt hier gesplitst in een deel van vaste eisen en handelingen en een lijst van procedurestappen zoals die te volgen zijn bij iedere afzonderlijke poortdetector (PD).

De bedoeling van het hier beschreven concept protocol is tweeledig. Enerzijds dient de PD te voldoen aan de wettelijke eis [11], anderzijds is er de wens om met een geringe inzet een beeld te krijgen van het algemene verschil in prestatie tussen de verschillende op de markt beschikbare PD's. Het protocol is dan ook niet gericht op het exact vaststellen van de detectiegrenzen en anderzijds ook niet alleen op het feit of de detector voldoet aan de wet.

5.1 Lijst van vaste eisen en handelingen

Voor het uitvoeren van een ringonderzoek moet een aantal zaken reeds vooraf geregeld zijn, de zogenaamde vaste eisen en handelingen. De hiervolgende lijst is daarbij te hanteren.

- Maak gebruik van een vrachtwagen met lege metalen containerbak. Deze mag gesloten of afsluitbaar zijn.
- In de container dient een opstel­mogelijkheid aanwezig te zijn voor radioactieve bronnen. Gedacht kan worden aan een statief of iets dergelijks, waarop snel bronnen bevestigd of gewisseld kunnen worden, verder de bronhouder genoemd. De bron dient zich op circa 230 cm boven grondniveau te bevinden.
- Voor het onderzoek dienen bronnen van ^{137}Cs , ^{60}Co en ^{226}Ra gebruikt te worden. De radiumbron mag ook een natuurlijke bron zijn, bijvoorbeeld een ertsmonster. Het is wel gewenst dat het radium en eventuele andere radionucliden in evenwicht zijn met hun vervalproducten. Voor de activiteit van de genoemde brontypen zijn drie waarden per type te gebruiken, ofwel in totaal negen bronnen. De activiteiten moet zodanig gekozen zijn (onder andere afhankelijk van dikte containerwand en materiaaltype) dat de dosistempi door de bronnen horizontaal en dwars op de rijrichting op 2,3 m vanaf de bron (en buiten de container) respectievelijk circa 5, 10 en 20 nSv·h⁻¹ bedragen.
- Om de productie van röntgenstraling te voorkomen, mogen de te gebruiken bronnen niet in een zware afscherming geplaatst zijn (zoals bijvoorbeeld een wolfram container).
- Voorkom bij plaatsing van de bron zoveel mogelijk dat er een eenzijdige afscherming plaatsvindt.

5.2 Procedurestappen

In een chronologische volgorde worden hier de diverse procedurestappen toegelicht die bij uitvoering van een meetprotocol aandacht verdienen.

- A. Controleer of de PD alarmeert bij te snel rijden.
- B. Plaats als eerste de bron met ^{137}Cs met de hoogste activiteit in de bronhouder.
- C. Het is gewenst om eventuele meetgegevens te bewaren. Soms betreft dit bestanden met meetdata uit een gekoppelde pc, soms slechts alarmeringsinfo.

- D. Rijd met de vrachtwagen zo goed mogelijk midden tussen de detectoren van de PD door. Let daarbij op de snelheid. Veelal is stapvoets rijden gewenst ($< 8 \text{ km h}^{-1}$). Controleer of de PD alarmeert. Als geen alarm optreedt en de snelheid van de vrachtwagen was in orde, dan voldoet de PD niet aan de eisen gesteld volgens de wet ($20 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$), i.e. de (concept) ministeriële regeling bij het Besluit van 3 oktober 2002 [11].
- E. Rijd 10 maal door de PD. Als de PD tenminste 9 van de 10 keer heeft gealarmeerd, vervang dan de bron door de ^{60}Co of ^{226}Ra bron met hetzelfde stralingsniveau en voer daar de test mee uit.
- Veelal zal het volledig door de PD rijden circa een halve minuut duren en is enige tijd nodig voordat de PD opnieuw een transport toestaat (dit is i.v.m. het opnieuw meten van de achtergrond). De totale tijd voor een test (exclusief monteren bron) met één brontype en één sterkte belooft ongeveer een kwartier.*
- F. Indien na viermaal doorrijden, bij de juiste snelheid, nog geen alarm is verkregen, kan gestopt worden met de reeks en kan de bron gewisseld worden voor de volgende. Het zal in dergelijke gevallen geen zin hebben om nog zwakkere bronnen te gebruiken.
- G. Als de ‘sterkste’ bron voor alle brontypen is gebruikt, ga dan verder met de eerst lichtere bron. Ga ook hiermee verder als hierboven beschreven. Hierbij kan worden aangenomen dat van de verschillende brontypen bij gelijk dosistempo op gelijke afstand buiten de container de ^{137}Cs bron het ‘best’ detecteerbaar is en ^{60}Co het ‘slechtst’. Op deze wijze verdergaand kan een redelijke afschatting gemaakt worden van de bovengrens voor de detectiegrenzen van de PD.
- H. Controleer de instellingen van de PD. Wordt gecorrigeerd voor de afscherming van de achtergrond? Wordt gebruik gemaakt van verschillende energie‘kanalen’ voor een betere detectie van kunstmatige bronnen?

Referenties

- [1] Pruppers MJM, Overwater RMW, Blaauboer RO – Normering van detectie van radioactief schroot met poortdetectoren – De mogelijkheden in Nederland, RIVM rapport 610050009/2002, RIVM, Bilthoven, 2002.
- [2] Keverling Buisman AS, Handboek Radionucliden, Beta Text, Bergen, ISBN 90-75541-02-3, 1996
- [3] Thompson IMG, Andersen CE, Bøtter-Jensen L, Funck E, Neumaier S, Sáez-Vergara JC - An international intercomparison of national network systems used to provide early warning of a nuclear accident having transboundary implications. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 92, Nos 1–3, pp. 89–100, 2000.
- [4] Kloosterman JL - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. Proc. of Seventh International Conference on Radiation Shielding. Bournemouth, U.K., September 12-16, 1988.
- [5] Kloosterman JL - Gamma Benchmark Calculations on the TN12 Spent Fuel Shipping Cask. Interfacultair Reactor Instituut, Report IRI-131-89-11. Delft, nov. 1989.
- [6] Kloosterman JL - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. User manual, version 2.0, Interfacultair Reactor Instituut, Report IRI-131-89-03/2. Delft, 1990.
- [7] Kloosterman JL, Hoogenboom JE - Gamma Benchmark Calculations on the TN12 Spent Fuel Shipping Cask by the Point-Kernel Shielding Code MARMER. Proc. of European Nuclear Conference '90. Lyon, France, September 23-28, 1990.
- [8] Kloosterman JL, Hoogenboom JE - MARMER, a flexible point-kernel shielding code. RAMTRANS, Vol.1, pp. 117-125, 1990.
- [9] Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. International Commission on Radiological Protection (ICRP), ICRP Publication 74, Pergamon Press, Oxford, 1997.
- [10] Köster HW, Keen A, Pennders RMJ, Bannink DW, Winkel JH de - Linear regression models for the natural radioactivity (U-238, Th-232 and K-40) in dutch soils: a key to anomalies. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 24, Nos 1-4, pp. 63-68, 1988.
- [11] Besluit van 3 oktober 2002, houdende regels voor de detectie van radioactief besmet schroot (Besluit detectie radioactief besmet schroot), Staatsblad 2002 565, Den Haag, 2002.

Bijlage 1 Verzendlijst

| | |
|-------|---|
| 1-30 | Directeur van de Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling |
| 31 | Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer |
| 32 | VROM-Inspectie Regio Zuid-West |
| 33 | Metaal Recycling Federatie |
| 34 | Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie |
| 35 | Directie RIVM |
| 36 | Directeur Milieurisico's en Externe Veiligheid |
| 37 | Hoofd Laboratorium voor Stralingsonderzoek |
| 38 | Hoofd van de afdeling Risicoanalyse en Modelonderzoek |
| 39 | Hoofd van de afdeling Monitoring en Meetmethoden |
| 40-41 | Auteurs |
| 42 | SBC/Communicatie |
| 43 | Bureau Rapportenregistratie |
| 44 | Bibliotheek RIVM |
| 45 | Bibliotheek LSO |
| 46-55 | Bureau Rapportenbeheer |
| 56-60 | Reserve exemplaren |