



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Radioactiviteit in schroot

Risicoclassificering en
veiligheidsmaatregelen

RIVM rapport 2014-0117

P. Stoop | R.M.W. Overwater | L.P. Roobol



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Radioactiviteit in schroot

Risicoclassificering en veiligheidsmaatregelen

RIVM Rapport 2014-0117

Colofon

© RIVM 2014

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

P. Stoop, M&V/VLH, RIVM
R.M.W. Overwater, M&V/VLH, RIVM
L.P. Roobol, M&V/VLH, RIVM

Contact:

L.P. Roobol
Centrum Veiligheid
lars.roobol@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Voorwoord

Bij het opstellen van het rapport hebben de auteurs hun ideeën tijdens een aantal vruchtbare discussiebijeenkomsten met de begeleidingscommissie besproken en gevormd. Deze begeleidingscommissie bestond uit dhr. Vermeulen, mw. Tijsmans en mw. Van Gelder van het ministerie van Economische Zaken (EZ); dhr. De Meulmeester van de Kernfysische Dienst van de Inspectie voor de Leefomgeving en Transport (ILT/KFD); dhr. Schuurmann van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW), en dhr. Schellekens van de Inspectie SZW (I-SZW). Ook is het eerste concept van het rapport gepresenteerd aan een klankbordgroep bestaande uit een aantal partijen uit het veld, waaronder vertegenwoordigers van schrootbedrijven, EHBO-bedrijven en opleiders. Ook bij die gelegenheid kwam nog een aantal zeer bruikbare ideeën naar voren die hun weg hebben gevonden naar het rapport. Voorts is een belangrijk deel van hoofdstuk 5 het gevolg van een consultatieronde langs enkele opleiders op het gebied van stralingshygiëne en een vruchtbare discussie met mw. Tijsmans van EZ en dhr. Van Dullemen van het Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC). En ten slotte heeft dhr. Bothof van de ILT/KFD veel tijd gestoken in het rechtzetten van een groot aantal grotere en kleinere slordigheden in het eerste concept. De auteurs danken allen hartelijk voor hun medewerking en inspanning.

Publiekssamenvatting

Radioactiviteit in schroot

Risicoclassificering en veiligheidsmaatregelen

Schroot wordt over de hele wereld verhandeld en bevat regelmatig radioactief materiaal. Schrootbedrijven zijn aan de ingang uitgerust met detectiepoorten om radioactief materiaal in containers op te sporen. Als de poort alarm slaat, moeten zogeheten EHBO-bedrijven met specialisten op het gebied van stralingshygiëne worden ingeschakeld om te achterhalen wat voor radioactiviteit het alarm veroorzaakte en waar het zich in de container bevindt, waarna zij het veiligstellen. Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat schrootbedrijven in veel gevallen zelf de bron van straling uit het schroot kunnen opsporen als de container wordt 'uitgepakt'. Op deze manier hoeft het bedrijf niet met uitpakken te wachten tot het EHBO-bedrijf arriveert en kan de container het normale verwerkingsproces doorlopen. Wel moet het radioactieve materiaal dan nog steeds door specialisten worden gekarakteriseerd, waarna het kan worden afgevoerd.

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken heeft het RIVM een methode ontwikkeld waarmee de medewerkers van het schrootbedrijf kunnen bepalen wanneer ze zelf de lading kunnen uitpakken en wanneer daarvoor gespecialiseerde hulp nodig is. Het RIVM stelt wel enkele voorwaarden om de veiligheid van de medewerkers te waarborgen. Het schrootbedrijf moet over de juiste meetapparatuur beschikken om verschillende soorten straling te kunnen meten. Daarnaast zijn in bepaalde gevallen voorzorgsmaatregelen nodig om te voorkomen dat radioactief stof wordt verspreid of dat de werknemers besmet raken. Voorbeelden zijn beschermende kleding, een mondkap en handschoenen. Ten slotte moeten de medewerkers over de juiste kennis beschikken om bijvoorbeeld radioactief materiaal in het schroot te kunnen herkennen en besmette objecten te isoleren.

De methode is ontwikkeld voor containers met roestvast staal (RVS). Hierin wordt het vaakst radioactiviteit aangetroffen. De schrootbedrijven kunnen met deze methode circa 75 procent van de alarmen bij containers met RVS-schroot zelf afhandelen.

Trefwoorden: radioactiviteit, schroot, weesbronnen

Abstract

Radioactivity in scrap metal

Classification of risk and safety measures

Scrap metal is traded all over the world and regularly contains radioactive material. The entrances of scrap yards are equipped with detector gates to trace radioactive material in containers. After detection of such materials, so-called 'first aid companies', employing radiation protection experts, have to be called in to find out what kind of radioactivity caused the alarm to be raised, and to locate the item's position within the container, after which they can secure the item. Research conducted by RIVM shows that scrapyards employees could locate the items themselves in many cases, while 'unpacking' the container. This way, the scrapyard personnel does not have to delay unpacking the container until the 'first aid company' has arrived, so their normal procedure for receiving containers can be followed. Nevertheless, the radioactive material will still have to be characterized by specialists, after which it can be disposed of.

The Ministry of Economic Affairs commissioned RIVM to develop a method with which the employees of a scrapyard can decide when they can unpack a container themselves, and when specialized help is required. RIVM has defined some conditions to ensure the safety of the employees. The scrapyard has to have the correct monitoring equipment to detect the various kinds of radiation. In addition to that, precautionary measures will be necessary in some cases to prevent radioactive dust from spreading, or employees from being contaminated. Examples of such measures are protective clothing, a face mask and gloves. Finally, employees must possess sufficient knowledge, e.g., to recognize radioactive material in the scrap and to isolate contaminated objects.

The method was developed for containers with stainless steel. Radioactive materials are found most often in this type of load. Using this method, the scrapyards can deal with about 75% of the alarm calls with stainless steel scrap themselves.

Keywords: radioactivity, scrap metal, orphan sources

Inhoud

Samenvatting — 11

1 Inleiding — 13

- 1.1 Achtergrond — 13
- 1.2 Doel van het onderzoek — 13
- 1.3 Afbakening — 14
- 1.4 Leeswijzer — 14

2 Overzicht van internationale regelgeving en aanbevelingen — 17

- 2.1 Internationaal — 17
- 2.2 Regelgeving in Nederland — 18
- 2.3 Huidige regeling in België — 18

3 Werkwijze — 21

- 3.1 Inventarisatie — 21
 - 3.1.1 Risicoklassen en voorwaarden voor uitzoeken — 21
 - 3.1.2 Werkwijze — 21
- 3.2 Ontwerpen beslisboom — 21
- 3.3 Scenario's en risicoberekeningen — 22

4 Resultaten inventarisatie en ontwerp — 23

- 4.1 Inventarisatie — 23
- 4.2 Beslisboom — 25
- 4.3 Scenario's en risicoberekeningen — 27
 - 4.3.1 Scenario 1 — 30
 - 4.3.2 Scenario 2 — 32
 - 4.3.3 Scenario 3 — 35
 - 4.3.4 Scenario 4 — 38
 - 4.3.5 Scenario 5 — 40
 - 4.3.6 Scenario 6 — 42
 - 4.3.7 Scenario 7 — 45
 - 4.3.8 Scenario 8 — 47
- 4.4 Discussie — 50

5 Opleidingseisen stralingsdeskundigheid — 53

6 Conclusies — 55

7 Referenties en gebruikte literatuur — 57

Samenvatting

Schroot wordt over de hele wereld verhandeld en bevat regelmatig radioactief materiaal. Het gaat om kunstmatige en natuurlijke bronnen die in veel gevallen afkomstig zijn van industriële toepassingen, ziekenhuizen of offshorebedrijven. Schrootbedrijven zijn om die reden uitgerust met detectieapparatuur waarmee het binnenkomende materiaal wordt gescreend. Vrachtwagens met containers rijden door een detectiepoort het terrein op. Als deze poort een alarm geeft, moet een zogeheten EHBO-bedrijf worden ingeschakeld. Net als er mensen zijn die zijn opgeleid om Eerste Hulp Bij Ongelukken (EHBO) te kunnen verlenen, zijn er bedrijven die stralingsdeskundigen in dienst hebben en over de benodigde vergunning beschikken om een container met radioactief materiaal te openen, de inhoud te onderzoeken en het radioactieve materiaal veilig te stellen.

Bij het ministerie van Economische Zaken is de vraag binnengekomen of schrootbedrijven zelf containers met radioactief materiaal zouden mogen openen om het radioactieve materiaal eruit te halen en veilig te stellen. Op die manier zou de rest van de container sneller kunnen worden verwerkt en zou het werk niet urenlang stil hoeven te liggen. Het EHBO-bedrijf zou dan minder vaak hoeven te komen. Het karakteriseren van het veiliggestelde materiaal zou nog steeds wel via het EHBO-bedrijf moeten gebeuren, waarna het materiaal kan worden afgevoerd. Om een onderbouwd antwoord op deze vraag te kunnen geven, heeft het ministerie opdracht gegeven aan het RIVM om na te gaan onder welke voorwaarden schrootbedrijven dit zouden kunnen doen met inachtneming van de veiligheid, in het bijzonder die van de werknemers.

Het voorliggende rapport bevat een methode waarmee schrootbedrijven die dat willen veilig containers met roestvast staalschroot (RVS-schroot) kunnen uitzoeken. De methode is gebaseerd op een analyse van de zogeheten signalen die betrekking hebben op radioactiviteit in containers met RVS-schroot. Signalen zijn korte omschrijvingen die gemaakt zijn naar aanleiding van aangetroffen radioactiviteit. Deze zijn opgeslagen in een database die beheerd wordt door de Kernfysische Dienst van de Inspectie voor de Leefomgeving en Transport (ILT/KFD).

In RVS-schroot wordt het vaakst radioactiviteit aangetroffen. De beperking tot RVS-schroot is opgenomen om de analyse van de signalen die bij de inspectie binnenkomen te beperken tot één sector, zodat een methode kon worden ontwikkeld die later aangepast kan worden aan een andere sector. Een belangrijk onderdeel van de methode is een beslisboom. Met behulp daarvan kunnen medewerkers van het schrootbedrijf nagaan of de volgende stap veilig kan worden gezet of dat er alsnog een EHBO-bedrijf moet worden ingeschakeld. Om de beslissingen verantwoord te kunnen nemen, hebben de medewerkers wel de juiste kennis nodig. Daar hoort kennis bij over de verschillende soorten straling, het juiste gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (onder andere beschermende kleding, een mondkap en handschoenen), het herkennen van bronnen en kennis van procedures. Soms zijn voorzorgsmaatregelen nodig om te voorkomen dat radioactief stof wordt verspreid. Ten slotte moeten de medewerkers over de juiste kennis beschikken om bijvoorbeeld radioactief materiaal in het schroot te kunnen herkennen en besmette objecten te isoleren.

Uit het onderzoek blijkt dat bij gebruik van deze methode de schrootbedrijven bij circa 75 procent van de alarmen bij containers met RVS-schroot zelfstandig de bron van straling uit het schroot kunnen opsporen als de container geopend wordt. De in het voorliggende rapport beschreven methode is niet de enige waarmee veilig kan worden gewerkt. Het verlagen van een stralingsniveau in de beslisboom zou er bijvoorbeeld toe kunnen leiden dat een EHBO-bedrijf vaker wordt ingeschakeld, maar dat een bepaalde veiligheidsmaatregel, kennis of meetinstrument niet beschikbaar hoeft te zijn. Dergelijke varianten zijn in het rapport niet uitgewerkt. Bedrijven die dit willen, zullen dit zelf moeten doen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Voor radioactieve stoffen stelt de wet verboden met betrekking tot het voorhanden hebben, het uitvoeren van handelingen en werkzaamheden,¹ en het zich ervan ontdoen, tenzij het gaat om kleine hoeveelheden, lage concentraties of als men de juiste vergunning heeft.

Regelmatig worden radioactieve stoffen, splijtstoffen en ertsen² aangetroffen in ladingen schroot. Daarom moeten deze ladingen gecontroleerd worden op radioactiviteit. Wanneer radioactiviteit wordt aangetroffen, moet de lading worden gecontroleerd en de radioactiviteit veiliggesteld worden. De vraag is welke maatregelen hierbij moeten worden genomen.

Wanneer een detector aan de poort een radioactieve bron detecteert, wordt dit gemeld aan de Inspectie voor de Leefomgeving en Transport (ILT/KFD), voorheen de VROM-Inspectie, en wordt een stralingsdeskundige van een bedrijf dat daarvoor een vergunning heeft (een zogenaamd EHBO-bedrijf) opgeroepen om de bron te identificeren, lokaliseren, veilig te stellen en een rapportage op te maken. De rapportage is de basis voor de wijze van afvoer van de gelocaliseerde radioactieve stoffen. De handelingen die het EHBO-bedrijf uitvoert, dienen te gebeuren volgens een plan van aanpak dat door de ILT/KFD moet zijn goedgekeurd. In België staat de overheid bedrijven toe om onder bepaalde voorwaarden zelf radioactieve bronnen te zoeken in ladingen schroot. In Nederland is een discussie ontstaan over de vraag of dit zelf uitzoeken ook hier zou kunnen, en zo ja, onder welke voorwaarden. Dit rapport gaat dus niet over het bemonsteren, analyseren en rapporteren, en ook niet over de selectie van de wijze van afvoer. Dat moet altijd gedaan worden door een gespecialiseerd bedrijf.

1.2 Doel van het onderzoek

De rijksoverheid heeft nog geen eigen toetsingskader om de afweging te maken welke maatregelen moeten worden genomen wanneer er handelingen met radioactieve bronnen in schroot moeten worden verricht. Met een dergelijk toetsingskader zou het wellicht mogelijk zijn om beter onderbouwde maatregelen voor te schrijven voor het uitzoeken van schroot in bepaalde situaties en vergunningen te verlenen die het mogelijk maken dat schrootbedrijven (een deel van) deze werkzaamheden zelf uitvoeren. De benodigde deskundigheid daarbij zou dan beperkt zijn.

Het project heeft als doel om controle van schroot op radioactief materiaal vaker door de schrootbedrijven zelf uit te laten voeren, zodat het werk op die bedrijven minder vaak stil komt te liggen en zij minder vaak externe specialisten hoeven in te huren.

Dit rapport geeft de inspecties een handvat om te kunnen toetsen of een plan van aanpak voor het uitzoeken van ladingen schroot in een container³ waarin radioactiviteit is gedetecteerd, veilig en doelmatig door het schrootbedrijf zelf kan worden uitgevoerd.

¹ Waar in het vervolg van dit rapport wordt gesproken van handelingen, zijn werkzaamheden inbegrepen.

² Waar in het vervolg van dit rapport wordt gesproken van radioactieve stoffen, zijn splijtstoffen en ertsen die radioactieve stoffen bevatten inbegrepen.

³ Het gaat in dit rapport alleen over containers, niet over bulkkladingen of andere transporten.

Uit dit rapport zal blijken dat niet in alle gevallen dezelfde benadering kan worden gevolgd om een containerlading uit te zoeken, zodat een classificatie nodig is. Doel is daarom te komen tot een beperkt aantal risicoklassen met elk een eigen benadering.

Om te onderzoeken of, en zo ja onder welke voorwaarden, het mogelijk is om containerladingen schroot waarin radioactiviteit is gedetecteerd veilig en doelmatig te laten uitzoeken door minder stralingshygiënisch geschoold personeel, worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

I - Welke risicoklassen zijn te onderscheiden?

Als het mogelijk is om bronnen die in schroot voorkomen te verdelen in categorieën, kan mogelijk per categorie een protocol worden opgesteld voor het uitzoeken van de lading. Uitgangspunt is dat de categorieën kunnen worden onderscheiden vóór de lading is gelost, dat wil zeggen aan de hand van metingen aan de buitenkant van een container.

Voor elk van de resulterende categorieën zijn de volgende vragen te beantwoorden:

1. Kunnen bronnen van dit type aan de buitenkant van een container worden gedetecteerd en geïdentificeerd? Zo ja, onder welke omstandigheden en met welke meetapparatuur?
2. Is het, gezien de meetresultaten aan de buitenkant van een container, mogelijk de risico's verbonden aan het uitzoeken van de lading voldoende in te schatten en zo ja, hoe?
3. Onder welke voorwaarden kan begonnen worden aan het uitzoeken van een lading schroot waarin dit type bron gezien de meetresultaten mogelijk voorkomt?

II - Welke maatregelen en randvoorwaarden zijn nodig om deze bronnen veilig en doelmatig uit te zoeken?

Het doel van de detectie aan de poort is om te voorkomen dat radioactief materiaal onbedoeld bij de afnemers van het schrootbedrijf terechtkomt, of een gevaar voor de werknemers van het schrootbedrijf vormt.

Na een succesvolle beantwoording van vragen I.1, I.2 en I.3 is het mogelijk om per categorie van bronnen vast te stellen welke maatregelen nodig zijn bij het uitzoeken van ladingen schroot en welke deskundigheid daarbij nodig is. Er kunnen eisen worden gesteld aan de veiligheid van zowel werknemers als het milieu, maar de opdracht beperkte zich tot de eerste categorie. De eisen zijn onder te verdelen in eisen aan meetapparatuur, de procedure, de instructie van het personeel (leerstof, oefenstof), het personeel zelf (opleiding, ervaring, training) en de uitrusting (waaronder persoonlijke beschermingsmiddelen en stralingsmonitors).

1.3 Afbakening

Vanwege de omvang van het aantal signalen die bij de ILT/KFD worden behandeld, zal het project in eerste instantie beperkt worden tot ladingen RVS-schroot die binnenkomen in containers bij de grotere schrootbedrijven. Andere soorten schroot (ijzer, aluminium, overige metalen) kunnen in een vervolgpriject worden behandeld nadat deze methode zich heeft bewezen.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport behandelt de (inter)nationale regelgeving die van toepassing is op het onderwerp van dit onderzoek.

In hoofdstuk 3 wordt onze werkwijze nader uitgelegd, waarna in hoofdstuk 4 een analyse gepresenteerd wordt van de bij de inspectie binnengekomen

meldingen ('signalen') en de verschillende categorieën radioactieve bronnen die een rol spelen bij deze meldingen. Op basis van deze categorieën is een beslisboom opgesteld, die in datzelfde hoofdstuk wordt gepresenteerd, samen met een methode om risico's te kunnen berekenen.

Ook worden er acht scenario's gepresenteerd in hoofdstuk 4, die representatief zijn voor de categorieën die zijn gedefinieerd, en die een goede indruk geven van de gevaarstelling van een bepaald type werk waarmee men in aanraking kan komen op een schrootbedrijf. Deze scenario's worden in detail uitgewerkt en er wordt een risicoanalyse gemaakt, waarna het mogelijk is om te zeggen of het volgen van de beslisboom in het uitgewerkte scenario leidt tot een veilige werksituatie.

Hoofdstuk 4 levert ook aanbevelingen voor het gebruik van bepaalde apparatuur en persoonlijke beschermingsmiddelen, en aanbevelingen voor de kennis en kunde die een medewerker zou moeten hebben om deze categorie werk veilig te kunnen uitvoeren.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op leerdoelen die in een cursus stralingsdeskundigheid voor medewerkers van schrootbedrijven aan bod zouden moeten komen. Als een medewerker al deze leerdoelen beheerst, zal hij of zij alle besproken categorieën werk kunnen uitvoeren. Omgekeerd geldt dat als niet alle categorieën werk uitgevoerd gaan worden, de medewerker minder leerdoelen gehaald hoeft te hebben.

2 Overzicht van internationale regelgeving en aanbevelingen

Om een kader te schetsen van de bestaande regelgeving en aanbevelingen over radioactiviteit in schroot is het van belang om een aantal documenten te noemen van internationale organisaties, van buitenlandse overheden en van de Nederlandse overheid. In dit hoofdstuk worden deze documenten kort besproken.

2.1 Internationaal

De International Atomic Energy Agency (IAEA) bracht begin 2012 een zogeheten Specific Safety Guide uit met de titel 'Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries' [1]. Het behandelt de volgende onderwerpen ten aanzien van het beheersen van weesbronnen en ander radioactief materiaal in de metaalrecycling en -productie:

- bescherming bevolking en milieu;
- verantwoordelijkheden;
- monitoring;
- respons bij detectie;
- sanering besmet gebied;
- beheer van radioactief materiaal;
- overzicht van incidenten;
- categorisatie van bronnen;
- nationale en internationale initiatieven.

Opvallend is dat de IAEA, anders dan in de Nederlandse wet- en regelgeving, het aantreffen van radioactief materiaal in schroot als een 'noodsituatie' omschrijft, omdat het gaat om een situatie waarbij onmiddellijk actie⁴ nodig is voor het afwenden van gevaar of schade aan gezondheid, veiligheid, welzijn, eigendom of milieu. De IAEA noemt schrootbedrijven en ijzer- en staalindustrie een 'dreiging', omdat daar een reële kans is op het aantreffen van een gevaarlijke bron die is verloren, verlaten, clandestien verwijderd of clandestien vervoerd.

De IAEA beveelt overheden een getrapte benadering aan waarbij de veiligheidsmaatregelen afhangen van de grootte van het bedrijf. Een groot bedrijf verbruikt meer dan 100.000 ton schroot per jaar. Zo geldt voor middelgrote en kleine bedrijven dat de werknemers die met schroot omgaan bekend moeten zijn met de problematiek, en minimaal de volgende producten visueel zouden moeten kunnen herkennen:

- instrumenten, bronhouders;
- waarschuwingssymbolen;
- transportplaten en -labels.

Bovendien stelt de IAEA de eis dat men weet wie gebeld moet worden bij het aantreffen van een van deze voorwerpen. Grote bedrijven zouden bovendien moeten beschikken over:

- detectoren op strategische plaatsen;
- expertise op het gebied van stralingsbescherming voor de eerste respons en het isoleren bij aantreffen van verdacht materiaal.

⁴ Ook wel 'interventie' genoemd, bijvoorbeeld in de Basic Safety Standards (BSS) [2].

Wanneer bedrijven metaalschroot als product willen verhandelen, mag dit schroot niet de status van afval hebben overeenkomstig de Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad [3]. Om deze status op te heffen, is een aantal criteria van kracht. Deze worden genoemd in de Verordening (EU) Nr. 333/2011 van de Raad van 31 maart 2011 [4]. Deze laatste verordening bevat onder meer de volgende verplichtingen:

- Gekwalificeerd personeel controleert de radioactiviteit van elke zending.
- Elke zending schroot moet vergezeld gaan van een certificaat dat vastgesteld is overeenkomstig nationale of internationale regels ten aanzien van monitoring- en reactieprocedures voor radioactief schroot.

2.2 Regelgeving in Nederland

Sinds 2002 bestaat in Nederland de volgende regelgeving:

- Besluit detectie radioactief besmet schroot (algemene eisen). [5]
- Regeling detectie radioactief besmet schroot (uitvoeringsvoorschriften). [6]

In het Besluit [5] worden de volgende verplichtingen opgelegd aan bedrijven die schroot opslaan, bewerken, verwerken of overslaan en voldoen aan bepaalde omzetcriteria:

- meetverplichting (art. 3 en 4);
- registratieverplichting (art. 5);
- verantwoordelijk persoon (art. 6);
- financiële zekerheid (art. 7, 8, 9).

De details van deze verplichtingen zijn vastgelegd in de Regeling [6], bijvoorbeeld:

- Inkomend schroot moet gemeten worden op aanwezigheid radioactiviteit met een poortdetector of kraandetector.
- Eisen waaraan de te gebruiken meetapparatuur moet voldoen.
- Vaardigheden en bekwaamheden van het personeel.

Tot slot is een groot aantal verplichtingen vastgelegd in de Kernenergiewet (Kew) [7], het Besluit stralingsbescherming (Bs) [8] en het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) [9], waaronder

- aangifteplicht (Kew);
- het voorhanden hebben van radioactieve stoffen (Bs en Bkse).

In een inspectierichtlijn [10], die een uitleg bevat van de geldende wet- en regelgeving, is vastgelegd wat te doen indien detectieapparatuur aangeeft dat een lading schroot besmet is met radioactieve stoffen.

2.3 Huidige regeling in België

In België is sinds 25 november 2011 het Koninklijk Besluit betreffende het opsporen van radioactieve stoffen in bepaalde materiaal- en afvalstromen en betreffende het beheer van weesbrongevoelige inrichtingen [11] van kracht. Het sorteren van ladingen na detectie van radioactiviteit is geregeld in artikel 8 van dit besluit:

Artikel 8:

§1. De uitbater van een weesbrongevoelige inrichting is ertoe gehouden één of meerdere personen aan te stellen waarop beroep kan worden gedaan voor het uitvoeren van een interventie.

§2. De uitbater is ertoe gehouden beroep te doen op een erkende deskundige voor het uitvoeren van de interventie wanneer één of meerdere van de volgende limieten worden overschreden:

- indien de waarschuwingsdrempel wordt overschreden;*
- zodra het dosistempo dat wordt gemeten in contact met het voertuig dat de lading bevat $5 \mu\text{Sv/u}$ overschrijdt, tenzij deze overschrijding evenwel slechts op één enkel precies punt op de wand van het voertuig wordt vastgesteld en deze de waarde van $20 \mu\text{Sv/u}$ niet overschrijdt;*
- zodra het dosistempo dat wordt gemeten ter hoogte van de borst van de intervenant $20 \mu\text{Sv/u}$ overschrijdt tijdens het uitsorteren van de lading;*
- zodra het dosistempo op 10 cm afstand van de bron $500 \mu\text{Sv/u}$ overschrijdt tijdens het uitsorteren van de lading.*

Uit het bovenstaande volgt dat de regeling in België geen onderscheid maakt tussen verschillende nucliden, hoewel die met moderne apparatuur relatief eenvoudig te onderscheiden zijn aan de buitenkant van een container.

Ter voorkoming van misverstanden zij vermeld dat aan het RIVM niet is verzocht een analyse van het Belgische systeem te doen. In plaats daarvan zijn de door de inspectie ontvangen signalen van in Nederland aangetroffen bronnen leidend geweest bij het opstellen van de in paragraaf 4.2 gepresenteerde beslisboom.

3 Werkwijze

3.1 Inventarisatie

Om te onderzoeken of, en zo ja onder welke voorwaarden, het mogelijk is om ladingen schroot waarin radioactiviteit is gedetecteerd veilig en doelmatig te laten uitzoeken door minder stralingshygiënisch geschoold personeel, is de volgende aanpak gekozen.

3.1.1 *Risicoklassen en voorwaarden voor uitzoeken*

Om na te gaan welke risicoklassen er te onderscheiden zijn, is geprobeerd de bronnen die in schroot voorkomen te verdelen in categorieën, zodat per categorie een protocol kan worden opgesteld voor het uitzoeken van de lading. Uitgangspunt is dat de categorieën kunnen worden onderscheiden vóór de lading is gelost, dat wil zeggen aan de hand van metingen aan de buitenkant van de container.

Voor elk van de resulterende categorieën zijn de volgende vragen te beantwoorden:

1. Kunnen bronnen van dit type aan de buitenkant van een container worden gedetecteerd en geïdentificeerd? Zo ja, onder welke omstandigheden en met welke meetapparatuur?
2. Is het, gezien de meetresultaten aan de buitenkant van een container, mogelijk de risico's verbonden aan het uitzoeken van de lading voldoende in te schatten en zo ja, hoe?
3. Onder welke voorwaarden kan begonnen worden aan het uitzoeken van een lading schroot waarin dit type bron gezien de meetresultaten mogelijk voorkomt?

3.1.2 *Werkwijze*

Ter beantwoording van de twee onderzoeksvragen I en II in paragraaf 1.2 is een inventarisatie van de zogeheten 'signalen' uit de jaren 2009–2011 uitgevoerd. Deze signalen zijn meldingen van radioactieve bronnen die zijn aangetroffen in schroot en worden door de ILT/KFD bijgehouden in een database waarover met zekere regelmaat aan de Tweede Kamer wordt gerapporteerd. Het gaat in RVS-schroot om circa 300 signalen op jaarbasis. Deze database bevat onder andere ook de uitkomsten van de afhandeling door de EHBO-bedrijven en de conclusies over de eventuele vorm van de besmetting en het radionuclide. Om te komen tot een classificering van bronnen zijn deze gegevens bestudeerd.

Er is een selectie uitgevoerd op bedrijven die vrijwel uitsluitend RVS-schroot ontvangen, waarbij gekeken is naar de gemeten stralingsniveaus en de eventueel bij directe meting aan de buitenzijde van de container geconstateerde radionucliden. Tevens is gekeken of het stralingspatroon leek te duiden op een gelokaliseerde bron (puntbron) dan wel op een meer verspreide besmetting ('bulkbesmetting'). In het verleden is deze laatste test niet altijd uitgevoerd bij de eerste inspectie van de container, maar de test is wel gemakkelijk uit te voeren, juist bij de eerste inspectie van een container.

3.2 Ontwerpen beslisboom

Op basis van een expertinschatting van de risico's bij het sorteren van containers en de aangetroffen categorieën van radionucliden in RVS-schroot is

een conceptbeslisboom opgesteld voor het uitzoeken. Dit concept is besproken met de begeleidingscommissie en vergeleken met de in België gebruikte methode. Aansluiting bij bestaande Nederlandse systematiek en regelgeving is zoveel mogelijk nagestreefd.

3.3 Scenario's en risicoberekeningen

Om na te gaan tot welke risico's het volgen van de beslisboom kan leiden, worden in het volgende hoofdstuk op basis van de inventarisatie zoals beschreven in paragraaf 3.1 een aantal scenario's uitgewerkt, waarvoor een risicoschatting is uitgevoerd.

4 Resultaten inventarisatie en ontwerp

4.1 Inventarisatie

Na bestuderen van de resultaten van de eerste metingen aan de buitenkant van de container/grijper⁵ is gebleken dat het radioactief materiaal ingedeeld kan worden in negen categorieën. Deze indeling is gemaakt voor het gemak van het analyseren van dit probleem en niet gebaseerd op wet- of regelgeving.

1. natuurlijk (NORM, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K);
2. kunstmatig (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir en andere);
3. ^{226}Ra (aanwijsinstrumenten, kalibratiebronnen en andere);
4. ^{241}Am ;
5. neutronenbronnen;
6. pure bèta-emitters;
7. DU (depleted uranium);
8. SNM (special nuclear materials, bijvoorbeeld verrijkt of natuurlijk uranium, plutonium);
9. niet-geïdentificeerd.

Voor ongeveer 83 procent van alle signalen van RVS-schroot met verhoogd stralingsniveau (750 van de in totaal 904 signalen in bijna drie jaar tijd) is een met een handmonitor gemeten stralingsniveau gegeven, voor de meeste van de andere signalen is slechts de telsnelheid op de poortdetector (of grijperdetector) gegeven. Het gaat hier om eerste metingen uitgevoerd door het schrootbedrijf zelf. Van de signalen met specifieke gegevens over het stralingsniveau is geteld hoe vaak elk van de bovengenoemde categorieën voorkomt. Hierbij is een indeling gemaakt in de volgende klassen: stralingsniveau beneden $0,2 \mu\text{Sv/h}$, tussen $0,2$ en $1,0 \mu\text{Sv/h}$, tussen $1,0$ en $10 \mu\text{Sv/h}$ en hoger dan $10 \mu\text{Sv/h}$ op het oppervlak van de container/grijper. Indien aangegeven in de database is per nuclide gerapporteerd. De resultaten voor alle 750 gebruikte meldingen staan in Tabel 1. De indeling is zo gekozen dat het grootste aantal signalen in de laagste stralingsniveaueklassen valt, dat minder dan 5 procent van de gevallen in de hoogste klasse valt, en ongeveer 10 procent in de op een na hoogste klasse.

⁵ In de inventarisatie zijn tevens de grijperalarmen meegenomen. Aangezien van een groot aantal signalen niet is aangegeven of het een poort- dan wel grijperalarm was, is uit voorzorg alles meegenomen, inclusief de wel met grijperalarm aangemerkte signalen.

Tabel 1 Indeling van alle meldingen op basis van stralingsniveau

Categorie	Nuclide	< 0,2	0,2 ≤ s < 1	1 ≤ s < 10	≥ 10 μSv/h	Totaal
1	NORM	57	12	4	0	73
1	Th-232	10	29	11	0	50
1	Ra-226	74	88	37	3	202
1	K-40	2	1	0	0	3
2	Co-60	26	26	18	4	74
2	Cs-137	13	3	3	2	20
2	Ir-192	1	0	0	1	2
3	Ra-226	8	10	7	3	28
4	Am-241	7	7	7	0	21
5	neutronen	0	0	0	1	1
6	pure bèta	1	0	0	0	1
7	DU	1	7	5	1	14
8	U-238	6	4	5	3	18
8	Pu-239	0	0	1	0	1
8	Pu-241	1	0	0	0	1
9	niet-geïdentificeerd	172	58	10	0	241
	Totaal	379	245	108	18	750

Tijdens het meten van het stralingsniveau kan naast de aard van het radionuclide ook bepaald worden of de activiteit gelokaliseerd is. Of bij de eerste inspectie van de container ook opgemerkt is dat de besmetting wel of niet gelokaliseerd is, staat meestal niet vermeld in de database, wel wanneer dit bij vervolgmetingen door het EHBO-bedrijf geconstateerd is. Zowel de aanmerking 'bulk' als 'oppervlaktebesmetting' in de database is gebruikt als indicatie voor niet-gelokaliseerde besmetting. Dit is een overschatting van het aantal niet-gelokaliseerde besmettingen, met name de besmettingen in categorie 1 met meer dan 1 μSv/h. In deze gevallen wordt in deze inventarisatie van de database aangenomen dat dit bij de eerste inspectie ook zou zijn geconstateerd, hoewel dit niet in alle gevallen mogelijk zal blijken te zijn (vooral bij lagere stralingsniveaus). Deze niet-gelokaliseerde meldingen zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Aantallen meldingen van niet-gelocaliseerde activiteit, ingedeeld naar stralingsniveau

Categorie	Nuclide	< 0,2	0,2 ≤ s < 1	1 ≤ s < 10	≥ 10 μSv/h	Totaal
1	NORM	33	5	3	0	41
1	Th-232	5	13	3	0	21
1	Ra-226	49	69	35	2	155
1	K-40	2	0	0	0	2
2	Co-60	5	9	4	1	19
2	Cs-137	10	3	0	0	13
2	Ir-192	0	0	0	0	0
3	Ra-226	0	1	0	0	1
4	Am-241	1	1	0	0	2
5	neutronen	0	0	0	0	0
6	pure bèta	0	0	0	0	0
7	DU	0	1	0	0	1
8	U-238	0	2	0	0	2
8	Pu-239	0	0	0	0	0
8	Pu-241	0	0	0	0	0
9	niet- geïdentificeerd	93	35	3	0	131
Totaal		198	139	48	3	388

Een van de conclusies uit deze inventarisatie is dat de niet-gelocaliseerde activiteit in de meeste gevallen wordt gevonden in de categorieën 1, 2 (bij laag stralingsniveau) en 9.

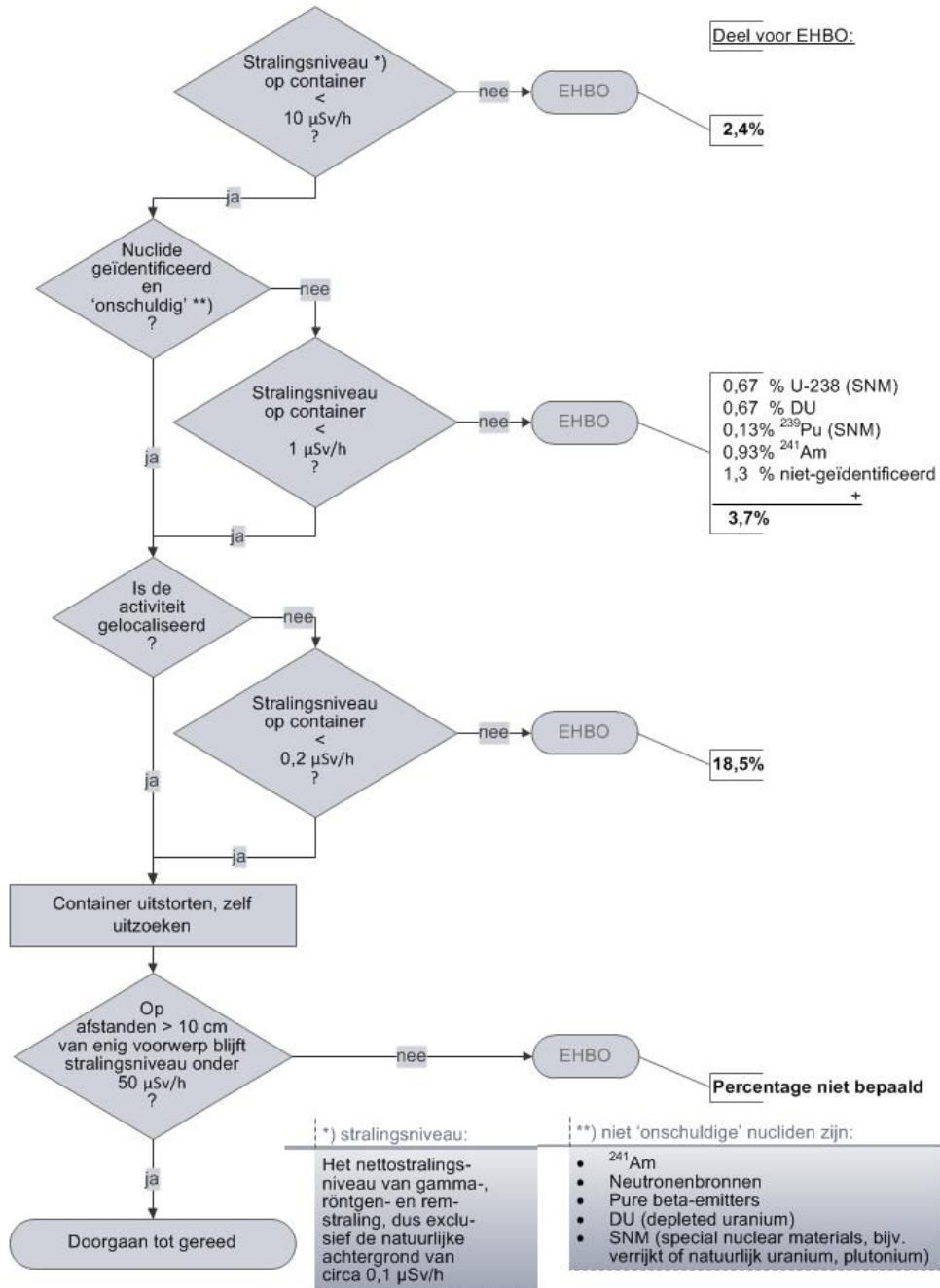
Verder is in veel gevallen een onderscheid te maken tussen Ra-226 als natuurlijk radionuclide (categorie 1) en als bron (categorie 3) op basis van de eventuele aanwezigheid van andere natuurlijke radionucliden zoals Ra-228 en Th-228.

De categorieën 4 tot en met 8 worden in het vervolg van dit onderzoek als 'niet- onschuldige' nucliden aangeduid.

4.2 Beslisboom

Op basis van een expertinschatting is een beslisboom opgesteld voor het bepalen van het risico van het sorteren van containers met RVS-schroot en daarin de diverse categorieën radioactief materiaal (Figuur 1).

Beslisboom uitzoeken containers RVS-schroot na poortalarm



Figuur 1 Beslisboom voor het uitzoeken van containers

Eerst wordt het punt met het hoogste stralingsniveau op de wand van de container opgezocht. Als het dosistempo hoog is (meer dan 10 $\mu\text{Sv/h}$), zal volgens de beslisboom altijd een EHBO-bedrijf moeten worden ingeschakeld. In de afgelopen jaren is het dosistempo in 2,4 procent van de gevallen zo hoog geweest.

In de rechterkolom staat steeds het percentage van de gevallen uit de afgelopen jaren dat aan de criteria uit de beslisboom voldoet. Deze methode volgend zou men in de afgelopen jaren in slechts een kwart van de gevallen externe stralingsdeskundige hulp hebben moeten inschakelen, en driekwart van de gevallen had door de medewerkers van de schrootbedrijven zelf afgehandeld kunnen worden.

In de beslisboom (Figuur 1) staat de vraag: 'Is de activiteit gelokaliseerd?' Dit dient als volgt te worden onderzocht:

Zoek langs de buitenkant van de container naar de plaats op het oppervlak met het hoogste stralingsniveau. In het geval van een gelokaliseerde besmetting zal het stralingsniveau op korte afstand van de besmetting direct afnemen, bij een niet-gelokaliseerde besmetting zal dit slechts langzaam afnemen. Wanneer het stralingsniveau op een afstand van 1,22 meter (om precies te zijn is dit een halve containerbreedte) is afgenomen met minimaal een factor twee, dan mag men ervan uitgaan dat er een gelokaliseerde bron is, anders dient men rekening te houden met een verspreide besmetting.

Het percentage dat door een EHBO-bedrijf dient te worden uitgevoerd, is in de laatste stap van de beslisboom niet bepaald. Dit viel buiten de scope van dit onderzoek.

4.3 Scenario's en risicoberekeningen

Aan de hand van een aantal scenario's wordt getoetst of de beslisboom die is ontworpen voldoet, dat wil zeggen: of de medewerker die de beslisboom gebruikt voor ieder scenario de correcte beslissingen neemt.

Vervolgens wordt een dosisschatting gemaakt en wordt het risico berekend met de Fine-Kinney methode. Deze methode geeft het risico (R) als het product van drie factoren: de grootte van de negatieve gevolgen (Eff, Effect), de kans van optreden per handeling (W, Waarschijnlijkheidsfactor), en het aantal handelingen per tijdseenheid (B, Belastingsfactor), dus $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W$.

In de volgende tabellen zijn de waarden van Eff, B en W, zoals gedefinieerd in [12], weergegeven. Er dient opgemerkt te worden dat het hier een 'relatieve' schaal betreft. Deze methode is daarmee zeer geschikt om radiologische en nucleaire risico's onderling te vergelijken, maar is niet ontworpen om uitspraken in absolute zin te kunnen doen, of om radiologische en nucleaire risico's te vergelijken met andere, bijvoorbeeld chemische risico's.

Tabel 3 Effectfactoren (Eff)

Eff	Effectieve dosis
1	< 0,02 mSv
3	0,02-0,1 mSv
5	0,1-0,5 mSv
7	0,5-1 mSv
10	1-2 mSv
15	2-6 mSv
40	6-20 mSv
100	> 20 mSv

Tabel 4 Belastingfactoren (B) en waarschijnlijkheidsfactoren (W)

B	Frequentie	W	Kwalitatieve omschrijving	Kwantitatieve vertaling in kans
0,5	< 1 keer per jaar	10	Te verwachten	> 0,5
1	Jaarlijks	6	Zeer wel mogelijk	0,1-0,5
2	Maandelijks	3	Ongewoon	10 ⁻² (een op de honderd keer)
3	Wekelijks	1	Onwaarschijnlijk	10 ⁻³
6	Dagelijks	0,5	Denkbaar	10 ⁻⁴
10	Continu	0,2	Praktisch onmogelijk	10 ⁻⁵
		0,1	Bijna niet denkbaar	10 ⁻⁶

Als er voor de analyse maten van een container en gewichten van ladingen nodig zijn, worden de standaardmaten en (laad)gewichten van een 40-voets of een 20-voets zeecontainer gebruikt, afhankelijk van welke maat tot de meest conservatieve schatting leidt. De standaardmaten, inhoud en gewichten zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 5 Standaardmaten van 40- en 20-voets zeecontainers

Lengte	40' 0"	12,192 m	19' 10½ "	6,058 m
Breedte	8' 0"	2,438 m	8' 0"	2,438 m
Hoogte	8' 6"	2,591 m	8' 6"	2,591 m
Volume	2385 ft ³	67,5 m ³	1169 ft ³	32,9 m ³
Leeg gewicht	8380 lb	3800 kg	4850 lb	2200 kg
Nettolaadgewicht	58.820 lb	26.680 kg	48.060 lb	21.800 kg

De scenario's die worden geanalyseerd zijn samengevat in onderstaande tabel:

Tabel 6 Karakteriserende kenmerken van de gebruikte scenario's

Nr.	Categorie	Bron	Dosistempo op containerwand	Gebeurtenis
1	2	50 GBq ⁶⁰ Co	< 10 µSv/h	Bron valt uit bronhouder bij leegstorten container.
2	6, 2	1 GBq ⁹⁰ Sr	< 1 µSv/h	De bètabron wordt niet geïdentificeerd. Valt zonder afscherming uit de container, maar is nog intact.
3	2	¹³⁷ Cs	< 0,2 µSv/h	De inhoud van de container is homogeen besmet met cesium in een poedervormige verbinding.
4	2, 6	¹³¹ I	< 10 µSv/h	Er zit een jodiepil in een houder tussen de lading. Bij het leegstorten van de lading komt de pil los, wordt platgedrukt en besmet de gehele lading.
5	5, 2	10 ⁸ n/s ²⁵² Cf		De poort heeft geen neutronendetectie.
6	4, 8	1 g Pu: 93 wt% ²³⁹ Pu 5 MBq ²⁴¹ Am		Men detecteert de gamma's van ²⁴¹ Am, maar niet de alfa's van ²³⁹ Pu. De bron blijkt uit een 1 gram weapons-grade Pu (93% Pu-239) te bestaan, het ²⁴¹ Am is slechts een ingegroeide fractie.
7	4, 8	22 MBq ²³⁴ U, 1 MBq ²³⁵ U, 15 kBq ²³⁸ U		HEU (90 wt% U-235) in verspreidbare vorm (scale aan binnenkant van een buisstuk).
8	1	U-reeks, Th-reeks, 10 Bq/g		Container met 10% slakkenwol in verspreidbare vorm, over de hele container verdeeld.

In bovenstaande tabel ziet men dat alle in de inventarisatie gedefinieerde categorieën zijn afgedekt, met uitzondering van categorieën 3, 7 en 9. Categorie 9 is materiaal dat onbekend is. In de beslisboom zal men dan uitkomen bij het inschakelen van een externe deskundige, die het veilig afhandelen van dat geval zal garanderen.

Categorie 3 betreft ²²⁶Ra (aanwijsinstrumenten, kalibratiebronnen enzovoort) en stralingshygiënisch bekeken lijkt dit geval erg op ²⁴¹Am: het zijn beide alfa-/gamma-emitters. Categorieën 3 en 4 kunnen wat gevaarzetting betreft dus als één geval beschouwd worden. Het gebeurtenisverloop van scenario 6 beschrijft dus niet alleen wat er met categorie 4-materiaal zal gebeuren, maar ook categorie 3-materiaal wordt erdoor beschreven. Verder geldt het verschil dat ²²⁶Ra veel gemakkelijker geïdentificeerd zal worden dan ²⁴¹Am.

Categorie 7 ten slotte is de categorie waarin DU (Depleted Uranium, verarmd uranium) valt. Dit materiaal wordt vaak gebruikt als afschermingsmateriaal, bijvoorbeeld in containers. Men heeft in deze situaties alleen te maken met externe bestraling (met stralingsniveaus tot ongeveer 10 µSv/h). Vaak zal het materiaal omhuld zijn, bijvoorbeeld door RVS. Is dat niet het geval en zou men het 'kale' metaal beetpakken, dan krijgt men te maken met de oppervlaktedosis die door de bètastralers in het materiaal wordt afgegeven.

4.3.1 Scenario 1

Korte beschrijving

In dit scenario zit er, naast oud metaal, ook een sterke bron van 50 GBq ^{60}Co in de container. De bron is afgeschermd met lood, zodanig dat er op de wand van de container een dosistempo van minder dan 10 $\mu\text{Sv/h}$ wordt gemeten. Bij uitstorten van de lading rolt de bron uit de bronhouder.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

Een medewerker die de beslisboom volgt zal ten eerste concluderen dat het dosistempo kleiner is dan 10 $\mu\text{Sv/h}$ en komt vervolgens aan bij de vraag 'Nuclide geïdentificeerd en "onschuldig"?'. Met geschikte apparatuur is het ^{60}Co uitstekend te determineren en ook hier kan het antwoord dus 'ja' luiden.

Dan komt de medewerker aan bij de vraag 'Is de activiteit gelokaliseerd?'. Hier is het niet helemaal voorspelbaar wat het antwoord zal zijn. Voor een ongeofende zal het lastig zijn om bij vrij harde gammastraling zoals die van ^{60}Co te zeggen of de bron gelokaliseerd is.

Waarschijnlijk zal de medewerker 'ja' (gelokaliseerd) antwoorden, omdat er grote verschillen in dosistempo gemeten gaan worden op verschillende punten van de container. Als de activiteit zich precies in het centrum bevindt, zal op het midden van het smalle zijvlak minder dan 10 procent gemeten worden van het dosistempo op het midden van het brede zijvlak van de container. Dit komt door de geometrie van de container: de lengte van een 20-voets container is bijna driemaal de breedte.

Volgens het schema wordt dan besloten om zelf uit te zoeken waar de stralingsbron zich bevindt. De deuren van de container worden geopend en de inhoud wordt op een daarvoor aangewezen stuk van het terrein leeggestort.

Met een 'hengel', een lange stok met daaraan een meetinstrument bevestigd, wordt de hotspot gezocht binnen de hoop oud metaal. In dit scenario duurt dit zoeken niet lang, omdat bij het leegstorten de bron uit de bronhouder is gerold en nu onbeschermd tussen het metaal ligt.

Het omgevingsdosistempo van ^{60}Co is 0,36 $\mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 , dus op een meter afstand zal 50 GBq tot een tempo van 18 mSv/h leiden, waarmee het alarmniveau (50 $\mu\text{Sv/h}$ op een afstand van 10 cm) met enkele orden van grootte wordt overschreden.

Als meteen opvolging wordt gegeven aan het alarm door de plek te verlaten en op voldoende afstand (bijvoorbeeld 20 meter) te gaan staan, of een massief voorwerp tussen de werkers en de bron te plaatsen, zal men slechts korte tijd in het hoge stralingsveld hoeven te staan. Dit zijn maatregelen die alleen een geofend en voldoende opgeleid persoon zou nemen. Hiervoor is ook doortastend handelen vereist.

Het werk zal stilgelegd moeten worden en stralingshygiënische professionals zullen moeten worden ingeschakeld om de bron veilig te bergen.

Tabel 7 Dosisschatting voor scenario 1

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	10	10	2
Rondom meten	(gemiddeld) 5	20	2
Bron rolt uit houder, persoon op 2 meter afstand	4500	2	150
Afstand nemen en eventueel iets massiefs voor de bron zetten (vanaf een afstand van 5 meter)	720	10	120
Totaal (afgerond)			300

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

Omdat de geschatte effectieve dosis tussen de 0,1 en 0,5 mSv ligt, wordt de effectfactor Eff op 5 gesteld. De factor B is 0,5 (minder dan eens per jaar) en de waarschijnlijkheidsfactor W van voorkomen van dit scenario wordt op 6 (zeer wel mogelijk) gesteld.

Deze laatste factor W is moeilijk te kwantificeren. Een classificatie 'zeer wel mogelijk' lijkt misschien al te conservatief, maar gezien het feit dat er schroot vanuit heel de wereld naar Nederland wordt vervoerd en gezien het feit dat we niet weten hoe de objecten zijn behandeld, moeten we het zeer wel mogelijk achten dat de bron uit de houder rolt bij leegstorten van de container.

Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 5 \cdot 0,5 \cdot 6 = 15$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'bestraling door een sterke gammabron'. Het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen zal het effect in dit geval niet verminderen; hier helpt alleen het hebben van voldoende kennis en ervaring, snelheid van reageren en voldoende afstand nemen.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Het volgen van de beslisboom levert een veilige eindtoestand op voor de medewerkers van het schrootbedrijf; enkelen hebben een voor dit soort bedrijven ongebruikelijke dosis ontvangen, maar wel een dosis die ruim binnen de jaarlimiet voor niet-blootgestelde medewerkers blijft. Voor 'gewone' leden van de bevolking buiten de locatie (bijvoorbeeld werknemers op een naastgelegen terrein) kan, afhankelijk van de ligging van de bron, een situatie ontstaan waarbij de limiet van 100 μSv wordt overschreden.
- De uitvoerenden dienen naast een dosistempometer te beschikken over een meetapparaat waarmee specifieke radionucliden (gammaspectrometrisch) geïdentificeerd kunnen worden.
- De uitvoerenden moeten voldoende kennis hebben van stralingshygiëne, over voldoende ervaring beschikken en doortastend kunnen optreden om adequaat te kunnen reageren op dit scenario.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De gammastraling die uitgezonden wordt door vergunningsplichtige kunstmatige bronnen als ^{60}Co kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector en geïdentificeerd worden met een gammaspectrometrisch meetinstrument.
- (I.2) Er zijn meetinstrumenten verkrijgbaar die niet alleen het radionuclide kunnen identificeren, maar ook (op basis van het spectrum) een melding geven dat het om een afgeschermd bron gaat. Met deze mededeling is niet meteen duidelijk dat het hierboven beschreven scenario zich kan ontploffen,

maar men heeft wel een aanwijzing dat de bron waarschijnlijk sterker is dan men zou denken op grond van alleen een dosistempometing.

- (I.3) Men zou een lading schroot van dit type het beste kunnen uitzoeken door de lading zo gecontroleerd mogelijk uit de container te laten komen, en een dosistempometer aan een 'hengel' bij de opening te houden gedurende het leegmaken. Snel uitstorten van de container heeft het gevaar in zich dat men onbedoeld aan meer straling wordt blootgesteld dan waar men op voorbereid was.
- (II) Deze onderzoeksvraag is hierboven bij I.3 al deels beantwoord. De werknemers dienen voorzien te zijn van een dosistempometer (bij voorkeur aangevuld met een actieve (elektronische) persoonsdosimeter) en moeten voldoende geïnstrueerd zijn met betrekking tot de specifieke gevaren van dit scenario.
- Verder gelden natuurlijk ook de gebruikelijke arborandvoorwaarden, zoals het uitvoeren van een (stralingshygiënische) Risico Inventarisatie en Evaluatie, het hebben van een bedrijfsnoodplan dat ook op deze specifieke gevaren ingaat en het in werking hebben van een Kwaliteits Management Systeem dat de (hiervoor opgeleide en voldoende ervaren) werknemer voorziet van procedures en instructies.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met gammastraling, de gevaren ervan en kan er veilig mee omgaan;
- kent het begrip halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte'.

4.3.2

Scenario 2

Korte beschrijving

In het midden van een container bevindt zich een ⁹⁰Sr-bron van 1 GBq. De uitgezonden bètastraling wordt geabsorbeerd door de bronhouder en het omringende metaal (de verdere lading van de container) en daarbij ontstaat remstraling. Die remstraling veroorzaakt een meetbaar dosistempo (minder dan 1 µSv/h) op het oppervlak van de container. Het nuclide wordt niet geïdentificeerd vanwege het typische, brede spectrum dat deze remstraling geeft. Bij het leegstorten van de container valt de bron zonder bronhouder op de grond, maar blijft intact.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

De medewerker die de beslisboom doorloopt beantwoordt de eerste vraag ('Is het stralingsniveau op het oppervlak van de container < 10 µSv/h?') met 'ja' en de tweede vraag ('Is het nuclide geïdentificeerd en "onschuldig"?') met 'nee', omdat hij het nuclide niet heeft kunnen identificeren. Een voldoende opgeleid en

geoeffend persoon zal uit het gammaspectrum concluderen hier met een bètastraler te maken te hebben.

Omdat het stralingsniveau op het oppervlak van de container $< 1 \mu\text{Sv/h}$ is en de activiteit gelokaliseerd lijkt, wordt in overeenstemming met het schema besloten om de bron zelf uit de container te halen. De inhoud van de container wordt op een daarvoor aangewezen stuk van het terrein leeggestort. Hierbij valt de bron zonder bronhouder uit de container, maar blijft intact.

^{90}Sr is een zuivere bètastraler. De maximale energie van het spectrum ligt bij 546 keV en de gemiddelde energie ligt bij 196 keV. Het ^{90}Sr vervalt naar het kortlevende (halveringstijd: 64 uur) yttrium-90, dat ook een zuivere bètastraler is. De maximale energie van het spectrum van ^{90}Y ligt bij 2284 keV en de gemiddelde energie is 935 keV. Het spectrum van het dochternuclide is dus aanzienlijk 'harder' dan dat van het moedernuclide.

Bèta's (elektronen) met een energie van 2 MeV hebben een dracht in lucht van bijna 8 meter, terwijl elektronen met een energie van 0,1 MeV een dracht van slechts enkele decimeters hebben. Vanwege het relatief 'harde' yttriumspectrum kan men dus ook op een afstand van enkele meters nog in een significant stralingsveld staan.

De zogenaamde vuistregel voor bètastraling zegt dat het geabsorbeerde dosistempo in lucht op 10 cm afstand van een 1 MBq sterke puntbron van een zuivere bètastraler ongeveer 1000 $\mu\text{Gy/h}$ bedraagt. Voor een puntbron van 1 GBq wordt het geabsorbeerde dosistempo in lucht ongeveer $10^6 \mu\text{Gy/h}$; dat is ruim boven de in de beslisboom gestelde waarde van 50 $\mu\text{Sv/h}$ en zal dus leiden tot stilleggen van het werk en het inschakelen van een externe deskundige. Ook op 2 meter afstand zal het geabsorbeerde dosistempo in lucht nog aanzienlijk zijn: ongeveer 2000 $\mu\text{Gy/h}$.

Er is niet alleen risico bij bronnen groter dan 1 GBq, ook bij kleine bronnen die wel aan het criterium van 50 $\mu\text{Sv/h}$ voldoen (dus tot maximaal 50 kBq) moet men met veel zorgvuldigheid te werk gaan. Het oppakken van de bron is gevaarlijk, omdat de huid dosis al snel zeer hoog wordt. (In onze berekeningen hebben wij verondersteld dat het oppervlak van de bron dat contact heeft met de huid 1 cm^2 groot is.) In het geval van oppervlaktebesmetting vindt men waarden voor het huiddosistempo van 1,8 $\mu\text{Sv/h}$ voor 1 Bq/cm^2 . Houdt men deze bron van 50 kBq in de hand, dan stelt men zich bloot aan een huiddosistempo van $9 \cdot 10^4 \mu\text{Sv/h}$, zodat de huid dosis al snel tot hoge waarden zal oplopen.

Tabel 8 Dosisschatting voor scenario 2

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	1	10	0,2
Rondom meten	(gemiddeld) 0,5	20	0,2
Bron onafgeschermd, persoon op 2 meter afstand	2000	2	66,7
Vanaf grotere afstand (5 meter) bron afschermen	200	10	33,3
Totaal (afgerond)			100

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

Omdat de geschatte effectieve dosis 100 μSv is, wordt de effectfactor Eff op 4 gesteld. De factor B is 0,5 (minder dan eens per jaar) en de waarschijnlijkheidsfactor W van voorkomen van dit scenario wordt op 6 (zeer wel mogelijk) gesteld.

Deze laatste factor W is moeilijk te kwantificeren. Een classificatie 'zeer wel mogelijk' lijkt misschien al te conservatief, maar gezien het feit dat er schroot vanuit heel de wereld naar Nederland wordt vervoerd en gezien het feit dat we niet weten hoe de objecten zijn behandeld, moeten we het zeer wel mogelijk achten dat de bron uit de houder rolt bij leegstorten van de container. Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 4 \cdot 0,5 \cdot 6 = 12$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'bestraling door een sterke bètabron'. Het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen zal het effect in dit geval niet verminderen; hier helpt alleen het hebben van voldoende kennis en ervaring en voldoende afstand nemen.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Het volgen van de beslisboom levert een veilige eindtoestand op voor de medewerkers van het schrootbedrijf; enkele medewerkers hebben een voor dit soort bedrijven ongebruikelijke dosis ontvangen, maar wel een dosis die net binnen de jaarlimiet voor 'gewone' leden van de bevolking blijft.
- De uitvoerenden dienen naast een dosistempometer te beschikken over een meetapparaat waarmee specifieke radionucliden (gammaspectrometrisch) geïdentificeerd kunnen worden.
- De uitvoerenden moeten voldoende kennis hebben van stralingshygiëne en over voldoende ervaring beschikken en doortastend kunnen optreden om adequaat te kunnen reageren op dit scenario. Zie ook de leerdoelen die later in dit rapport geformuleerd zijn.
- Dit scenario vergt vooral inzicht in de gevaren van bètastraling en hoe men zich hiertegen kan beschermen. Vooral het inzicht dat men een zeer grote huid dosis kan ontvangen bij het oppakken van dit soort bronnen, zelfs al meet men een relatief gering dosistempo op grotere afstand, is zeer belangrijk.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden bètastraling zal remstraling veroorzaken, die gedetecteerd kan worden met een poortdetector. Identificatie van het nuclide is echter een andere zaak; wellicht zullen sommige meetinstrumenten op basis van een gammaspectrum (eigenlijk: röntgen) concluderen dat het om een afgeschermd bron gaat; dit moet dan door de medewerker als aanwijzing geïnterpreteerd worden dat het om een bètabron kan gaan.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Met voldoende kennis en ervaring uitgerust kan de medewerker concluderen dat hier extra voorzichtigheid geboden is.
- (I.3) Men zou een lading schroot van dit type het beste kunnen uitzoeken door de lading zo gecontroleerd mogelijk uit de container te laten komen, en een dosistempometer aan een 'hengel' bij de opening te houden gedurende het leegmaken. Snel uitstorten van de container heeft het gevaar in zich dat men onbedoeld met meer straling in contact komt dan waar men op voorbereid was.
- (II) Deze onderzoeksvraag is hierboven bij I.3 al deels beantwoord. De werknemers dienen voorzien te zijn van een dosistempometer (bij voorkeur aangevuld met een actieve (elektronische) persoonsdosismeter), en moeten voldoende geïnstrueerd zijn met betrekking tot de specifieke gevaren van dit scenario.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met bètastraling, de gevaren ervan en kan er veilig mee omgaan;
- kent het begrip dracht en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met de begrippen huiddosis en ooglensdosis en kan ermee omgaan;
- is bekend met het fenomeen remstraling en weet hoe hier stralingsveilig mee om te gaan.
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte'.

4.3.3

Scenario 3

Korte beschrijving

Een container die homogeen besmet is met ^{137}Cs in een poedervormige verbinding komt aan op het bedrijf. Men meet een dosistempo $< 0,2 \mu\text{Sv/h}$ op het oppervlak van deze container.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

De vraag 'Is het stralingsniveau op de container $< 10 \mu\text{Sv/h}$?' zal meteen met 'ja' beantwoord kunnen worden. De straling van ^{137}Cs kan ook gemakkelijk gammaspectrometrisch geïdentificeerd worden en zal dus 'onschuldig' verklaard kunnen worden. Omdat de container homogeen besmet is, zal de vraag 'Is de activiteit gelokaliseerd?' met 'nee' beantwoord moeten worden, maar omdat het dosistempo op het oppervlak lager is dan $0,2 \mu\text{Sv/h}$, zal besloten worden om de lading zelf te gaan uitzoeken.

^{137}Cs is een zuivere bètastraler, die in 5 procent van de gevallen naar het stabiele ^{137}Ba verval, en in 95 procent van de gevallen naar het kortlevende $^{137\text{m}}\text{Ba}$, dat bij verval naar de grondtoestand gammastraling uitzendt. Het dosistempo van de dochter $^{137\text{m}}\text{Ba}$ in evenwicht met de moeder ^{137}Cs is $0,093 \mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 , dus een dosistempo van $0,2 \mu\text{Sv/h}$ op het midden van de lange zijde van de container zou veroorzaakt kunnen worden door een onafgeschermd puntbron van $3,2 \text{MBq}$ in het centrum van de container (dus op 1,22 meter).

Met formule 4.1 uit [15] ($\dot{H}^*(10) = 0,3 \cdot C \cdot E_{gem}$) kunnen wij ook de activiteit in de container schatten: met $\dot{H}^*(10) = 0,2$; $E_{gem} = 0,66$ volgt dat $C = 1 \text{Bq/g}$, en met een maximaal laadgewicht van 26,7 ton komt men dan op een (over)schatting van (afgerond) 30 MBq.

De vergelijkingen voor het dosistempo dicht bij het oppervlak van een balkvormig lichaam met homogeen verdeelde activiteit zijn niet algebraïsch en exact op te lossen. Bovendien zou het 'echte' probleem ook complexer zijn: het cesiumhoudende poeder zal deels op de bodem van de container liggen en deels op de metalen voorwerpen. Bovendien vullen de metalen voorwerpen de ruimte

binnen de container ook niet homogeen. Dat maakt de afscherming door de metalen delen en de build up die daarbij ontstaat lastig in te schatten. Bij het uitstorten van de container komt cesiumhoudend stof vrij, en hoewel het dosistempo bij het sorteren laag zal zijn, levert bijvoorbeeld het inademen van 100 kBq ^{137}Cs een effectieve volg dosis van ongeveer 500 μSv op. Als wij (zeer conservatief) aannemen dat een derde deel van het cesium in de lucht komt, en de medewerker daar 1 procent van inademt, dan komen wij op een inwendige besmetting van 100 kBq. Maar als er een P-3 mondkap gedragen wordt, wordt 99,9 procent daarvan afgevangen en daalt de blootstelling tot 100 Bq, met een volg dosis van 0,5 μSv . De dosis door inwendige besmetting is dan van dezelfde orde als die van de externe bestraling.

Verder zal verspreiding van het stof het grootste risico opleveren. Het bijeenvegen van het stof zal ten slotte de activiteit op één plek concentreren en zo een dosistempo van enige $\mu\text{Sv/h}$ op een meter afstand kunnen genereren. Op een afstand van 10 centimeter zou het dosistempo dan enige honderden $\mu\text{Sv/h}$ kunnen worden, en zou er alsnog een externe deskundige ingeschakeld moeten worden.

Tabel 9 Dosisschatting voor scenario 3

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	0,2	10	0,03
Rondom meten	(gemiddeld) 0,1	20	0,03
Sorteren besmette container	(gemiddeld) 0,1	240	0,4
Inwendige besmetting (P-3)			0,5
Bijeenvegen en opruimen	(gemiddeld) 1,0	30	0,5
Totaal (afgerond)			2

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

De dosis voor de medewerker is zeer laag en daarom zal het effect een zeer lage score, namelijk 1, hebben. Een voorval als dit zou jaarlijks ergens in Nederland kunnen voorkomen en daarom krijgt de frequentie een score B = 1. De gebeurtenis is wel ongewoon, dus de waarschijnlijkheid krijgt een score W = 3. Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 1 \cdot 1 \cdot 3 = 3$.

De te vermijden effecten in dit scenario zijn 'inwendige besmetting met een gammabron', 'uitwendige besmetting met een gammabron' en 'ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit'. Het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen heeft in dit geval veel effect: het inademen van 100 kBq ^{137}Cs levert een effectieve volg dosis van ongeveer 500 μSv op, terwijl de dosisschatting in de tabel hierboven van slechts 2 μSv (0,002 mSv) uitgaat. Het niet gebruiken van een mondkap zou de effectfactor dus van 1 naar 7 doen stijgen, waardoor het risicogetal R een waarde van 21 zou krijgen.

Om verspreiding van radioactiviteit tegen te gaan, zal bij dit soort besmettingen met een 'vuil' en een 'schoon' gebied gewerkt moeten worden. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden, zodat de besmetting niet wordt meegenomen naar de rest van de werf.

Het dragen van handschoenen ten slotte vermindert de kans op huidbesmettingen en (eventueel) wondinfecties.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- De (rest)risico's bij dit scenario zijn minder groot dan die van de voorgaande scenario's.
- Wel dient men zich tegen inademen, inslikken en verder verspreiden van het stof te beschermen. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden. Het dragen van een klasse P3-mondkap en handschoenen zorgt voor verdere verkleining van het risico.
- Het is niet de uitwendige bestraling waartegen men zich moet beschermen, maar het gevaar op inwendige besmetting. Ook is het gevaar van verdere verspreiding van het radioactieve stof aanzienlijk.
- Het dosistempo op 10 centimeter zal bij het opruimen boven de alarmwaarde van 50 $\mu\text{Sv/h}$ kunnen komen.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Identificatie van het nuclide is ook eenvoudig met een gammaspectrometrisch meetinstrument.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Met voldoende kennis en ervaring uitgerust, en door op verschillende plekken op de container metingen te verrichten, kan de medewerker concluderen of het hier gaat om een uniforme besmetting met een kunstmatig radionuclide. Men kan door het doen van stralingsmetingen echter geen uitspraken doen over de fysisch-chemische vorm, en daarmee over de verspreidbaarheid van de activiteit.
- (I.3) Men zou een lading schroot van dit type kunnen uitzoeken door de lading zo gecontroleerd als mogelijk uit de container te laten komen, en een dosistempometer aan een 'hengel' bij de opening te houden gedurende het leegmaken. Een andere techniek om verspreiding tegen te gaan is het bevochtigen van het stof. Welke methode hier optimaal is, zal op basis van de risicoanalyse en de (on)mogelijkheden van het uitgevoerde proces duidelijk worden.
- (II) Deze onderzoeksvraag is hierboven bij I.3 al deels beantwoord. De werknemers dienen voorzien te zijn van een dosistempometer (bij voorkeur aangevuld met een actieve (elektronische) persoonsdosismeter) en moeten voldoende geïnstrueerd zijn met betrekking tot de specifieke gevaren van dit scenario. Voor dit scenario is het belangrijk dat de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen op de correcte wijze worden gedragen. Verder zal er een goed onderbouwd plan van aanpak moeten zijn dat recht doet aan het gevaar (verspreiding van radioactief stof, besmetting van mensen) en aan de werkprocessen binnen het bedrijf.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met gammastraling, de gevaren ervan en kan er veilig mee omgaan;
- kent het begrip halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;

- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosis;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte';
- is bekend met de specifieke gevaren van open radioactieve stoffen en de persoonlijke beschermingsmiddelen die men in dit geval dient te gebruiken.

4.3.4 Scenario 4

Korte beschrijving

In een container zit een jodiepil met ^{131}I in een houder tussen de lading. Het dosistempo op de wand van de container is minder dan $10 \mu\text{Sv/h}$. Bij het leegstorten van de container komt de pil los, wordt platgedrukt en een groot deel van de lading wordt besmet met het jodium dat nog in de pil zit.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

Dit scenario lijkt op het vorige scenario, waar er cesiumpoeder homogeen over de hele lading verdeeld was. Omdat het stralingsniveau volgens het scenario kleiner dan $10 \mu\text{Sv/h}$ is, het nuclide gemakkelijk te identificeren is en in de klasse 'onschuldig' valt, en omdat de activiteit (voor het leegstorten van de container) gelokaliseerd is, wordt besloten om de container leeg te storten en de bron zelf te gaan lokaliseren.

Bij het leegstorten komt de pil echter los, raakt geplet en zo raakt alsnog een groot deel van de lading besmet.

Een puntbron van $1 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$ in het centrum van de container zal een dosistempo van $0,044 \mu\text{Sv/h}$ op het midden van de lange zijde van de container veroorzaken. Hieruit volgt dat een puntbron die een dosistempo van $10 \mu\text{Sv/h}$ veroorzaakt (op 1,22 meter) ongeveer 225 maal sterker moet zijn, ofwel 225 MBq .

Wij beschouwen nu de situatie bij dat maximum van 225 MBq . Als men alle activiteit in één punt bijeen zou vegen, dan zou op 10 centimeter een dosistempo van ongeveer $1500 \mu\text{Sv/h}$ kunnen ontstaan. Bij het opruimen zal dus alleen al vanwege het dosistempo een externe deskundige moeten worden ingeschakeld.

Nu zal men over het algemeen een grotere afstand tot de bron bewaren en niet al het stof ineens bij elkaar vegen. Een ervaren medewerker die de stralingshygiënische regels in acht neemt, moet het gemiddelde dosistempo onder de $50 \mu\text{Sv/h}$ kunnen houden.

Tabel 10 Dosisschatting voor scenario 4

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	10	10	2
Random meten	(gemiddeld) 5	20	2
Sorteren besmette container	(gemiddeld) 5	240	20
Inwendige besmetting (actieve kool, 99,9% retentie)			20
Bijeenvegen en opruimen	(gemiddeld) 50	30	25
Totaal (afgerond)			70

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

De dosis voor de medewerker ligt in de op één na laagste klasse en daarom zal het effect 3 punten scoren. Een voorval als dit zou jaarlijks ergens in Nederland kunnen voorkomen en daarom krijgt de frequentie een score $B = 1$. De gebeurtenis is wel ongewoon, dus de waarschijnlijkheid krijgt een score $W = 3$. Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 3 \cdot 1 \cdot 3 = 9$.

De te vermijden effecten in dit scenario zijn 'inwendige besmetting', 'uitwendige besmetting' en 'ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit'. Het dragen van de juiste en op de situatie afgestemde persoonlijke beschermingsmiddelen heeft in dit geval veel effect: het inademen van 1 MBq ^{131}I (in moleculaire vorm, I_2) levert een effectieve volgdosis van ongeveer 20 mSv op. Wanneer men gebruikmaakt van een filter dat 99,9 procent wegvangt, levert het slechts een dosis van 20 μSv op.

Wanneer men geen filterbus met actieve koolpatroon (een mondkap klasse P3 levert nauwelijks bescherming tegen I_2) gebruikt, zou de effectfactor van 3 naar 40 stijgen, waardoor het risicogetal R een waarde van 120 zou krijgen.

In dit voorbeeld hebben wij gekozen voor een zeer conservatief scenario: normaal zal men jodium in minder verspreidbare vorm aantreffen, zodat in veel gevallen een P-3filter voldoende zal zijn om het jodiumhoudende stof grotendeels tegen te houden.

Het dragen van handschoenen vermindert de kans op huidbesmettingen en (eventueel) wondinfecties. Draagt men ze niet, dan zou de effectieve volgdosis wellicht op meer dan 20 mSv kunnen uitkomen. In dat geval zou de effectfactor naar 100, en het risicogetal naar 300 stijgen.

Het niet dragen van andere schoenen in het besmette gebied zou de ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit over de werf in de hand werken, waardoor plaatsen en mensen radioactief besmet zouden kunnen worden.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- De risico's bij dit scenario zijn minder groot dan die van enkele voorgaande scenario's.
- Wel dient men zich tegen inademen, inslikken en verder verspreiden van het stof te beschermen. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden. Het dragen van een adembescherming (filterbus met actieve-kool patroon) en handschoenen zorgt voor verdere verkleining van het risico.
- Het is niet de uitwendige bestraling waartegen men zich moet beschermen, maar de inwendige besmetting. Ook is het gevaar van verdere verspreiding van het radioactieve stof aanzienlijk.
- Het dosistempo op 10 centimeter zal bij het opruimen boven de alarmwaarde van 50 $\mu\text{Sv/h}$ kunnen komen.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Identificatie van het nuclide is ook eenvoudig met een gammaspectrometrisch meetinstrument.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Met voldoende kennis en ervaring uitgerust, en door op verschillende plekken op de container metingen te verrichten, kan de medewerker concluderen dat het hier gaat om een puntbron en een

kunstmatig radionuclide. Men kan door het doen van stralingsmetingen echter geen uitspraken doen over de fysisch-chemische vorm, en daarmee over de verspreidbaarheid van de activiteit.

- (I.3) Zelfs voorzien van de juiste kennis en kunde (zie daarvoor het hoofdstuk over opleiding verderop in dit rapport) kan men waarschijnlijk op basis van metingen aan de buitenkant van de container niet voldoende inschatten welke risico's verbonden kunnen zijn aan het uitzoeken van deze lading.
- (II) Deze onderzoeksvraag is hierboven bij I.3 al deels beantwoord. Het is heel moeilijk om op basis van metingen op dit gevaar te anticiperen. Maar voorzien van de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen is het risico wel sterk te reduceren. De werknemers dienen daarom voorzien te zijn van een dosistempometer (bij voorkeur aangevuld met een actieve (elektronische) persoonsdosismeter) en moeten voldoende geïnstrueerd zijn met betrekking tot de specifieke gevaren van dit scenario. Net als bij scenario 3 zal er hiervoor een goed onderbouwd plan van aanpak moeten zijn dat recht doet aan het gevaar (verspreiding van radioactief stof, besmetting van mensen) en aan de werkprocessen binnen het bedrijf.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent het begrip halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huid dosis;
- is bekend met de specifieke gevaren van radioactief jodium, de verschillende fysisch-chemische vormen ervan en hoe men zich ertegen kan beschermen;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte';
- is bekend met de specifieke gevaren van open radioactieve stoffen en de persoonlijke beschermingsmiddelen die men in dit geval dient te gebruiken.

4.3.5

Scenario 5

Korte beschrijving

De container bevat een ^{252}Cf -neutronenbron (10^8 neutronen per seconde). De detectiepoort kent geen neutronendetectie en daarom wordt de bron niet als een sterke neutronenbron herkend. Omdat de bron wel wat gammastraling veroorzaakt, zal deze als een zwakke gammabron gedetecteerd worden.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

^{252}Cf kent verschillende toepassingen, omdat het een sterke bron van neutronen is; enkele microgrammen van de stof zijn al voldoende voor een opbrengst van

ruim 10^7 neutronen per seconde. De neutronen zijn afkomstig van spontane splijting van het atoom. In 97 procent van de gevallen vervalt het nuclide onder alfaverval (halveringstijd: 2,6 jaar) naar curium-248, een alfa-emitter die een zeer lange halveringstijd ($3,4 \cdot 10^5$ jaar) heeft.

Gewoonlijk wordt het ^{252}Cf ingebed in een keramische drager en dan lekdicht verpakt in een dubbelwandige stalen capsule. Volgens het specificatieblad van een leverancier [18] levert een 1GBq ^{252}Cf -bron van 50 μg al $1,15 \cdot 10^8$ neutronen per seconde, en zal deze bron op een meter afstand gemeten een dosistempo van 70 $\mu\text{Sv/h}$ (gamma) en 1,2 mSv/h (neutronen) afgeven. Hoewel ^{252}Cf van zichzelf een zeer zwakke gammastraler is, zullen de neutronen die worden uitgezonden het materiaal dat zij op hun weg tegenkomen gaan activeren. Bij de activeringsreactie (n, γ) ontstaat prompte gammastraling en ook zijn de activeringsproducten die ontstaan vaak gammastralers. De bron zelf zal dus (ook) een bron van gammastraling zijn, en ook het metaal dat zich rondom de bron in de container bevindt zal geactiveerd worden.

De detectorpoort zal dus afgaan, ook al is er geen neutronendetectie aanwezig, en op de wand van de container zal een dosistempo van enkele tientallen $\mu\text{Sv/h}$ te meten zijn. Het verschijnsel dat er naast neutronen ook gammastraling wordt uitgezonden door een neutronenbron is universeel en niet uniek voor californium. Men neemt het ook waar voor Am:Be, Pu:Be enzovoort. De verhouding tussen de waargenomen gamma- en neutronendosistemporen is ook vrij constant: het gammadosistempo is altijd een (klein, < 10%) percentage van het neutronendosistempo.

Als men dus niet al vanwege het dosistempo op het oppervlak van de container een externe deskundige laat komen, zal men het nuclide moeilijk kunnen identificeren. En als men het wel kan identificeren, dan zal het nuclide niet 'onschuldig zijn' en wordt er alsnog besloten een externe deskundige in te schakelen.

Tabel 11 Dosisschatting voor scenario 5

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	(gemiddeld) 600	5	50
Totaal (afgerond)			50

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

De dosis zal tussen de 20 en 100 μSv bedragen en daarmee scoort het effect 3 punten. Een dergelijke bron zal niet jaarlijks binnenkomen in Nederland, waardoor de frequentie $B = 0,5$. Het scenario is ongewoon en daarom krijgt de waarschijnlijkheidsfactor een waarde van 3.

Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 3 \cdot 0,5 \cdot 3 = 4,5 \rightarrow 5$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'bestraling met neutronen en gammastraling'. Omdat het hier om externe bestraling gaat, zal het al dan niet dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen geen invloed hebben op het risicogetal.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Om zelfstandig neutronenbronnen uit te kunnen sorteren, zouden de medewerkers moeten kunnen beschikken over, en kunnen omgaan met neutronendetectors. Er kunnen zich situaties voordoen waardoor men met gammadetectoren maar 5 procent van het totale dosistempo detecteert.
- Een goed opgeleide en ervaren medewerker (zie hiervoor het hoofdstuk over opleiding verderop in dit rapport) zal aan het opgemeten gammaspectrum kunnen zien dat het hier niet om een zuivere gammastraler gaat, maar om een neutronenbron.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Identificatie van de bepalende soort straling zal niet eenvoudig zijn zonder een meetinstrument dat gevoelig is voor neutronenstraling. Het is niet waarschijnlijk dat het nuclide geïdentificeerd wordt.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Met voldoende kennis en ervaring uitgerust, en door met een voor neutronenstraling gevoelig instrument te meten, is dit risico te voorzien door alleen aan de buitenkant van de container metingen te verrichten.
- (I.3) Volgens de beslisboom zal de medewerker van het bedrijf dit type bron niet zelf mogen uitzoeken.
- (II) Een stralingsbeschermingsdeskundige (expert) zal de voorwaarden moeten scheppen om in dit scenario de bron veilig te stellen.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met neutronenstraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte';

4.3.6 *Scenario 6***Korte beschrijving**

Er wordt door de medewerkers een ^{241}Am -bron van 5 MBq gedetecteerd. Wat niet werd opgemerkt, is dat het eigenlijk een bron met weapons grade plutonium (1 gram Pu met 93 wt% ^{239}Pu) betreft, het ^{241}Am is ingegroeid.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

De specifieke activiteit van ^{239}Pu is 2,3 GBq/g, dus naast 5 MBq ^{241}Am bevat de bron ook nog $0,93 \cdot 2,3 = 2,1$ GBq aan ^{239}Pu . De overige 0,07 gram van de bron bestaat voornamelijk uit andere plutoniumisotopen.

Americium-241 heeft een relatief laag omgevingsdosistempo: 0,017 $\mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 . Dat wil zeggen dat als de bron in het centrum van de container ligt en de medewerker van het schrootbedrijf het maximale dosistempo op het oppervlak van de container zoekt (afstand: 1,22 m), hij een toegevoegd dosistempo van 55 nSv/h zal waarnemen. De andere isotopen zijn alfastralers en worden niet gedetecteerd.

Als het de medewerkers lukt om dit nuclide te identificeren (naast alfastraling zendt ^{241}Am ook wat laagenergetische gamma- en röntgenstraling uit), wat niet zal lukken als de medewerker onervaren of ongetraind is, dan zal het tot een 'niet onschuldig' radionuclide verklaard worden en zal gekeken worden of het stralingsniveau lager dan 1 $\mu\text{Sv/h}$ is. Dat zal het geval zijn, en de activiteit is gelokaliseerd, dus er zal besloten worden de lading zelf uit te sorteren.

Zelfs op een afstand van 10 centimeter zal het (gamma)stralingsniveau niet hoger zijn dan 6 $\mu\text{Sv/h}$, dus de plutoniumbron zal door de medewerker van het schrootbedrijf worden geborgen. Overigens geeft plutonium ook nog wat neutronenstraling, maar in dit voorbeeld is de gammastraling de dominante factor. In de literatuur kan men verschillende inschattingen van de giftigheid van plutonium vinden. Het element heeft in ieder geval een slechte reputatie bij het publiek en de gemiddelde medewerker van een schrootbedrijf zal niet vrijwillig met plutonium in aanraking willen komen.

Als de bron onafgeschermd is en de medewerker pakt de bron op zonder handschoenen te dragen, dan kan hij of zij al gauw een aanzienlijke dosis ontvangen, omdat ^{239}Pu een huiddosistempo van 0,00144 $\mu\text{Sv/h}$ per Bq/cm^2 afgeeft. Bij grote activiteit wordt het dosistempo al gauw onaanvaardbaar hoog. Vooral wondbesmettingen zijn zeer gevaarlijk: een besmetting met slechts 1 Bq levert al een volg dosis van 500 μSv op.

Afhankelijk van de toestand en de fysisch-chemische vorm van de bron is er ook kans op plutoniumbesmetting van de omgeving. Naast gezondheidsrisico brengt dit ook een kans op reputatieschade voor het bedrijf met zich mee.

Tabel 12 Dosisschatting voor scenario 6

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	0,06	10	0,01
Rondom meten	(gemiddeld) 0,03	20	0,01
Bron onafgeschermd, persoon op 2 meter afstand	0,01	15	0,00
Bron bergen met handschoenen aan	0,00	15	0,00
Totaal (afgerond)			0,02

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

De dosis voor de medewerker ligt in de laagste klasse en daarom zal het effect 1 punt scoren. In Nederland is er nog nooit plutonium in de vorm van open stof aangetroffen in schroot en daarom krijgt de frequentie een score $B = 0,5$. De gebeurtenis is wel ongewoon, dus de waarschijnlijkheid krijgt een score $W = 3$. Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 1 \cdot 0,5 \cdot 3 = 1,5 \rightarrow 2$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'bestraling met alfa- en gammastraling'. Omdat het hier om externe bestraling gaat, zal het niet dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen geen invloed hebben op het risicogetal.

Mogelijk (afhankelijk van de fysisch-chemische toestand van de bron) kan het effect ook 'besmetting' zijn. In dat geval zijn de beschermende maatregelen (handschoenen, mondkap klasse P3, wisselen van jas en schoenen in 'vuil' gebied) natuurlijk zeer nuttig. Men vermijdt al gauw een dosis in de orde van millisieverts, zodat het effectgetal van 1 naar 15 zou kunnen stijgen, zodat het risicogetal dan (afgerond) op 23 zou kunnen uitkomen.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Men dient zich tegen inademen, inslikken en verder verspreiden van het plutonium te beschermen: er moet een overjas gedragen worden en men moet handschoenen en een mondkap (klasse P3) dragen. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden.
- Het is niet de uitwendige bestraling waartegen men zich moet beschermen, maar het gevaar op inwendige besmetting.
- Men moet rekening houden met mogelijke reputatieschade voor het bedrijf in het geval van een besmetting met plutonium.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Het is niet waarschijnlijk dat het nuclide correct geïdentificeerd wordt. De daarnaast aanwezige alfastraling kan niet gedetecteerd worden.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Men zal aan de hand van metingen aan de buitenkant van de container niet kunnen inschatten dat er een alfabron in de lading aanwezig is. Aan de andere kant is het dragen van handschoenen afdoende om het gevaar te neutraliseren.
- (I.3) Volgens de beslisboom zal de medewerker van het bedrijf dit type bron niet zelf mogen uitzoeken, omdat er plutonium aanwezig is. Dit zal echter niet gedetecteerd worden en de medewerker zal (onterecht) concluderen dat de container zelf gesorteerd mag worden, tenzij hij of zij visueel kan vaststellen dat het om een plutoniumbron gaat.
- (II) Een stralingsbeschermingsdeskundige (expert) zou de voorwaarden moeten scheppen om in dit scenario de bron veilig te stellen, maar omdat het materiaal niet als plutonium wordt geïdentificeerd, zal er geen expert geconsulteerd worden.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerkcursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met alfa- en gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent de begrippen dracht en halveringsdikte en kan ermee omgaan;

- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosistemp; kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte'.
- begrijpt de maatschappelijke onrust die kan ontstaan als er ergens plutonium wordt aangetroffen.

4.3.7 Scenario 7

Korte beschrijving

De container bevat een buisstuk met daarin aan de binnenkant uranium-scale in verspreidbare vorm. Het gaat hier om HEU (Highly Enriched Uranium, 90% verrijkt). De activiteit (belangrijkste nucliden) bestaat uit 15 kBq ^{238}U , 1 MBq ^{235}U en 22 MBq ^{234}U .

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

Uranium is voornamelijk een alfastraler. ^{234}U , ^{235}U en ^{238}U vervallen elk onder uitzenden van alfadeeltjes met een energie tussen de 4 en 5 MeV, zoals de meeste alfastralers doen. Er zal ook röntgen- en gammastraling uitgezonden worden door het HEU. In Tabel 1 van [15] kan men lezen dat het gemiddelde van de energie van deze straling voor ^{238}U op 1,80 MeV per desintegratie ligt, voor moeder- en dochternucliden in evenwicht. Voor ^{235}U ligt dat een stuk lager, bij 0,62 MeV.

Voor de zuivere nucliden, niet in evenwicht dus, geldt dat ^{238}U zelf geen noemenswaardig gammadosistempo afgeeft en ^{235}U ongeveer 0,15 MeV aan gamma- en röntgenenergie afgeeft per desintegratie. Als ^{238}U alfaverval ondergaat, dan wordt ^{234}Th gevormd, dat met een halveringstijd van 24 dagen verval naar $^{234(\text{m})}\text{Pa}$, dat verval (met een halveringstijd van 1,2 minuten, onder uitzending van 0,011 MeV aan gamma- en röntgenenergie) naar het zeer langlevende ^{234}U . Dit laatste isotoop verval naar het eveneens langlevende ^{230}Th , dat net als ^{234}U een alfastraler is. ^{235}U vertoont spontane splijting, maar kan ook onder alfaverval ^{231}Th vormen, dat met een halveringstijd van 26 uur naar het langlevende ^{231}Pa verval. Ook hierbij wordt per desintegratie ongeveer 0,1 MeV aan gamma- en röntgenenergie uitgezonden.

Het dosistempo op de containerwand zal daarom zeer laag zijn, in ieder geval kleiner dan 1 $\mu\text{Sv/h}$, maar wel te detecteren door de poort. Omdat uraniumisotopen lastig te determineren zijn voor iemand die geen specialist is, zal de medewerker deze stof waarschijnlijk niet kunnen identificeren. Maar omdat het dosistempo kleiner is dan 1 $\mu\text{Sv/h}$ en de bron gelokaliseerd is, zal besloten worden de lading zelf te gaan uitzoeken.

Bij het leegstorten van de container valt de buis met het buiseinde op een harde ondergrond, waardoor de uranium-scale van de wand loslaat en het uranium zich in poedervorm door de omgeving verspreidt.

Er is dus kans op besmetting van de medewerker die met de berging bezig is. Bij huidbesmetting van deze aard geldt dat er een (huid)dosistempo wordt afgegeven van 0,7 tot 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ per Bq/cm^2 voor ^{232}Th en ^{238}U in seculair evenwicht met hun dochters (voor ^{235}U geldt een ongeveer tienmaal lagere waarde).

Bij inhalatie geldt voor al deze stoffen dat de vijftigjarige effectieve volgdosis rond de 0,05 mSv per ingeademde becquerel ligt. Het inademen van 0,1 procent van de scale heeft dus een effectieve volgdosis van ruim 1 sievert ten gevolg. Dit negatieve effect kan beduidend verkleind worden door de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen te gebruiken: laboratoriumhandschoenen en geschikte adembescherming (minimaal een klasse P3-mondkap). Met een retentie van 99,9 procent verkleint een P3-mondkap de dosis tot 1 mSv.

Het niet dragen van andere schoenen in het besmette gebied zou de ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit over de werf in de hand werken, waardoor plaatsen en mensen radioactief besmet zouden kunnen worden.

Bij het opruimen van de sorteerlocatie en bij het vrijgeven van de container moet men natuurlijk wel grote voorzichtigheid en nauwkeurigheid betrachten.

Tabel 13 Dosisschatting voor scenario 7

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min.)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	1	10	0,16
Rondom meten	(gemiddeld) 0,5	20	0,16
Bron onafgeschermd, persoon op 2 meter afstand	0,2	10	0,03
Bron bergen met handschoenen aan	5	10	0,86
Inhalatiedosis			1000
Totaal (afgerond)			1000

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

De dosis voor de medewerker ligt rond de limiet voor een niet-blootgestelde werker en daarom zal het effect 10 punten scoren. Een voorval als dit zou jaarlijks ergens in Nederland kunnen voorkomen en daarom krijgt de frequentie een score $B = 1$. De gebeurtenis is ongewoon, dus de waarschijnlijkheid krijgt een score $W = 3$.

Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 10 \cdot 1 \cdot 3 = 30$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'inwendige besmetting met uranium'. Het al dan niet dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen zal zeer veel invloed hebben op het risicogetal: de dosis wordt al gauw meer dan 20 mSv en dus zal het effectgetal van 10 naar 100 stijgen, waardoor het risicogetal zal stijgen naar 300.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Men dient zich tegen inademen, inslikken en verder verspreiden van het uranium te beschermen. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden. Het dragen van een adembescherming (mondkap klasse P3) en handschoenen zorgt voor verdere verkleining van het risico.
- Het is niet zozeer de uitwendige bestraling waartegen men zich moet beschermen, als wel het gevaar op inwendige besmetting. Ook is het gevaar van verdere verspreiding van het radioactieve stof aanzienlijk.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Identificatie zal waarschijnlijk niet lukken, tenzij een nucleair expert het spectrum analyseert.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Het zal lastig zijn voor iemand die geen expert is op het onderwerp om de risico's voldoende in te kunnen schatten.
- (I.3) Volgens de beslisboom zal de medewerker van het bedrijf dit type bron niet zelf mogen uitzoeken, maar dit zal waarschijnlijk wel gebeuren omdat de bron niet geïdentificeerd wordt en het dosistempo laag is.
- (II) Een stralingsbeschermingsdeskundige (expert) zou de voorwaarden moeten scheppen om in dit scenario de bron veilig te stellen, maar omdat het materiaal niet als HEU wordt geïdentificeerd, zal er geen expert geconsulteerd worden.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met alfa- en gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent de begrippen dracht en halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosering;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte'.

4.3.8 Scenario 8

Korte beschrijving

Een container die uniform besmet is met NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) bestaat uit 5 Bq/g ^{238}U en dochternucliden in seculair evenwicht, en uit 5 Bq/g ^{232}Th en dochternucliden in seculair evenwicht.

Gedetailleerd gebeurtenisverloop

Het scenario is hierboven vrij generiek beschreven. In de praktijk zal het zo zijn dat als deze isotopen in een container worden aangetroffen, de activiteit vaak in slakkenwol zit. Slakkenwol wordt bijna uitsluitend aangetroffen bij ladingen oud ijzer, maar bij het opstellen van de scenario's werd dit zo'n sprekend voorbeeld gevonden dat besloten werd dit scenario in dit rapport op te nemen, ook al worden hier alleen containers geladen met RVS-schroot beschouwd.

De hierboven beschreven isotopenverhouding is niet ongewoon voor NORM, en ook de graad van besmetting wordt vaker aangetroffen, bijvoorbeeld als de container uniform met slakkenwol is besmet. De gemiddelde gamma- en röntgenenergie die door ^{238}U en dochters wordt uitgezonden, is 1,80 MeV, en voor ^{232}Th en dochters is dat 2,48 MeV.

Voor dit 50-50-mengsel is de gemiddelde energie per desintegratie 2,14 MeV. Het dosistempo op een meter afstand van een bron met een groot volume is conservatief te schatten met behulp van formule 4.1 uit [15] ($H^*(10) = 0,3 \cdot C \cdot E_{\text{gem}}$): $H^*(10) = 0,3 \cdot 10 \cdot 2,14 = 6,5 \mu\text{Sv/h}$.

De eerste vraag in het schema is of het dosistempo op het oppervlak van de container minder dan $10 \mu\text{Sv/h}$ is. Omdat het antwoord 'ja' luidt, zal geprobeerd worden om het nuclide te identificeren. Een ervaren gammaspectrometrist zal dan concluderen dat het om NORM gaat, dat we dus níét met 'niet-onschuldige' radio-isotopen te maken hebben, en zal als het dosistempo laag genoeg is zelf de container gaan sorteren. Een minder ervaren persoon zal het radio-isotoop niet kunnen identificeren en zal besluiten om de hulp van een expert in te roepen.

Omdat de container uniform besmet is, zal pas bij een zeer laag dosistempo (kleiner dan $0,2 \mu\text{Sv/h}$) besloten worden om de container zelf uit te gaan zoeken.

In dit scenario is het dosistempo veel hoger dan dat, dus er wordt besloten om de container niet zelf te gaan openen, maar om er een expert bij te roepen, als de beslisboom gevolgd is. Maar toch is het instructief om te kijken wat er zou gebeuren als er besloten wordt om de container wél zelf uit te gaan zoeken. Zoals gezegd zou dan het gemeten dosistempo kleiner dan $0,2 \mu\text{Sv/h}$ moeten zijn.

Een puntbron ^{238}U en dochternucliden in seculair evenwicht geeft een dosistempo van $0,26 \mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 , en een puntbron ^{232}Th en dochternucliden in seculair evenwicht geeft een dosistempo van $0,36 \mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2 . Een 50-50-mengsel van deze twee nuclidenreeksen zal daarom bij $0,64 \text{ MBq}$ een dosistempo van $0,2 \mu\text{Sv/h}$ geven op 1,22 meter (de kortste afstand van het centrum van de container naar het oppervlak toe. Met formule 4.1 uit [15] komt men uit op $0,3 \text{ Bq/g}$ van bovengenoemd mengsel. Met een netto maximaal laadgewicht van 26.680 kg komt men dan uit op 8 MBq .

Dat betekent dat een uniforme besmetting van enkele MBq met een mengsel van 50 procent ^{238}U en dochternucliden in seculair evenwicht en 50 procent ^{232}Th en dochternucliden in seculair evenwicht een dosistempo in de orde van $0,2 \mu\text{Sv/h}$ op het oppervlak van de container teweeg zal brengen, waarbij besloten zal worden de container zelf open te maken zonder tussenkomst van een expert.

De vijftigjarige inhalatievolgdosis van deze stoffen ligt voor willekeurige personen onder de bevolking tussen de 50 en $80 \mu\text{Sv/Bq}$, zodat het inhaleren van 20 Bq aan activiteit al voldoende is om een (volg)dosis van een millisievert te ontvangen. Maar bij deze lage specifieke activiteit van $0,3 \text{ Bq/g}$ moet dan natuurlijk wel een onwaarschijnlijk grote hoeveelheid van 67 gram worden ingeademd om aan deze dosis te komen.

De gevaarstelling van dit scenario, dat veel voorkomt in ons land, lijkt dus beperkt. Bij activiteiten waarbij men besluit de inhoud van de container zelf uit te zoeken is de activiteitsconcentratie zo laag dat men niet gemakkelijk een aanzienlijke dosis kan ontvangen door inhalatie. En bij de hogere concentraties zal het dosistempo op het oppervlak van de container boven de $0,2 \mu\text{Sv/h}$ uitkomen, en zal de hulp van een expert worden ingeroepen.

Wel moet nog opgemerkt worden dat slakkenwol uit vezelig materiaal bestaat, dat weliswaar minder gevaarlijk is dan bepaalde vormen van asbest, maar toch irritatie en longbeschadiging teweeg kan brengen. Men moet dus bij het sorteren niet alleen rekening houden met radiologische gevaren.

Tabel 14 Dosisschatting voor scenario 8

Handeling	Dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$)	Tijdsduur (min)	Dosis (μSv)
Opzoeken hoogste dosistempo	10	10	2
Rondom meten	(gemiddeld) 5	20	2
Totaal (afgerond)			4

Risicoschatting voor de medewerker van het schrootbedrijf

Omdat al snel wordt besloten de container door een expert te laten onderzoeken, blijft de dosis voor de medewerker laag in dit scenario, waardoor de effectfactor $\text{Eff} = 1$ blijft. Het scenario zou zich echter maandelijks kunnen voordoen, waardoor de Frequentie $B = 2$. Dat de gebeurtenissen zich zo voordoen is zeer wel mogelijk, waardoor de kansfactor $W = 6$. Hiermee wordt het risicogetal $R = \text{Eff} \cdot B \cdot W = 1 \cdot 2 \cdot 6 = 12$.

Het te vermijden effect in dit scenario is 'inwendige besmetting met NORM'. Het al dan niet dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen zal enige invloed hebben op het risicogetal: een realistische (inhalatie)volgdosis zal ongeveer $50 \mu\text{Sv}$ bedragen en dus zal het effectgetal van 1 naar 3 stijgen, waardoor het risicogetal zal stijgen naar 36.

Conclusies naar aanleiding van dit scenario

- Dit scenario is (bij partijen oud ijzer) al vaak voorgekomen in ons land, en zal zeer waarschijnlijk ook nog vaak voor gaan komen in de toekomst. De gevaarstelling lijkt echter relatief gering, als er zorgvuldig wordt omgegaan met het materiaal.
- Inhalatie van vezeldeeltjes is ook een factor in de gevaarstelling. Zowel het vezelachtige materiaal zelf als de radionucliden die ze bevatten kunnen schade toebrengen aan het menselijk lichaam.
- Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden. Het dragen van een adembescherming (mondkap klasse P3) en handschoenen zorgt voor verdere verkleining van het risico.
- In de praktijk zal het zo zijn dat kleine hoeveelheden (plukken slakkenwol) niet met stralingsmetingen gedetecteerd zullen worden. Daarom moet de lading altijd (ook) visueel geïnspecteerd worden, omdat een plukje wol goed te zien is.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

- (I.1) De door de bron uitgezonden gammastraling kan goed gedetecteerd worden met een poortdetector. Een voldoende opgeleid persoon (zie het hoofdstuk over opleidingen verderop in dit rapport) zal kunnen vaststellen dat het hier om NORM gaat.
- (I.2) Zie ook punt I.1. Bij correcte identificatie zullen de risico's goed worden ingeschat.
- (I.3) Men zou de lading gecontroleerd kunnen uitstorten en voorzien van de hierboven genoemde persoonlijke beschermingsmiddelen te werk kunnen

gaan. Bij dit scenario is visuele inspectie een belangrijk aspect van het sorteren.

- (II) Zie ook punten I.1 tot en met I.3. De werknemers moeten voldoende geïnstrueerd zijn met betrekking tot de specifieke gevaren van dit scenario. Net als bij scenario 3 zal er hiervoor een goed onderbouwd plan van aanpak moeten zijn dat recht doet aan het gevaar (inhalatie van radioactief besmet, vezelig materiaal) en aan de werkprocessen binnen het bedrijf.

Voor dit scenario benodigde kennis en ervaring

Hieronder is een lijst van benodigde kennis en ervaring weergegeven die niet de pretentie heeft om compleet te zijn. De lijst dient ter inspiratie van opleiders die overwegen om een maatwerk cursus hierin aan te bieden.

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- is bekend met alfa- en gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent de begrippen halveringsdikte en dracht en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosis;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte';
- is bekend met de specifieke gevaren van open radioactieve stoffen en de persoonlijke beschermingsmiddelen die men in dit geval dient te gebruiken.

4.4 Discussie

In onderstaande tabel zijn de berekende risicogetallen voor de verschillende scenario's nog eens samengevat. Het zijn relatief lage getallen, omdat het hier om een restrisico gaat: het risico dat overblijft als er al diverse beschermende maatregelen zijn genomen, bijvoorbeeld het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen als handschoenen en adembescherming. Hierdoor daalt het oorspronkelijke risicogetal natuurlijk met een grote factor, zoals in de voorgaande bladzijden is aangetoond. Alleen daar waar sprake is van externe bestraling zal het risicogetal niet noemenswaardig dalen.

Ook moet worden opgemerkt dat de risicogetallen relatief zijn, zie voor meer hierover [12]. Er worden in [12] ook geen uitspraken gedaan over welk risico nog aanvaardbaar is, en welk risico niet meer.

Aan de andere kant zijn er in geen enkel scenario dosislimieten overschreden, als er correct gewerkt wordt en er persoonlijke beschermingsmiddelen worden gedragen. Voor de wetgever zijn dus voor alle scenario's, samengevat in Tabel 15, de risico's aanvaardbaar.

Tabel 15 Samenvatting van de risicoschattingen

Nummer	Bron	Risicoschatting
1	50 GBq ⁶⁰ Co	15
2	1 GBq ⁹⁰ Sr	12
3	¹³⁷ Cs	3
4	¹³¹ I	9
5	10 ⁸ n/s ²⁵² Cf	5
6	1 g Pu: 93 wt% ²³⁹ Pu en 5 MBq ²⁴¹ Am	2
7	22 MBq ²³⁴ U, 1 MBq ²³⁵ U, 15 kBq ²³⁸ U	30
8	U-reeks, Th-reeks, 10 Bq/g	12

Deze werkzaamheden kunnen, mits er een goede werkinstructie en (stralingshygiënische) risicoanalyse voorligt, goed worden uitgevoerd door een voldoende onderricht persoon, die geen stralingsdeskundig expert hoeft te zijn. In sommige van de scenario's zal op een zeker punt tijdens de werkzaamheden de hulp van een expert moeten worden ingeroepen.

In de scenario's is niet ingegaan op het probleem van het schoonmaken van de sorteerplaats en het vrijgeven van de containers. Toch is dit een onderwerp dat aandacht behoeft, want na het sorteren zal er stof of slakkenwol achterblijven op de sorteerplaats, net als in de container. Deze twee plekken moeten na dit werk worden vrijgegeven om te garanderen dat er geen ongecontroleerde verspreiding is van radioactief materiaal.

Het vrijgeven moet zorgvuldig gebeuren. Als schoenzolen met NORM (uranium en thorium) besmet raken, kan men de activiteit gemakkelijk verplaatsen. Als een container onterecht zou worden vrijgegeven, dan zou de volgende gebruiker van de container ongewild en onbedoeld de radioactiviteit verder kunnen verspreiden.

Vaak zal bij opruimwerkzaamheden het stof bij elkaar worden geveegd, wat tot gevolg heeft (als het stof radioactief besmet is) dat men de activiteit op één plaats (het hoopje stof) concentreert. Hierdoor wordt het gemakkelijker om met een relatief hoge activiteit in contact te komen. Als men het stof droog bij elkaar veegt, heeft men bovendien de kans om besmet te raken met de opdwarende activiteit en om er een deel van in te ademen, met inwendige besmetting tot gevolg.

Het opruimen en vrijgeven van met open activiteit besmette plaatsen is specialistisch werk. Vanwege het afbreukrisico wordt overal in Nederland geëist dat de vrijgave van open stoffen wordt uitgevoerd door iemand met stralingsdeskundigheid niveau 3.

5 Opleidingseisen stralingsdeskundigheid

Het huidige stelsel van opleidingen in de stralingshygiëne is op dit moment onder revisie. Er worden voor ieder type opleiding leerdoelen opgesteld die een harmonisering teweeg zal brengen tussen de diverse opleidingen die in ons land worden gegeven.

Voor de opleidingen die de opvolgers moeten worden van de huidige opleidingen niveau 2 en 3 zijn inmiddels leerdoelen beschreven (zie [17]), maar voor de opleidingen die overeenkomen met de huidige opleidingen niveau 4 en 5 zijn deze (nog) niet vastgesteld.

Voor de kleine en specifieke doelgroep die in dit rapport wordt beschreven, lijkt een maatwerk cursus het meest op zijn plaats. Dit rapport heeft niet tot doel om tot een afgeronde set leerdoelen voor een maatwerk cursus te komen. Dat is namelijk de taak van een combinatie van opleiders en vertegenwoordigers uit het veld. De overheid stelt ten slotte de leerdoelen vast.

Met dit rapport willen wij wel een handvat bieden, een richting waarin gedacht kan worden bij het vaststellen van zulke leerdoelen. Onderstaande opsomming heeft niet de pretentie om compleet te zijn.

Elk van de in dit rapport beschreven scenario's leidde tot een aantal punten waarop kennis en ervaring nodig waren. Sommige van deze punten bleken generiek te zijn.

Generieke leerdoelen

De medewerker:

- kan visueel de meeste bekende stralingsbronnen herkennen;
- kan een handspectrometer bedienen en de uitslag interpreteren;
- kent van de gebruikte detectoren de praktische valkuilen;
- test de gebruikte detectoren voor aanvang op goede werking;
- kent de wettelijke dosislimieten en hun (praktische) betekenis;
- is bekend met eerder beschreven incidenten en de gevolgen ervan;
- begrijpt de risico's en eventuele maatschappelijke onrust naar aanleiding van het aantreffen van weesbronnen in de 'openbare ruimte'.

Specialistische kennis is niet voldoende voor het uitvoeren van dit specifieke werk, de (aantoonbare) werkervaring is van groot belang.

Het werk van de medewerker dient beschreven te zijn in instructies en procedures die zijn onderbouwd met een stralingshygiënische risico-evaluatie. Ook dient er een noodplan aanwezig te zijn, en bekend te zijn bij de medewerker, en dienen de noodprocedures regelmatig geoefend te zijn.

Leerdoelen voor omgang met sterke gammabronnen (⁶⁰Co)

De medewerker:

- is bekend met gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent het begrip halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling.

Leerdoelen voor omgang met sterke bètabronnen (^{90}Sr)

De medewerker:

- is bekend met bètastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent het begrip dracht en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met de begrippen huiddosis en ooglensdosis en kan ermee omgaan;
- is bekend met het fenomeen remstraling en weet hoe hier stralingsveilig mee om te gaan.

Leerdoelen voor omgang met open radioactieve stoffen (^{137}Cs , ^{131}I , NORM)

De medewerker:

- is bekend met gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent het begrip halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosis;
- is bekend met de specifieke gevaren van open radioactieve stoffen en de persoonlijke beschermingsmiddelen die men in dit geval dient te gebruiken;
- is bekend met de specifieke gevaren van radioactief jodium, de verschillende fysisch-chemische vormen ervan en hoe men zich ertegen kan beschermen.

Leerdoelen voor omgang met neutronenbronnen (^{252}Cf)

De medewerker:

- is bekend met neutronenstraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan.

Leerdoelen voor omgang met alfastralers (plutonium, uranium, thorium, americium, HEU, NORM)

De medewerker:

- is bekend met alfa- en gammastraling, de gevaren ervan en kan er stralingsveilig mee omgaan;
- kent de begrippen dracht en halveringsdikte en kan ermee omgaan;
- is bekend met (de gevolgen van) uitwendige bestraling;
- is bekend met (de gevolgen van) inwendige besmetting;
- is bekend met het begrip huiddosis;
- is bekend met de onrust die het aantreffen van 'niet-onschuldige' nucliden kan veroorzaken.

6 Conclusies

- Door de voorkomende bronnen in schroot in te delen in risicoklassen kon een beslisboom worden gemaakt. Deze lijkt goed te werken: in bijna alle gevallen komt de medewerker van het schrootbedrijf uit op de conclusie die een expert ook zou trekken. De risico's op blootstelling bij het volgen van de beslisboom lijken beperkt.
- Voor het zelf veilig en doelmatig uitzoeken van een lading schroot door een medewerker van het schrootbedrijf dient te worden voldaan aan de volgende maatregelen en randvoorwaarden:
 1. De medewerker dient voldoende onderricht te zijn. De beoogde leerdoelen in dat onderricht moeten door deskundigen worden opgesteld en vastgesteld. In het vorige hoofdstuk (Opleidingseisen stralingsdeskundigheid) wordt een kleine aanzet hiertoe gegeven. Niet alleen kennis van stralingshygiëne is hierbij belangrijk, maar ook bijvoorbeeld het visueel kunnen herkennen van slakkenwol en de meest voorkomende radioactieve bronnen.
 2. Het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en adembescherming, ten minste klasse P3) is verplicht als er een kans is dat er radioactieve stoffen in verspreidbare vorm aanwezig zijn. Het verdient aanbeveling om bij het betreden van het 'vuile' gebied te wisselen van jas en schoenen. Bij het verlaten van het 'vuile' gebied kunnen die jas en schoenen dan uitgetrokken worden.
 3. Het bedrijf dient ook goede meetinstrumenten aan de medewerker ter beschikking te stellen. Het minimum bestaat uit een dosistempometer, een besmettingsmonitor, en een meetinstrument dat (met gammaspectrometrie) radionucliden kan identificeren. Deze instrumenten dienen te voldoen aan internationale normen, zoals te vinden in ITRAP OEFZS-G-0005 [19].
 4. Ook dient het bedrijf goede werkinstructies ter hand te stellen aan de medewerker(s) die dit werk doen, een stralingshygiënische RI&E (risico-inventarisatie en evaluatie) uitgevoerd te hebben en te beschikken over een geoefend noodplan.

7 Referenties en gebruikte literatuur

- [1] IAEA, Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries; Specific Safety Guide nr. SSG-17, Wenen, 2012.
- [2] EU, Basic Safety Standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation; council directive 2013/59/Euratom. 5 december 2013.
- [3] EU, Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad, betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen, 19 november 2008.
- [4] EU, Verordening (EU) nr. 333/2011 van de Raad, tot vaststelling van criteria die bepalen wanneer bepaalde soorten metaalschroot niet langer als afval worden aangemerkt overeenkomstig Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad, 31 maart 2011.
- [5] Besluit detectie radioactief besmet schroot, besluit van 3 oktober 2002, gewijzigd besluit van 12 februari 2011.
- [6] Regeling detectie radioactief besmet schroot, regeling van 16 april 2003.
- [7] Kernenergiewet, wet van 21 februari 1963.
- [8] Besluit stralingsbescherming, besluit van 16 juli 2001, gewijzigd besluit van 18 december 2012
- [9] Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen, besluit van 4 september 1969.
- [10] Inspectierichtlijn metaal en schroot met radioactieve stoffen, VROM-Inspectie, 24 maart 2011.
- [11] Koninklijk Besluit betreffende het opsporen van radioactieve stoffen in bepaalde materiaal- en afvalstromen en betreffende het beheer van weesbrongevoelige inrichtingen, Belgisch Staatsblad, publicatie van 25 november 2011, blz. 69931.
- [12] S. Bader, Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen, RIVM Rapport 620850001/2010.
- [13] A.S. Keverling Buisman, Handboek radionucliden, tweede druk (2007), BetaText, Bergen, ISBN 978 90 75541 10 6.
- [14] A.J.J. Bos, F.S. Draaisma, W.J.C. Okx, Inleiding tot de stralingshygiëne, Sdu (2007), Den Haag, ISBN 978 90 12 11 905 4.
- [15] J.F.A. van Hienen, E.I.M. Meijne, N.B. Verhoef, Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningsverlening Ioniserende Straling – DOVIS, deel B – Externe Straling, NRG Rapport 20733/02.45655/C (2002).
- [16] G. Pfennig, H. Klewe-Nebenius, W. Seelmann-Eggebert, Karlsruhe Nuklidkarte, 6. Auflage (1995), korrigierter Nachdruck (1998), Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.
- [17] NVS/CvO-werkgroep voorgezeten door S. van Dullemen, Eindtermen voor de opleiding Stralingsbeschermingsdeskundige Basis, Leiden, april 2012.
- [18] Zie bijvoorbeeld het specificatieblad Californiumbronnen van de firma High Tech Sources Ltd., Didcot, Verenigd Koninkrijk.
- [19] P. Beck, Final Report ITRAP – The Illicit Trafficking Radiation Assessment Program, Pilotstudie zur praktischen Erprobung von Grenzmonitorsystemen gegen Nuklearkriminalität, Austrian Research Centers Seibersdorf, OEFZS-G-0005, oktober 2000.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag