

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

**Risicoanalyse en inschatting van de effectieve dosis
bij toepassingen van industriële radiografie en
röntgenfluorescentiespectrometrie**

Applus+ RTD

Röntgen Technische Dienst bv

Delftweg 144

3046 NC Rotterdam

Stralingsbeschermingsdeskundige (CD)		Stralingsbeschermingsdeskundige (ACD)		HSQE Manager Nederland (CD)	
Datum		Datum	Datum	Datum	

Address
Delftweg 144, 3046 NC Rotterdam
P.O. Box 10065, 3004 AB Rotterdam
The Netherlands
www.ApplusRTD.com

Deze publicatie is het intellectueel eigendom van Applus+ RTD Nederland en mag niet deels of in het geheel gebruikt worden anders dan voor zakelijke doeleinden van Applus+ RTD Nederland. Het gebruik door derden van dit document is niet toegestaan zonder uitdrukkelijke toestemming van Applus+ RTD Nederland.

Inhoudsopgave

1	Algemeen	4
1.1	<i>Inleiding</i>	4
1.2	<i>Kernenergiewetvergunning</i>	4
1.3	<i>Stralingsbeschermingsdeskundige</i>	4
1.4	<i>Wettelijk kader</i>	4
2	Risico identificatie	5
2.1	<i>Inventarisatie van de bronnen van ioniserende straling</i>	5
2.2	<i>Maatregelen tot beperking blootstelling</i>	5
3	Handelingen met bronnen van ioniserende straling	7
3.1	<i>Locatie(s) van de handelingen</i>	7
3.2	<i>Blootstellingspaden van ioniserende straling</i>	7
3.3	<i>Toepassing van ALARA</i>	7
3.4	<i>Opslag van radioactieve bronnen</i>	7
3.5	<i>Transport van radioactieve bronnen</i>	8
3.6	<i>Industriële radiografie met bron op wisselende locaties</i>	9
3.7	<i>Industriële radiografie met röntgenbuis op wisselende locaties</i>	10
3.8	<i>Industriële radiografie met bron in een bunker</i>	11
3.9	<i>Industriële radiografie met röntgenbuis in een bunker</i>	12
3.10	<i>Röntgenfluorescentiespectrometrie</i>	13
3.11	<i>Effect van persoonlijke beschermingsmiddelen</i>	13
3.12	<i>Overzicht</i>	13
4	Voorziene onbedoelde gebeurtenissen	14
4.1	<i>Waarschijnlijkheid van een voorziene onbedoelde gebeurtenis</i>	14
4.2	<i>Omschrijving maatregelen tot beperking blootstelling</i>	14
4.3	<i>Voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een radioactieve bron</i>	15
4.4	<i>Voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een röntgentoestel</i>	22
4.5	<i>Overzicht van voorziene onbedoelde gebeurtenissen</i>	24
5	Niet voorziene onbedoelde gebeurtenis of stralingsincident	24
6	Radiologische noodsituatie	24
7	Bepaling van blootstelling	25
7.1	<i>Blootstelling van werknemers aan ioniserende straling</i>	25
7.2	<i>Dosisberekeningen reguliere omstandigheden</i>	25
8	Risico-evaluatie	32
8.1	<i>Jaardosis voor de individuele werknemer</i>	32
8.2	<i>Identificatie werknemers</i>	32
8.3	<i>Dosisbeperkingen</i>	32
8.4	<i>Indeling van ruimten</i>	32
8.5	<i>Actualisering van maatregelen</i>	33
9	Conclusies	33
9.1	<i>Toetsing aan de gestelde wet- en regelgeving en dosislimieten</i>	33

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Bijlage 1 Eigenschappen van bronnen van ioniserende straling

34

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Applus+ RTD verricht handelingen met ingekapselde bronnen en röntgentoestellen. Het gaat hierbij om het uitvoeren van handelingen met ingekapselde radioactieve bronnen en röntgentoestellen ten behoeve van de uitvoering van industriële radiografie en röntgenfluorescentiespectrometrie.

Deze risicoanalyse voor de werknemers is onderdeel van de onderbouwing van de rechtvaardiging voor de uitgevoerde handelingen met radioactieve bronnen en ioniserende straling uitzendende toestellen.

De genoemde handelingen zijn opgenomen onder toepassingscategorieën I.A.4 "Niet Destructief Onderzoek" en I.A.3 "Analyse", in bijlage 2.1 van de "Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Staatcourant 10 januari 2018, nr. 1349).

Om aantoonbaar te maken dat de door de Nederlandse overheid gestelde limieten met betrekking tot de maximale dosis van werknemers van Applus+ RTD niet worden overschreden, zijn berekeningen uitgevoerd ten aanzien van de te verwachten maximale effectieve dosis die kan worden ontvangen door medewerkers van Applus+ RTD bij het verrichten van handelingen met ingekapselde bronnen en toestellen, het risico op onbedoelde gebeurtenissen en vindt er een toetsing plaats aan ALARA.

De opzet van deze risico-inventarisatie en -evaluatie is in analogie met de Regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling 2018, Bijlage A, behorende bij artikel 2.1, eerste en tweede lid.

1.2 Kernenergiewetvergunning

De handelingen beschreven in dit document zijn aan Applus+ RTD vergund in complexvergunning onder kenmerk 2006/6070-06.

1.3 Stralingsbeschermingsdeskundige

De calculaties zijn uitgevoerd en gecontroleerd door:

- [REDACTED], geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige, SBD;
- [REDACTED], geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige, SBD (ACD);
- [REDACTED], geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige, SBD.
- [REDACTED], geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige, SBD.

1.4 Wettelijk kader

- 1) Kernenergiewet;
- 2) Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming;
- 3) Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming;
- 4) Regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling 2018;
- 5) Verordening van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming van 9 januari 2018, nr. ANVS-2018/137;
- 6) De vigerende Kernenergiewet complexvergunning van Applus+ RTD;

2 Risico identificatie

2.1 Inventarisatie van de bronnen van ioniserende straling

2.1.1 Radioactieve bronnen

Applus+ RTD verricht handelingen met radioactieve bronnen. Een radioactieve bron (de broncapsule) bevindt zich in een broncontainer (de bronhouder).

Als bron van straling kunnen voor de uitvoering van niet-destructief onderzoek radioactieve stoffen worden gebruikt, waaronder ^{192}Ir , ^{75}Se en ^{60}Co .

Een overzicht van de radioactieve bronnen die door Applus+ RTD worden gebruikt, is te vinden in bijlage 1.

2.1.2 Röntgentoestellen

Applus+ RTD verricht handelingen met ioniserende straling uitzendende toestellen bij de uitvoering van industriële radiografie en röntgenfluorescentiespectrometrie.

Als bron van straling kunnen voor de uitvoering van niet-destructief onderzoek röntgentoestellen gebruikt met een hoogspanning van maximaal 450 kilovolt (kV).

Een overzicht van de toestellen die door Applus+ RTD worden gebruikt, is te vinden in bijlage 1.

2.2 Maatregelen tot beperking blootstelling

Om de blootstelling aan ioniserende straling ten gevolge van het uitvoeren van de handelingen beschreven in hoofdstuk 3 zoveel mogelijk te beperken en/of te voorkomen, zijn door Applus+ RTD maatregelen getroffen. De organisatorische maatregelen zijn beschreven in procedure NL720 Interne regeling stralingshygiëne en zijn onderdeel van het managementsysteem van Applus+ RTD.

Om de blootstelling aan ioniserende straling ten gevolge van het uitvoeren van de handelingen beschreven in hoofdstuk 4 (voorzien onbedoelde gebeurtenissen) te beperken en/of te voorkomen, zijn door Applus+ RTD maatregelen getroffen. Een van deze maatregelen is de jaarlijkse keuring van alle stralings-gerelateerde apparatuur op juiste en veilige werking. Additionele maatregelen worden per voorziene onbedoelde gebeurtenis beschreven.

2.2.1 Radioactieve bronnen en ioniserende straling uitzendende toestellen

- Alle bronhouders zijn voorzien van een slot. Hierdoor is het niet mogelijk de bron uit de bronhouder te halen zonder dat deze eerst van het slot wordt gehaald;
- Toegang tot de radioactieve bronnen in de opslagen is beperkt tot medewerkers die hiertoe zijn geautoriseerd;
- Tijdens het vervoer van radioactieve bronnen is de afstand tussen de bron(nen) en de bestuurder zo groot als mogelijk;
- De bronhouders en alle overige stralings-gerelateerde apparatuur (inclusief de beveiligingen) worden eenmaal per jaar op deugdelijke werking gecontroleerd. Resultaten van deze controles worden geregistreerd;
- Het bedieningspaneel van een röntgentoestel is voorzien van een sleutel die het röntgentoestel kan in- en uitschakelen.
- Het röntgentoestel is voorzien van een noodstop die de hoogspanning van de röntgenbuis direct uitschakelt.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

2.2.2 Maatregelen op de werkplek

- De stralingsbunkers waar wordt gewerkt met radioactieve bronnen zijn aangemerkt als gecontroleerd gebied. Toegang is alleen toegestaan na toestemming van de radiograaf. Tevens zijn bij de stralingsbunkers waarschuwingsborden aangebracht met het verbod op toegang voorzien van waarschuwingsteksten.

2.2.3 Organisatorische maatregelen

- Aan alle werknemers die met radioactieve bronnen en/of röntgentoestellen werken, worden instructies verstrekt (waaronder de opleiding TMS). Handelingen mogen alleen worden uitgevoerd onder toezicht van een medewerker met de opleiding TMS (of CI5);
- Het openen en sluiten van de bronhouders mag alleen worden gedaan door geïnstrueerde werknemers die bevoegd zijn;
- Voorafgaand aan handelingen met een relatief hoog risico wordt een taak risico analyse opgesteld door een stralingsbeschermingsdeskundige.

3 Handelingen met bronnen van ioniserende straling

Medewerkers van Applus+ RTD verrichten handelingen met ingekapselde bronnen en ioniserende straling uitzendende toestellen (röntgenbuizen). Het gaat hierbij om de uitvoering van industriële radiografie.

3.1 Locatie(s) van de handelingen

De handelingen op wisselende locaties vinden plaats op verschillende locaties in Nederland.

Transport van bronnen vindt plaats in Nederland.

Handelingen in een bunker vinden plaats in een van de stralingsbunkers van Applus+ RTD of in een stralingsbunker van een opdrachtgever van Applus+ RTD.

Opslag van radioactieve bronnen vindt plaats in daarvoor bedoelde (en vergunde) opslagen van Applus+ RTD.

3.2 Blootstellingspaden van ioniserende straling

De handelingen vinden plaats met ingekapselde bronnen of ioniserende straling uitzendende toestellen. Het blootstellingspad voor deze handelingen is altijd externe bestraling. De blootstellingspaden inhalatie, ingestie en huidbesmetting zijn niet aan de orde.

3.3 Toepassing van ALARA

Bij het uitvoeren van de handelingen beschreven in dit document is uitgegaan van een minimale toepassing van ALARA. Immers, het is niet altijd mogelijk de afstand, tijdsduur van blootstelling en afscherming naar wens te vergroten of verkleinen (als voorbeeld: een uitdraaislang heeft een maximale lengte). In de berekeningen is daarom rekening gehouden met de minimale mogelijkheden tot toepassen van ALARA. In de praktijk kan de dosis vaak verder worden verlaagd door het vergroten van de afstand tot de bron en het gebruiken van aanwezige afscherming (als voorbeeld: een betonnen pilaar in een fabriek die tijdens het uit- en indraaien van een radioactieve bron voor afscherming kan zorgen).

3.4 Opslag van radioactieve bronnen

Radioactieve bronnen zijn opgeslagen in de daarvoor bestemde bergplaatsen van Applus+ RTD. Voor de berekeningen wordt er van uitgegaan dat de bronnen het gehele jaar in de opslag zijn opgeslagen. Toegang tot de opslagen is beperkt tot medewerkers die door Applus+ RTD competent zijn bevonden in het herkennen van de bestaande risico's in deze ruimten.

Het maximale dosistempo, ten gevolge van rem- en gammastraling, op 0,1 m van het oppervlak van de bergplaats mag conform de KEW-vergunning 1 $\mu\text{Sv/h}$ bedragen.

De dosis die medewerkers ontvangen ten gevolge van het werken nabij een opslag voor radioactieve bronnen is verwaarloosbaar klein.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

3.5 *Transport van radioactieve bronnen*

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het transport van een radioactieve bron. In de calculatie is uitgegaan van een ^{192}Ir bron met een activiteit van 27Ci (1TBq) en een transportindex van 0,5. De gemiddelde tijdsduur van het dragen van de broncontainer is bepaald op 10 seconden, waarbij de broncontainer op een gemiddelde afstand van 0,5m van het torso wordt gedragen. De gemiddelde reistijd is bepaald op 45 minuten per rit. In de berekening is uitgegaan van een gemiddelde afstand van de broncontainer tot de bestuurder van 2 meter.

Handeling	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Bron van bergplaats naar voertuig (lopend)	0,50 m	10 sec	2	20,00 $\mu\text{Sv/h}$	0,1 μSv
Transport in voertuig (rijdend)	2,00 m	2700 sec	2	1,25 $\mu\text{Sv/h}$	1,9 μSv
Bron van voertuig naar werklocatie (lopend)	0,50 m	10 sec	2	20,00 $\mu\text{Sv/h}$	0,1 μSv
Cumulatief					2,1 μSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

3.6 Industriële radiografie met bron op wisselende locaties

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het belichten van een film, beeldplaat of sensor met een radioactieve bron op wisselende locaties. Op vaste locaties zijn in de regel voorzieningen aangebracht om het dosistempo aan de afzetting en de dosis die een medewerker kan ontvangen te minimaliseren. Dat is mogelijk ook noodzakelijk indien er meer dan 1000 opnames worden gemaakt op 1 locatie.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Een ¹⁹²Ir bron met een activiteit van 27Ci (1TBq) en een transportindex van 0,5;
- De gemiddelde tijdsduur van het maken van de opstelling is bepaald op 30 seconden, waarbij de broncontainer op een gemiddelde afstand van 0,5m van het de medewerker staat;
- De tijdsduur van in- en uitdraaien van de bron samen is gesteld op 7 seconden (bron: Praktijkrichtlijn Stralingsbescherming Niet-destructief Onderzoek, 1^e uitgave, November 2019);
- De gemiddelde belichtingstijd is gesteld op 2 minuten;
- In de berekening wordt er van uitgegaan dat de medewerker tijdens het in- en uitdraaien van de bron en tijdens het maken van de belichting bij het uitdraaimechanisme staat;
- Afscherming door enig materiaal (anders dan de collimator tijdens het maken van de belichting) is niet meegenomen in de berekeningen.

Maken van de opstelling	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Het gereed maken van de onderzoekopstelling	0,50 m	30 sec	1	20,00 µSv/h	0,2 µSv

Belichting	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Het uitdraaien van de radioactieve bron	10,00 m	7 sec	1	1399,00 µSv/h	2,7 µSv
Belichten van de film	10,00 m	180 sec	1	70,00 µSv/h	3,5 µSv
Cumulatief					6,2 µSv

3.7 Industriële radiografie met röntgenbuis op wisselende locaties

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het belichten van een film, beeldplaat of sensor met een röntgenbuis op wisselende locaties.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Het niveau aan lekstraling bedraagt 5,2mSv/uur op 70cm van de buis (buiten de primaire bundel). Bron: Jaarlijkse KEW keuringen van de röntgenbuizen);
- De gemiddelde tijdsduur van het zogenaamde "instralen" van de röntgenbuis is bepaald op 15 minuten. Tijdens het instralen wordt gebruik gemaakt van een blende om de primaire bundel af te schermen en minimaal een loodplaat (6mm Pb) om het dosistempo te minimaliseren. Bij het instralen van een röntgenbuis is de primaire bundel te allen tijde naar de grond gericht;
- De gemiddelde belichtingstijd is gesteld op 2 minuten;
- In de berekening wordt er van uitgegaan dat de medewerker tijdens het maken van de belichting bij het controlepaneel staat. De afstand van het controlepaneel tot de röntgenbuis is gesteld op 10m;
- Afscherming door enig materiaal is niet meegenomen in de berekeningen.

Instralen van de röntgenbuis	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Instralen van het röntgentoestel	15,00 m	1800 sec	1	2 µSv/h	1 µSv

Belichting	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Belichten van de film	10,00 m	120 sec	1	50,96 µSv/h	1,7 µSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

3.8 Industriële radiografie met bron in een bunker

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het belichten van een film, beeldplaat of sensor met een radioactieve bron in een bunker.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Een ¹⁹²Ir bron met een activiteit van ²⁷Co (1TBq) en een transportindex van 0,5;
- De gemiddelde tijdsduur van het maken van de opstelling is bepaald op 30 seconden, waarbij de broncontainer op een gemiddelde afstand van 0,5m van het de medewerker staat;
- De tijdsduur van in- en uitdraaien van de bron samen is gesteld op 7 seconden (bron: Praktijkrichtlijn Stralingsbescherming Niet-destructief Onderzoek, 1^e uitgave, November 2019);
- De gemiddelde belichtingstijd is gesteld op 2 minuten;
- In de berekening wordt er van uitgegaan dat de medewerker tijdens het in- en uitdraaien van de bron en tijdens het maken van de belichting bij het uitdraaimechanisme staat. Het uitdraaimechanisme bevindt zich te allen tijde buiten de bunker;
- Tijdens het in- en uitdraaien van de bron en het maken van de belichting zorgt de afscherming van de bunker voor volledige afscherming van straling;

Maken van opstelling	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Het gereed maken van de onderzoeksofstelling	0,50 m	30 sec	1	20,00 µSv/h	0,2 µSv

Maken van belichting	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Het uitdraaien van de radioactieve bron	-	7 sec	1	Nihil	Nihil
Belichten van de film	-	120 sec	1	Nihil	Nihil

3.9 Industriële radiografie met röntgenbuis in een bunker

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het belichten van een film, beeldplaat of sensor met een röntgenbuis in een bunker.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Het niveau aan lekstraling bedraagt 5,2mSv/uur op 70cm van de buis (buiten de primaire bundel). Bron: Jaarlijkse KEW keuringen van de röntgenbuizen);
- De gemiddelde tijdsduur van het zogenaamde "instralen" van de röntgenbuis is bepaald op 15 minuten. Tijdens het instralen wordt gebruik gemaakt van een blende om de primaire bundel af te schermen. Bij het instralen van een röntgenbuis is de primaire bundel te allen tijde naar de grond gericht;
- De gemiddelde belichtingstijd is gesteld op 2 minuten;
- In de berekening wordt er van uitgegaan dat de medewerker tijdens het maken van de belichting bij het controlepaneel staat. Het controlepaneel bevindt zich buiten de bunker;
- Tijdens het instralen van de röntgenbuis en het maken van de belichting zorgt de afscherming van de bunker voor volledige afscherming van straling;

Instralen van de röntgenbuis	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Instralen van het röntgentoestel	-	1800 sec	1	Nihil	Nihil

Belichten	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Belichten van de film	-	120 sec	1	Nihil	Nihil

3.10 Röntgenfluorescentiespectrometrie

In dit hoofdstuk worden de handelingen en de dosis ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen uiteengezet voor het uitvoeren van röntgenfluorescentiespectrometrie.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Het niveau aan lekstraling tijdens het bedienen van een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat bedraagt 1 $\mu\text{Sv/h}$;
- Het röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat is voorzien van een veiligheidssysteem waarbij de buis alleen kan worden ingeschakeld wanneer het apparaat tegen een object wordt geduwd. De buis zal hierdoor niet vrij-stralend zijn;
- De gemiddelde tijdsduur van een meting bedraagt 30 seconden.

Uitvoeren van analysemeting	Afstand	Duur	Frequentie	Dosistempo	Cumulatieve dosis
Uitvoeren van analysemeting	-	30 sec	1	1 $\mu\text{Sv/h}$	0,017 μSv

3.11 Effect van persoonlijke beschermingsmiddelen

Medewerkers die werken met radioactieve bronnen of ioniserende straling uitzendende toestellen worden uitgerust met een EPD en TLD opdat zij zelf inzicht hebben in de door hen ontvangen dosissen en deze worden geregistreerd. Er zijn geen specifieke persoonlijke beschermingsmiddelen gebruikt om de blootstelling te beperken.

3.12 Overzicht

In onderstaande tabel is het overzicht weergegeven van de verschillende soorten handelingen en de dosis die een medewerker ten gevolge van het uitvoeren van deze handelingen kan ontvangen.

Handeling	Dosis
Transport van een radioactieve bron (hoofdstuk 3.4)	2,1 μSv
Industriële radiografie met een bron op wisselende locaties (hoofdstuk 3.5)	
Maken van een opname	6,4 μSv
Industriële radiografie met röntgenbuis op wisselende locaties (hoofdstuk 3.6)	
Instralen van het röntgentoestel	1 μSv
Maken van een opname	1,7 μSv
Industriële radiografie met een bron in een bunker (hoofdstuk 3.7)	
Maken van een opname	0,2 μSv
Industriële radiografie met röntgenbuis in een bunker (hoofdstuk 3.8)	
Maken van een opname	Nihil
Röntgenfluorescentiespectrometrie	0,02 μSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen

Bij het niet juist opvolgen van werkinstructies of procedures of bij het optreden van een storing of incident kan een werknemer een effectieve of equivalente dosis ontvangen die significant hoger is dan onder normale werkomstandigheden mogelijk is.

In dit hoofdstuk worden de van toepassing zijnde voorziene onbedoelde gebeurtenissen behandeld om inzicht te krijgen in de potentieel door een medewerker te ontvangen dosis bij het voorkomen van een voorziene onbedoelde gebeurtenis.

4.1 Waarschijnlijkheid van een voorziene onbedoelde gebeurtenis

Om het risico te kunnen bepalen kent men aan de waarschijnlijkheid van de onbedoelde gebeurtenis een waarde toe. De voorziene onbedoelde gebeurtenissen die in de afgelopen jaren zijn voorgekomen bij Applus+ RTD zijn in dit document opgenomen. De waarschijnlijkheid (kans) van alle in dit document beschreven voorziene onbedoelde gebeurtenissen wordt gesteld op 3 (ongewoon, maar mogelijk).

4.2 Omschrijving maatregelen tot beperking blootstelling

Om de potentiële blootstelling aan ioniserende straling bij het voorkomen van een voorziene onbedoelde gebeurtenis zoveel mogelijk te beperken en/of te voorkomen zijn maatregelen getroffen bij het uitvoeren van de handelingen die in dit hoofdstuk beschreven zijn. Deze maatregelen zijn apart per voorziene onbedoelde gebeurtenis beschreven of zijn reeds meegenomen in de calculatie van de potentiële dosis die kan worden opgelopen als gevolg van het voorkomen van de voorziene onbedoelde gebeurtenis.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een radioactieve bron

In deze paragraaf zijn de voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een radioactieve bron uiteengezet. Per voorziene onbedoelde gebeurtenis is beschreven welke handelingen dienen plaats te vinden, welke maatregelen dienen te worden genomen om de ontvangen dosis te beperken en welke dosis kan worden ontvangen als gevolg van het voorkomen van de voorziene onbedoelde gebeurtenis.

In de berekeningen voor de voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een radioactieve bron is uitgegaan van een ^{192}Ir bron met een activiteit van 2TBq (54 Ci). Het dosistempo op een afstand van 1 meter van een vrij stralende ^{192}Ir bron met een activiteit van 2TBq bedraagt 265 mSv/h.

4.3.1 Het benaderen van een bron als deze niet volledig is teruggedraaid in de bronhouder

Het is mogelijk dat een bron niet volledig wordt teruggedraaid in de bronhouder. De medewerker zal in dat geval bij het benaderen van de bronhouder merken dat zijn EPD in alarm slaat. In het ergste geval zal de medewerker zich enkele seconden op korte afstand van een (op dat moment mogelijk vrij stralende) bron bevinden.

Naar schatting duurt het maximaal 5 seconden na alarmering van de EPD voordat dit door de medewerker wordt opgemerkt. De medewerker kan in die 5 seconden op een afstand van een meter van de bron staan.

De dosis die de medewerker in deze situatie kan ontvangen bedraagt:
 $5/3600 \times 265000 = 370 \mu\text{Sv}$

De te verwachten dosis die de medewerker zal ontvangen ten gevolge van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis is 400 μSv .

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3.2 Het langere tijd verblijven nabij een bron terwijl deze niet volledig is teruggedraaid in de bronhouder

Het is mogelijk dat een medewerker langere tijd nabij een bron verblijft terwijl deze niet volledig is teruggedraaid in de bronhouder. Dit zou bijvoorbeeld mogelijk zijn wanneer de EPD van de medewerker niet meer naar behoren functioneert terwijl de medewerker daarvan niet op de hoogte is.

In dit scenario is uitgegaan van een volledig vrij stralende bron. De medewerker voert een handeling uit, zoals het wisselen van een film, op een afstand van 1 meter van de bron (deze afstand is gekozen doordat een uitlooslang meestal een lengte van 1,5 meter heeft).

De tijdsduur van het verwisselen van een film is geschat op 60 seconden.

De dosis die de medewerker in deze situatie kan ontvangen bedraagt:
 $60/3600 \times 265000 \mu\text{Sv/h} = 4,6 \text{ mSv}$

De te verwachten dosis die de medewerker zal ontvangen ten gevolge van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis is 4,6 millisievert.

4.3.3 Een bron blijft vastzitten buiten de bronhouder

Het is mogelijk dat een bron niet kan worden teruggedraaid in de bronhouder, bijvoorbeeld door het vastlopen van de binnenkabel (transportkabel).

Afhankelijk van de situatie (waar het probleem wordt veroorzaakt) kunnen de volgende handelingen noodzakelijk zijn om het probleem te verhelpen.

In deze berekening is uitgegaan van een ^{192}Ir bron met een activiteit van 2TBq. In de praktijk is de activiteit van een bron vaak lager. Bij gebruik van een ^{75}Se bron is, doordat de afscherming effectiever is, de ontvangen dosis aanzienlijk lager zijn.

Handeling en omschrijving	Dosis
Treffen van voorbereidingen (afzetting vergroten, extra loodafscherming halen) Het gemiddeld dosistempo is door deze storing hoger dan gewoonlijk. Bij het calculeren van de ontvangen dosis wordt er van uitgegaan dat het uitvoeren van deze handelingen 20 minuten in beslag neemt. Het gemiddelde dosistempo waarin de medewerker zich in die tijd bevindt wordt gesteld op 100 $\mu\text{Sv/h}$.	35 μSv
Verplaatsen van de bron naar een vlakke ondergrond De afstand tot de bron wordt gesteld op gemiddeld 5 meter. Het dosistempo is dan 11 mSv/h. De tijdsduur van deze handeling wordt geschat op 2 minuten.	373 μSv
Het plaatsen van een loodtunnel/loodafscherming De loodtunnel/loodafscherming kan in korte tijd worden geplaatst. De tijdsduur wordt geschat op maximaal 1 minuut. Het dosistempo is op dat moment zeer hoog, op 2m afstand van de bron bedraagt het dosistempo 70 mSv/h.	1165 μSv
Lokaliseren van de bron Op 4 meter afstand van de bron (met hengelmonitor) kan in maximaal 3 minuten worden bepaald waar de bron zich exact bevindt.	874 μSv
Knippen van de uitloopslang Bij het knippen van de uitloopslang is de afstand tot de bron 1 meter. De bron moet minimaal zijn afgedekt met 12mm loodafscherming. De tijdsduur van het knippen van de slang wordt geschat op 2 minuten (1 minuut per zijde). De transmissie door 12mm loodafscherming is minimaal 0,2.	1865 μSv
Bron in loodcontainer plaatsen Het uitvoeren van deze handeling kan zeer snel plaatsvinden. De tijdsduur wordt geschat op maximaal 30 seconden. De afstand tot de bron is minimaal 1 meter (door gebruik van een afstandstang).	2331 μSv
Totaal	6643 μSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3.4 De uitlooslang wordt niet goed aangekoppeld

Het niet goed aankoppelen van een uitlooslang is technisch gezien geen storing, maar een menselijke fout. Doordat de uitlooslang niet goed wordt aangekoppeld is het mogelijk dat de binnenkabel zodanig ver wordt uitgedraaid tot deze geen tractie meer heeft in het uitdraaimechanisme.

Ondanks dat extreem ver moet worden uitgedraaid voor de binnenkabel geen tractie meer heeft in het mechanisme, is deze situatie voorgekomen. De oplossing is vrij eenvoudig. Door aan de voorzijde van de container de binnenkabel iets terug te duwen en tegelijkertijd langzaam terug te draaien zal de binnenkabel weer tractie krijgen en kan de bron worden teruggebracht in de bronhouder.

De bron moet op normale wijze worden teruggedraaid. Het is mogelijk dat het staartje met de bron vertikaal naar beneden hangt naast de bronhouder. Het is dan noodzakelijk de bron te begeleiden. Door heel wild terug te draaien kan het staartje met de bron losraken. Dit gaat niet snel omdat er in de koppeling van de binnenkabel en het staartje een veer zit die ont koppeling niet gemakkelijk mogelijk maakt. Deze storing kan alleen voorkomen bij een ¹⁹²Ir bron.

Handeling en omschrijving	Dosis
Het treffen van voorbereidingen en afzetting vergroten Het dosistempo zal hoger dan normaal zijn omdat de bron vrij stralend kan zijn. Het dosistempo wordt geschat op 100 µSv/h. Het uitvoeren van deze handeling zal maximaal 10 minuten in beslag nemen.	18 µSv
Het begeleiden van de bron in de container Het uitvoeren van deze handeling zal 10 seconden in beslag nemen. De afstand tot de bron is minimaal 1 meter omdat gebruik wordt gemaakt van een afstandstang.	710 µSv
Totaal	730 µSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3.5 *De bron wordt niet goed aangekoppeld / de broncapsule komt los van de binnenkabel*

Deze storing zou volgens de fabrikant niet mogelijk zijn. Toch is deze storing voorgekomen. Bij gebruik van enkele typen Gammamat bronhouders is het noodzakelijk om voordat de bron kan worden uitgedraaid, de bronhouder vrij te geven met een palletje onder het handvat.



Het is normaliter niet mogelijk om de bron uit de bronhouder te duwen zonder dat een uitdraaislang op de juiste wijze is gemonteerd. Bij iedere bronwissel en tijdens de jaarlijkse controle wordt geverifieerd dat dit mechanisme naar behoren werkt. Echter, door de beschermkappen van de bronhouder niet of niet juist te gebruiken, is het mogelijk dat speling ontstaat in het mechanisme.

Het oplossen van deze storing is niet eenvoudig. De uitdraaislang duwt de bron uit de container maar trekt hem niet terug bij terugdraaien. Vaak loopt de kabel bij het uitdraaien langs de bron en loopt vast. Terugdraaien kan dan wel maar de bron blijft in de uitloopslang achter. Het is vaak alleen mogelijk om de bron terug in de bronhouder te krijgen door de uitloopslang en bronhouder vertikaal te positioneren. De bron glijdt dan terug de container in (zoals weergegeven op onderstaande foto).



Indien op deze wijze het probleem niet kan worden verholpen, dan volgt de procedure zoals beschreven in hoofdstuk 4.3.3.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3.6 Bron komt vrij door beschadiging van een bronhouder

Een bronhouder kan beschadigd raken, bijvoorbeeld als gevolg van vallen of stoten. Wanneer een bronhouder beschadigd raakt dan is de mate van beschadiging en de omstandigheden waarin de bronhouder wordt gebruikt bepalend voor de potentiële dosis die een medewerker kan ontvangen. Het calculeren van een potentiële dosis is zodoende niet zonder meer mogelijk. Bij een zware beschadiging zal de bron in een loodcontainer moeten worden afgevoerd. Een voorbeeld van een dergelijke zware beschadiging is te zien op onderstaande foto.



De dosis die kan worden ontvangen bij een dergelijke beschadiging van de bronhouder zal vergelijkbaar zijn met het bergen van een losgekomen of niet meer terug te draaien bron. De dosis die potentieel kan worden ontvangen als gevolg van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis wordt geschat op 6 mSv.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.3.7 Storing bij gebruik van ⁶⁰Co

De ⁶⁰Co bronnen van Applus+ RTD hebben een maximale activiteit van 10 Ci. De meeste ⁶⁰Co bronnen hebben een activiteit onder de 8 Ci. Door de intrede van digitale radiografie is het niet noodzakelijk om sterkere bronnen aan te schaffen (de noodzakelijke belichtingstijd bij gebruik van digitale radiografie ligt tussen de 10% en 30% ten opzichte van conventionele technieken). De toepasbaarheid van digitale radiografie is op dit moment door beperkingen in resolutie wel beperkt tot on-stream onderzoek (profielradiografie).

Applus+ RTD kan voor het bergen van een ⁶⁰Co bron gebruikmaken van een storingscontainer of een reserve bronhouder voor ⁶⁰Co. Het bergen kan veel tijd in beslag nemen. Dit hoeft echter niet te betekenen dat er ook een hoge dosis opgelopen moet worden.

Met een ⁶⁰Co bron wordt alleen gewerkt door ervaren operators. Storingen die niet direct waren op te lossen of storingen met een hoger dan normale dosis tot gevolg zijn de afgelopen 10 jaar niet voorgekomen. De dosis die bij storingen opgelopen kan worden is moeilijk in te schatten.

Bij storingen of incidenten met een ⁶⁰Co bron wordt te allen tijde de stralingsbeschermingseenheid van Applus+ RTD ingeschakeld (middels het calamiteitenummer of door melding bij een stralingsbeschermingsdeskundige). De stralingsbeschermingseenheid heeft de coördinatie bij het oplossen van de storing.

Applus+ RTD verwacht niet dat de wettelijke dosislimiet voor een radiologisch werker in het geding kan komen. Door organisatorische maatregelen, getroffen door de stralingsbeschermingseenheid, zal de ontvangen dosis onder de 10 mSv per persoon blijven.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

4.4 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen met een röntgentoestel

4.4.1 Naderen van een röntgenbuis terwijl deze is ingeschakeld

Het is mogelijk dat een medewerker een röntgenbuis nadert terwijl deze is ingeschakeld. De medewerker zal in dat geval bij het benaderen van de röntgenbuis merken dat zijn EPD in alarm slaat. In het ergste geval zal de medewerker zich enkele seconden op korte afstand van een (op dat moment ingeschakelde) röntgenbuis bevinden. Het uitschakelen van de röntgenbuis kan zeer snel plaatsvinden en de belichtingstijd is bij gebruik van een röntgenbuis relatief kort.

Door de vaak hoge mate van stroostraling afkomstig uit de primaire bundel van de röntgenbuis is het dosistempo in de directe omgeving van de röntgenbuis zodanig hoog dat een EPD van een medewerker direct in alarm slaat. Het zal normaliter niet meer dan enkele seconden duren voor dit door de medewerker wordt opgemerkt. Als de EPD van een medewerker niet goed functioneert, dan is het mogelijk dat de medewerker niet of niet tijdig wordt gealarmeerd.

De mate van lekstraling op 70 centimeter afstand van de röntgenbuis kan oplopen tot boven de 5 mSv/h. In deze calculatie is er van uitgegaan dat een medewerker zich op 1 meter afstand bevindt van de röntgenbuis terwijl deze is ingeschakeld. De tijd dat de medewerker zich daar begeeft is gesteld op 120 seconden.

Naar schatting ontvangt de medewerker in deze situatie de volgende dosis:
 $120/3600 \times 2550 = 85 \mu\text{Sv}$

De te verwachten dosis die de medewerker zal ontvangen ten gevolge van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis is 100 μSv .

4.4.2 In de primaire bundel komen van een ingeschakelde röntgenbuis

Het is niet onmogelijk dat een medewerker op korte afstand van de röntgenbuis in de primaire bundel terecht komt terwijl deze is ingeschakeld. Door de potentieel hoge output van een röntgenbuis wordt deze situatie door Applus+ RTD als een stralingsincident behandeld. Deze situatie alsmede de te volgen procedure is beschreven in het radiologisch noodplan van Applus+ RTD.

4.4.3 Naderen van een röntgenbuis (pulsbuis) terwijl deze is ingeschakeld

Een relatief nieuwe techniek die wordt gebruikt bij de uitvoering van niet-destructief onderzoek is radiografisch onderzoek met een pulsbus. Een pulsbus is een röntgenbuis die in enkele zeer korte pulsen elektromagnetische straling (fotonen) uitzendt waarmee een radiografische opname wordt gemaakt.

Doordat een pulsbus in de regel wordt gebruikt in combinatie met digitale radiografie (CR of DR) is de noodzakelijke belichting van de beeldplaat of sensor veel lager dan bij conventionele radiografie. De tijd waarin deze dosis wordt uitgezonden door de pulsbus is zeer kort, hooguit enkele seconden.

Het benaderen van een pulsbus terwijl deze is ingeschakeld zal hierdoor niet resulteren in een significante verhoging van de ontvangen dosis.

4.4.4 In de primaire bundel komen van een ingeschakelde röntgenbuis (puls)

De output van een pulsbus die voor niet-destructief onderzoek wordt gebruikt, is vele malen lager dan een reguliere röntgenbuis.

Het is niet ondenkbaar dat een medewerker bij de röntgenbuis in de buurt is wanneer deze wordt ingeschakeld. Bij het verwisselen van een film kan de afstand tot de bus zo klein zijn als 0,5m.

De pulsbus is gelimiteerd in het aantal pulsen dat deze kan uitzenden in een periode van enkele minuten (de zogeheten duty cycle). Hierdoor is de output van de bus gelimiteerd tot dit aantal pulsen. Het gevolg is dat de opgelopen dosis ten gevolge van het op 0,5m afstand voor de röntgenbuis staan niet meer kan bedragen dan die hier onder gecalculeerde dosis (gebaseerd op een 370kVp pulsbus zoals genoemd in bijlage 1).

Maximale dosis op 12" afstand van de bus, per puls	7 mR
Maximaal aantal pulsen per seconde	9
Maximaal aantal pulsen per duty cycle (4 minuten)	200
Maximale dosis op 12" afstand van de bus in 4 minuten	1400 mR / 12,28 mSv
Maximale dosis op 1m afstand van de bus in 4 minuten	1140 µSv
Maximale dosis op 0,5m afstand van de bus in 4 minuten	4563 µSv

De te verwachten dosis die de medewerker zal ontvangen ten gevolge van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis is 4,6 millisievert.

4.5 Overzicht van voorziene onbedoelde gebeurtenissen

In onderstaande tabel is het overzicht weergegeven van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen en de potentiële dosis die een medewerker ten gevolge van de betreffende voorziene onbedoelde gebeurtenis kan ontvangen.

Voorziene onbedoelde gebeurtenis	Potentiele dosis
Het benaderen van een bron als deze niet volledig is teruggedraaid in de bronhouder (hoofdstuk 4.3.1)	400 μ Sv
Het langere tijd verblijven nabij een bron terwijl deze niet volledig is teruggedraaid in de bronhouder (hoofdstuk 4.3.2)	4600 μ Sv
Een bron blijft vastzitten buiten de bronhouder (hoofdstuk 4.3.3)	6643 μ Sv
De uitlooslang wordt niet goed aangekoppeld (hoofdstuk 4.3.4)	730 μ Sv
De bron wordt niet goed aangekoppeld / de broncapsule komt los van de binnenkabel (hoofdstuk 4.3.5)	6643 μ Sv
Bron komt vrij door beschadiging van een bronhouder (hoofdstuk 4.3.6)	6 mSv
Storing bij gebruik van ^{60}Co (hoofdstuk 4.3.7)	10 mSv
Naderen van een röntgenbuis terwijl deze is ingeschakeld (hoofdstuk 4.4.1.)	100 μ Sv
In de primaire bundel komen van een ingeschakelde röntgenbuis (puls, hoofdstuk 4.4.4)	4563 μ Sv

5 Niet voorziene onbedoelde gebeurtenis of stralingsincident

In voorgaande paragrafen zijn de voorziene onbedoelde gebeurtenissen behandeld. Er kan ook sprake zijn van een niet voorziene onbedoelde gebeurtenis. In dat geval is er sprake van een stralingsincident.

Bij iedere voorziene onbedoelde gebeurtenis en ieder stralingsincident wordt de stralingsbeschermingseenheid van Applus+ RTD ingeschakeld.

In geval van een stralingsincident of radiologische noodsituatie wordt door de stralingsbeschermingseenheid de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming geïnformeerd.

Bij een overmatige blootstelling aan straling wordt melding gemaakt aan Inspectie-SZW.

6 Radiologische noodsituatie

Indien zich een radiologische noodsituatie voordoet, dan treedt het Radiologisch noodplan in werking.

7 Bepaling van blootstelling

7.1 Blootstelling van werknemers aan ioniserende straling

Voor de dosisberekeningen voor de werknemers worden in dit document 3 scenario's gebruikt:

1. Werknemers die sporadisch handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel;
2. Werknemers die met regelmaat handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel;
3. Werknemers die voornamelijk handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel.

In hoofdstuk 7.2 wordt voor deze 3 scenario's berekend wat de ontvangen dosis per dag en per jaar kan zijn. De berekeningen worden uitgevoerd voor handelingen op wisselende locaties en handelingen in een bunker.

Naast de in hoofdstuk 7.2 beschreven blootstelling aan ioniserende straling als gevolg van het uitvoeren van reguliere handelingen (de reguliere blootstelling) kunnen werknemers een dosis oplopen als gevolg van een voorziene onbedoelde gebeurtenis (zie hoofdstuk 4) of een niet voorziene onbedoelde gebeurtenis.

7.2 Dosisberekeningen reguliere omstandigheden

De berekeningen/scenario's zijn uitgevoerd voor de werknemers om tijdens, of na afloop van, een periode van uitgevoerde werkzaamheden in te kunnen schatten wat de berekende reguliere blootstelling is. In de praktijk zal door afschermdende werking de dosis lager uitvallen. Er wordt in de berekeningen geen onderscheid gemaakt tussen de huid/handdosis, ooglensdosis en de totale lichaamsdosis.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met de eventuele afschermdende werking van persoonlijke beschermingsmiddelen of aanwezige afscherming op locatie.

De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende factoren:

- Per werkweek wordt 50% van de tijd gewerkt met een radioactieve bron en 50% van de tijd gewerkt met een röntgenbuis;
- Per werkdag worden 12 opnames gemaakt;
- Per werkweek worden 20 analysesmetingen uitgevoerd door middel van röntgenfluorescentiespectrometrie.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

7.2.1 *Werknemers die sporadisch handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel*

In dit scenario wordt uitgegaan van 50 werkweken, 5 werkdagen per week, 8 uur per dag. Er wordt aangenomen dat de werknemer gedurende 10 weken van het jaar handelingen uitvoert met een radioactieve bron of röntgentoestel.

Handelingen op wisselende locaties

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	25	
Dosis bij transport van een radioactieve bron (per dag)	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	6,4 µSv	
Cumulatief		1972,5 µSv
Handelingen met een röntgenbuis		
Aantal opnames per dag met röntgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met röntgenbuis	25	
Dosis bij instralen van de röntgenbuis	1 µSv	
Dosis per opname met een röntgenbuis	1,7 µSv	
Cumulatief		535 µSv
Handelingen met een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. röntgenfluorescentiespectrometrie per week	20	
Aantal werkweken	10	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		4 µSv
Jaardosis		2511,5 µSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Handelingen in een bunker

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	25	
Dosis bij transport van een radioactieve bron (per dag)	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	0,2 µSv	
Cumulatief		112,5 µSv
Handelingen met een röntgenbuis		
Aantal opnames per dag met röntgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met röntgenbuis	25	
Dosis bij instralen van de röntgenbuis	0 µSv	
Dosis per opname met een röntgenbuis	0 µSv	
Cumulatief		0 µSv
Handelingen met een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. röntgenfluorescentiespectrometrie per week	20	
Aantal werkweken	10	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		4 µSv
Jaardosis		116,5 µSv

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

7.2.2 *Werknemers die met regelmaat handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel*

In dit scenario wordt uitgegaan van 50 werkweken, 5 werkdagen per week, 8 uur per dag. Er wordt aangenomen dat de werknemer gedurende 25 weken van het jaar handelingen uitvoert met een radioactieve bron of röntgentoestel.

Handelingen op wisselende locaties

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	62,5	
Dosis bij transport van een radioactieve bron	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	6,4 µSv	
Cumulatief		4931,25 µSv
Handelingen met een röntgenbuis		
Aantal opnames per dag met röntgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met röntgenbuis	62,5	
Dosis bij instralen van de röntgenbuis	1 µSv	
Dosis per opname met een röntgenbuis	1,7 µSv	
Cumulatief		1337,5 µSv
Handelingen met een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. röntgenfluorescentiespectrometrie per week	20	
Aantal werkweken	25	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		10 µSv
Jaardosis		6278,75 µSv

Doc.Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Handelingen in een bunker

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	62,5	
Dosis bij transport van een radioactieve bron	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	0,2 µSv	
Cumulatief		281,25 µSv
Handelingen met een rontgenbuis		
Aantal opnames per dag met rontgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met rontgenbuis	62,5	
Dosis bij instralen van de rontgenbuis	0 µSv	
Dosis per opname met een rontgenbuis	0 µSv	
Cumulatief		0 µSv
Handelingen met een rontgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. rontgenfluorescentiespectrometrie per jaar	20	
Aantal werkweken	25	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		10 µSv
Jaardosis		291,25 µSv

Doc.Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

7.2.3 *Werknemers die voornamelijk handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel*

In dit scenario wordt uitgegaan van 50 werkweken, 5 werkdagen per week, 8 uur per dag. Er wordt aangenomen dat de werknemer gedurende 40 weken van het jaar handelingen uitvoert met een radioactieve bron of röntgentoestel.

Handelingen op wisselende locaties

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	100	
Dosis bij transport van een radioactieve bron	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	6,4 µSv	
Cumulatief		7890 µSv
Handelingen met een röntgenbuis		
Aantal opnames per dag met röntgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met röntgenbuis	100	
Dosis bij instralen van de röntgenbuis	1 µSv	
Dosis per opname met een röntgenbuis	1,7 µSv	
Cumulatief		2140 µSv
Handelingen met een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. röntgenfluorescentiespectrometrie per week	20	
Aantal werkweken	40	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		16 µSv
Jaardosis		10046 µSv

Doc.Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Handelingen in een bunker

Handelingen met een radioactieve bron		
Aantal opnames per dag met radioactieve bron	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met radioactieve bron	100	
Dosis bij transport van een radioactieve bron	2,1 µSv	
Dosis per opname met een radioactieve bron	0,2 µSv	
Cumulatief		450 µSv
Handelingen met een röntgenbuis		
Aantal opnames per dag met röntgenbuis	12	
Aantal werkdagen waarin gewerkt wordt met röntgenbuis	100	
Dosis bij instralen van de röntgenbuis	0 µSv	
Dosis per opname met een röntgenbuis	0 µSv	
Cumulatief		0 µSv
Handelingen met een röntgenfluorescentiespectrometrie-apparaat		
Aantal analysemetingen d.m.v. röntgenfluorescentiespectrometrie per jaar	20	
Aantal werkweken	40	
Dosis per analysemeting	0,02 µSv	
Cumulatief		16 µSv
Jaardosis		466 µSv

8 Risico-evaluatie

8.1 Jaardosis voor de individuele werknemer

In de onderstaande tabel is de berekende jaardosis voor medewerkers van Applus+ RTD die handelingen uitvoeren met radioactieve bronnen en/of röntgentoestellen op wisselende locaties, in 3 scenario's weergegeven.

Scenario	Verwachte jaardosis
Werknemers die sporadisch handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel op wisselende locaties	2511,5 µSv
Werknemers die met regelmaat handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel op wisselende locaties	6278,75 µSv
Werknemers die voornamelijk handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel op wisselende locaties	10046 µSv

In de onderstaande tabel is de berekende jaardosis voor medewerkers van Applus+ RTD die handelingen uitvoeren met radioactieve bronnen en/of röntgentoestellen in een bunker weergegeven.

Scenario	Verwachte jaardosis
Werknemers die sporadisch handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel in een bunker	116,5 µSv
Werknemers die met regelmaat handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel in een bunker	291,25 µSv
Werknemers die voornamelijk handelingen uitvoeren met een radioactieve bron of röntgentoestel in een bunker	466 µSv

8.2 Identificatie werknemers

Werknemers van Röntgen Technische Dienst B.V. worden ingedeeld conform artikel 7.11 van Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming.

Werknemers kunnen door te voorziene of onvoorziene ongewenste gebeurtenissen een dosis die groter is dan 6 mSv ontvangen. Alhoewel Röntgen Technische Dienst B.V. er alles aan doet om deze gebeurtenissen te voorkomen, kunnen deze niet met 100% zekerheid worden uitgesloten.

Hieruit volgt dat medewerkers van Röntgen Technische Dienst B.V. als A-werknemer moeten worden ingedeeld.

8.3 Dosisbeperkingen

Het is niet mogelijk een dosisbeperking te bepalen. Immers, de werkzaamheden worden veelal op ad-hoc basis aangeboden. De dosisbeperkingen worden hierom gelijkgetrokken met de in dit document verwachte jaardosissen en de wettelijke limieten. Applus+ RTD hanteert waarschuwinglimieten welke worden gebruikt in de maandelijkse controle van de door medewerkers ontvangen dosissen. Bij de uitvoering van industriële radiografie zijn deze waarschuwinglimieten bepaald op 1mSv.

8.4 Indeling van ruimten

De zones waarin handelingen worden uitgevoerd ten behoeve van de uitvoering van industriële radiografie worden aangeduid als gecontroleerde zone.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
Revisie : 5
Datum : 08-07-2020
Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

8.5 Actualisering van maatregelen

Deze RI&E wordt jaarlijks gereviewd door de SBE en indien nodig gereviseerd. In deze review worden de maatregelen geëvalueerd, beoordeeld en indien noodzakelijk aangepast. Alle incidenten, storingen en noodsituaties worden in het zogeheten HSQE register opgenomen.

9 Conclusies

9.1 Toetsing aan de gestelde wet- en regelgeving en dosislimieten

Medewerkers van Applus+ RTD die handelingen uitvoeren met radioactieve bronnen of ioniserende straling uitzendende toestellen dienen te worden ingedeeld als A-medewerker.

Bij het uitvoeren van de berekeningen van de jaardosis van de werknemers is uitgegaan van het uitvoeren van de handelingen volgens de geldende voorschriften van Applus+ RTD.

Op grond van de resultaten van de berekeningen is niet te verwachten dat de dosis van de werknemers, behoudens eventuele incidenten, de limieten van 20 mSv per jaar voor het gehele lichaam, 20 mSv voor de ooglenzen, 500 mSv voor de huid, gemiddeld over enig blootgesteld huidoppervlak van 1 cm² en 500 mSv voor de extremiteiten (art.7.3 lid 1a. Bbs) zal overschrijden.

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Bijlage 1 Eigenschappen van bronnen van ioniserende straling

In deze bijlage zijn de eigenschappen van bronnen (en bronhouders) van ioniserende straling beschreven.

Bronhouders

In onderstaande tabel zijn de door Applus+ RTD gebruikte bronhouders weergegeven. Het is mogelijk dat een nieuw type bronhouder in gebruik wordt genomen voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve bronnen. Voordat een nieuw type bronhouder mag worden gebruikt, dient deze door de SBE van Applus+ RTD te worden goedgekeurd voor gebruik. De bronnenbeheerder van Applus+ RTD houdt het overzicht op alle gebruikte bronhouders.

Bronhouders		
Type	Fabrikant	Toepassing
S-301	Sauerwein	Industriële radiografie, Iridium-192
Sentinel 880 Delta/Elite	QSA Global	Industriële radiografie, Iridium-192
B3	IT Leipzig	Industriële radiografie, Iridium-192
Gammamat SE	IT Leipzig	Industriële radiografie, Selenium-75
Techops 680-OP	QSA Global	Industriële radiografie, Cobalt-60
Commando-Gerat	Sauerwein	Industriële radiografie, Cesium-137 (stuurbron)
SafeRad Se75	SafeRad Ltd.	Industriële radiografie, Selenium-75

Ingekapselde radioactieve bronnen

Bij de uitvoering van industriële radiografie wordt door Applus+ RTD gebruik gemaakt van ingekapselde radioactieve bronnen. In onderstaande tabel zijn de gebruikte broncapsules weergegeven. Het is mogelijk dat een ander of nieuw type broncapsule in gebruik wordt genomen voor het uitvoeren van handelingen met radioactieve bronnen. Voordat een nieuw type broncapsule mag worden gebruikt, dient deze door de SBE van Applus+ RTD te worden goedgekeurd voor gebruik. De bronnenbeheerder van Applus+ RTD houdt het overzicht op alle gebruikte broncapsules.

Nuclide	Brontype	Certificaat	Fabrikant	Maximale activiteit
¹⁹² Ir	IR-192-A424-9	USA/0335/S-96	QSA Global	400 Ci
¹⁹² Ir	IR-192-X444	USA/0497/S-96	QSA Global	295 Ci
⁷⁵ Se	SE-75-SR-17	RUS/6223/S-96 (rev. 3) & RUS/6508/S-96 (rev. 0)	IT-Service Leipzig	140 Ci 140 Ci
⁷⁵ Se	SE-75-X9103	USA/0805/S-96	QSA Global	200 Ci
⁶⁰ Co	-	USA/0377/S-96 (rev. 9)	QSA Global	220 Ci
⁶⁰ Co	-	B/012/S-96 (rev. 12)	IT-Service Leipzig	39,2 Ci

Doc Ref : RI&E Industriële radiografie
 Revisie : 5
 Datum : 08-07-2020
 Titel : Risicoanalyse en inschatting effectieve dosis
 Afd./Regio : Röntgen Technische Dienst B.V.

Röntgentoestellen

Bij de uitvoering van industriële radiografie wordt door Applus+ RTD gebruik gemaakt van röntgentoestellen. In onderstaande tabel zijn de verschillende toestellen weergegeven. Het is mogelijk dat een ander of nieuw type toestel in gebruik wordt genomen voor het uitvoeren van industriële radiografie. Voordat een nieuw type toestel mag worden gebruikt, dient deze door de SBE van Applus+ RTD te worden goedgekeurd voor gebruik. De bronnenbeheerder van Applus+ RTD houdt het overzicht op alle gebruikte toestellen.

Röntgentoestellen		
Fabrikant	Type	Max. hoogspanning
Balteau	Ceram (panorama/ directioneel)	300 keV
	GFC (panorama/ directioneel)	300 keV
	GFD (panorama/ directioneel)	300 keV
Andrex	140 (directioneel)	140 keV
ICM	C-3005/3 (panoramisch)	300 keV
Scanray	CP 100 (directioneel)	100 keV
Yxlon	Smart & Smart Evo (panorama/ directioneel)	300 keV
Seifert	Eresco (panorama/directioneel)	300 keV
Comet	MXR-451/26	450 keV

Puls-röntgenbuizen

Röntgentoestellen		
Fabrikant	Type	Max. hoogspanning
XRS	XRS3 & XRS4	370 keV

Röntgenfluorescentiespectrometrie (XRF)

Bij het uitvoeren van materiaalanalyses wordt door Applus+ RTD gebruik gemaakt van röntgenfluorescentiespectrometrietoestellen. In onderstaande tabel zijn de toestellen weergegeven. Het is mogelijk dat een ander of nieuw type toestel in gebruik wordt genomen voor het uitvoeren van materiaalanalyses. Voordat een nieuw type toestel mag worden gebruikt, dient deze door de SBE van Applus+ RTD te worden goedgekeurd voor gebruik. De bronnenbeheerder van Applus+ RTD houdt het overzicht op alle gebruikte toestellen.

Röntgenfluorescentiespectrometrietoestellen		
Fabrikant	Type	Max. hoogspanning
Niton	XRF Analyzer (XL2, XL3, XL4, XL5)	50 keV

Lineaire versneller

Bij de uitvoering van industriële radiografie wordt door Applus+ RTD gebruik gemaakt van een lineaire versneller. In onderstaande tabel is het hiervoor gebruikte toestel beschreven. Voordat werkzaamheden mogen worden uitgevoerd met een lineaire versneller dient een stralingsveiligheidsplan te worden opgesteld en goedgekeurd door een stralingsbeschermingsdeskundige. Het is niet toegestaan een ander toestel te gebruiken dan in deze tabel is weergegeven.

Toestellen		
Fabrikant	Type	Max. hoogspanning
JME	Betatron PXB	6 MeV