



RadiatCo B.V.

Amfoor 3  
4421 SE Kapelle  
Tel: 31 (0)113-603130  
info@radiatco.com  
www.radiatco.com

## STRALINGSRISICOANALYSE

MISTRAS GROUP B.V. SPIJKENISSE

---

## STRALINGSRISICOANALYSE

### *Berekeningen effectieve doses werknemers*

Auteur: 

Geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige

Datum: 12-06-2023

Documentnummer:

Versie  
+ korte noot wat er is veranderd  
t.o.v. de vorige versie:

06  
Gedeeltelijk herziene en uitgebreide stralingsrisicoanalyse.  
Vergunningenlijst bijgewerkt. Bronnenlijst aangepast, Risicoanalyse  
PMI XRF analyzer vervangen. Vervangt Risicoanalyse medewerkers  
Mistras Group BV Spijkenisse d.d. 09-07-2020

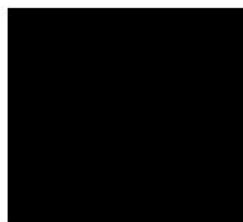
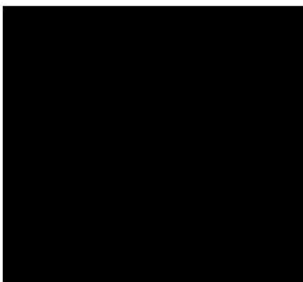
07  
Gedeeltelijke herziene en uitgebreide stralingsrisicoanalyse i.v.m.  
uitbreiding aantal bronnen

Beoordeeld door: 

Geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige

Handtekening auteur:

handtekening beoordelaar:



---

## Samenvatting

De stralingsrisicoanalyse is opgesteld volgens bijlage A als genoemd in artikel 2.1 van de regeling stralingsbescherming beroepsmatige blootstelling 2018.

Deze stralingsrisicoanalyse vervangt de risicoanalyse medewerkers Mistras Group B.V. versie 05 d.d. 09-07-2020.

Bij de risico identificatie wordt uitgegaan van de activiteit van de bronnen en de toestellen volgens de aan Mistras Group B.V. verleende vergunningen 2015/0459-18 en ANVS PP 2020/0059411-04. De maximale vergunde activiteiten van de bronnen zijn gelijk aan de activiteit van nieuwe bronnen die bij Mistras Group B.V. worden gebruikt.

Voor de risicoberekening betekent dit een zekere overschatting van de uitkomsten van de berekeningen. Om de risicoberekening meer in lijn te brengen met dosisbelasting van de medewerkers in de praktijk, is gerekend met de activiteit van een 100 dagen oude bron. De bronnen worden bij Mistras Group B.V. ongeveer 300 dagen gebruikt. De berekeningen zijn gemaakt voor de locatie Hofweg 15 in Spijkenisse en voor willekeurige plaatsen door heel Nederland.

Voor zowel de locatie Hofweg 15 in Spijkenisse als voor de willekeurige plaatsen in Nederland zijn berekeningen gemaakt van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen.

Aan de hand van de uitkomsten van de berekeningen worden de werknemers van Mistras Group B.V. die NDO-werkzaamheden met radioactieve bronnen en/of toestellen voor ioniserende straling ingedeeld als Radiologisch werker A.

De stralingsbunker op de locatie Hofweg 15 in Spijkenisse wordt aangemerkt als gecontroleerde zone.

Bij de (conservatieve) berekeningen van de totaaldosis wordt de hoogste dosis als gevolg van de voorziene onbedoelde gebeurtenis meegenomen. Echter op basis van de ervaringen in het verleden, komt het met de omvang van het aantal handelingen bij Mistras Group B.V. gelukkig minder dan 1x per jaar voor dat een voorziene onbedoelde gebeurtenis optreedt. Met het in acht nemen van de veiligheidsvoorschriften en het opvolgen van de werkinstructies zal de jaarlijkse persoonsdosis fors lager dan de berekende jaardosis uit kunnen komen. Ook het verdelen van de werkzaamheden over meerdere werkploegen past vanuit het ALARA-principe in de doelstelling om de persoonsdosis zo laag mogelijk te houden.

## Inhoudsopgave

<b>1. Risico-identificatie</b> .....	5
1.1 Vergunningen.....	5
1.1.1. Vergunning ANVS-2015/0459-18 .....	5
1.1.2. Vergunning ANVS-PP-2020/059411-04.....	5
1.1.3. Aanvraag uitbreiding Vergunning ANVS-PP-2023/.....	5
1.2 Transportvergunningen .....	5
1.2.1 Transportvergunning ANVS-PP-2021/0085967 geldig tot 26-10-2024 .....	5
1.2.2 Transportvergunning ANVS-2023/0095912 geldig tot 26-10-2024 .....	6
1.2.3 Jaarkennisgeving ANVS-PP-2022/0094621 geldig tot 06-12-2023.....	6
1.3 Inventarisatie bronnen, broncontainers en hun eigenschappen.....	6
1.4 Afschermingsberekening Röntgentoestellen .....	8
1.5 Mobiele Handheld XRF-röntgentoestellen .....	10
1.5.1 Veiligheidsvoorzieningen in het toestel.....	10
1.5.2 Dosistempo gegevens.....	12
1.6 (Deel)handelingen en blootgestelde personen (prognose 2023 ev) .....	14
1.7 Plaats van handeling .....	15
1.8 Blootstellingspaden.....	15
1.9 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen .....	15
1.10Maatregelen om de blootstelling te beperken.....	18
1.10.1 Werken met bronnen en toestellen in de stralingsbunker.....	18
1.10.2 Werken met bronnen en toestellen op wisselende locaties in Nederland.....	19
1.10.3 Handelwijze bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen .....	19
<b>2. Risicoberekening</b> .....	21
2.1 Handelingen per werkploeg.....	21
2.2 Handelingen op locatie Mistras Group B.V. - Spijkenisse .....	21
2.2.1 Werkploeg, bestralingen .....	22
2.2.2 Werkploeg, voor en na .....	23
2.2.3 Werkploeg, opslag .....	23
2.2.4 Werkploeg, voorziene onbedoelde gebeurtenissen.....	24
2.1.5 Halmedewerkers en kantoorpersoneel .....	26
2.2 Handelingen op willekeurige plaatsen door heel Nederland .....	27
2.2.1 Werkploeg .....	27
2.2.2 Werkploeg, voor en na .....	28
2.2.3 Werkploeg, transport .....	30

---

2.2.4	<i>Werkploeg, voorziene onbedoelde gebeurtenissen.....</i>	31
2.2.5	<i>Samenvatting werk op wisselende plaatsen in heel Nederland.....</i>	31
2.2.6	<i>Derden .....</i>	32
<b>3.</b>	<b>Risico-evaluatie.....</b>	<b>34</b>
3.1	<i>Indeling werknemers.....</i>	34
3.2	<i>Indeling ruimten.....</i>	34
3.3	<i>ALARA/dosislimieten .....</i>	34
3.4	<i>Noodzaak tot actualisering .....</i>	34
Bijlage 1	.....	35
Bijlage 2	.....	36
Bijlage 3	Stralingsrisicoanalyse XRF.....	37

## 1. Risico-identificatie

### 1.1 Vergunningen

Voor de handelingen met bronnen van ioniserende straling zijn vergunningen op grond van de Kernenergiewet KEW benodigd.

#### 1.1.1. Vergunning ANVS-2015/0459-18

De vergunning 2015/0459-18 voorziet in het uitvoeren van de vergunde handelingen op de vestigingsplaats, buiten de vestigingsplaats op wisselende plaatsen in Nederland en het Nederlands continentaal plat.

Vergund zijn het gebruik van:

8 x <sup>75</sup>Se maximale activiteit per bron: 3,7 TBq (totaal 29,6 TBq).

5 x <sup>192</sup>Ir maximale activiteit per bron: 1,85 TBq (totaal 9,25 TBq).

12 röntgentoestellen maximaal 300 kV.

#### 1.1.2. Vergunning ANVS-PP-2020/059411-04

De vergunning ANVS-PP-2020/0059411-04 voorziet in het uitvoeren van handelingen voor materiaalidentificatie met:

2 x HH-XRF-toestellen van maximaal 50 kV.

#### 1.1.3. Aanvraag uitbreiding Vergunning ANVS-PP-2023/.....

In verband met toegenomen werkzaamheden wordt wijziging van de vergunning 2015/0459-18 gevraagd voor het uitvoeren van de vergunde handelingen op de vestigingsplaats, buiten de vestigingsplaats op wisselende plaatsen in Nederland en het Nederlands continentaal plat.

Uitbreiding wordt gevraagd voor het gebruik van:

2 x <sup>75</sup>Se maximale activiteit per bron: 3,7 TBq.

5 x <sup>192</sup>Ir maximale activiteit per bron: 1,85 TBq.

### 1.2 Transportvergunningen

Met de inwerkingtreding van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs) is ook in de regelgeving voor de transport vergunningen en -meldingen het nodige veranderd.

Voor het transport van HASS bronnen is een transport vergunning benodigd.

#### 1.2.1 Transportvergunning ANVS-PP-2021/0085967 geldig tot 26-10-2024

Op 26-10-2021 is een vervoersvergunning verleend met kenmerk ANVS-PP-2021/0085967. De vergunning is geldig tot 26-10-2024. Vergund is het vervoer van maximaal 9000 zendingen tijdens de periode van geldigheid met maximaal 3 HASS bronnen van maximaal 3,7 TBq per bron, die <sup>192</sup>Ir en <sup>75</sup>Se bevatten en verpakt zijn in type B(U) verpakkingen.

### 1.2.2 Transportvergunning ANVS-2023/0095912 geldig tot 26-10-2024

Op 23-03-2023 is een wijziging vervoersvergunning verleend met kenmerk ANVS-PP-2023/0095912. De vergunning is geldig tot 26-10-2024. De wijziging betreft de toevoeging van een goedkeuringscertificaat van een transportverpakking, een special form certificaat, drie afzenders en drie ontvangers aan de vergunning ANVS-PP-2021/0085967.

### 1.2.3 Jaarkennisgeving ANVS-PP-2022/0094621 geldig tot 06-12-2023

Voor het transport van totaal 46,2 kg verarmd uranium (3 broncontainers) is op 6 december 2022 een jaarkennisgeving gedaan. Deze is één jaar geldig.

## 1.3 Inventarisatie bronnen, broncontainers en hun eigenschappen

Naar de situatie van april 2023 zijn de volgende bronnen beschikbaar en inzetbaar:

Tabel 1.1: HASS Bronnen

Mistras ID	nuclide	Activiteit bij aflevering	Afleverings datum	Identificatie	Broncontainer	Datum afvoer
MB1006	<sup>75</sup> Se	2763 GBq	25-10-2022	43334M	Sentinel Elite E1550	
MB918	<sup>75</sup> Se	2895 GBq	08-12-2021	39704M	Sentinel Elite E1552	
MB828	<sup>75</sup> Se	3484 GBq	28-11-2022	60529M	Sentinel Elite E1542	
MB840	<sup>75</sup> Se	2970 GBq	30-03-2022	27704MX	Sentinel Elite E1548	
MB721	<sup>75</sup> Se	2865 GBq	14-06-2022	43308M	Sentinel Elite D1521	
MB887	<sup>192</sup> Ir	1695 GBq	28-11-2022	58888M	Sentinel Delta D15930	
MB454	<sup>192</sup> Ir	1542 GBq	02-03-2023	62124M	Sentinel Delta D11592	
MB888	<sup>192</sup> Ir	1506 GBq	31-03-2023	62872M	Sentinel Delta D15921	



*Ir-192 bronnen van max. 1,85 TBq*

Activiteit: 1,85 TBq

Bronconstante  $\Gamma$  (Ir-192): 0,14  $\mu\text{Sv/uur}$  per MBq op 1 m

Energie gammastraling: 316, 296, 308, 468, 604, 206, 485 keV

Halveringsdikte beton (Ir-192):  $d_{1/2} = \ln 2 / \mu_{604 \text{ keV, beton}} = 0,693 / 0,190 = 3,64 \text{ cm}$

Lineïeke verzwakking coëfficiënt  $\mu = 0,190 \text{ cm}^{-1}$

Dikte afscherming = ██████████

Buildup factor beton<sup>1</sup>  $\mu d \approx 15$  (T3 exposure p 44) = 63

Dikte afscherming = ██████████

Buildup factor beton voor  $\mu d \approx 12,4$  (T3 exposure p 44) = 38

<sup>1</sup> Bron: New Gamma-Ray Buildup Factor Data for Point Kernel Calculations door D.K. Trubey.- 1988

#### 1.4 Afschermingsberekening Röntgentoestellen

Ioniserende straling uitzendende toestellen geven in de primaire bundel stralingsdosistemp die op kunnen lopen tot tientallen Sv per uur. Bij de fotonenstraling die bijvoorbeeld betonnen wanden raken treedt een aanzienlijke Buildup up van stroostraling op. Ook de stroostraling die ontstaat bij de brede bundelgeometrie zorgt voor een aandeel in de stralingsdosis buiten het target vlak. Om deze reden is het niet toegestaan dat tijdens het belichten er zich personen op welke plaats dan ook in de stralingsbunker bevinden.

Bij Mistras B.V. worden röntgentoestellen met een spanning tot 300 kV gebruikt met brede bundel geometrie.

Naar de situatie april 2023 zijn de volgende röntgentoestellen in gebruik:

Tabel 1.2a: Röntgentoestellen

merk	type	item	S/N	buisspanning & buisstroom	bouwjaar & testdata
Yxlon Int.AS	Smart Evo 300DS Directioneel MB1531	Panel <sub>partnr20064001</sub> Buis <sub>partnr20064040</sub>	1583464	300 kV -4,5 mA	2021
GE	Isovolt Titan E MB530D	Panel 6654151 Buis 2533240 Power 6641093	14 2752 13 2205 15 0025	225 kV-11mA	2014
Yxlon Int.AS	Smart Evo 225D Directioneel MB1225	Panel <sub>Partnr20064031</sub> Buis <sub>Partnr 20064031</sub>	1206953	225 kV -5,5 mA	2020

Yxlon Int.AS	Smart Evo 300DS Directioneel MB836	PanelPartnr20064040 Buis Partnr 20064040	984214	300 kV -4,5 mA	2018
Yxlon Int.AS	Smart Evo 300P Rondstraler MB637	PanelPartnr20064040 Buis Partnr20064007	747512	300 kV -4,5 mA	2017

*Röntgentoestellen met een spanning tot maximaal 300 kV*

Buisstroom maximaal: 3 mA.

Intensiteit bij 300 kV volgens figuur 43 (bijlage 1)

zonder afscherming: 20,9 mGy/mA.min op 1 m

Kermatempo op 4,1 m<sup>4</sup> = 20,9 x 3,0 x (1/4,1)<sup>2</sup> = 3,8 mGy.min<sup>-1</sup>

Dosistempo weefsel = 3,8 x (0,00315/0,00287) = 4,2 mGy.min<sup>-1</sup>

Workload W: 100 opnamen per dag met belichtingstijd 1 min. en max. stroom

$W = 100 \cdot 1 \cdot 3 = 300 \text{ mA} \cdot \text{min} / \text{dag}$  bij totaal 70 werkdagen/jaar = 21 10<sup>3</sup> mA.min.

Usefactor U: = 0,5; De primaire bundel is de helft van de bestralingstijd gericht op het bedieningspaneel.

Occupancy factor T: = 1; Bedieningspaneel is voortdurend bezet.

Dosistempo:  $D = (W \cdot U \cdot T) / \text{buisstroom} \cdot \text{belichtingstijd} \cdot D_{\text{weefsel}}$

$D_{\text{weefsel jaar}} = (21 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 1) / (3 \cdot 1) \cdot 4,2 = 833 \text{ mGy/jaar}$

Wettelijke jaarlimiet Dosistempo is 1 mSv/jaar / (1Sv/1Gy) = 1 mGy/jaar

Benodigde transmissie T:

$T = 1 \text{ [mSv/j]} / 833 \text{ [mGy/j]} \cdot K = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,8 = 4,6 \cdot 10^{-3}$

Uit figuur 43 (bijlage Ia) volgt bij 300 kV en een T van 4,6.10<sup>-3</sup> een minimale dikte van 36 cm beton.

Voor een jaarlimiet van 0,1 mSv/jaar volgt een T van 4,6.10<sup>-4</sup> een minimale dikte van 46 cm beton.

Aanwezig is XXXXXXXXXX beton zodat bij de hierboven genoemde workload, usefactor en occupancy het dosistempo niet boven de 10 μSv/jaar zal liggen.

Minimaal benodigde afschermingsdikte bij een maximaal toegelaten kerma kan worden berekend uit:

$$k = K_{\text{max}} \cdot l^2 / (W \cdot U \cdot T)$$

k = opbrengst van het röntgentoestel (mGy.m<sup>2</sup>.mA<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)

Kmax = maximaal toegelaten kerma (mGy.jaar<sup>-1</sup>)

l = afstand tot het focus (m)

W = workload (mA.min.jaar<sup>-1</sup>)

U = usefactor

T = occupancy factor

### 1.5 Mobiele Handheld XRF-röntgentoestellen

Bij Mistras Group B.V. worden 3 mobiele Handheld XRF-röntgentoestellen met een spanning van 50 kV gebruikt voor materiaalidentificatie (PMI).

Tabel 1.2b Mobiele XRF toestellen:

type	Serie nr.	jaar	hoogspanning	stroom	vermogen
PMI XRF Olympus DPO 2000	543480	2017	50 kV	80 $\mu$ A	max. 4 W
PMI XRF SciAps X505	00618	2022	50 kV	200 $\mu$ A	max. 5 W
PMI XRF SciAps X550	01285	2023	50 kV	200 $\mu$ A	max. 5 W

Voor de Mobiele XRF toestellen is separaat een gedetailleerde risicoanalyse opgesteld. Deze is als bijlage 3 opgenomen. In deze risicoanalyse zijn de relevante aspecten uit de gedetailleerde risicoanalyse voor de XRF toestellen meegenomen.

#### 1.5.1 Veiligheidsvoorzieningen in het toestel

De Olympus VANTA/DELTA toestellen zijn voorzien van een aantal ingebouwde veiligheidsvoorzieningen. Afgebeeld is hieronder nog een plaatje van een Olympus Delta toestel met Innov-X logo. Olympus NDT heeft Innov-X in 2010 overgenomen.



Een team van het oorspronkelijk Innov-X bedrijf heeft een nieuwe onderneming opgestart SciAps. Het zal niet vreemd voorkomen dat de SciAps XRF-toestellen verwantschap tonen met de oorspronkelijke Innov-X toestellen.

1. Het toestel wordt stand-by ingeschakeld door het inschakelen van de on/off (power) schakelaar en het invoeren van een pincode. Het touch-screen licht op en de groene led onder de powerknop licht op ten teken dat de sluitersloten is. De rode leds aan de bovenkant zijn aan ten teken dat de röntgenbuis in de "stand-by modus" klaar staat voor de meting.

## 1. Handheld Analyzer



Foto 3a: Olympus VANTA XRF met bedieningsknoppen



Foto 3b: SciAps X505 XRF

2. De meting kan alleen uitgevoerd worden als op het touch-screen de “start knop in de gekozen programmode” wordt ingeschakeld en de start knop in de handgreep constant wordt ingedrukt.  
De rode leds bovenop het toestel knipperen om aan te geven dat de meting wordt uitgevoerd en de “sluiter” openstaat. Onderaan in het touch-screen is een status balk waarin de voortgang van de meting kan worden gevolgd.  
Als tijdens de meting de mechanische sample sensor geen monster binnen de gewenste meetafstand (kort aan het meetvenster) wordt waargenomen dan sluit de “sluiter” automatisch en wordt geen meting uitgevoerd.
3. Als de meting is uitgevoerd of de start knop wordt losgelaten sluit de “sluiter” binnen 100 msec. en schermt het uittreden van röntgenstraling af. De röntgenbuis wordt in “stand-by modus” geschakeld.
4. Als gedurende enige tijd geen meting wordt uitgevoerd, schakelt de software van het toestel in “screensaver modus” en wordt de röntgenbuis uitgeschakeld. Alleen de groene led op het toestel brandt. De rode leds bovenop het toestel zijn aan. Door het scherm aan te raken kan weer een programmode gekozen worden.
5. Als het toestel niet goed lijkt te werken, dient een Calibration Check uitgevoerd te worden. Als de melding Cal Check Passed in het dialoog venster verschijnt is het toestel in orde en kan een nieuwe meting worden uitgevoerd. Als de melding Cal Check Failed in het dialoog venster verschijnt, dan moet het toestel worden nagekeken door de Olympus service dealer.

### 1.5.2 Dosistempo gegevens

Op basis van de verstrekte informatie van de fabrikant, Olympus, is bij de meting van een 316 rvs metaal monster de strooistraling voor de DELTA XRF toestellen bij maximaal vermogen - 40 kV en 100  $\mu$ A – gelijk aan de achtergrondstraling op 10 cm rond het toestel. Op 1 m afstand van het toestel is ook geen verhoging van het dosistempo voor de strooistraling gemeten. Ook ter plaatse van de start knop is in deze situatie geen verhoging als gevolg van de strooistraling gemeten. De achtergrondstraling is  $< 1 \mu$ Sv/h.

Als een schijf kunststof (pvc) wordt gemeten, dan is de strooistraling voor de Olympus DELTA XRF toestellen bij maximaal vermogen - 50 kV en 80  $\mu$ A – bij constante inschakeling 250  $\mu$ Sv/h op 10 cm rond het toestel. Op 1 m afstand van het toestel is het dosistempo voor de strooistraling maximaal  $250 \cdot (102/1002) = 2,5 \mu$ Sv/h. Op de strooistraling is op een iets grotere afstand ( $> 0,5$  m) de kwadratenregel gewoon van toepassing. Ter plaatse van de start knop is in deze situatie de strooistraling 10  $\mu$ Sv/h.



Foto 4: X-ray bundel en meetpunten strooiestraling

Table 20 Radiation profile<sup>a</sup> – Aluminum probe head<sup>b</sup>

Survey instrument		Model: DELTA Series			Date: Oct. 2012 and Jan. 2013					
		Ludlum Model 3 44-7 probe	Ludlum Model 2241 44-172 probe	Performed by: F. Cook R. Nasella		Validated by: M. L. Tremblay				
Probe head: Aluminum										
Measured dose rate in $\mu\text{Sv/h}^c$ – Secondary radiation (scatter)										
Mode(s)	Substrate	Voltage (kV)	Amperage ( $\mu\text{A}$ )	Filter	Trigger – T	Close – F	5 cm – F1	10 cm – F2	30 cm (calculated)	
Alloy Plus, Mining, Mining Plus, GeoChem 1, 3-Beam Soil 2, HalFree 1, RoHS 1 (plastic)	316 stainless	40	100	Aluminum	BK <sup>d</sup>	7	6	BK	BK	
	Al (319 AA)				7	300	120	30	4	
	EC 680K				45	900	500	320	19	
	Soil (SiO <sub>2</sub> )				20	400	250	70	9	
RoHS 1, 4-Beam RoHS 1 (plastic), RoHS 2, 4-Beam RoHS 2 (alloy)	PVC-Blank	50 <sup>e</sup>	80	Copper	10	840	400	250	15	
	EC 680K				16	1800	800	500	30	
	71X SR2 (solder)				BK	5	1	BK	BK	
Alloy, Mining	316 stainless	35	100	Aluminum	BK	2	2	BK	BK	
	Soil (SiO <sub>2</sub> )				5	130	60	20		
Alloy Plus 3	316 stainless	8	200	Open	BK	BK	BK	BK	BK	
	Al (319 AA)				BK	BK	BK	BK	BK	
Alloy Plus 2	316 stainless	13	200	Open	BK	BK	BK	BK	BK	
	Al (319 AA)				BK	BK	BK	BK	BK	
Alloy 2	316 stainless	15	200	Iron	BK	BK	BK	BK	BK	
	Al (319 AA)				BK	BK	BK	BK	BK	
3-Beam Soil 1, Mining Plus	Soil (SiO <sub>2</sub> )	50 <sup>e</sup>	80	Copper	25	1500	800	450	30	
3-Beam Soil 1	Soil (SiO <sub>2</sub> )	40	100	Copper	10	400	220	70	8	
RoHS 2 (alloy)	PVC-Blank	40	100	Copper	5	200	90	30	3	
	EC 680K				4	700	420	300	16	
Geochem 2, Mining Plus 2	Soil (SiO <sub>2</sub> )	10	200	Open	BK	BK	BK	BK	BK	
3-Beam Soil 3	Soil (SiO <sub>2</sub> )	15	200	Thin aluminum	BK	BK	BK	BK	BK	
Lead 2	71X SR2 (solder)	18	200	Aluminum	BK	BK	BK	BK	BK	
Lead 1	71X SR2 (solder)	25	100	Aluminum	BK	BK	BK	BK	BK	
HalFree 2	EC 680K	10	200	Open	BK	8	1	BK	BK	
HalFree 2	EC 680K	12	200	Open	BK	70	13	4	BK	

- a. Table revision D, January 2013.  
b. Aluminum probe head only, no probe shield in place.  
c. To convert measurements to mR/h, divide results by 10.  
d. BK = Background reading ( $< 1 \mu\text{Sv/h}$ ).  
e. All 50 kV readings are taken with standard probe shield in place.

Als een grondmonster (SiO<sub>2</sub>) wordt gemeten, dan is de strooiestraling voor de Olympus DELTA XRF toestellen bij maximaal vermogen - 40 kV en 100  $\mu\text{A}$  – bij constante inschakeling 70  $\mu\text{Sv/h}$  op 10 cm rond het toestel. Op 1 m afstand van het toestel is het dosistempo voor de strooiestraling maximaal  $70 \cdot (102/1002) = 0,7 \mu\text{Sv/h}$ . Op de strooiestraling is op een iets grotere afstand ( $> 0,5 \text{ m}$ ) de kwadratenregel gewoon van toepassing. Ter plaatse van de start knop is in deze situatie de strooiestraling 20  $\mu\text{Sv/h}$ .

De meeste dosis wordt ontvangen bij het meten van lichte kunststofmaterialen, bijvoorbeeld printplaten (Electronic Circuit Boards - EC 680K). Dit is bij Mistras Group B.V. niet het materiaal waarvoor de Olympus DELTA en SciAps XRF worden gebruikt. Reden waarom deze gegevens hier verder buiten beschouwing blijven.

Deze metingen zijn uitgevoerd zonder het gebruik van een zogenaamd “scattershield” of veiligheidskabinet. Het gebruik van deze hulpmiddelen wordt ten zeerste aangeraden.

Voor de risicoanalyse is gebruik gemaakt van bovengenoemde metingen uit de documentatie van de fabrikant met kenmerk Olympus Delta family XRF analyzers 103201-EN01\_rev\_E—Delta Family User manual International.pdf d.d. June 2014.

De strooistralingsmetingen voor de SciAps 505 en 550 zijn gunstiger dan de metingen van de Olympus Delta XRF toestellen.

**TEST 5:** Stainless Steel 316 40 keV and 42.7 micro Amps Filter 1 (Note: readings in microR per hour)

	Exposure Rate Measurements with Ludlum Model 9DP in microR per hour			Figures
	Contact	5 cm	10 cm	
	Filter 1	Filter 1	Filter 1	
Top Nose Front	18	15	13	10, 11
Left Side Nose Front	50	53	13	10, 11
Left Side Middle	9	12	15	13, 14
Right Side Nose Front	42	31	19	10, 11
Right Side Middle	6.5	14	10	13, 14
Display Face Center	8.3	10	7.4	12
Handle	6.8	6.1	6.8	12

Strooistraling SS316 bij handgreep op contact 6,8 microR/h = 0,068  $\mu$ Sv/h.

Strooistraling SS316 bij linkerzijde neus op 5 cm afstand 53 microR/h = 0,53  $\mu$ Sv/h.

SciAps Woburn MA X-50 2.0 and X-550 kv Unit Full Report 23 MAR 2020 Rev 03

### 1.6 (Deel)handelingen en blootgestelde personen (prognose 2023 ev)

Bij de (deel)handelingen is gebaseerd op de uitgevoerde handelingen in de periode 2020 – 2021 een prognose opgesteld voor 2023 en volgende jaren. De verwachting is dat het aantal handelingen een stijgende lijn blijft vertonen omdat op basis van vergunningseisen, interne richtlijnen en opgevoerde kwaliteitszorg meer controles worden uitgevoerd. Ook de toegenomen tankopslagcapaciteit speelt hierbij een rol. Dit ondanks het ontwikkelen en verbeteren van de onderzoeksmethoden voor inspecties waarbij niet langer meer bronnen van ioniserende straling worden ingezet.

Tabel 1.3a: Aantallen handelingen en blootgestelde personen (totaal)

(Deel)handeling	Aantal	Werkploeg	Halmedewerkers	Kantoorpersoneel	Derden
<b>Mistras Spijkenisse, Hofweg 15</b>					
Bestralingen					
- Se-75	█	1-2 pers.	< 5	< 20	0
- Ir-192	█	1-2	< 5	< 20	0
- Röntgen	█	1	< 5	< 20	0
Voor en na <sup>3</sup>	█	1	< 5	< 20	0
Opslag	█	1	< 5	< 20	0

<b>Willekeurige locatie in Nederland</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	2 pers.	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Ir-192	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Röntgen	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
Voor en na <sup>3</sup>	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
<b>Willekeurige locatie op het Nederlandse deel van het continentaal plat</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	2 pers.	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Ir-192	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Röntgen	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
Voor en na <sup>3</sup>	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100

<sup>2</sup> Hier wordt met 'blootgesteld' bedoeld 'mogelijk aan bestraling onderworpen'

<sup>3</sup> Hieronder wordt verstaan het transporteren van de opslag- c.q. vervoersfaciliteit naar de bestralingspositie

### 1.7 Plaats van handeling

De handelingen vinden plaats op:

- de Mistras locatie aan de Hofweg 15 te Spijkenisse;
- op wisselende plaatsen door geheel Nederland;
- op het Nederlandse deel van het continentaal plat.

Op de locatie in Spijkenisse vinden de handelingen plaats in een stralingsbunker waarvan de wanden bestaan uit ■ beton of een equivalente dikte staal (de deur). Voor de toegang van de bunker van en naar de bronnenopslag is een labyrint gevormd door over een afstand van enkele meters een extra betonwand aan te brengen. Eventuele strooi-straling via de deuropening wordt hiermee effectief afgeschermd.

### 1.8 Blootstellingspaden

Er is alleen sprake van blootstelling door externe straling.

### 1.9 Voorziene onbedoelde gebeurtenissen

Bij de handelingen met bronnen en röntgentoestel zijn de volgende voorziene onbedoelde gebeurtenissen mogelijk:

1. Tijdens het uit-/terugdraaien van een bron, komt de bron vast te zitten in de slang. Dit kan ontstaan door een beschadiging van de bronslang of de uitdraaislang. Ook kan het ontstaan doordat er door een externe oorzaak of door de beweging in de slang een voorwerp losraakt en een van de slangen van buitenaf beschadigd.
2. Tijdens het uitdraaien of het terugdraaien raakt de bronketting los van het uitdraaimechanisme. Het is hierbij ook niet uitgesloten dat de bron en een deel van de bronketting zich buiten de bronslang bevinden.

Bij de onder 1 en 2 genoemde gebeurtenissen is de oplossing met het minste risico voor het ontvangen van dosis waarschijnlijk het doorknippen van de bronslang op de juiste plaats. En het geknipte deel van de bronslang en bron in een loodpot te deponeren.

De voorziene onbedoelde gebeurtenissen 1 en 2 gelden zowel op de vaste locatie als op een willekeurige locatie in Nederland.

3. Tijdens de bestraling met een bron loopt een medewerker (radiograaf of assistent radiograaf) of een 'derde' het afgezette gebied binnen.

Zodra een medewerker het afgezette gebied binnen gaat zal de EPD van de medewerker alarm geven.

Het binnen lopen van het afgezette gebied door een 'derde' bij een bestraling wordt zoveel mogelijk voorkomen door de visuele bewaking van de afzetting door de medewerkers.

4. Tijdens de bestraling met een röntgentoestel loopt een medewerker (radiograaf of assistent radiograaf) of een 'derde' het afgezette gebied binnen.

Omdat de directe bundel van het röntgentoestel nauwelijks verzwakt, wordt ook op grote afstand in die bundel nog een forse dosis straling opgelopen.

De voorziene onbedoelde gebeurtenis 4 vindt alleen plaats op een willekeurige locatie in Nederland. Bij werkzaamheden in de bunker op de vaste locatie voorkomt de aanwezigheid signalering in de bunker het inschakelen van het röntgentoestel.

Met het gebruik van de mobiele XRF -röntgentoestellen zijn nog een tweetal andere voorziene onbedoelde gebeurtenissen beschreven.

Bij het niet juist opvolgen van de werkinstructies en de procedure voor veilig werken kan een werknemer een effectieve of equivalente dosis ontvangen die fors hoger is dan onder normale werkomstandigheden mogelijk is. In het kader van de risicoanalyse worden deze onbedoelde gebeurtenissen beschreven en worden berekeningen van de effecten gemaakt.

#### XRF Onbedoelde gebeurtenis 1:

Een collega heeft een niet geïdentificeerd voorwerp in de hand en vraagt aan de XRF-gebruiker om het voorwerp even te bekijken met de XRF. Het toestel is gebruiksklaar, de pincode is ingegeven en ingesteld op 40 kV bij 100  $\mu$ A voor de Olympus DELTA of de SciAps XRF. Door een misverstand wordt het voorwerp niet neergelegd maar vastgehouden. Het voorwerp is groot genoeg om het gehele venster binnen het scattershield van het XRF-toestel af te dekken. De hand bevindt zich op 5 cm van het venster maar wordt door de afscherming van het voorwerp niet door de directe bundel bestraald. De hand staat bloot aan de scatter. Het XRF-toestel wordt ingeschakeld volgens de normale procedure. Tijdens het kiezen van het juiste programma onderdeel in het touch screen en het inschakelen zijn gebruiker en werknemer met elkaar in gesprek en realiseren zich niet de onbedoelde gebeurtenis. Het stralen start. Na 10 seconden als de meting is uitgevoerd beseft de XRF-

gebruiker de fout, richt het toestel af van de hand van de collega en schakelt het apparaat uit door het loslaten van de inschakelknop en/of de backscatterbeveiliging. Dit komt 1x per jaar voor.



Foto 5: Toestel niet richten op andere personen – Gevaarlijke situatie

XRF Onbedoelde gebeurtenis 2:

De XRF-gebruiker is aan het meten in het veld. Het toestel is gebruiksklaar en de pincode is ingegeven en ingesteld op 40 kV bij 100  $\mu$ A voor de Olympus VANTA XRF. De gebruiker heeft al enkele metingen verricht. En wil de volgende meting starten. Dan ziet de gebruiker nog vuiligheid aan het venster kleven. Hij houdt onbedoeld de inschakelknop in terwijl hij de resten van het vorige monster van het röntgenvenster veegt. De hand bevindt zich dan op het contactvlak van de röntgenstraalopening. De gebruiker schrikt van het inschakelen en laat de inschakelknop los. Gedurende 4 seconden heeft de gebruiker zijn hand bestraald. Dit komt 1x per jaar voor.



Foto 6: Geen sample in de hand meten –Gevaarlijke situatie

## *1.10 Maatregelen om de blootstelling te beperken*

De handelingen voor de gebruikelijke, meest voorkomende werkzaamheden zijn omschreven in het handboek personeel radiografie. Voor afwijkende en/of bijzondere werkzaamheden wordt ter voorbereiding een werkomschrijving opgesteld. Hierbij worden onder meer de te nemen voorzorgsmaatregelen omschreven en eventuele benodigde (extra) hulpmiddelen die nodig zijn voor een goede uitvoering. In bijzondere situaties wordt door de werkvoorbereiding in overleg met de verantwoordelijk TMS en de externe coördinerend deskundige stralingsbescherming een werkplan opgesteld. Het werkplan wordt goedgekeurd door de verantwoordelijke TMS en/of de coördinerend deskundige stralingsbescherming.

Alle werknemers die vanwege hun functie met de toepassing van de bronnen / toestellen te maken hebben, ook wanneer dit slechts zijdelings het geval kan zijn, worden voorgelicht. De medewerkers die direct betrokken zullen zijn bij deze handelingen krijgen aanvullende instructies en training. Dit geschiedt via een intern trainingsprogramma. De werknemers die toezichthoudende taken hebben dienen een opleiding als toezichthoudend medewerker stralingsbescherming (TMS-IR) met goed gevolg te hebben afgerond (oud: stralingsdeskundige niveau 5A). Per werkploeg is minimaal één van de medewerkers gediplomeerd als TMS-IR. Een werkploeg bestaat uit een radiograaf-TMS en tenminste een assistent-radiograaf.

Handelingen met de bronnen / toestellen worden uitgevoerd volgens de geldende werkinstructies opgenomen in het handboek personeel radiografie Mistras Group B.V.

De medewerkers die betrokken zijn bij de handelingen zijn ingedeeld als blootgesteld medewerker. Ter signalering van evt. incidenten dragen zij een direct afleesbare dosistempomonitor met alarmfunctie (EPD).

### *1.10.1 Werken met bronnen en toestellen in de stralingsbunker*

De werkmethode met bronnen/toestellen is zodanig dat de stralingsbelasting van personen zo laag als redelijkerwijs mogelijk is (ALARA). Deze geminimaliseerde blootstelling wordt bereikt door de volgende maatregelen:

- Alle handelingen met bronnen/toestellen worden uitgevoerd in de stralingsbunker. Met het mobiele XRF kan indien nodig ook buiten de stralingsbunker worden gewerkt;
- Ten tijde van de bestraling is niemand aanwezig in de bunker en is de bunker volledig afgesloten;
- Bij elk RT-team is minimaal één persoon opgeleid als stralingshygiëne deskundige niveau 5A of als TMS-IR;
- Regelmatig worden toolboxmeetings en werkbesprekingen gehouden waarbij veilig werken een vast agendapunt is;
- Broncontainers, slangen, in- en uitdraaimechanisme, toestellen worden regelmatig gecontroleerd op de goede werking, beschadigingen, knikken in slangen;
- Bronslangen en de broncontainerslangaan sluitingen worden regelmatig gecontroleerd met een go/no-go kaliber;
- Handelingen met de toestellen worden uitgevoerd volgens de geldende werkinstructies;
- Slangen en kabels worden door de aanwezige doorvoer-sparingen gelegd;
- De stralenbundel wordt niet in de richting van de toegangsdeuren gericht;

- Handelingen, die mogelijk een risico inhouden, worden alleen uitgevoerd door de daartoe voldoende opgeleide medewerkers;
- De medewerkers die betrokken zijn bij de handelingen zijn ingedeeld als blootgesteld werker. Zij dragen voor de ambtelijke dosisregistratie een TLD op heuphoogte;
- Ter signalering van eventuele incidenten dragen de medewerkers een direct afleesbare dosistempo-monitor met alarmfunctie.

#### *1.10.2 Werken met bronnen en toestellen op wisselende locaties in Nederland*

- Er is een duidelijke werkopdracht aanwezig met relevante gegevens;
- De grens van de locatie wordt afgezet met geel/zwart lint en waarschuwingsvlaggen met signalering voor ioniserende straling en eventueel aangevuld met waarschuwingslampen;
- Door het uitvoerend personeel zal direct en tijdens de bestraling continue toezicht worden gehouden zodat geen onbevoegde personen het afgezette gebied binnengaan;
- Voor zover mogelijk zal het overige personeel geïnformeerd worden over de uit te voeren werkzaamheden en de daarmee gepaard gaande risico's.
- Voordat de gecontroleerde zone wordt betreden, wordt met de stralingsmonitor gecontroleerd of de hoogspanning is uitgeschakeld resp. de bron weer in de broncontainer zit;
- Bij elk RT-team is minimaal één persoon opgeleid als stralingshygiëne deskundige niveau 5A of als TMS-IR;
- Op de werkopdracht wordt vermeld wie voor de betreffende opdracht optreedt als verantwoordelijk toezichthouder. Deze persoon is minimaal opgeleid als stralingshygiëne deskundige niveau 5A of als TMS-IR;
- Regelmatig worden toolboxmeetings en werkberekeningen gehouden waarbij veilig werken een vast agendapunt is;
- Broncontainers, slangen, in- en uitdraaimechanisme, toestellen worden regelmatig gecontroleerd op de goede werking, beschadigingen, knikken in slangen;
- Bronslangen worden regelmatig gecontroleerd met een go/no-go kaliber;
- Handelingen met de toestellen worden uitgevoerd volgens de geldende werkinstructies;
- Voor aanvang van de werkzaamheden wordt onderzocht of de stralenbundel in de bedoelde richting geen gevaar voor mensen op kan leveren;
- Voor de aanvang van de werkzaamheden op locatie wordt een LMRA (Last Minute Risk Analysis) uitgevoerd;
- Bij het constateren van afwijkingen met de werkopdracht wordt overlegd met de gemandateerde toezichthoudend deskundige van Mistras Group B.V.;
- Na het beëindigen van de werkzaamheden wordt de radioactieve bron of het toestel in het afgesloten voertuig of afgesloten bergplaats geplaatst.

#### *1.10.3 Handelwijze bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen*

Bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen is het van belang dat direct vanaf het ontstaan van een onbedoelde gebeurtenis door de werkploeg adequaat gehandeld wordt. Daarvoor gelden onderstaande stappen:

##### Stap 1: Beheersen van de situatie

- Zodra een onbedoelde gebeurtenis optreedt informeert de radiograaf direct de verantwoordelijk TMS-er (of zijn plaatsvervanger);

- De assistent radiograaf vergroot de afzetting zo snel mogelijk tot een zo groot mogelijke afstand van de stralingsbron;
- De veiligheidsfunctionaris van de opdrachtgever en de contactpersoon van de opdrachtgever worden op de hoogte gebracht van de onbedoelde gebeurtenis;
- De verantwoordelijk TMS-er (of zijn plaatsvervanger) informeert direct de externe stralingsbeschermingsdeskundige van Radiatco B.V. (24/24 bereikbaar via [REDACTED])

#### Stap 2: Plannen en doornemen van de interventie

- De verantwoordelijk TMS-er (of zijn plaatsvervanger) overleggen met de externe stralingsdeskundige en de werkploeg over de mogelijkheden voor interventie;
- Gereedschappen en hulpmiddelen voor de interventie worden aangevoerd;
- Middels metingen op afstand en foto's wordt de bron gelokaliseerd;
- De interventie wordt geoefend en er wordt bepaald wie welke handeling zal uitvoeren, rekening houdend met het zoveel mogelijk beperken resp. delen van de op te lopen dosis (ALARA-maatregelen).

#### Stap 3: Uitvoeren van de interventie

- LMRA op de interventie doornemen;
- Interventie uitvoeren;
- Bron veiligstellen in loodpot;
- Vastleggen van de opgelopen doses.

#### Stap 4: Vaststellen of de noodsituatie is opgeheven

- Meten of de dosis op de werkplek terug is tot de normale achtergrondstraling;
- De loodpot met bron afvoeren en de bron zo spoedig mogelijk terug laten halen door de leverancier.

#### Stap 5: Rapporteren en evalueren van de opgelopen dosis

- Uitlezen EPD's;
- Uitlezen TLD-badges;
- Nazorg van de betrokken medewerkers en eventueel consult bij stralingsarts in verband met de blootstelling;
- Beschrijven van de situatie voor en tijdens de onbedoelde gebeurtenis;
- Berekenen van de stralingsdosis aan de terreingrens als gevolg van de onbedoelde gebeurtenis;
- Evaluatie van de opgelopen doses medewerkers en aan de terreingrens;
- Lessons learned;
- Aanbevelingen;
- Eindrapportage aan ANVS en ISZW.

## 2. Risicoberekening

### 2.1 Handelingen per werkploeg

Op basis van ervaring en volgend uit de risicoberekening (zie hierna) volgt een maximaal uit te kunnen voeren handelingen met de verschillende bronnen en toestellen. Vanuit de wens om een zo gevarieerd mogelijk werkpakket uit te kunnen voeren en om de dosisbelasting per werknemer zoveel te verdelen en rekening houdend met de wettelijke dosislimieten voor werknemers is onderstaand werkpakket als uitgangspunt genomen. Hiermee wordt door de planning van het bedrijf zoveel mogelijk rekening gehouden.

Tabel 1.3b: Aantallen handelingen en blootgestelde personen (per werkploeg)

(Deel)handeling	Aantal	Werkploeg	Halmedewerkers	Kantoorpersoneel	Derden
<b>Mistras Spijkenisse, Hofweg 15</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	1-2 pers.	< 5	< 20	0
- Ir-192	■	1-2	< 5	< 20	0
- Röntgen	■	1	< 5	< 20	0
Voor en na <sup>3</sup>	■	1	< 5	< 20	0
Opslag	■	1	< 5	< 20	0
<b>Willekeurige locatie in Nederland</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	2 pers.	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Ir-192	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Röntgen	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
Voor en na <sup>3</sup>	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100

Om het aantal geprognoseerde handelingen uit te kunnen voeren zoals dat in tabel 1.3a is opgenomen zijn minimaal ■ werkploegen voor de werkzaamheden op de Hofweg 15 nodig en minimaal ■ werkploegen voor de werkzaamheden op wisselende locaties in Nederland.

### 2.2 Handelingen op locatie Mistras Group B.V. - Spijkenisse

Met de formule  $D = \frac{\Gamma \cdot A}{r^2} \cdot B \cdot e^{-\mu d}$  kan het dosistempo op een afstand  $r$  van een bron berekend worden. Voor de situatie in de stralingsbunker, waarbij een bron op minimaal 4,1 m<sup>4</sup> afstand van een medewerker (buiten de bunker) geplaatst wordt, resulteert dit in een dosistempo ter plekke in geval van een nieuwe bron van maximaal:

$$D_{\max, \text{Se75}} = \frac{0,072 \cdot 3,7 \cdot 10^6}{4,1^2} \cdot 226 \cdot e^{-21} = 0,0027 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een nieuwe Se-75 bron.}$$

<sup>4</sup> Dit wordt het werkpunt genoemd, dat in de breedte precies in het midden van de bunker ligt (afstand tot buitenkant betonwand = 4,1 meter en de afstand tot de buitenkant van de deur bedraagt 6,2 meter).

$D_{\max, \text{Ir192}} = \frac{0,14 \cdot 1,85 \cdot 10^6}{4,1^2} \cdot 63 \cdot e^{-15} = 0,30 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een nieuwe Ir-192 bron.}$

De halveringstijd voor Se-75 is 119,76 dagen en deze bronnen worden bij Mistras na ongeveer 300 dagen vervangen. In deze periode vervalt de bron van 3,7 TBq tot een restactiviteit van circa 0,7 TBq. Als veilig uitgangspunt voor de risicoberekeningen is een activiteit van 2,7 TBq genomen (bereikt na circa 100 dagen).

$D_{100\text{d Se75}} = \frac{0,072 \cdot 2,7 \cdot 10^6}{4,1^2} \cdot 226 \cdot e^{-21} = 0,0020 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een 100 dagen oude Se-75 bron.}$

De halveringstijd voor Ir-192 is 73,83 dagen en deze bronnen worden bij Mistras na ongeveer 300 dagen vervangen. In deze periode vervalt de bron van 1,85 TBq tot een restactiviteit van circa 0,1 TBq. Als veilig uitgangspunt voor de risicoberekeningen is een activiteit van 0,72 TBq genomen (bereikt na circa 100 dagen).

$D_{100\text{d Ir192}} = \frac{0,14 \cdot 0,72 \cdot 10^6}{4,1^2} \cdot 63 \cdot e^{-15} = 0,12 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een 100 dagen oude Ir-192 bron.}$

Voor de werkbelasting is uitgegaan van de ervaringsgegevens van Mistras. Ook de opname tijd is afgeleid uit de ervaringsgegevens.

In de stralingsbunker wordt gewerkt met bronnen die als gevolg van het verval al een deel van de activiteit hebben afgegeven maar met een iets langere belichtingstijd nog een goede opname geven. Met bronnen die 100 dagen oud zijn is de gemiddelde opnametijd 2 minuten.

De berekeningen met de activiteit na 100 dagen zijn nog conservatief te noemen voor de gehele gebruikperiode en geven ten opzichte van de werkelijkheid een lichte mate van overschatting.

### *2.2.1 Werkploeg, bestralingen*

Ten gevolge van de NDT-werkzaamheden kan een werknemer die 100 opnamen per dag maakt met een Se-75 bron (opnametijd 2 min), 200 minuten per dag blootgesteld worden. Dit resulteert in een dosis van maximaal  $200 / 60 \cdot 0,0020 = 0,01 \text{ } \mu\text{Sv/dag.}$

Ten gevolge van de NDT-werkzaamheden kan een werknemer die 100 opnamen per dag maakt met een Ir-192 bron (opnametijd 2 min), 200 minuten per dag blootgesteld worden. Dit resulteert in een dosis van maximaal  $200 / 60 \cdot 0,12 = 0,40 \text{ } \mu\text{Sv/dag.}$

Ten gevolge van de NDT-werkzaamheden kan een werknemer die 100 opnamen per dag maakt met een röntgentoestel (opnametijd 2 min) buiten de bunker een dosis kleiner dan  $10 \text{ } \mu\text{Sv/jaar}$  ontvangen (zie ook 1.4)

In de dosis van het röntgentoestel is mede begrepen de dosis die de werkploeg ontvangt bij het doen van een beperkt aantal (3 per uur) metingen met het mobiele HH XRF-toestel tijdens de andere werkzaamheden.

### 2.2.2 Werkploeg, voor en na

Daar komt bij de handling van de bron (vervoer van opslag naar bunker en terug middels karretje, uit de opslag halen en plaatsen in de opslag, ) en werkzaamheden nabij de bron (positioneren werkstukken, plaatsen collimator, aansluiten en verwijderen slang, en in- en uitdraaien van de bron).

Aangenomen wordt dat hij hier 180 min per dag mee bezig is en dat hij daarbij gemiddeld op 1 meter van de broncontainer werkt. Deze broncontainer straalt met een nieuwe Se-75 bron 13,5  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  op 1 meter van het oppervlak. Met een 100 dagen oude Se-75 bron straalt de broncontainer nog 9,9  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ . Dit geeft een dagdosis van  $180 / 60 * 9,9 = 29,7 \mu\text{Sv}/\text{dag}$ . Er wordt 50 dagen met Se-75 bron gewerkt.

De resterende 20 dagen wordt er met een Ir-192 bron gewerkt. Deze broncontainer straalt met een nieuwe Ir-192 bron 16  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  op 1 meter van het oppervlak. Met een 100 dagen oude Ir-192 bron straalt de broncontainer nog 6,3  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  wat resulteert in een dagdosis van  $180 / 60 * 6,3 = 18,9 \mu\text{Sv}/\text{dag}$ .

### 2.2.3 Werkploeg, opslag

De afstand van de bronnenopslag tot het werkpunt in de bunker bedraagt minimaal

De straling moet bij deze verhoudingen dan niet door 0,8 m beton maar door  $0,8/\sin 26^\circ = 1,8$  m. De  $\mu\text{d}$  in de e-macht voor een  $^{192}\text{Ir}$  bron wordt dan 34, waarmee de bijdrage t.g.v. de opslag te verwaarlozen is.

Voor het bepalen van de dosisbelasting op de vaste locatie is uitgegaan van het aantal handelingen als opgenomen in tabel 1.3b en vermenigvuldigd met de hierboven berekende dagdosis. Het is goed mogelijk dat het aantal opnamen per dag lager is dan hierboven is genoemd en dat er dus meer dagen bestraald zal worden. Zolang het aantal handelingen op jaarbasis niet toeneemt, zal ook de jaardosis niet hoger uitvallen dan de waarden zoals opgenomen in tabel 1.4.

Tabel 1.4: Reguliere dosisbelasting per werkploegmedewerker op de vaste locatie

Handeling	Aantal opnamen per dag	Aantal dagen	Per dag ( $\mu\text{Sv}$ )	Jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ )
Bestraling				
- Se-75	100	50	0,01	1
- Ir-192	100	20	0,40	8
- Röntgen	100	70		< 10
Voor en na				
- Se-75	100	50	29,7	1485
- Ir-192	100	20	18,9	378
Opslag		365	0	0
<b>Subtotaal reguliere blootstelling</b>			<b>255</b>	<b>1882</b>

#### 2.2.4 Werkploeg, voorziene onbedoelde gebeurtenissen

Van de in 1.10 genoemde gebeurtenissen 1 en 2 is hier het vast komen te zitten van een bron in de slang relevant (en het daarmee niet meer terug kunnen brengen van de bron in de broncontainer). Voor deze voorziene onbedoelde gebeurtenis worden de in 1.10.3 genoemde stappen 1 t/m 5 gevolgd. Zoals in stap 2 is aangegeven is op voorhand niet bepaald wie welke actie zal uitvoeren. Omdat dit ook de medewerker kan zijn die met de bron normaal aan het werk was, wordt de hierna berekende dosis als potentiële dosis bij de reguliere dosis voor de medewerkers van de werkploeg gevoegd.

Aanvullend op stap 1 zal eerst getracht worden om dit op te lossen door van buiten de bunker met het bedieningsmechanisme te manipuleren. Indien dit niet lukt, zal een medewerker vanuit de deuropening (maar achter een loodscherm, 4 mm Pb) met een teledetector vaststellen waar de bron zich bevindt, met een verrijdbare lood scherm naar de bron toegaan, een stukje slang doorknippen en dit in een loodcontainer dumpen. Deze loodcontainer wordt vervolgens naar de opslag gebracht. Met  $\mu/\rho = 0,1249 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$  wordt  $\mu d = 0,1249 * 11,34 * 0,4 = 0,6$ . De buildup factor<sup>1</sup> voor deze energie en  $\mu d$  bedraagt ca. 1 (T3 exposure p 40). Een dergelijk voorval zal zich misschien 1x per jaar voordoen.

Uitgegaan is van een Ir-192 bron omdat deze bron de hoogste stralingsbelasting geeft.

Het optreden van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen met het HH XRF-röntgentoestel worden gelet op de beperkte inzet van deze toestellen bij de gewone NDT-werkzaamheden als niet erg waarschijnlijk gezien. Deze voorziene onbedoelde gebeurtenissen zijn beschreven in de risicoanalyse voor deze toestellen in de bijlage.

Tabel 1.5a: Dosisbelasting voorziene, onbedoelde gebeurtenis voor een nieuwe Ir-192 bron van 1,85 TBq.

	Afstand m	Tijd min	Afscherming $\mu d \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$W_t$	Dosistempo $\mu\text{Sv/uur}$	Dosis $\mu\text{Sv}$
Metten met teledetector	3	3	0,6		15.793	790
Doorknippen slang						
- lichaam	1,5	4	0,6	1	63.174	4212
- hand	1	4	0	0,01	2590	173
Afvoeren opslagcontainer	1,5	2	5,7		731	24

Met een goede voorbereiding wordt de handeling “doorknippen slang” zo kort mogelijk gehouden. Bij de bovengenoemde aanname (o.m gebeurtenis komt 1x per jaar voor) is de extremiteitendosis op de handen 173  $\mu\text{Sv}$  (0,17 mSv).

Dit is beneden de maximale extremiteitendosis voor de handen van 500 mSv/jaar.

Omdat veel handelingen uitgevoerd worden met een Se-75 bron, is het niet uitgesloten dat een voorziene onbedoelde gebeurtenis met een Se-75 bron plaats

vindt. De uitgangspunten voor de gebeurtenis zijn dezelfde als hierboven maar nu met de fysische gegevens van een Se-75 bron. Met  $\mu/\rho = 0,1249 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$  wordt  $\mu_d = 0,1249 * 11,34 * 0,4 = 0,6$ . De buildup factor<sup>1</sup> voor de Se-75 bron bij 280 keV energie en  $\mu_d = 0,6$  bedraagt ca. 1,1 (T3 exposure p 40). Bij een  $\mu_d = 5,7$  bedraagt de buildup factor<sup>1</sup> ca. 1,33 (T3 exposure p 40)

Een dergelijk voorval zal zich misschien 1x per jaar voordoen.

Tabel 1.5b Dosisbelasting voorziene, onbedoelde gebeurtenis voor een nieuwe Se-75 bron van 3,7 TBq

	Afstand	Tijd	Afscherming	W <sub>t</sub>	Dosistempo	Dosis
	m	min	$\mu_d \text{ (cm}^{-1}\text{)}$		$\mu\text{Sv/uur}$	$\mu\text{Sv}$
Metten met teledetector	3	3	0,6		15.186	759
Doorknippen slang						
- lichaam	1,5	4	0,6	1	60.745	4050
- hand	1	4	0	0,01	2264	151
Afvoeren opslagcontainer	1,5	2	5,7		1008	24

Met een goede voorbereiding wordt de handeling “doorknippen slang” zo kort mogelijk gehouden. Bij de bovengenoemde aannahme (o.m. gebeurtenis komt 1x per jaar voor) is de extremitetendosis op de handen 151  $\mu\text{Sv}$  (0,15 mSv).

Dit is beneden de maximale extremitetendosis voor de handen van 500 mSv/jaar.

#### *Bezetting werkploegen*

Het werkpakket bij Mistras is zodanig dat er meerdere werkploegen afwisselend aan het werk zijn met bestralingen in de bunker. De bezetting kan oplopen tot een gebruiksduur van circa 12 uur per werkdag. In overleg met de planning worden afspraken gemaakt voor de bezetting door de verschillende werkploegen. Minimaal twee ploegen verdelen het werkaanbod op de vaste locatie. Beide werkploegen nemen elk ongeveer 50% van het werkpakket bestralingen voor hun rekening. Incidenteel kan een deel van het werk ook door een derde werkploeg worden overgenomen. Hiermee wordt tevens invulling gegeven aan het ALARA beginsel. De overige werktijd wordt ingevuld met rapportage en overige NDT onderzoeken.

Uitgaande van een normale werktijd en minimaal twee ploegen werkt één ploeg 105 dagen per jaar met bronnen. Hiervan wordt er 75 dagen met een Se-75 bron gewerkt en 30 dagen met een Ir-192 bron. Daarnaast wordt ongeveer 150 dagen met röntgentoestellen gewerkt.

Voor de potentiële dosis van de onbedoelde voorziene gebeurtenis wordt uitgegaan van een incident met een nieuwe bron. Bij een dergelijke onbedoelde voorziene gebeurtenis zal de verantwoordelijk TMS betrokken worden. Op dat moment zal ook een afweging gemaakt worden welke personen handelingen voor het oplossen van het incident uit zullen voeren.

<sup>1</sup> Bron: New Gamma-Ray Buildup Factor Data for Point Kernel Calculations door D.K. Trubey.- 1988

Omdat mogelijk ook de betreffende radiograaf en/of assistent radiograaf handelingen zullen verrichten is voor de risicoberekening aangenomen dat de volledige potentiële dosis van de onbedoelde voorziene gebeurtenis aan de dosisbelasting van de werkploeg wordt toegerekend.

Dit resulteert voor de werkploeg in het volgende overzicht:

Tabel 1.6: Dosisbelasting per werkploeg - reguliere + potentiële dosis per jaar

Handeling	Per dag ( $\mu\text{Sv}$ )	Aantal dagen	Jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ )
Bestraling			
- Se-75	0,01	50	1
- Ir-192	0,40	20	8
- Röntgen		70	< 10
Voor en na			
- Se-75	29,7	70	2079
- Ir-192	18,9	20	378
Opslag	0	365	0
<b>Subtotaal reguliere blootstelling</b>			<b>2476</b>
Voorzien, onbedoeld			5199 (Ir-192)
<b>Totaal</b>			<b>7675</b>

Voor de werkploeg geldt dat de blootstelling voor reguliere werkzaamheden niet beperkt wordt door persoonlijke beschermingsmiddelen, maar wel door voorzieningen (de stralingsbunker, maar ook een transportkarretje voor het transport van de opslag naar de werkplek v.v.). Wel wordt bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen een aanzienlijke reductie verkregen door het gebruik van een verrijdbaar loodscherm.

### 2.1.5 Halmedewerkers en kantoorpersoneel

Voor de halmedewerkers (kantoorpersoneel) wordt een fictieve verblijfsplaats op 12,3 (16,4) m van het werkpunt aangehouden. Voor bestralingen geldt, dat voor de bestralingen met de Se-75 of Ir-192 bron het dosistempo voor de halmedewerkers met een factor 9 en voor het kantoorpersoneel met een factor 16 afneemt (afstand is 3x resp. 4x zo groot). Ook de dosis van de röntgenbestralingen op de buitenkant van de bunker nemen met deze factoren af. Voor de handeling 'voor en na' neemt het dosistempo af met een factor 12,32 resp. 16,42 (voor de werkploeg was een afstand van 1 m aangehouden). Ook hier wordt opslag weer verwaarloosd en spelen voorziene, onbedoelde gebeurtenissen geen rol, omdat zij daar niet bij betrokken raken.

**Tabel 1.7: Dosisbelasting halmedewerkers en kantoorpersoneel**

Handeling	Jaardosis werkploeg (µSv)	Reductie-factor		Jaardosis (µSv)	
		Hal	Kantoor	Hal	Kantoor
Bestraling					
- Se-75	1	9	16	0,1	0,1
- Ir-192	8	9	16	1	0,5
- Röntgen		9	16	< 10	< 10
Voor en na	2457	150	270	16,4	9,1
Opslag	0			0,0	0,0
Voorzien, onbedoeld	5199	∞	∞	0,0	0,0
<b>Totaal</b>				<b>27,5</b>	<b>19,7</b>

Halmedewerkers en kantoorpersoneel maken geen gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

## 2.2 Handelingen op willekeurige plaatsen door heel Nederland

### 2.2.1 Werkploeg

Op wisselende locaties in Nederland is (meestal) geen bunker beschikbaar en dient een afzetting gecreëerd te worden. Indien mogelijk wordt die op 5 µSv/uur aangebracht, maar dit kan ook wel eens 10 of zelfs 40 µSv/uur zijn. Hiervoor wordt een verdeling van 60%, 30% en 10% gehanteerd. Voor de bepaling van de maximale blootstelling wordt ervan uitgegaan, dat een medewerker die toezicht houdt gedurende 10% van de tijd bloot staat aan het maximale dosistempo aan de afzetting, 30% aan een dosistempo dat de helft van het maximale dosistempo bedraagt en de resterende 60% van de tijd aan een dosistempo van 10% van het maximum.

Voor de werkbelasting is uitgegaan van de ervaringsgegevens van Mistras. Ook de opname tijd is afgeleid uit de ervaringsgegevens en de activiteit van de bron.

**Tabel 1.3b: Aantallen handelingen en blootgestelde personen**

(Deel)handeling	Aantal	Werkploeg	Halmede- werkers	Kantoorpersoneel	Derden
<b>Willekeurige locatie in Nederland</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Ir-192	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Röntgen	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
Voor en na <sup>3</sup>	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
<b>Willekeurige locatie op het Nederlandse deel van het continentaal plat</b>					
Bestralingen					
- Se-75	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Ir-192	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
- Röntgen	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100
Voor en na <sup>3</sup>	■	2	n.v.t.	n.v.t.	< 100

<sup>2</sup> Hier wordt met 'blootgesteld' bedoeld 'mogelijk aan bestraling onderworpen'

<sup>3</sup> Hieronder wordt verstaan het transporteren van de opslag- c.q. vervoersfaciliteit naar de bestralingspositie

Er wordt 85 dagen per jaar met een Se-75 bron gewerkt (60 opnames per dag, 2 min per opname), 35 dagen met een Ir-192 bron (60 opnames per dag, 2 min per opname) en 80 dagen met een röntgentoestel (90 opnames per dag, 1 min per opname). De totale bestralingstijd in een jaar is dan  $60 * 2 * (85 + 35) = 14400$  minuten met een bron en  $90 * 1 * 80 = 7200$  minuten met een toestel.

In de onderstaande dosisbelasting is mede begrepen de dosis die de werkploeg ontvangt bij het doen van een beperkt aantal (3 per uur) metingen met het mobiele HH XRF-toestel voor positieve material identification (PMI) tijdens de andere werkzaamheden.

De blootstelling van een medewerker wordt dan:

Tabel 1.8a: Dosisbelasting t.g.v. bestralingen, willekeurige plaatsten in Nederland

	Tijd	Dosistempo	%	Tijd	Dosis	Totaal dosis
	min	µSv/uur		min	µSv	µSv
Totaal	21600					
5 µSv/uur	12960	5	10	1296	108	
		2,5	30	3888	162	
		0,5	60	7776	65	<b>335</b>
10 µSv/uur	6480	10	10	648	108	
		5	30	1944	162	
		1	60	3888	65	<b>335</b>
40 µSv/uur	2160	40	10	216	144	
		20	30	648	216	
		4	60	1296	87	<b>447</b>
						<b>1117</b>

### 2.2.2 *Werkploeg, voor en na*

Daar komt bij de handling van de bron (vervoer van auto of opslag naar werkplek, uit- en inladen, transport op locatie voor zover de werkplek niet met de auto bereikbaar is, zoveel mogelijk middels karretje) en werkzaamheden nabij de bron (positioneren werkstukken, plaatsen collimator, aansluiten en verwijderen slang), en in- en uitdraaien van de bron). Aangenomen wordt dat hij hier 120 min per dag mee bezig is en dat hij daarbij gemiddeld op 3 meter van de broncontainer werkt. De broncontainer met Se-75 straalt  $13,5 \mu\text{Sv/uur}$  op 1 m van het oppervlak. Dit resulteert in een dagdosis van  $120/60 * 13,5 * 1/3^2 = 3 \mu\text{Sv}$ .

Met een 100 dagen oude Se-75 bron straalt de broncontainer nog  $9,9 \mu\text{Sv/uur}$ . Dit resulteert in een dagdosis van  $120 /60 * 9,9 * 1/3^2 = 2,2 \mu\text{Sv/dag}$ .

De meeste dosis wordt opgelopen tijdens het in- en uitdraaien van de bron, de zogenaamde in- en uitdraaipieken.

De afstand van de broncontainer tot het bronpositie punt is 1,5 m.

Het in- en uitdraaien vindt met een afstandskabel plaats op 15m van de broncontainer en duurt 3 seconden.

Bij gemiddeld 60 foto's per dag is de totale in- en uitdraaitijd  $60 \times 3 \times 2 = 360$  seconden per dag. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van afschermingsmogelijkheden die de betreffende locatie biedt. Omdat deze afschermingsmogelijkheden steeds verschillend zijn nemen we aan dat in 67% van de gevallen een afscherming met een transmissie van 10% of beter zal bestaan (dus 240 sec.) en dat 33% van de gevallen geen afscherming mogelijk is (dus 120 sec.).

Met de formule  $D = \frac{\Gamma \cdot A}{r^2} \cdot T$  kan het dosistempo op een afstand  $r$  van een bron berekend worden. Met de hierboven genoemde gegevens resulteert dit in een dosistempo ter plekke in geval van een nieuwe bron onafgeschermd van maximaal:

$$D_{\max, \text{Se75}} = \frac{0,072 \cdot 3,7 \cdot 10^6}{15,75^2} = 1074 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een Se-75 bron.}$$

Per dag wordt de dosis  $(1074/3600) \cdot 240 \cdot 0,1 + (1074/3600) \cdot 120 = 43 \text{ } \mu\text{Sv/dag}$

De halveringstijd voor Se-75 is 119,76 dagen en deze bronnen worden bij Mistras na ongeveer 300 dagen vervangen. In deze periode vervalt de bron van 3,7 TBq tot een restactiviteit van circa 0,7 TBq. Als veilig uitgangspunt voor de risicoberekeningen is een activiteit van 2,7 TBq genomen (bereikt na circa 100 dagen).

$$D_{100\text{d Se75}} = \frac{0,072 \cdot 2,7 \cdot 10^6}{15,75^2} = 784 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een 100 dagen oude Se-75 bron.}$$

Per dag wordt de dosis met een 100 dagen oude bron  $(784/3600) \cdot 240 \cdot 0,1 + (784/3600) \cdot 120 = 31,4 \text{ } \mu\text{Sv/dag}$

Hij werkt gedurende 85 dagen per jaar met een Se-75 bron.

De handling van de broncontainer met de Ir-192 bron gebeurt gedurende 40 dagen per jaar. Ook hier werkt hij 120 min per dag op gemiddeld 3 meter van de broncontainer. Deze broncontainer straalt  $16 \text{ } \mu\text{Sv/uur}$  op 1 m van het oppervlak. De dagdosis komt dan op  $120/60 \cdot 16 \cdot 1/3^2 = 3,6 \text{ } \mu\text{Sv}$ .

Met een 100 dagen oude Ir-192 bron straalt de broncontainer nog  $6,3 \text{ } \mu\text{Sv/uur}$  wat resulteert in een dagdosis van  $120 / 60 \cdot 6,3 \cdot 1/3^2 = 1,4 \text{ } \mu\text{Sv/dag}$ .

De meeste dosis wordt opgelopen tijdens het in- en uitdraaien van de bron, de zogenaamde in- en uitdraaipeiken.

De afstand van de broncontainer tot het bronpositie punt is 1,5 m.

Het in- en uitdraaien vindt met een afstandskabel plaats op 15m van de broncontainer en duurt 3 seconden.

Bij gemiddeld 60 foto's per dag is de totale in- en uitdraaitijd  $60 \times 3 \times 2 = 360$  seconden per dag. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van afschermingsmogelijkheden die de betreffende locatie biedt. Omdat deze afschermingsmogelijkheden steeds verschillend zijn nemen we aan dat in 67% van de gevallen een afscherming met een transmissie van 10% of beter zal bestaan (dus 240 sec.) en dat 33% van de gevallen geen afscherming mogelijk is (dus 120 sec.).

Met de formule  $D = \frac{\Gamma \cdot A}{r^2} \cdot T$  kan het dosistempo op een afstand  $r$  van een bron berekend worden. Met de hierboven genoemde gegevens resulteert dit in een dosistempo ter plekke in geval van een nieuwe bron onafgeschermd van maximaal:

$$D_{\max, \text{Ir192}} = \frac{0,14 \cdot 1,85 \cdot 10^6}{15,75^2} = 1044 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een Ir-192 bron.}$$

Per dag wordt de dosis  $(1044/3600) \cdot 240 \cdot 0,1 + (1044/3600) \cdot 120 = 42 \text{ } \mu\text{Sv/dag}$

De halveringstijd voor Ir-192 is 73,83 dagen en deze bronnen worden bij Mistras na ongeveer 300 dagen vervangen. In deze periode vervalt de bron van 1,85 TBq tot een restactiviteit van circa 0,1 TBq. Als veilig uitgangspunt voor de risicoberekeningen is een activiteit van 0,72 TBq genomen (bereikt na circa 100 dagen).

$$D_{100d \text{ Ir192}} = \frac{0,14 \cdot 0,72 \cdot 10^6}{15,75^2} = 407 \text{ } \mu\text{Sv/uur t.g.v. werkzaamheden met een 100 dagen oude Ir-192 bron.}$$

Per dag wordt de dosis met een 100 dagen oude bron  $(407/3600) \cdot 240 \cdot 0,1 + (407/3600) \cdot 120 = 16,3 \text{ } \mu\text{Sv/dag}$

Hij werkt gedurende 40 dagen per jaar met een Ir-192 bron.

Tabel 1.8b: Dosisbelasting t.g.v. voor- en na bestraling, willekeurige plaatsen in Nederland

Handeling	Per dag ( $\mu\text{Sv}$ )	Aantal dagen	Jaardosis ( $\mu\text{Sv}$ )
Voor en na			
-Se-75	2,2	85	187
-Ir-192	1,4	35	49
In- en uitdraaien bron			
-Se-75	31,4	85	2669
-Ir-192	16,3	35	571
Röntgen	0	80	0

### 2.2.3 *Werkploeg, transport*

Gemiddeld is een werkploeg maximaal 60 minuten (enkele reis) onderweg naar de locatie. Voor verkeerstromingen en andere vertragingen wordt maximaal 60 minuten per dag extra gerekend. Totaal 180 minuten per dag

Voor het transport wordt gebruik gemaakt van bedrijfsauto's Ford Transit Connect.

Voor de berekening van de dosis tijdens transport zie bijlage 2.

De dagdosis voor het transport is:

Tabel 1.9a: Dagdosis transport met een nieuwe bron

Auto Ford Transit	bron	omgevingsdosis	Totaal
Connect – 2,0 m	Se-75	2,7 $\mu\text{Sv/uur}$	8,1 $\mu\text{Sv/dag}$
Connect – 2,0 m	Ir-192	3,3 $\mu\text{Sv/uur}$	9,9 $\mu\text{Sv/dag}$

Zoals hiervoor is betoogd, gaan we voor de risicoberekeningen ervan uit dat over de gehele periode gewerkt wordt met de dosistempipi die behoren bij bronnen die 100 dagen oud zijn.

Tabel 1.9b: Dagdosis transport met een 100 dagen oude bron

Auto Ford Transit	bron	omgevingsdosis	Totaal
Connect – 2,0 m	Se-75	2,0 $\mu$ Sv/uur	6,0 $\mu$ Sv/dag
Connect – 2,0 m	Ir-192	1,3 $\mu$ Sv/uur	3,9 $\mu$ Sv/dag

Voor de dosisbelasting van de werkploeg op jaarbasis is er van uitgegaan dat het vervoer steeds plaatsvindt met de Ford Transit Connect.

#### 2.2.4 *Werkploeg, voorziene onbedoelde gebeurtenissen*

Naast het scenario dat bij 2.1 is beschreven (vastzitten bron in de slang), is het bij handelingen op willekeurige plaatsen door heel Nederland ook mogelijk dat tijdens de handelingen de werknemer aan de directe bundel blootgesteld wordt. De ‘worst case’ voor dit scenario is als dit gebeurt met een 300 kV toestel en men de waarschuwingssignalen negeert en/of denkt dat het toestel niet aanstaat, terwijl dit wel het geval is. De duur van een dergelijke actie wordt geschat op max. 5 sec omdat de dosistempo-monitor een alarm afgeeft.

De afstand tot de bron bedraagt hierbij 1 m en het dosistempo in de primaire bundel bedraagt op 1 m afstand 10 Sv/uur. Een dergelijk voorval zal zich misschien 1x per jaar voordoen.

Met deze gegevens kunnen de volgende doses berekend worden:

Tabel 1.10: Voorziene onbedoelde gebeurtenis wisselende locaties

Scenario	Tijd (uur)	Afstand (m)	Dosis (Sv)
1	0,00139	1	0,0139

Bij de bovengenoemde aanname (o.m. gebeurtenis komt 1x per jaar voor) is de opgelopen dosis 14 mSv. Dit is meer dan het scenario zoals beschreven onder 2.1 (opgelopen dosis 12 mSv), zodat dit hier als limiterend wordt beschouwd.

Het optreden van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen met het HH XRF-röntgentoestel worden gelet op de beperkte inzet van deze toestellen bij de gewone NDT-werkzaamheden als niet erg waarschijnlijk gezien. Deze voorziene onbedoelde gebeurtenissen zijn beschreven in de risicoanalyse voor deze toestellen in de bijlage.

#### 2.2.5 *Samenvatting werk op wisselende plaatsen in heel Nederland*

Op basis van onderstaande tabel blijkt dat de totale werkhoeveelheid inmiddels zodanig in omvang is dat de jaardosis opgebouwd uit de reguliere en de potentiële dosis heel dicht bij de 20 mSv/jaar komt.

Tabel 1.11: Dosisbelasting bestralingen wisselende locaties per werkploeg (reguliere + potentiële dosis per jaar)

Handeling	Per dag (μSv)	Aantal dagen	Jaardosis (μSv)
Bestraling (tabel 1.8a) - Se-75/Ir-192/Röntgen		120+80	1117
Voor en na (tabel 1.8b)			
-Se-75	2,2	85	187
-Ir-192	1,4	35	49
In- en uitdraaien bron			
-Se-75	31,4	85	2669
-Ir-192	16,3	35	571
Transport (tabel 1.9b)			
-Se-75	6,0	85	510
-Ir-192	3,9	35	137
Opslag	0	290	0
<b>Subtotaal reguliere blootstelling</b>			<b>5240</b>
Voorzien, onbedoeld			13900
<b>Totaal</b>			<b>19140</b>

De overige werktijd wordt ingevuld met rapportage en overige NDT onderzoeken.

Voor de werkploeg is met name het gebruik van een (persoonlijke) dosistempomonitor met alarmfunctie van essentieel belang. Niet alleen in reguliere situaties om vast te stellen, dat aan de dosislimieten voor de afzetting wordt voldaan, maar zeker ook om de factor tijd bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen te minimaliseren.

Gelukkig is het aantal voorziene onbedoelde gebeurtenissen (VOG) bij Mistras Spijkenisse ruim minder dan 1x per jaar. Maar gelet op het totaal aantal foto's (en daarmee het aantal handelingen) alsmede de forse stralingsdosis die bij een VOG opgelopen kan worden, wordt de frequentie van de VOG toch op minimaal 1x per jaar gehouden.

### 2.2.6 Derden

Bij werkzaamheden op locatie wordt door de bedienende ploeg toezicht gehouden op de nabijheid van derden en wordt waar mogelijk met de bestralingsrichting en het moment waarop de werkzaamheden plaatsvinden, rekening gehouden met de belasting van derden. Bovendien vinden de werkzaamheden plaats op steeds wisselende locaties, zodat nooit dezelfde 'derden' blootgesteld zijn. Om bovenstaande redenen kan voor de stralingsbelasting t.g.v. bestraling rekening worden gehouden met een reductiefactor van minimaal 100. Voor de handeling 'voor en na' kan zelfs rekening worden gehouden met een reductiefactor van 10.000 omdat de afstand minimaal 10 keer zo groot is (reductie met factor 100) en het aantal handelingen waaraan een derde blootgesteld is, is ook een factor 100 kleiner dan die waaraan een lid van de werkploeg blootgesteld is. Deze aannamen gelden ook voor de in- en uitdraaipeken. Ook hier wordt opslag weer verwaarloosd en spelen voorziene, onbedoelde gebeurtenissen geen rol, omdat zij daar niet bij betrokken raken.

Bij het werken met het röntgentoestel wordt een zodanige afzetting gemaakt dat op het moment van belichten de kans dat een derde het afgezette gebied binnentreedt als ongewoon moet worden gekwalificeerd (reductiefactor 100). Vervolgens is het onwaarschijnlijk (reductiefactor 1000) dat de derde ondanks de waarschuwingssignalen en het ingrijpen van de werkploeg in de primaire bundel kan treden.

Tabel 1.12 Dosisbelasting derden bij handelingen op willekeurige plaatsen in Nederland

Handeling	Jaardosis werkploeg ( $\mu\text{Sv}$ )	Reductie-factor	Jaardosis derden ( $\mu\text{Sv}$ )
Bestraling	1117	100	11,17
Voor en na	236	10000	0,02
In- en uitdraaien bron	3240	10000	0,32
Opslag	0		0,00
Voorzien, onbedoeld	13900	100.000	0,14
<b>Totaal</b>			<b>11,65</b>

Derden maken geen gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

## 3. Risico-evaluatie

### 3.1 Indeling werknemers

De medewerkers, die deel uitmaken van een werkploeg, zijn ingedeeld als blootgesteld werknemers categorie A. Voor de medewerkers, die op willekeurige plaatsen door heel Nederland werken, en de medewerkers die vast in de bunker op locatie Spijkenisse werken wordt dat bevestigd door bovenstaande risicoberekeningen. De blootstelling voor de halmedewerkers en kantoorpersoneel blijft ruim beneden de limiet voor niet blootgestelde werknemers.

### 3.2 Indeling ruimten

Op de locatie Spijkenisse wordt de stralingsbunker aangemerkt als gecontroleerde zone. De bronnenopslag wordt geclassificeerd als bewaakte zone en wordt verder gekenmerkt conform de vergunningsvoorschriften voor een bergplaats. Bij de handelingen op willekeurige plaatsen door heel Nederland wordt het werkgebied altijd afgezet en gekenmerkt als een bewaakte zone.

### 3.3 ALARA/dosislimieten

De in 1.10.1 locatie stralingsbunker Hofweg 15 - Spijkenisse en 1.10.2 wisselende locaties in heel Nederland, beschreven maatregelen geven voldoende invulling aan het ALARA-principe.

Binnen Mistras worden de werkzaamheden met toestellen en bronnen van ioniserende straling zoveel als mogelijk verdeeld over de verschillende werkploegen. Het doel hiervan is om de dosis voor de individuele werknemer tot een minimum te beperken. Uit de gegevens van de ambtelijke dosisregistratie blijkt dat de werknemers veelal ruim beneden de berekende doses volgens deze risicoberekeningen blijven.

Behoudens het optreden van voorziene onbedoelde gebeurtenissen wordt ook ruim beneden de dosislimieten gebleven, zowel voor blootgestelde als niet-blootgestelde werknemers. Er is dan ook geen noodzaak tot het nemen van additionele maatregelen.

### 3.4 Noodzaak tot actualisering

Periodiek dient deze risico-inventarisatie en evaluatie te worden herzien. Bij wijzigingen in het aantal bestralingen met 20% of meer van de aantallen als genoemd in tabel 1.3, wijzigingen in de maximale activiteit van de bronnen, type bronhouders of wijzigingen in het type van de röntgentoestellen is een herziening van deze risico-inventarisatie en evaluatie nodig.

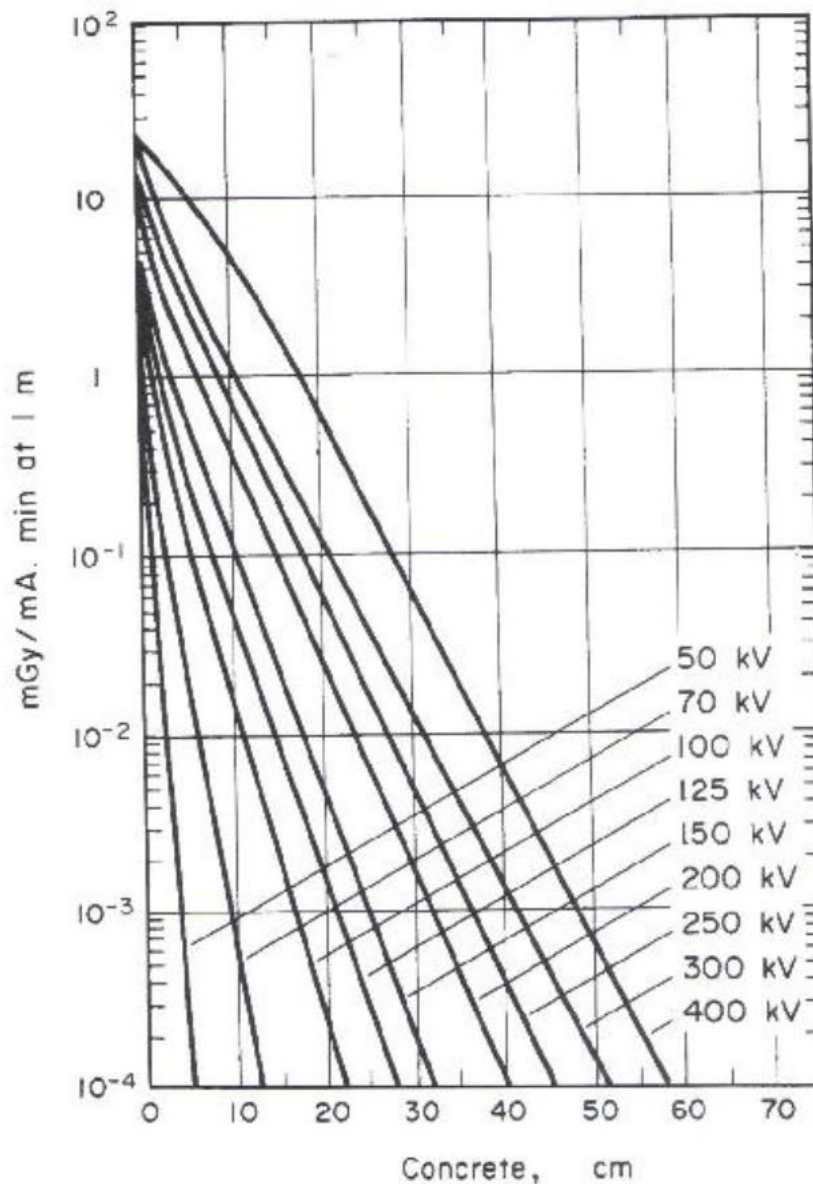
Conform art. 2.1 lid 3 van de Rbs wordt de risico-inventarisatie en -evaluatie beoordeeld, en indien nodig aangepast, zo dikwijls als de daarmee opgedane ervaring, gewijzigde werkmethoden of -omstandigheden of stand van de wetenschap en professionele dienstverlening (mede daaronder begrepen eventuele herziene regelgeving) daartoe aanleiding geven en tenminste eenmaal per vijf jaar.

Deze RI&E moet dus uiterlijk in mei 2028 herzien worden.

## Bijlage 1

Appendix - 7 augustus 2014

blz. 169



Figuur 43. Kermatempo en transmissie van röntgenstraling door beton (50-300 kV: halve-sinusspanning, anode van wolframaam en filter van 1 mm aluminium bij 50 kV, 1,5 mm aluminium bij 70 kV, 2 mm aluminium bij 100 kV en 3 mm aluminium bij 125-300 kV; 400 kV: gelijkspanning, anode van goud en filter van 3 mm koper; de intensiteit bij 0 cm beton bedraagt 23,5 bij 400 kV, 20,9 bij 300 kV, 13,9 bij 250 kV, 8,9 bij 200 kV, 5,2 bij 150 kV, 3,9 bij 125 kV, 2,8 bij 100 kV, 2,1 bij 70 kV en 1,7 bij 50 kV.

## Bijlage 2

Berekening omgevingsdosistempo tijdens transport voor chauffeur en bijrijder

Voertuig: Ford Transit Connect

Bron: 1,85 TBq <sup>192</sup>Ir in broncontainer max 16 μSv/h op 1 m. (zonder afscherming)

Transportcontainer: lxbxh afm. 400 x 210 x 240 mm dikte 2 mm staal (d= 0,2 cm – ρ = 7,87 g.cm<sup>-3</sup>)

Tussenschot tussen laadruimte en personen: dikte 1 mm staal (d =0,1 cm – ρ = 7,87 g.cm<sup>-3</sup>)

Afstand tussen transportcontainer en bestuurder resp. bijrijder: 2,0 m.

$$E_{\text{gem}} \gamma_{1-3} = 310 \text{ keV} - \gamma = 1,41 \quad \mu/\rho = 0,11 \rightarrow \mu = 0,8667$$

$$E_{\text{gem}} \gamma_{4-7} = 475 \text{ keV} - \gamma = 0,625 \quad \mu/\rho = 0,0865 \rightarrow \mu = 0,6815$$

$$T = e^{-\mu d} \cdot B \quad B = \text{Buildupfactor} = 1 \text{ (Buildup in staal verwaarloosd)}$$

$$T_{310} = e^{-0,8667 \cdot 0,3} = 0,7710$$

$$T_{475} = e^{-0,6815 \cdot 0,3} = 0,8151$$

Onafgeschermd op 1 m H\* = 16 μSv/h → afgeschermd H\* = T.H\*<sub>onafgeschermd</sub> = 13 μSv/h.

Omgevingsdosistempo met nieuwe bron bestuurdersstoel – bijrijdersstoel: **H\* = 13. (½)<sup>2</sup> = 3,3 μSv/h.**

Met een 100 dagen oude Ir-192 bron straalt de broncontainer nog H\* = 6,3 μSv/h op 1 m onafgeschermd. Afgeschermd wordt dit H\* = T.H\*<sub>onafgeschermd</sub> = 5,2 μSv/h.

Omgevingsdosistempo met 100 dagen oude bron bestuurdersstoel – bijrijdersstoel: **H\* = 5,2. (½)<sup>2</sup> = 1,3 μSv/h.**

Voertuig: Ford Transit Connect

Bron: 3,7 TBq <sup>75</sup>Se in broncontainer max 13,5 μSv/h op 1 m. (zonder afscherming)

Transportcontainer: lxbxh afm. 400 x 210 x 240 mm dikte 2 mm staal (d= 0,2 cm – ρ = 7,87 g.cm<sup>-3</sup>)

Tussenschot tussen laadruimte en personen: dikte 1 mm staal (d =0,1 cm – ρ = 7,87 g.cm<sup>-3</sup>)

Afstand tussen transportcontainer en bestuurder resp. bijrijder: 2,0 m.

$$E_{\text{gem}} \gamma_{1-3} = 280 \text{ keV} - \gamma = 0,846 \quad \mu/\rho = 0,11 \rightarrow \mu = 0,8667$$

$$E_{\text{gem}} \gamma_{24,5} = 401 \text{ keV} - \gamma = 0,896 \quad \mu/\rho = 0,094 \rightarrow \mu = 0,7398$$

$$T = e^{-\mu d} \cdot B \quad B = \text{Buildupfactor} = 1 \text{ (Buildup in staal verwaarloosd)}$$

$$T_{310} = e^{-0,8667 \cdot 0,3} = 0,7710$$

$$T_{475} = e^{-0,7398 \cdot 0,3} = 0,8010$$

Onafgeschermd op 1 m H\* = 13,5 μSv/h → afgeschermd H\* = T.H\*<sub>onafgeschermd</sub> = 10,8 μSv/h.

Omgevingsdosistempo bestuurdersstoel – bijrijdersstoel: **H\* = 10,8. (½)<sup>2</sup> = 2,7 μSv/h.**

Met een 100 dagen oude Se-75 bron straalt de broncontainer nog H\* = 9,9 μSv/h op 1 m onafgeschermd. Afgeschermd wordt dit H\* = T.H\*<sub>onafgeschermd</sub> = 7,9 μSv/h.

Omgevingsdosistempo met 100 dagen oude bron bestuurdersstoel – bijrijdersstoel: **H\* = 7,9. (½)<sup>2</sup> = 2,0 μSv/h.**

## Bijlage 3 Stralingsrisicoanalyse XRF

Stralingsrisicoanalyse Olympus PMI XRF analyzer Mistras Group B.V. d.d. 2-11-2020 v01.