

Bijlage 4.2 – Milieubelasting dosisberekening

3 september 2024

1. Inleiding

Om de blootstelling van het milieu ten gevolge van de handelingen met de AMS-versnellers en de ¹⁴C bronnen te beoordelen is de dosis op de terreingrens van Peregrion berekend, op basis van de rekenregels Analyse Gevolgen Ioniserende Straling (AGIS) uit Bijlage 10 van de ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming [1].

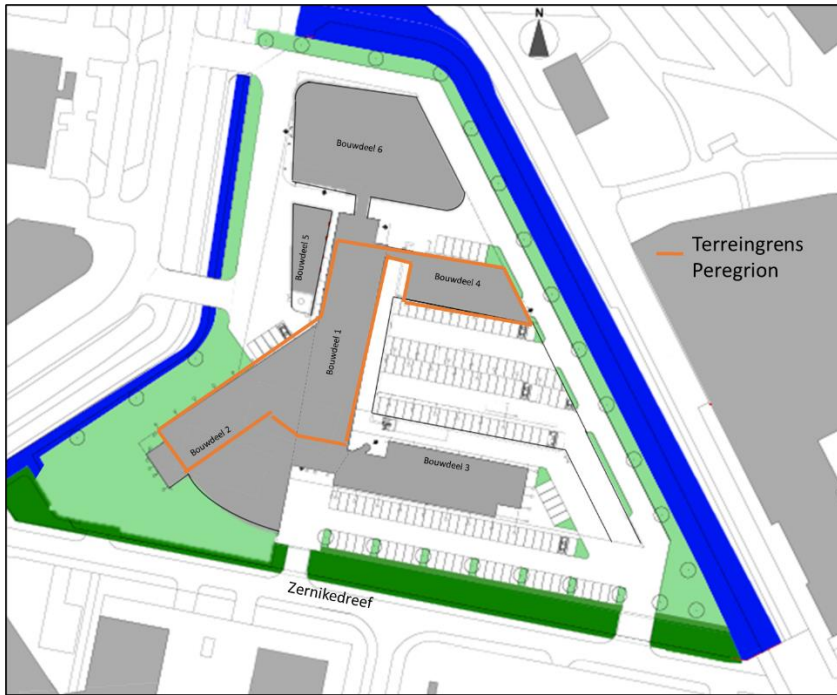
De volgende dosisniveaus worden gehanteerd (alles wordt op jaarbasis uitgedrukt):

- een locatielimiet van 100 µSv in een jaar, waarboven geen vergunning wordt verleend (Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs)[2], art. 3.7, onder b)
- een Secundair Niveau (SN) van 1 µSv voor lucht- en waterlozingen
- een SN van 10 µSv voor externe straling

Om de jaardosis aan de terreingrens te bepalen is de bijdrage ten gevolge van alle handelingen op de terreingrens vastgesteld in de 4 kompasrichtingen. Voor bepaling van de totale terreingrensdosis ten gevolge van alle handelingen zijn vervolgens per kompasrichting al deze waarden bij elkaar opgeteld.

2. Locatie

De terreingrens van Peregrion loopt langs de gevels van bouwdeel 1, 2 en 4 en deels inpandig. Peregrion huurt alleen de begane grond, dus in verticale richting ligt de grens tussen de begane grond en de eerste verdieping. De handelingen met de AMS-versnellers vinden plaats op twee locaties: de AMS-hal in bouwdeel 4 (1.1 MV versnellers) en de AMS-ruimte in bouwdeel 1 (230 kV versnellers) (zie Figuur 1 en 2). De handelingen met de C-14 bronnen vinden plaats in de laagbouw en in de AMS-hal. De voorbereidende handelingen zoals pipetteren en homogeniseren vinden plaats in D-labs in de laagbouw, de overige handelingen in niet-geclassificeerde labs in de laagbouw.



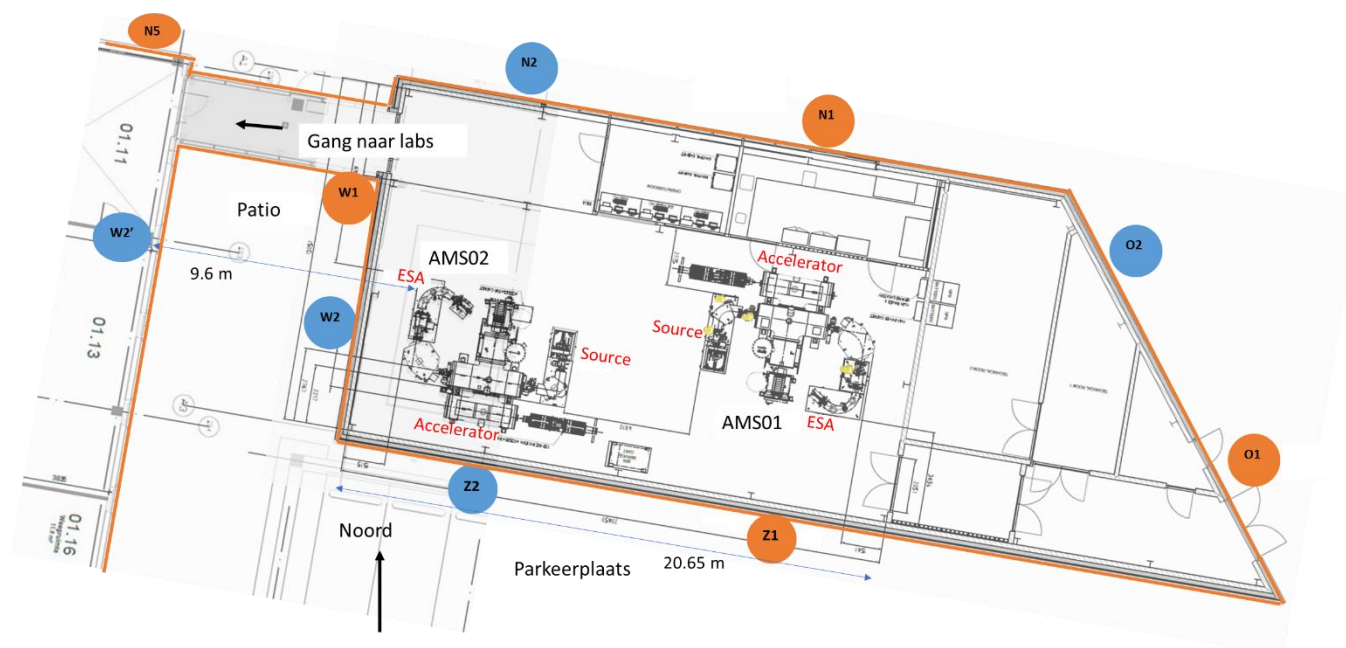
Figuur 1 Terreingrens Peregrion (oranje gemarkeerd gebied). Van alle bouwdelen betreft het enkel de begane grond.



Figuur 2 Situatie tussen bouwdeel 1 en 4, met rechts de AMS-hal (bouwdeel 1) en links de laagbouw (bouwdeel 4).

3. Berekende dosis AMS-hal bouwdeel 4

De terreingrens rondom de AMS-hal (bouwdeel 4) met de 1.1 MV versnellers is gelijk gesteld aan de buitengevel; de dosis is berekend in tien dosispunten in de 4 kompasrichtingen, zie Figuur 3.



Figuur 3 Dosispunten terreingrens AMS-hal (Bouwdeel 4). Punt W2' ligt op de eerste etage van Bouwdeel 1.

3.1. Dosistempo

Voor de dosisberekeningen worden de dosistempi gehanteerd volgens de opgave van de leverancier [1] en op basis van historische gegevens van TNO. Het dosistempo wat gebruikt is voor de berekeningen ten gevolge van strooi straling tijdens *regulier gebruik* is $0.2 \mu\text{Sv}/\text{uur}$, wat een conservatieve schatter is op basis van meetgegevens (max $0.13 \mu\text{Sv}/\text{uur}$ op 1.5 m, zie Bijlage 2) en het maximale dosistempo volgens de fabrikant ($0.5 \mu\text{Sv}/\text{uur}$) op 1 meter afstand van de source, versneller en ESA. De energie van de verstrooide straling is 200 kV bij de source en de versneller en 120 kV bij de ESA.

Tijdens *onderhoud* kan het dosistempo ter hoogte van de versneller oplopen tot $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$ en bij de ESA $550 \mu\text{Sv}/\text{h}$. Dit hoge dosistempo bij de ESA zal echter maar enkele fracties van seconden duren. Tijdens het onderhoud wordt daarom generiek uit gegaan van een dosistempo van $50 \mu\text{Sv}/\text{h}$ bij de ESA, gedurende een minuut per jaar. Hierbij is uitgegaan van een energie van 200 kV. Zie Tabel 1 voor een samenvatting van de dosistempi bij de verschillende onderdelen.

Tabel 1 Dosistempi rondom de 1.1 MV AMS versneller

Bron	Dosistempo op 1 m ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
Source	0.2
Versneller	0.2
ESA	0.2
Versneller – onderhoud	20
ESA - opstarten	50

3.2. Geometrie en afscherming

De afstanden tot de dosispunten zijn bepaald vanaf de source, versneller en de ESA van beide AMS toestellen, zie Tabel 2 en Figuur 3. Voor punt W2' is gerekend met een conservatieve horizontale afstand van 9.6 m van de ESA tot de gevel op de begane grond van bouwdeel 1. In praktijk is de diagonale afstand tot de ruimtes op de eerste etage in bouwdeel 1 groter. Voor de volledigheid is ook de dosis in punt O3 op de gevel naast de 230 kV toestellen berekend, zie Figuur 4 voor de locatie van dat punt.

Tabel 2 Afstanden tussen AMS 01 en AMS 02 tot de dosispunten

	Afstand (m)										
	Z1	Z2	W1	W2	W2' (op 1e etage bouwdeel 1)	N1	N2	O1	O2	N5	O3
	Parkeergarage	Parkeergarage	Laagbouw	Laagbouw	Laagbouw	TNO ingang	TNO ingang	Buitenzijde	Buitenzijde	TNO ingang	Buitenzijde
AMS01											
Source	6.9	9.4	13.8	13.2	20	7.2	12.7	18.4	13.9	20	40
Versneller	8.3	13.1	15.5	15.7	20	5	13.5	15.4	9.9	20	40
ESA	4	13.9	18.4	17.4	20	9.3	17.5	13	10.4	20	40
AMS02											
Source	10.9	4.4	10.2	7.5	14	11.6	10.1	24.2	19.7	13	30
Versneller	12.1	1.4	10.2	5.3	13	15.4	12	26.4	22.5	17	30
ESA	16.4	5.7	5.3	2	9.6	15.4	7.4	29.6	24.3	17	30

In de dosisberekeningen is de afschermende werking van de gevel deels meegenomen. Richting de punten Z1, Z2, O1, O2 en O3 is dit een stenen muur van 17.5 cm dik en richting de overige punten betreft het dubbelglas. Met behulp van het programma MicroShield is de transmissie door steen bepaald, zie Tabel 3 [2]. De afschermende werking van het glas wordt niet beschouwd.

Tabel 3 Transmissiefactoren voor steen en beton, voor verschillende energieën van de stroostraling. Berekend met MicroShield [2].

Energie	Transmissie door 17.5 cm steen, dichtheid 1.4 g/cm ³	Transmissie door 10 cm beton, dichtheid 2.35 g/cm ³
120 kV (ESA)	38%	Nvt
200 kV (Source & Versneller en 230 kV toestellen)	50%	82%

3.3. Dosisberekening

Met behulp van de dosistempen uit paragraaf 3.1, de afstanden uit Tabel 2, de kwadratenwet en de transmissie uit Tabel 3 is het dosistempo in ieder dosispunt berekend. De resultaten hiervan staan in Tabel 4. Het dosistempo tijdens onderhoud is weergegeven als *maximaal* dosistempo in plaats van een *totaal* dosistempo, aangezien deze handelingen niet gelijktijdig plaatsvinden.

Tabel 4 Dosistempen ($\mu\text{Sv/h}$) in dosispunten ten gevolge van de AMS01 en AMS02 toestellen, inclusief afscherming

	Afgeschermd dosistempo op relevante afstand ($\mu\text{Sv/h}$)										
	Z1	Z2	W1	W2	W2' (op 1e etage)	N1	N2	O1	O2	N5	O3
	Parkeergarage	Parkeergarage	Laagbouw	Laagbouw	Laagbouw	TNO ingang	TNO ingang	Buitenzijde	Buitenzijde	TNO ingang	Buitenzijde
AMS01											
Source	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ESA	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller - onderhoud	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
ESA - opstarten	1.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0
AMS02											
Source	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller	<0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ESA	<0.01	<0.01	0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller - onderhoud	0.1	5.1	0.2	0.7	0.1	0.1	0.1	0.01	0.02	0.03	0.01
ESA - opstarten	0.1	0.8	1.8	12.5	0.5	0.2	0.9	0.03	0.04	0.1	0.02
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv/h}$)	0.01	0.1	0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv/h}$)	1.6	5.1	1.8	12.5	0.5	0.8	0.9	0.1	0.2	0.1	0.02

Voor de jaardosis is het dosistempo vermenigvuldigd met de blootstellingstijd. Deze varieert voor de verschillende onderdelen van de AMS-toestellen, zie Tabel 5.

Tabel 5 Gebruiksduur per AMS onderdeel

AMS onderdeel	Gebruiksduur (h/jaar)
Source	8766
Versneller	8766
ESA	8766
Versneller - onderhoud	0.4
ESA - onderhoud	0.017

De berekende jaardosis op de terreingrens rondom de AMS-hal is maximaal 4.6 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ (AID), ter hoogte van punt Z2, aan de zuidzijde (zie Tabel 6). Dit is inclusief de abc-factor van 0.01 voor het parkeerterrein.

Het punt waar het hoogste dosistempo te verwachten valt is ter hoogte van W2; tijdens onderhoud kan het dosistempo daar oplopen tot 12.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, met een AID van 4.5 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$.

In het verlengde van dit punt ligt de terreingrens ter hoogte van de 1^e etage (punt W2'). Op een afstand van 9.6 meter tot het dichtstbijzijnde punt van de AMS-versneller is daar de AID 1.2 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ (met een abc-factor van 0.2 voor belendende industrie en een afschermingsfactor van 0.25) en het dosistempo maximaal 2.0 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

Tabel 6 Terreingrensdosis (AID) ten gevolge van de AMS01 en AMS02 toestellen

Dospunt	Z1	Z2	W1	W2	W2'	N1	N2	O1	O2	N5	O3
	Parkeergarage	Parkeergarage	Laagbouw	Laagbouw	Laagbouw 1e etage	TNO ingang	TNO ingang	Buitenzijde	Buitenzijde	TNO ingang	Buitenzijde
Afschermingsmateriaal	Steen	Steen	Glas	Glas	Glas	Glas	Glas	Steen	Steen	Glas	Steen
Afschermingsdikte (cm)	17.5	17.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	17.5	17.5	1.6	17.5
Transmissie	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	100%	50%
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.01	0.1	0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6	5.1	1.8	12.5	0.5	0.8	0.9	0.1	0.2	0.1	0.02
ID ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)	49	457	72	449	23	84	43	5	11	5	1
MID ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)					6						
abc parkeerterrein of wegen bij industrie	0.01	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
abc belendende industrie					0.20						
AID ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)	0.5	4.6	0.7	4.5	1.2	0.8	0.4	0.1	0.1	0.05	0.01

4. Berekende dosis AMS-ruimte bouwdeel 1

De terreingrens rondom de AMS-ruimte met de 230 kV versnellers is rondom het bouwdeel en deels inpandig, zie Figuur 4. In verticale richting is de terreingrens gelijk aan de tussenvloer tussen de begane grond en de etage. De dosis is berekend in zes dosispunten in de 4 kompasrichtingen, en drie dosispunten op de eerste etage (E3 boven AMS03, E4 boven AMS04 en W2'). De punten N5 en W2' ligt bij de AMS-hal (Bouwdeel 4), zie Figuur 3.



Figuur 4 Dosispunten voor de terreingrens rondom bouwdeel 1

4.1. Dosistempo

Voor de 230 kV AMS-toestellen is het dosistempo van de strooistraling tijdens *regulier gebruik* minder dan 0,3 $\mu\text{Sv}/\text{uur}$ op 10 cm van de verschillende onderdelen, zie Tabel 7 [2]. Tijdens *onderhoud* kan dit oplopen tot 25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ bij de versneller en 5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ bij de ESA, beide op 10 cm afstand. De energie van de strooistraling is maximaal 200 kV.

Tabel 7 Dosistempi rondom de 230 kV AMS versneller

Bron	Dosistempo op 10 cm ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
Source	0.3
Versneller	0.3
ESA	0.3
Versneller – onderhoud	25
ESA - opstarten	5

4.2. Geometrie en afscherming

De afstanden tot de dosispunten zijn bepaald vanaf de source, versneller en de ESA van beide AMS toestellen, zie Tabel 8 en Figuur 4. De dosispunten voor de dosis op de etage zijn E3 en E4. De hoogte tussen de AMS-onderdelen en de werknemers op de etage is minimaal 1.5 m. De afstand tussen beide dosispunten is 7.5 m. Dit resulteert in een totale afstand van 7.6 m van het dosispunt tot de verste AMS.

Tabel 8 Afstanden tussen AMS 03 en AMS 04 tot de dosispunten aan de terreingrens

	Afstand (m)									
	Z3	Z4	ZW	NW	N5	O3	O4	E3	E4	W2'
	Achter D-lab	Naast D-lab	Gevel	Gevel	Gevel noord-zijde	Parkeer-garage	Parkeer-garage	Etage boven AMS03	Etage boven AMS04	Etage tegenover AMS02
AMS03										
Source	19	12	13	18	40	3.3	8.7	1.5	7.6	30
Versneller	17	10	13	18	40	1.8	6.5	1.5	7.6	30
ESA	17	10	13	18	40	2.8	6.9	1.5	7.6	30
AMS04										
Source	9	4.5	9	21	45	9.5	4.9	7.6	1.5	35
Versneller	10	4	9	21	45	8.5	5.9	7.6	1.5	35
ESA	11	6.4	9	21	45	7.5	4.2	7.6	1.5	35

In de dosisberekeningen is de afschermende werking van de gevels en binnenwanden niet meegenomen. Richting de 1^e verdieping is de afschermende werking van een betonnen vloer met een dikte van 10 cm gebruikt. Met behulp van het programma MicroShield is de transmissie door deze vloer bepaald voor de strooistraling met een energie van 200 kV, zie Tabel 3.

4.3. Dosisberekening

Met behulp van de dosistemporen uit paragraaf 4.1, de afstanden uit Tabel 8, de kwadratenwet en de transmissie uit Tabel 3 is het dosistempo in ieder dosispunt berekend. De resultaten hiervan staan in Tabel 9. Het dosistempo tijdens onderhoud is weergegeven als *maximaal* dosistempo in plaats van een *totaal* dosistempo, aangezien deze handelingen niet gelijktijdig plaatsvinden.

Tabel 9 Dosistemporen ($\mu\text{Sv/h}$) in dosispunten ten gevolge van de AMS03 en AMS04 toestellen, inclusief afscherming

	Afgeschermde dosistempo op relevante afstand ($\mu\text{Sv/h}$)									
	Z3	Z4	ZW	NW	N5	O3	O4	E3	E4	W2'
	Achter D-lab	Naast D-lab	Gevel	Gevel	Gevel noord-zijde	Parkeer-garage	Parkeer-garage	Etage boven AMS03	Etage boven AMS04	Etage tegenover AMS02
AMS03										
Source	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ESA	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller - onderhoud	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.09	<0.01	<0.01
ESA - opstarten	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01
AMS04										
Source	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ESA	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Versneller - onderhoud	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	<0.01
ESA - opstarten	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv/h}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv/h}$)	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.09	0.09	<0.01

Het punt waar het hoogste dosistempo te verwachten valt is ter hoogte van twee dosispunten E3 en E4 op de etage; tijdens onderhoud kan het dosistempo daar oplopen tot $0.09 \mu\text{Sv/h}$. Het dosistempo tijdens het opstarten van de ESA ($0.02 \mu\text{Sv/h}$) hoeft daar niet bij opgeteld te worden, aangezien beide handelingen niet tegelijkertijd plaatsvinden.

De jaardosis op de terreingrens rondom de 230 kV AMS toestellen is maximaal $4.6 \mu\text{Sv/jaar}$ (AID), op de etage boven de toestellen (zie Tabel 3). Dit is inclusief de abc-factor van 0.2 voor belendende industrie.

Tabel 10 Terreingrensdosis (AID) ten gevolge van de AMS03 en AMS04 toestellen

Dosispunt	Z3	Z4	ZW	NW	N5	O3	O4	E3	E4	W2'
	Achter D-lab	Naast D-lab	Gevel	Gevel	Gevel noord-zijde	Parkeer-garage	Parkeer-garage	Etage boven AMS03	Etage boven AMS04	Etage tegen-over AMS02
Afschermingsmateriaal	Gips	Gips	Gips	Gips	Gips	Gips	Gips	Beton	Beton	Beton
Afschermingsdikte (cm)	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	10.0	10.0	10.0
Transmissie	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	82%	82%	82%
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv/h}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv/h}$)	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.09	0.09	<0.01
ID ($\mu\text{Sv/jaar}$)	0.5	2.3	0.6	0.2	0.04	10.2	2.4	11.9	11.9	0.05
abc parkeerterrein of wegen bij industrie						0.01	0.01			
abc belendende industrie	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2			0.2	0.2	0.2
AID ($\mu\text{Sv/jaar}$)	0.1	0.5	0.1	0.03	0.01	0.1	0.02	2.4	2.4	0.01

5. Totale dosis externe straling

Tabel 11 geeft de totale berekende dosis in elk dosispunt weer. Deze dosis is ten gevolge van zowel de 1.1 MV AMS toestellen als de 230 kV toestellen (Tabel 6 en Tabel 10). De hoogste dosis aan de terreingrens is in punt Z2, met een AID van 4.6 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$.

Tabel 11 Terreingrensdosis (AID) ten gevolge van alle toestellen

Dosispunt	Z1	Z2	W1	W2	N1	N2	O1	O2	Z3	Z4	ZW	NW	N5	O3	O4	E3	E4	W2'
	Parkeergarage	Parkeergarage	Laagbouw	Laagbouw	TNO ingang	TNO ingang	Buitenzijde	Buitenzijde	Achter D-lab	Naast D-lab	Gevel	Gevel	Gevel noord-zijde	Parkeer-garage	Parkeer-garage	Etage boven AMS03	Etage boven AMS04	Etage tegen-over AMS02
1.1 MV toestellen																		
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.01	0.1	0.01	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.6	5.1	1.8	12.5	0.8	0.9	0.1	0.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.5
AID ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)	0.5	4.6	0.7	4.5	0.8	0.4	0.1	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.2
230 kV toestellen																		
Dosistempo totaal, regulier ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Dosistempo max, onderhoud ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	<0.01	0.09	0.09	<0.01
AID ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	0.5	0.1	0.03	0.01	0.1	0.02	2.4	2.4	0.01
AID totaal ($\mu\text{Sv}/\text{jaar}$)	0.5	4.6	0.7	4.5	0.8	0.4	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.03	0.05	0.1	0.02	2.4	2.4	1.2

6. Berekende dosis handelingen met C-14

De handelingen met C-14 hebben een verwaarloosbare bijdrage voor externe straling vanwege de laag-energetische beta-deeltjes die bij de bron worden afgeschermd. De bijdrage aan lozing in lucht en water wordt hieronder beschreven.

Lozing in lucht

De berekeningen met betrekking tot lozing in lucht worden uitgevoerd volgens de rekenmethodiek zoals beschreven in paragraaf 4.3 van AGIS.

1. De radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie Re_{inh} voor C-14 is $1/e_{inh} = \mathbf{1.72 \text{ GBq}}$, waarbij de waarde voor e_{inh} is gebaseerd op Annex H zoals bedoeld in bijlage 9 van de verordening, onderdeel B. De handelingen met C-14 zullen namelijk altijd met de vloeibare, opgeloste vorm plaatsvinden.
2. De maximale theoretische lozing in lucht wordt berekend volgens:

$$A_{L,i} = A_i \cdot 10^{-p-4-s} \cdot CR_{L,i}$$

waarin:

- $A_{L,i}$ De maximaal theoretische lozing naar lucht per jaar van bron i in Bq
- A_i De hoeveelheid van nuclide i dat in één jaar wordt gekocht voor een bepaalde handeling. Dit is maximaal **0.5 GBq** per jaar (een conservatieve schatter op basis van Bijlage 2.4, waarin een jaarvoorraad van 240 MBq voor de ijk-tracers en 50 MBq voor de monstersamples staat genoemd).
- p Verspreidingsparameter voor de beschouwde handeling. Deze is **-2** vanwege kortdurend zeer eenvoudig nat werk, zoals pipetteren van een klein volume van een niet-vluchtige verbinding uit een voorraad-oplossing
- s Effectiviteit van het filtersysteem. Deze is op **0** gesteld.
- $CR_{L,i}$ Correctiefactor voor de halveringstijd van geloosd radionuclide i naar lucht. Deze is **100** vanwege de lange halfwaardetijd van C-14

Hieruit volgt dat de maximaal theoretische lozing naar lucht **0.5 GBq/jaar** is.

3. De maximaal theoretisch mogelijke emissie in lucht L_{max} , uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten (Re_{inh}) wordt berekend met:

$$L_{max} = \frac{A_L}{RE_{inh}}$$

Hieruit volgt dat de maximaal theoretische lozing naar lucht **0.3 Re_{inh}** is.

4. Het toetsingsniveau L_{SN} is **1 Re_{inh}** .
5. De toetsing van L_{max} aan L_{SN} is gebaseerd op één lozingspunt. De lozing van **0.3 Re_{inh}** veroorzaakt een dosis kleiner dan het SN.

Waterlozingen

De berekeningen met betrekking tot lozing in water worden uitgevoerd volgens de rekenmethodiek zoals beschreven in paragraaf 4.4 van AGIS.

1. De radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie Re_{ing} voor C-14 is $1/e_{ing} = \mathbf{1.724\ GBq}$, waarbij de waarde voor e_{ing} is gebaseerd op Annex F zoals bedoeld in bijlage 9 van de verordening, onderdeel B.
2. De maximale theoretische lozing in water wordt berekend volgens:

$$A_{W,i} = A_i \cdot Z_i \cdot V_i \cdot W_i \cdot 10^{-s} \cdot CR_{W,i}$$

waarin:

- $A_{L,i}$ De maximaal theoretisch mogelijke lozing naar water per jaar van bron i in Bq
- A_i De hoeveelheid van nuclide i dat in één jaar wordt gekocht voor een bepaalde handeling. Dit is maximaal **0.5 GBq** per jaar (een conservatieve schatter op basis van Bijlage 2.4, waarin een jaarvoorraad van 240 MBq voor de ijk-tracers en 50 MBq voor de monstersamples staat genoemd).
- Z_i Correctiefactor uitscheiding patiënten. Deze is niet van toepassing en wordt daarom op **1** gesteld.
- V_i Kans op lozing op het riool, met $V = \mathbf{0,1}$ voor handelingen met vloeistoffen
- W_i Correctiefactor uitscheiding proefdieren. Deze is niet van toepassing en wordt daarom op **1** gesteld.
- s Effectiviteitsparameter van het waterfiltersysteem of tank. Deze is **0**.
- $CR_{W,i}$ Correctiefactor voor de halveringstijd van radionuclide i in water. Deze is **100** vanwege de lange halfwaardetijd van C-14

Hieruit volgt dat de maximaal theoretische lozing naar water **5 GBq/jaar** is.

3. De maximaal theoretisch mogelijke emissie in water W_{max} , uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten (Re_{ing}) wordt berekend met:

$$W_{max} = \frac{A_W}{RE_{ing}}$$

Hieruit volgt dat de maximaal theoretische lozing naar water **3 Re_{ing}** is.

4. Het toetsingsniveau W_{SN} is **100 Re_{ing}** in verband met de afstand tot de terreingrens.
5. De waarde van W_{max} wordt getoetst W_{SN} . De lozing van $3 RE_{inh}$ veroorzaakt een dosis kleiner dan het SN.

In praktijk zal er nauwelijks afval worden geloosd op het riool. Voor de lozing op het riool wordt aangenomen dat daarvan 5% aan de materialen blijft zitten, wat bij het ompoelen op het riool geloosd zou worden. Dit komt neer op $4.4 \cdot 0.05 = 0,2$ MBq.

Een tweede scenario voor lozing op het riool zou het afwassen van eventuele besmetting op de handen kunnen zijn. De aanname is dat er 1 % van 37 MBq op de handen spat, wat neerkomt op een lozing van 0.37 MBq op het riool. Zal deze hoeveelheid in het theoretische scenario volledig door het riool worden gespoeld, dan zal er $0.001 Re_{ing}$ geloosd, wat lager is dan het toetsingsniveau.

7. Conclusie

De maximale Actuele Individuele Dosis (AID) bedraagt 4.6 μSv per jaar. Hiermee ligt de verwachte milieubelasting ten gevolge van externe straling voor Peregrion in alle gevallen onder het Secundair Niveau van 10 μSv /jaar. De lozing in lucht en de lozing in water zorgen eveneens voor een dosis lager dan het Secundair niveau van 1 μSv /jaar. Op basis hiervan zijn er geen verdere maatregelen nodig en wordt voldaan aan de wettelijke limieten.

Bibliografie

- [1] H. V. E. E. B.V., *Radiation Safety Report 1.0 MV Tandetron Accelerator Mass Spectrometer Model 4110Bo*, Amersfoort: High Voltage, 2018.
- [2] H. V. E. E. B.V., *Radiation Safety and Security Report HVE Model 4102Bo-AMS system*, Amersfoort, 2022.
- [3] "ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming", *Bijlage 10, Stcrt. 2018, 2035..*
- [4] *ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming 2023, Art. 4.5 Eisen aan toestellen en versnellers*, 2023.

Bijlage 1 Dosisberekening

Voorbeeldberekening voor dosispunt Z2 bij de AMS-hal (Bouwdeel 4) ten gevolge van handelingen met de 1.1 MV AMS-toestellen.

$$\text{Dosis op relevante afstand van AMS – onderdeel } (\mu\text{Sv}) = \frac{\text{dosistempo op 1 m } \left(\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}\right)}{\text{afstand}^2 (\text{m}^2)} * \text{transmissie} * \text{verblijfsduur (h)}$$

NB: de dosistempi zoals weergegeven in Tabel 1 gelden als maximaal dosistempo op 1 m buiten het desbetreffende AMS-deel. Als men dichterbij de versneller is dan bij de source, zal er dus geen sommatie plaatsvinden over eventuele dosis ten gevolge van de overige onderdelen. De stralingsbelasting van de overige onderdelen zijn al onderdeel van het dosistempo in dat punt.

Voor de dosis in punt Z2 ten gevolge van de verstrooide straling tijdens de versneller resulteert dit in:

$$\frac{0.2}{1.4^2} * 0.38 * 8766 = 445 \mu\text{Sv/jaar}$$

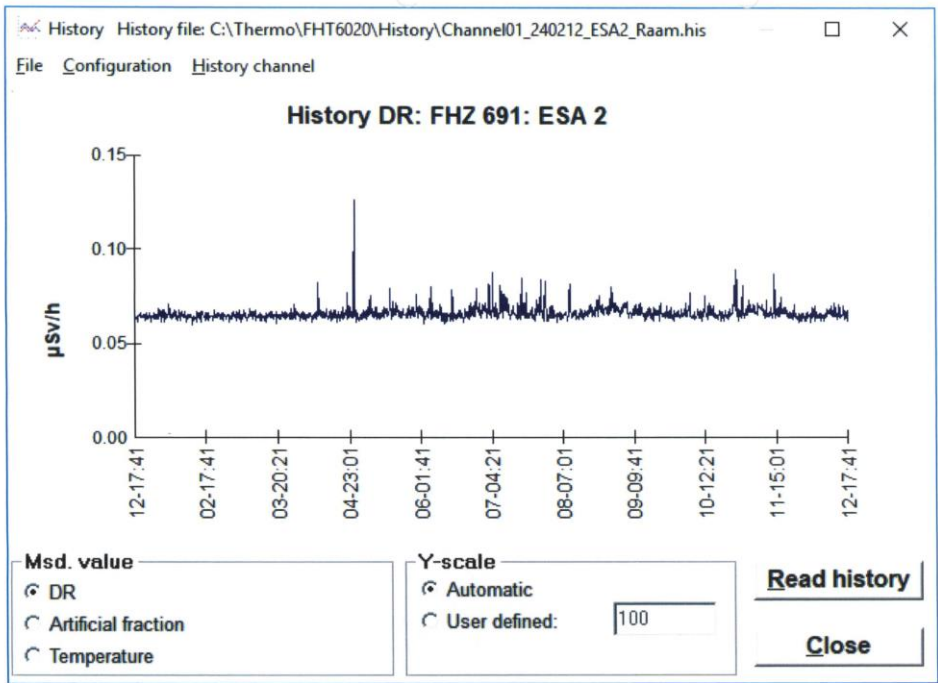
De effectieve jaardosis is de som van de dosis per AMS onderdeel:

$$\text{Effectieve jaardosis } (\mu\text{Sv}) = \sum \text{dosis op relevante afstand van AMS – onderdeel } (\mu\text{Sv})$$

Voor dosispunt Z2 is dit 457 $\mu\text{Sv/jaar}$ voor de ID en 4.6 $\mu\text{Sv/jaar}$ voor de AID.

Bijlage 2 Historische meetgegevens 1.1 MV AMS





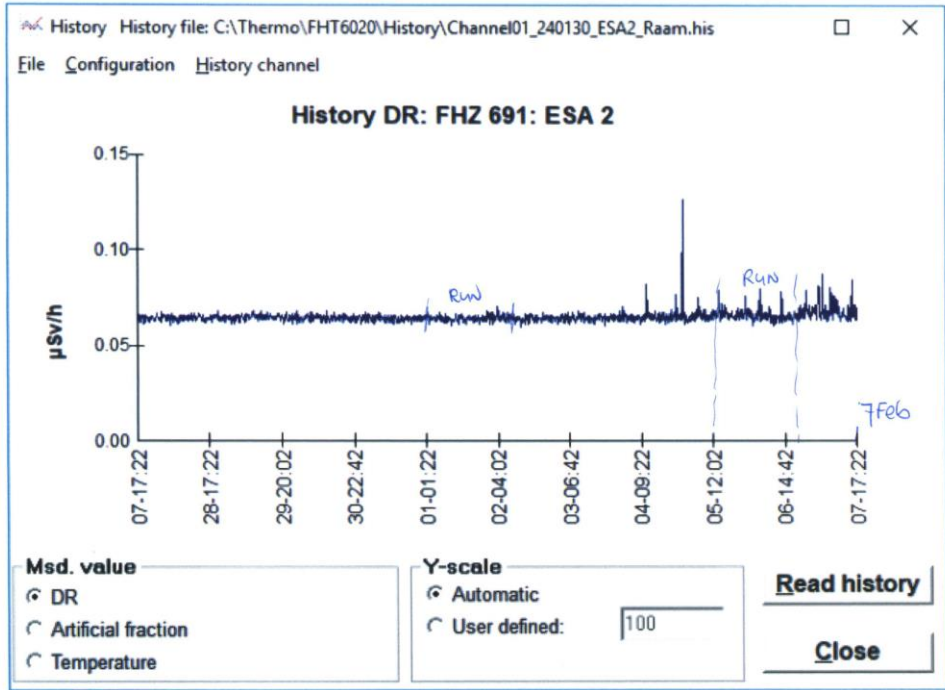
5 Feb 24
 +h
 12 Feb 24
 Ams - news ①
 5 Feb: started 14:42
 ↓
 6 Feb 1:20 End

②

7 Feb started: 14:50
 ↓
 End: 8 Feb 8:23

③

started 9 Feb 14:16
 ↓
 End 10 Feb 00:25



AMS_runs:

1 Feb 24 13:52



2 Feb 4:18

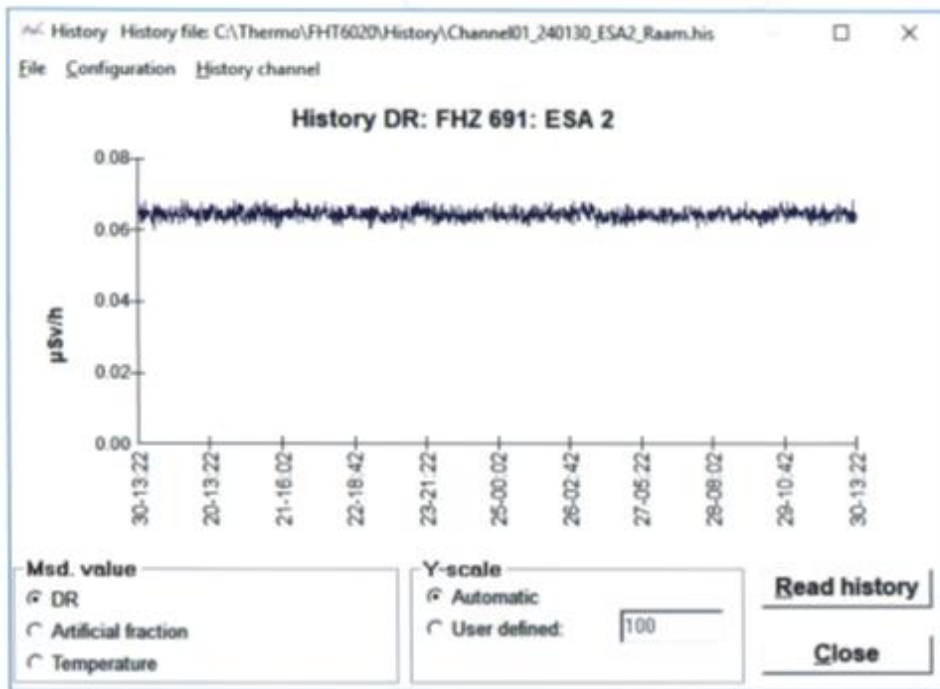
(↓ No AMS run
5 Feb
↓)

5/2/24 (14:42)



6/2/24 (1:20)

7/2/24 (14:50)
started.



Row 1

24 Jan 24

started: 15:50



25 Jan 24

stopped: 21:40

Row 2

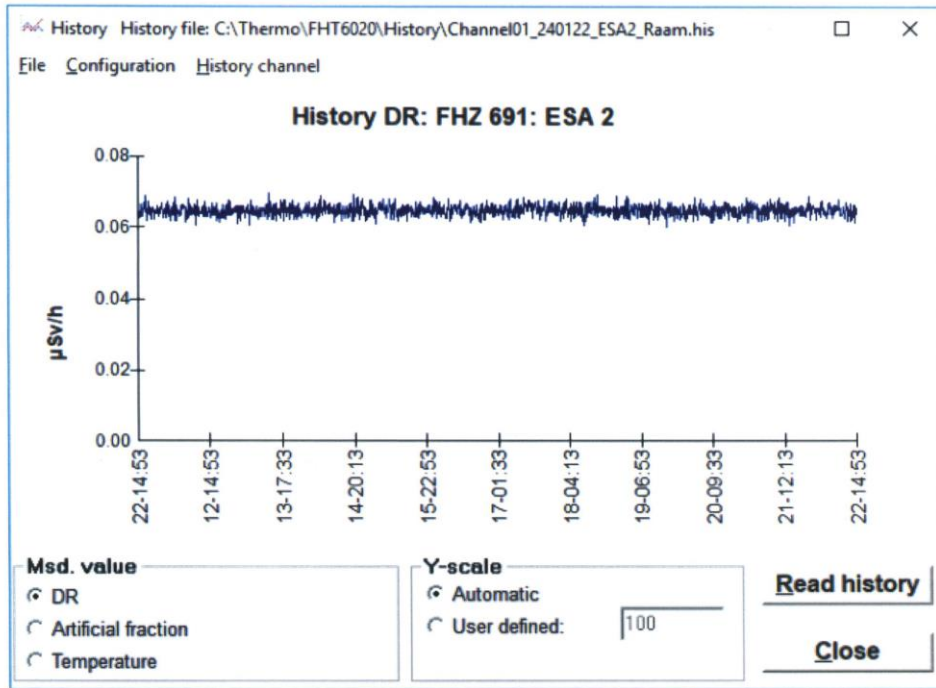
26 Jan 24

started: 15:55



27 Jan 24

stopped: 13:35

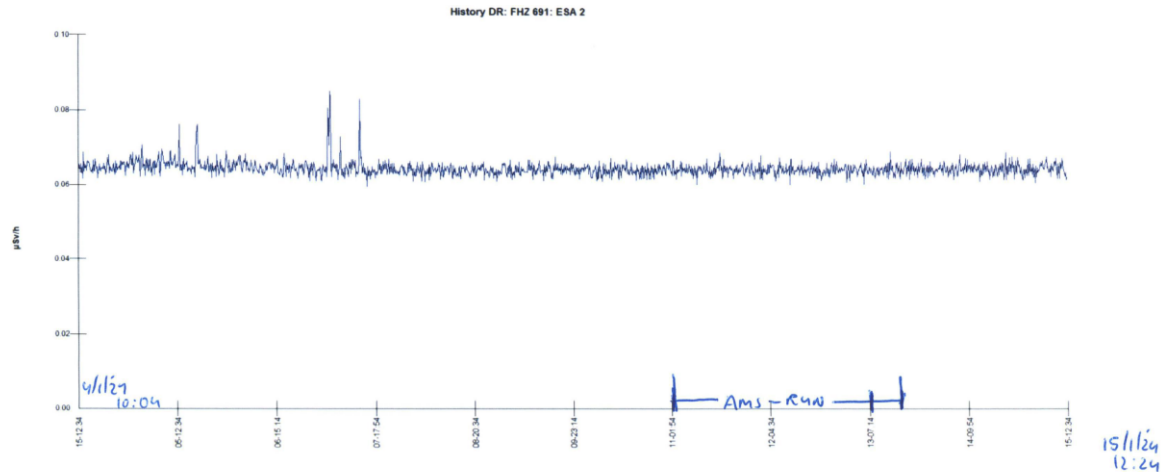


AMS-Raws:

15/1/24 (15:57)
 ↓ ①
 17/1/24 (4:15)

18/1/24 (12:00)
 ↓ ②
 19/1/24 (7:30)

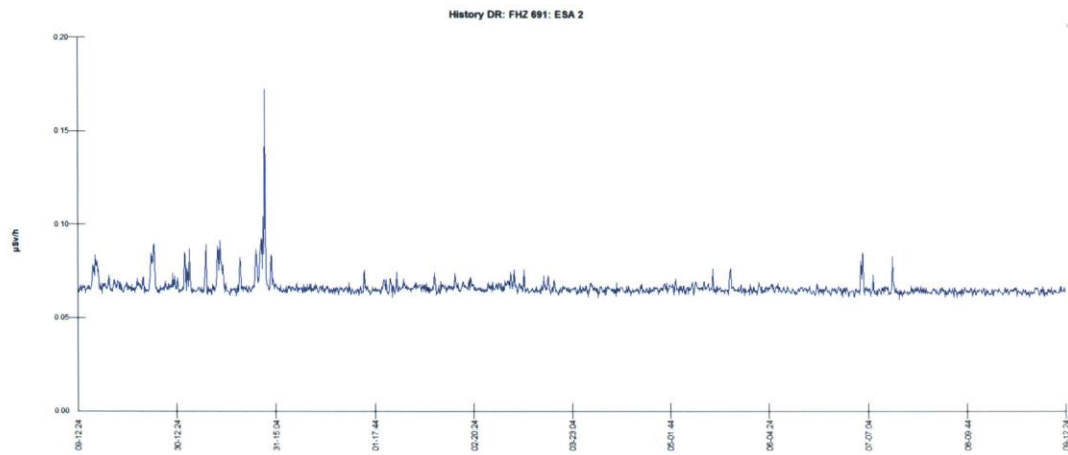
19/1/24 (11:21)
 ↓ ③
 20/1/24 (3:04)



Msd. value <input type="radio"/> DR <input type="radio"/> Artificial fraction <input type="radio"/> Temperature	Y-scale <input type="radio"/> Automatic <input type="radio"/> User defined: <input type="text" value="100"/>	Read history Close
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------

AMS-RUN: 11/1/23 → 15:15 started
 13/1/23 → 5:18 ended.

ESA in Raanpositie.



Msd. value <input type="radio"/> DR <input type="radio"/> Artificial fraction <input type="radio"/> Temperature	Y-scale <input type="radio"/> Automatic <input type="radio"/> User defined: <input type="text" value="100"/>	Read history <hr/> Close
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------

VAN 2g12123 (g:54) → g1121 (12.14).

2m VAN ESA (ANW02)
(before window).