



Kennisnotitie

Meting van het gamma- en neutronendosistempo bij Urenco op 21-22 november 2023

Inleiding

In opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) heeft het RIVM op 21 en 22 november 2023 gammadosis- en neutronendosismetingen uitgevoerd op het terrein van Urenco te Almelo. Dit is uitgevoerd ter controle van een mogelijk overschrijding van de vergunde dosislimiet. In deze rapportage worden de RIVM-metresultaten weergegeven en vergeleken met de meetresultaten van Urenco zelf.

De metingen

Metingen van het *gamma-omgevingsdosisequivalenttempo* ($\dot{H}^*(10)$) zijn uitgevoerd met een Reuter Stokes. De RS-S131-200 (met serienummer 1001294) van het RIVM is een hoge druk ionisatiekamer met vlakke respons over een breed energiebereik. Deze Reuter Stokes meet ionisaties in een hoge druk argon-gevulde bol, evenredig aan de hoeveelheid ionisaties die in lucht zouden plaatsvinden, uitgedrukt in Coulomb per massa (C/kg). De gebruikte eenheid voor exposie is doorgaans micro-Röntgen per uur ($\mu\text{R/h}$). De Reuter Stokes is gekalibreerd met een Cs-137 bron (met certificaat) door het van Swinden Laboratorium (VSL).

De meetperiode bedraagt steeds 5 seconden. De exposie data van de Reuter Stokes worden omgerekend naar Gray ($\text{Gy} = \text{J/kg}$). De omrekenfactor is een fysische constante: 1 Röntgen is gelijk aan 8,77 mGy.

Voor gammastraling hangt de omrekening van Gray naar Sievert af van de gewenste grootte E (effectieve dosis) of $\dot{H}^*(10)$, het omgevingsdosisequivalent. Dit is afhankelijk van de energie van de gammastraling, in dit geval het kalibratienuclide Cs-137.

Neutronendosismetingen zijn door RIVM gemeten met een Biorem FHT752. Deze neutronendetector bevat een polyethyleen-moderator, een proportionele telbuis, hoogspanning en voorversterker. De detector is gevuld met $^{10}\text{BF}_3$ gas en heeft een bereik van 1 nSv/h – 400 mSv/h.

Toelichting

Als een neutron ingevangen wordt door B-10 wordt een alfa deeltje geproduceerd: $\text{B-10} + \text{n} \rightarrow \text{Li-7} + \text{alfa}$.

Dit alfa deeltje ondergaat een snelle interactie met het argon gas en vormt electron-ionparen. Onder invloed van een elektrisch veld vindt er gas-multiplicatie plaats, dit zorgt voor een duidelijk meetbare puls.

De Biorem FHT 752 detector heeft een kalibratiefactor van 2,20 $\mu\text{Sv/h}$ per $\text{count}\cdot\text{s}^{-1}$ voor een ^{252}Cf -neutronenbron en is zeer ongevoelig voor gammastraling ($< 0,01$ cps bij 100 mSv/h voor een ^{137}Cs -bron). De laatste kalibratie van september 2022 is uitgevoerd door Thermo Scientific en is herleidbaar naar een ^{252}Cf bron van PTB (het metrologisch instituut in Duitsland) met nauwkeurig bekende activiteit. De afwijking van de nominale waarde van de ^{252}Cf bron bedroeg 1%.

RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

Auteurs:

P.J.M. Kwakman

Centrum:

Veiligheid

Contact:

Pieter.Kwakman@rivm.nl

Kenmerk:

KN-2024-0010

DOI:

10.21945/RIVM-KN-2024-0010

Datum:

1-5-2024

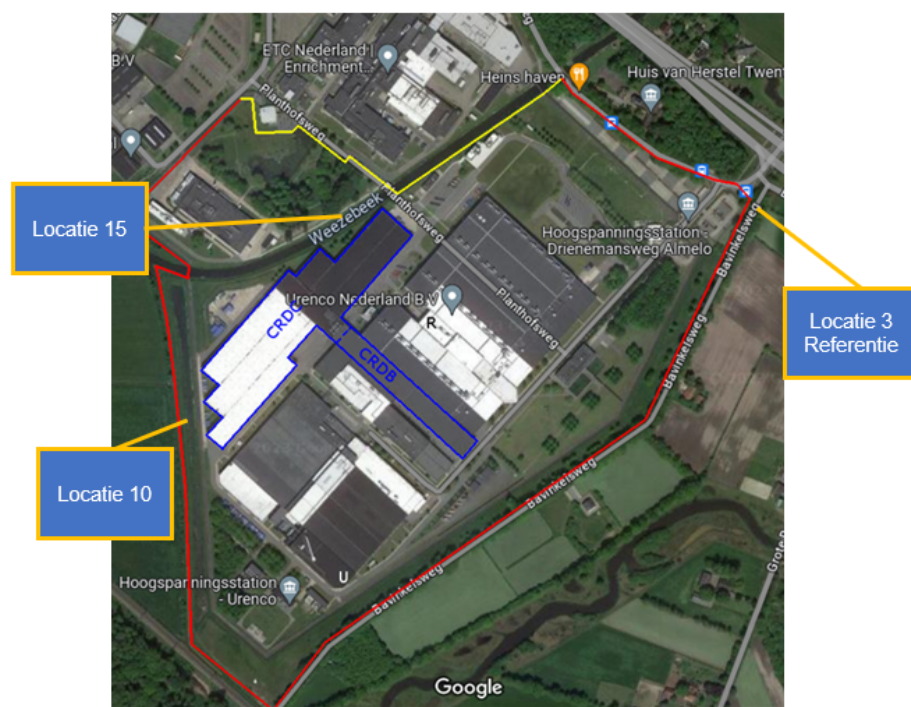
De meetlocaties

De meetlocaties zijn aangewezen door de ANVS:

Locatie 10: aan de westkant naast "meetlocatie 10"; meettijd 3,5 uur.

Locatie 15: aan de Weezebeek, vanaf het Urenco terrein over de brug ca. 100 m aan de linkerkant; meettijd 2,5 uur.

Locatie 3: Referentielocatie nabij de receptie, aan het hek achter het parkeerterrein. Hier is overnacht gemeten van 21-22 november 2023.



Figuur 1 Plattegrond van Urencoterrein met de meetlocaties 10, 15 en de referentielocatie 3. De gekleurde lijnen geven de grenzen aan van de Urenco vergunning en van de ETC vergunning.

Resultaten gammadosistempo op locaties 10 en 15

De vergelijking van de netto gammadosistempodata van RIVM en Urenco op de locaties 10 en 15 is goed (A1), zie Tabel 1. De vergelijking van de meetdata is uitgevoerd volgens de criteria die ook worden toegepast in de contra-expertise rapporten¹; zie Bijlage A. De ruwe data zijn gecorrigeerd voor de meetwaarde van de achtergrond, dit is referentielocatie 3.

¹ Contra-expertise op bepalingen van radioactiviteit in afvalwater en ventilatielucht van de kernenergiecentrale Borssele. Periode 2022. PJM Kwakman, briefrapport 2023-0385.

Tabel 1 Resultaten van de gammadosistempometingen op 21-22 november 2023, gemeten door RIVM met Reuter Stokes en door UNL met Bitt-monitor, aan terreingrens van Urenco (nSv/h).

	RIVM Reuter Stokes		Urenco Bitt		Opmerkingen
	$\dot{H}^*(10)$ Ruwe data (onafgerond) nSv/h	$\dot{H}^*(10)$ Netto [#] nSv/h	$\dot{H}^*(10)$ Ruwe data (onafgerond) nSv/h	$\dot{H}^*(10)$ Netto nSv/h	
Locatie 10	105,5 ± 0,9	37,3 ± 1,2	97,6 ± 7,3	30 ± 8 (A1)	Lichte regen. meetijd 3,5 uur
Locatie 15	76,2 ± 0,9	8,1 ± 1,2	74,4 ± 5,2	7 ± 6 (A1)	Droog weer. Meettijd 2,5 uur
Locatie 3 = referentie	68,1 ± 0,9	nvt	67,4 ± 3,8	nvt	Droog weer. Meettijd 17 uur, niet gelijktijdig met Urenco.

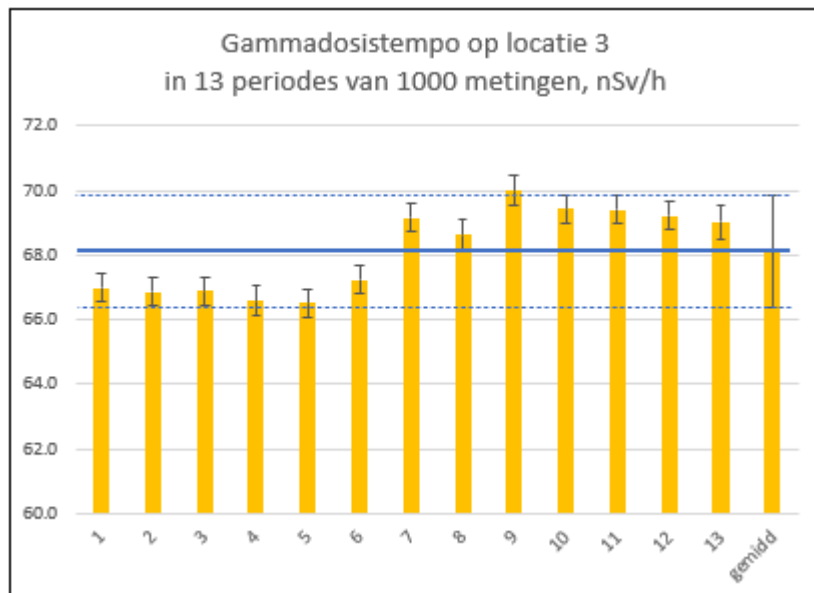
[#] Zie de toelichting voor de gekozen berekeningswijze.

Statistische bewerking van de gammadosistempo meetdata

De Reuter Stokes hoge druk ionisatiekamer meet het gammadosistempo en is een erg gevoelig meetapparaat. De ingestelde meetperiodes duren slechts 5 seconden. Dit houdt in dat er in een paar uur duizenden meetwaarden geregistreerd worden. Indien het gammadosistempo constant is in de meettijd mag de standaarddeviatie van de afzonderlijke meetwaarden gedeeld worden door de wortel uit het aantal metingen voor het berekenen van de onzekerheid in het gemiddelde.

Echter, op de referentielocatie is er op de zeer lange meettijd van 17 uur een drift in de tijd zichtbaar die niet binnen de standaarddeviatie van de meetreeks valt. Om die drift zichtbaar te maken is de gehele meetperiode verdeeld in 13 blokken van elk 1000 meetperiodes van 5 s. Indien het meetsignaal constant is moeten de gemiddelde waarden van alle blokken binnen de meetfout overeenstemmen. Het blijkt echter uit de grafiek in Figuur 2 dat het meetsignaal niet constant is.

In dit geval is het niet terecht om de gemiddelde fout te bepalen door de standaarddeviatie te delen door de wortel uit het aantal waarnemingen.



Figuur 2 Meetperiode van 17 uur op locatie 3 onderverdeeld in 13 periodes van 1000 metingen (van 5 s elk), nSv/h. De onzekerheidsmarge is tweemaal de standaarddeviatie van de 1000 metingen gedeeld door de wortel uit het aantal metingen. Bij het gemiddelde, de blauwe streep, is met stippellijnen de halve spreiding gegeven: 0,5 maal de hoogste – de laagste waarde van de 13 periodes.

De beste praktische benadering van het 2s interval is de halve spreiding, dat wil zeggen de (hoogste waarde – laagste waarde) $\times 0,5 = 1,8$ nSv/h.

Voor de rapportage wordt gerekend met het 1s interval: $68,1 \pm 0,9$ nSv/h. Vervolgens is aangenomen dat deze drift op de referentielocatie ook als minimale onzekerheid op de locaties 10 en 15 toegepast mag worden. De onzekerheid in het netto gammadosis tempo komt daarmee op

$37,3 \pm 1,2$ nSv/h op locatie 10 en $8,1 \pm 1,2$ nSv/h op locatie 15.

Resultaten neutronendosistempo op locaties 10 en 15

De vergelijking van de netto data van RIVM en Urenco op locatie 10 is goed (A1), zie Tabel 2. De ruwe data zijn gecorrigeerd voor achtergrond; daarvoor is de meetwaarde gekozen op referentielocatie 3. Deze referentiewaarde van $8,5 \pm 0,7$ nSv/h is vergelijkbaar met de waarde die het RIVM heeft gemeten bij de COVRA² ($9,2 \pm 0,6$ nSv/h).

Op locatie 15 is de meettijd kort en het teltempo laag. De overeenkomst tussen de RIVM en UNL data is met een A2 redelijk.

Statistische bewerking van de neutronendosistempo meetdata

De telsnelheid gemeten met de Biorem FHT 752 neutronendosistempometer is laag; 188 counts in 3,5 uur op locatie 10, 108 counts in 2,5 uur op locatie 15 en 234 counts in 17 uur op de referentielocatie. Na correctie voor de bijdrage van de achtergrond is de relatieve telonzekerheid 13% op locatie 10 en 18% op locatie 15. Dit komt binnen de onzekerheden redelijk tot goed overeen met de meetdata van Urenco. Op locatie 15 is

² PJM Kwakman en PP Bosch, Gammastralingsniveau en neutronendosistempometingen bij de terreingrens van COVRA-VOG in 2021. RIVM briefrapport 2022-0044.

een meetperiode van minimaal 8 uur tot, bij voorkeur, 24 uur nodig om een uitspraak te doen over het toegevoegde neutronendosistempo door Urenco.

Tabel 2 Resultaten neutronendosistempo op 21-22 november 2023, door RIVM en UNL gemeten met Biorem FHT 752, aan terreingrens van Urenco (nSv/h).

	RIVM Biorem 752	RIVM	Urenco Biorem 752	Urenco	Opmerkingen
Grootheid	Neutronen Ruwe data (onafgerond) nSv/h	Neutronen Netto nSv/h	Neutronen Ruwe data* (onafgerond) nSv/h	Neutronen Netto nSv/h	Meetapparatuur gelijk: Biorem FHT 752
Locatie					
Locatie 10	33,4 ± 3,1	25 ± 3	29,9 ± 3,0	21 ± 3 (A1)	Lichte regen meetijd 3,5 uur
Locatie 15	26,8 ± 3,3	18 ± 3	19,6 ± 2,8	11 ± 3 (A2)	Droog Meetijd 2,5 uur
Locatie 3 referentie: aan het hek nabij receptie.	8,5 ± 0,7	nvt	8,8 ± 0,4	nvt	Droog meetijd 17 uur, niet gelijktijdig met Urenco.

* onzekerheid van Urenco-data uitgerekend op basis van counts en teltijd.

Conclusies

Het RIVM heeft op locatie 10 een netto gammadosistempo gemeten van $(37,3 \pm 1,2)$ nSv/h, en op locatie 15 $(8,1 \pm 1,2)$ nSv/h. Deze meetwaarden komen redelijk tot goed overeen met de data van Urenco; zie Tabel 3.

Het is echter wel nodig dat RIVM en Urenco de statistische bewerking van de gammadosistempodata afstemmen. RIVM hanteert een praktische werkwijze: de helft van de spreiding tussen de maximum en minimum waarde wordt toegepast als een benadering van het 2s-interval. Urenco past de standaarddeviatie toe als meetonzekerheid.

De neutronendosistempometingen komen redelijk tot goed overeen. De meetperiode op locatie 15 is gezien de lage telsnelheid te kort om een nauwkeurige meting uit te voeren.

In dit rapport is de jaarsom van de netto gammadosistempi en de neutronendosistempi niet omgerekend tot een Actuele Individuele Dosis (AID).

Tabel 3 Samenvatting van de netto gammadosistempo en neutronendosistempo meetresultaten op locatie 10 en 15 op 21 november 2023

	RIVM	Urenco		RIVM	Urenco
Grootheid	$\dot{H}^*(10)$ Netto [#]	$\dot{H}^*(10)$ Netto		Neutronen Netto	Neutronen Netto
Locatie 10 nSv/h	37,3 ± 1,2	30 ± 8 (A1)		25 ± 3	21 ± 3 (A1)
Locatie 15 (nSv/h)	8,1 ± 1,2	7 ± 6 (A1)		18 ± 3	11 ± 3 (A2)

Bijlage A Vergelijking van meetresultaten

De overeenkomst tussen de meetresultaten van RIVM en die van Urenco wordt ingedeeld in één van de categorieën A1, A2, B, of C, die gekoppeld zijn aan een waarschijnlijkheid.

Het vergelijken van de gemeten waarden x_{UN} en x_{RIVM} is ook te verwoorden als het bepalen van het verschil $\Delta = x_{UN} - x_{RIVM}$. Het verschil tussen de meetwaarden wordt berekend uit de getallen zoals deze worden weergegeven, dus na afronding van de meetwaarde van RIVM (volgens NEN 1047). De onzekerheid in dit verschil is:

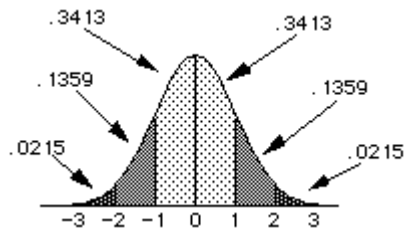
$$s\Delta = \sqrt{(s_{UN})^2 + (s_{RIVM})^2}.$$

Deze manier van vergelijken komt overeen met een z-test die gebruikelijk is in het beoordelen van resultaten in ringonderzoeken.

In het ideale geval, bij een voldoende groot aantal metingen van hetzelfde monster, ligt het gemiddelde ten opzichte van de toevallige variaties zeer dicht bij de 'ware waarde' en komt de standaarddeviatie van de meetwaarden overeen met de opgegeven onzekerheden.

Als de spreiding benaderd kan worden met de normale verdeling (zie figuur), dan kunnen de volgende frequenties of waarschijnlijkheden van voorkomen van de categorieën verwacht worden:

A1:	$ \Delta \leq s\Delta$	~68%, ofwel circa 2 uit 3
A2:	$s\Delta < \Delta \leq 2 s\Delta$	~27%, ofwel circa 1 uit 4
B:	$2s\Delta < \Delta \leq 3 s\Delta$	~4,3%, ofwel circa 1 uit 20
C:	$3s\Delta < \Delta $	~0,26%, ofwel circa 1 uit 400



Figuur 1 Schematische weergave van een Gauss verdeling

In de praktijk wijkt de verdeling vaak af van de normale verdeling waardoor rekening gehouden moet worden met iets meer voorkomen van de categorie C dan hierboven wordt gesuggereerd. Veel vaker dan verwacht voorkomen van B's en C's is echter een aanwijzing voor niet onderkende, mogelijk systematische, onzekerheden.