

notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 1 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

van : T.P.P. Visser

afgestemd met: H.W.F. Tuenter

aan : H. Braam

kopie aan :

Inleiding

Zoals in de vergunningsaanvraag [1] beschreven heerst ter plaatse van de UF₆-opslagen op het URENCO terrein een verhoogd stralingsniveau. In deze aanvraag wordt ook aangegeven dat een nieuw gebouw wordt gerealiseerd, waarin het laden en lossen van vrachtwagens met UF₆-containers plaatsvindt. Verder worden in dat gebouw containers met feed en tails opgeslagen, als tussenopslag. In de aanvraag wordt aangegeven dat de jaardosis voor personen buiten het terrein van URENCO, aan de zijde van de Drienemansweg, beperkt blijft tot onder 40 microSievert. In dit rapport worden de door URENCO gehanteerde uitgangspunten en de berekeningen ten aanzien van het stralingsniveau (AID, de Actuele Individuele effectieve Dosis, zie paragraaf 6.5 in [3]) op de terreingrens nabij deze UF₆ opslagen nader toegelicht.

In de aanvraag [1] wordt vergunning gevraagd om maximaal 65.000 ton UF₆ met een verrijgingspercentage van maximaal 1% en 2750 ton UF₆ met een verrijgingspercentage >1% binnen de inrichting voorradig te hebben. Het verrijkt materiaal wordt altijd in pandig opgeslagen in het CRD-B en het CSB, zie daartoe ook de aanvraag. Ook het feed wordt bij voorkeur in het CRD-B in tussenopslag opgeslagen. In totaal zijn er 4 opslaglocaties voor feed en tails (zie ook Figuur 2):

1. de buitenopslag nabij het CRD-C voor de middellange termijn opslag;
2. het CRD-B waarin opslag en handling plaatsvindt;
3. het CRD-C waarin eveneens handling en opslag plaatsvindt;
4. het CRD-D waarin uitbreiding van de benodigde handling en opslag plaatsvindt.

Ten opzichte van de vorige aanvraag wordt alleen het gebouw CRD-D toegevoegd. Hoewel er in principe volstaan kan worden met een berekening van de stralingsbelasting ten gevolge van dit nieuwe gebouw, is er voor gekozen om alle bovengenoemde opslagen mee te nemen in de berekening. Vergelijk met de vorige aanvraag laat zien dat er geen invloed van het CRD-D is op de stralingsdosis rond het CRD-C. Er is een maatgevend scenario geformuleerd, waarvan de consequenties met betrekking tot stralingsbelasting zijn doorgerekend.

In de volgende paragraaf wordt eerst ingegaan op de manier waarop deze berekening is uitgevoerd. Vervolgens wordt in detail ingegaan op de wijze van opslaan. Ten slotte worden de resultaten gepresenteerd en toegelicht.

notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 2 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

Opzet berekening

Voordat met de berekeningen begonnen wordt, moet eerst worden vastgesteld wat de kritieke groepen zijn. Voor toetsing wordt de Actuele Individuele Dosis (AID) gebruikt. Deze wordt bepaald uit de Individuele Dosis (ID). De ID is de dosis die opgelopen wordt indien iemand 24h per dag onbeschermd op een locatie aanwezig is. Doormiddel van voorgeschreven correctiefactoren wordt uit deze ID de AID bepaald om te corrigeren voor aanwezigheidsduur (door middel van de ABC-factor, zie [3], tabel 6.2) en eventuele afscherming. Nabij de UF₆-opslagen kunnen vier groepen worden onderscheiden die van belang zijn: medewerkers van ETNL, personen die van de Drienemansweg gebruik maken, personen die in Niendure verblijven en personen die in het weiland nabij de buitenopslag verblijven. Niendure is een open inrichting, waar in principe een weekendverlof geldt, maar wordt hier beschouwd als "woning" (permanente aanwezigheid met een correctiefactor voor de afscherming van het gebouw, waarvoor 0,25 genomen mag worden, zie wederom paragraaf 6.5 in [3]). In de tabel hieronder wordt aangegeven welke correctiefactoren van toepassing zijn:

Tabel 1 Omrekeningsfactoren van de ID naar de AID [3]

Locatie	ABC	Afschermingsfactor	Totaal
ETNL	0,2	0,25	0,05
Drienemansweg	0,01	1,0	0,01
Niendure	1,0	0,25	0,25
Weiland	0,01	1,0	0,01

Rekenwijze

De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma MCNP [2]. Dit programma wordt binnen de nucleaire industrie over de hele wereld veelvuldig toegepast en vindt ook toepassingen in de medische wereld (nucleaire geneeskunde en radiodiagnostiek). De algemene ervaring (die door URENCO Nederland B.V. gedeeld wordt), is dat deze berekeningen goed met de werkelijkheid overeenkomen.

Uitgaande van de fysische eigenschappen van UF₆, de eigenschappen van de container en de geometrie van de UF₆ opslagen (aantal containers) inclusief aarden wal en de gemodelleerde gebouwen is de ID op diverse locaties langs de terreingrens bepaald. Uitgegaan is van containers met de maximale vulgraad, te weten 12,5 ton UF₆.

MCNP berekent een flux van deeltjes die vanuit een bron op een aangegeven punt uitkomt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Monte Carlo technieken om de deeltjesflux te berekenen. Van een groot aantal deeltjes wordt op probabilistische wijze berekend welke interacties de deeltjes ondergaan vanaf hun oorsprong tot aan hun einde. Voor elk deeltje wordt bepaald hoe groot de kans is dat deze op een aangegeven punt terecht komt en welke energie dat deeltje dan heeft.

notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 3 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

Om te bepalen welke interacties een deeltje kan hebben en hoe groot de kans daarop is, moet aangegeven worden welke atomen er aanwezig zijn. Hoe groot de kans is op een bepaalde interactie volgt dan uit fysische wetten en gegevens die uit experimenten verkregen zijn en zijn vastgelegd in de database die bij MCNP hoort.

Met de in de volgende paragrafen beschreven brondefinities en de modellering van de geometrie en de aanwezige materialen, kan MCNP een verwachting van de deeltjes flux op gegeven punten berekenen. Hoe meer deeltjes er gebruikt worden in de bepaling daarvan, hoe kleiner de statistische fout die gemaakt wordt. MCNP voert statistische controles uit op de resultaten om te bepalen of een uitkomst voldoende betrouwbaar is.

Als de deeltjesflux op een bepaald punt bekend is, kan bijvoorbeeld berekend worden wat de ten gevolge daarvan opgelopen effectieve dosis is, in een bepaalde bestralingsgeometrie. De omrekenstabellen uit Appendix E van [4] zijn daartoe ingevoerd in MCNP. De meest conservatieve aanname voor de bestralingsgeometrie is de AP geometrie (alle straling komt recht van voren). In de berekening van de effectieve dosis is dus ook van die bestralingsgeometrie uitgegaan.

Modellering van de geometrie

Als voorbeeld van de wijze waarop het geheel is gemodelleerd, zal hier kort de modellering van een container worden aangegeven. Een enkele container wordt gemodelleerd als twee concentrische cilinders. In de binnenste cilinder (met radius 59,38cm en lengte 364,94cm) bevindt zich het UF₆. Tussen de beide cilinders in bevindt zich ijzer (de buitenste cilinder heeft radius 60,96 cm en lengte 368,10cm; hierdoor ontstaat een container met een wanddikte van 1,58cm). Verder moet worden aangegeven wat de atoomsamenstelling en de dichtheid van de materialen is. Zo wordt de containerwand gemodelleerd als puur ijzer (van natuurlijke isotoopsamenstelling; dit laatste is alleen voor neutronen van belang), met dichtheid 7,86 kg/liter. De totale massa van een container (excl. inhoud) komt daarmee op 2003kg. Volgens [5] is het nominale gewicht 2359 kg. Omdat in het model de verstevigingsringen en de schorten niet zijn meegenomen, heeft de container in het model een lager gewicht. Dit is een conservatieve aanname, omdat extra massa, extra afscherming betekent. Het UF₆ in de container is gemodelleerd als een stof bestaande uit uranium en fluor atomen, in een molverhouding van 1:6 (voor neutronen is ook de verhouding van de diverse uraniumisotopen aangegeven). Als dichtheid is 3,0924 kg/liter genomen, zodat bij een volledige vulling van de container (de binnenste cilinder in het model), de massa op 12.501 kg komt. In werkelijkheid is de dichtheid van het UF₆ aanmerkelijk hoger, en is de container niet geheel gevuld, het maximale vulgewicht is 12.501kg. Een hogere dichtheid betekent echter een grotere zelfafscherming en een container die niet geheel gevuld is, heeft een kleiner "naar buiten stralend"-oppervlak, zodat dit wederom een conservatieve aanname is.

notitie

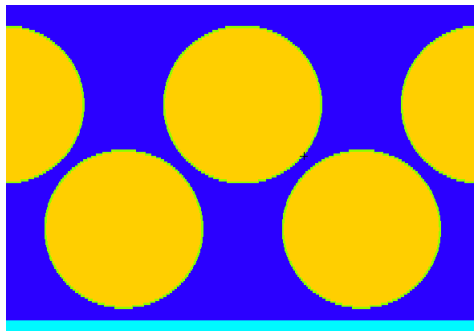
documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 4 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

In onderstaande figuur is aangegeven hoe de containers in het model op elkaar liggen. De bokken waarop de containers liggen zijn in het model niet meegenomen. Deze zullen hooguit een extra afscherming met zich meebrengen, zodat het weglaten daarvan conservatief is. Afhankelijk van de precieze uitvoering van deze bokken en de horizontale afstand tussen de containers zal de hoogte van de bovenste container variëren tussen de 2,2m tot maximaal 2,5m. De hoogte van de betonnen muur (4m) is in ieder geval ruim voldoende om de directe straling van de containers tegen te houden. In het model is voor de horizontale afstand tussen de containers 60cm tussen de wanden aangehouden.



Figuur 1 Schets van de wijze van opslag.
Lichtblauw is de grond, donkerblauw is de lucht en de
containers zijn in geel met een groene wand aangegeven.

Op een zelfde wijze zijn realistische (maar conservatieve) aannames gemaakt voor de overige materialen die in het model aanwezig zijn. Om de afscherming door de lucht niet te overschatten, is deze gemodelleerd als droge lucht (water in de lucht zal neutronen sterker afremmen), de grond van de aarden wal is gemodelleerd als puur SiO_2 , begroeiing op en water in de wal zullen een extra afscherming opleveren.

De gebouwen zijn conservatief gemodelleerd, doordat inwendige muren niet zijn meegenomen. Voor de dikte van de wanden is 25cm genomen en de dikte van het dak bedraagt 20cm. Alleen het beton van de wanden is meegenomen, de pilaren die als draagconstructie fungeren zijn niet meegenomen. De aanwezige transportdeuren zijn als openingen in de betonwand meegenomen.

Voor MCNP is alleen van belang welke atomen (isotopen voor neutronen) er aanwezig zijn. Het maakt niet uit in welke (chemische) verbinding de atomen aanwezig zijn, noch in welke aggregatietoestand, omdat deze de kans dat een deeltje aan een bepaald atoom verstrooid wordt, niet beïnvloeden. Hiervoor is puur de molfractie van een bepaald atoom en de dichtheid van belang (deze dichtheid is natuurlijk wèl afhankelijk van de aggregatietoestand).

notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 5 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

Brondefinitie

Naast het modelleren van de geometrie, die de kans op interacties van deeltjes bepalen, is het nodig om in MCNP aan te geven welke deeltjes (en met welke energie) als bron worden uitgezonden. Als de hele vervalreeks van de diverse uranium isotopen wordt beschouwd, komen daar zowel α -, β - en γ -deeltjes bij vrij en tevens worden er neutronen uitgezonden. De α - en β -deeltjes komen niet buiten de container, maar hebben wel degelijk invloed. De β -deeltjes zullen worden afgeremd en geabsorbeerd, maar daarbij komt remstraling (fotonen, d.i. γ -deeltjes) vrij.

De α -deeltjes zorgen voor een extra bron aan neutronen, omdat fluor deze kan invangen en vervolgens zal vervallen tot Natrium, waarbij neutronen vrijkomen. Buiten de container zijn alleen fotonen en neutronen te detecteren.

De fotonen worden geproduceerd in de kern, of worden veroorzaakt door remstraling. De fotonen die door de kern worden uitgezonden hebben zeer specifieke energieën. De fotonen, die door afremming van β -deeltjes worden veroorzaakt, hebben een continu spectrum. Tezamen vormt dit een continu spectrum met een aantal scherpe pieken. In een serie artikelen [6] is door Keijzer een werkwijze beschreven om dit spectrum te benaderen door een beperkt aantal discrete pieken, die tezamen een goede benadering vormen van het continue spectrum. Hierbij is data ontleend aan [7] en [8]. Hierbij is de nadruk gelegd op het verkrijgen van een beschrijving van het spectrum die het mogelijk maakt om het effect van fotonen buiten een container goed te berekenen. (Zo kunnen laagenergetische fotonen worden verwaarloosd, omdat deze niet door de container wand kunnen dringen.) Energielijnen die dicht bij elkaar liggen worden samen genomen tot een lijn met een (gewogen) gemiddelde energie en een intensiteit die de som is van de intensiteiten van de afzonderlijke lijnen¹.

De neutronen worden gevormd bij een spontane splijting van een uraniumkern, of door de reactie van een α -deeltje met fluor (zoals boven aangegeven). Het spectrum van neutronen die bij een splijting vrijkomen is anders dan het spectrum van neutronen die door een reactie met fluor vrijkomen. De vorm van dit spectrum is bepaald middels een programma "SOURCES-4C" [10]. In het model wordt het met dit programma berekende totaalspectrum genomen als bronspectrum.

¹ Niet geheel correcte beschrijving, de intensiteit wordt namelijk zo gekozen dat voldaan wordt aan behoud van energie, hierdoor wijkt de intensiteit iets af van de som van de intensiteiten van de afzonderlijke lijnen.

notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 6 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**

Beschrijving van het maatgevend scenario

Voor de bepaling van de consequenties van de opslag met betrekking tot straling, wordt een conservatieve aanname gemaakt over de hoeveelheden containers die op deze opslagen aanwezig zijn. Hierbij is de overweging dat de meest belastende wijze van opslag, die is, waarbij de afstand van de containers tot de terreingrens minimaal is. Hieronder wordt per opslaglocatie aangegeven welk aantal containers in de berekening is meegenomen.

Tabel 2 Overzicht van de capaciteit (aantallen containers) van de diverse opslagen die in het model is gebruikt.

Locatie	Aantal
CRD-B	0
CRD-C opslag 107	196
CRD-C hal 3	426
CRD-C hal 2	924
CRD-C hal 1	0
CRD-D	1000
UF ₆ opslag in buitenlucht	2700

In totaal is er een opslag nodig voor 65.000 ton UF₆ met een verrijgingspercentage van maximaal 1%. Dat zijn 5246 gevulde containers, verdeeld zoals in bovenstaande tabel aangegeven. Er is aangenomen dat het CRD-B en hal 1 van het CRD-C leeg blijft en de overige locaties volledig gevuld zijn. In de praktijk zal dat een onwenselijke situatie zijn, maar met betrekking tot stralingsbelasting buiten het terrein is dit een conservatieve aanname. De gebouwen die in de berekening leeg gelaten zijn, staan op de grootste afstand van de terreingrens.

In Figuur 2 is een overzicht gegeven van de opslagen nabij de periferie die zijn meegenomen in de berekening. De wijziging betreft hier alleen de toevoeging van het CRD-D gebouw. Omdat een berekening is uitgevoerd voor het totale terrein, zijn in de figuur alle opslagen waarop containers liggen aangegeven. In deze figuur zijn ook de locaties aangegeven waarvoor de dosis is berekend.

Buiten de containers, zijn er op het terrein van UNL nog enkele bronnen aanwezig, met name ten behoeve van kalibratie en controledoelinden. De totale activiteit daarvan is echter vele malen lager dan de activiteit in één enkele container en hieronder zijn geen bronnen die een dusdanig sterk doordringende straling uitzenden dat hiermee rekening gehouden moet worden. Van de aanwezige Röntgentoestellen is buiten de afgeschermd box geen niveau boven de achtergrond vastgesteld [11].

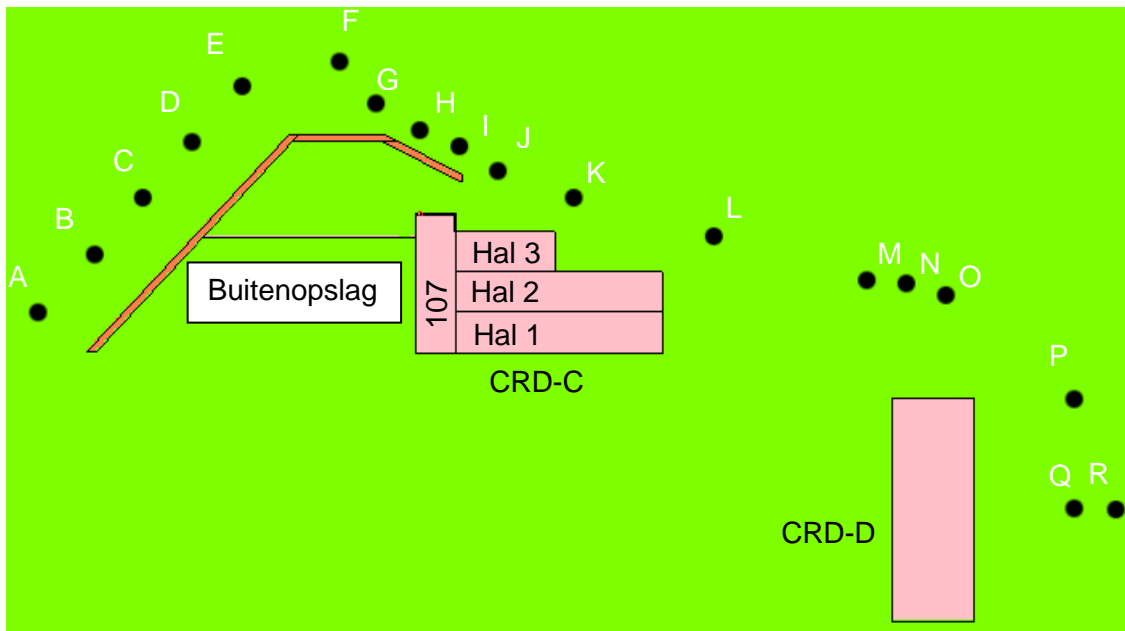
notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 7 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**



Figuur 2 Schets van de opslagen nabij de periferie, met de locaties waarop de dosis is berekend.

In bovenstaande figuur zijn de diverse opslaglocaties aangegeven. Aan de linkerzijde wordt de buitenopslag begrensd door de aarden wal. Aan de bovenzijde wordt de buitenopslag begrensd door een betonnen muur van 4m hoogte en 25cm dik, die als afscherming aangebracht zal worden.

Op de aangegeven punten langs de terreingrens zijn doses berekend. Dit zijn de zelfde locaties als bij de vorige aanvraag, met toevoeging van 3 nieuwe punten (P, Q en R). De berekende dosis op deze laatste punten wordt gebruikt om de dosis voor mensen ten gevolge van het CRD-D te bepalen.

Resultaten

Voor de locaties langs het weiland en de punten nabij de buitenopslag veranderd er nagenoeg niets, aangezien de wijziging (het bouwen en vullen van het CRD-D) op grote afstand plaatsvindt en geen invloed heeft op de situatie nabij de buitenopslag. De maximale dosis voor het weiland (ID) blijft gelijk (3,0 mSv). Ook de maximale dosis voor ET NL blijft gelijk (1,9mSv). Het CRD-D heeft wel enige invloed op een gedeelte van het terrein van ET NL, zie Figuur 3. De invloed van de wijziging beperkt zich tot de punten M,N en O, alwaar de dosis aanmerkelijk lager is dan in de vorige aanvraag. De kleine buitenopslag die in voorgaande situatie nog aanwezig was, wordt niet meer voor opslag van UF_6 gebruikt, waardoor de dosis aanmerkelijk is afgenomen. De maximale dosis blijft gelijk, alsmede de locatie waarop deze maximale dosis berekend is, locatie "H".

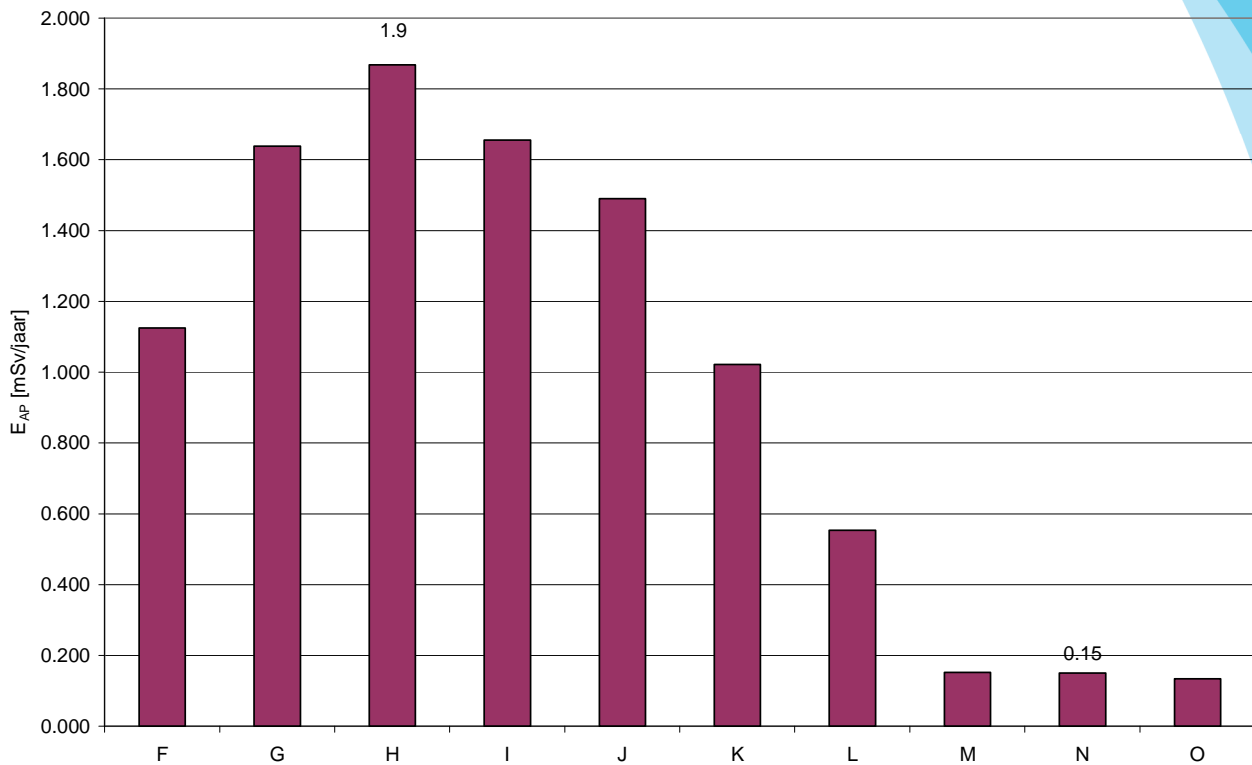
notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 8 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**



Figuur 3 Effectieve dosis in de AP geometrie, die kan opgelopen worden op de aangegeven punten langs de terreingrens richting ET NL bij een aanwezigheid van 365 dagen van 24 uur.

In Figuur 4 zijn de berekende doses voor punten op de terreingrens richting nabij het CRD-D. De dosis (ID) hier blijft beperkt tot onder de 0,15 mSv per jaar. In onderstaande tabel is uit de berekende waarde voor de Individuele Dosis, door middel van de in Tabel 1 aangegeven omrekeningsfactoren.

Locatie	Maximale ID [mSv/jaar]	Totale omrekeningsfactor	Maximale AID [μ Sv/jaar]	Limiet [μ Sv/jaar]
ETNL	1,9	0,05	95	100
Drienemansweg	0,14	0,01	1,4	40
Niendure	0,09	0,25	23	40
Weiland	3,0	0,01	30	40

Bovenstaande resultaten laten zien dat bij deze wijze van opslag van feed- en tailsmateriaal de AID op de terreingrens onder de limieten blijft. Zelfs als de dosis bij de Drienemansweg als schatting wordt gebruikt voor de dosis bij Niendure, blijft de AID ($0,14 \cdot 0,25 = 0,35$) nog onder de limiet.

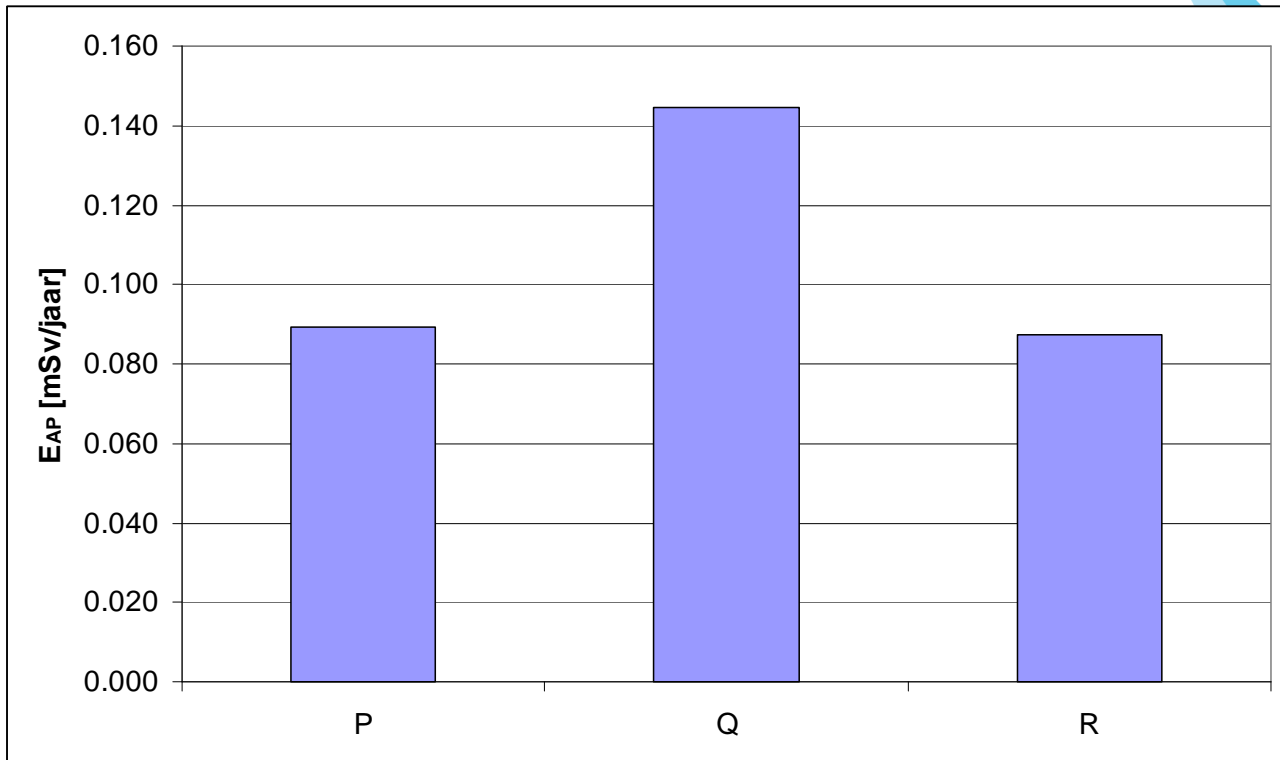
notitie

documentnr. : COM/10/2418

datum: 15 december 2010

pagina: 9 van 9

onderwerp : **Stralingsdosis buiten de inrichting bij een wijziging naar 6.200 tSW/jaar**



Figuur 4 Effectieve dosis in de AP geometrie, die kan opgelopen worden op de aangegeven punten langs de terreingrens aan de zijde van de Drienemansweg bij een aanwezigheid van 365 dagen van 24 uur.

Referenties

- [1] "Aanvraag tot wijziging van de Kernenergiewetvergunning van URENCO NEDERLAND B.V. te Almelo", H. Braam, COM/10/2459, 1 december 2010
- [2] Denise B. Pelowitz, ed., "MCNPX User's Manual, Version 2.5.0", April 2005.
- [3] "Bijlage bij Ministeriële Regeling Analyse Gevolgen Van Ioniserende Straling", april 2003.
- [4] Bos, A.J.J. e.a., "Inleiding tot de Stralingshygiëne", 2000.
- [5] "The UF₆ manual: Good Handling Practices for Uranium Hexafluoride", USEC-651, rev. 9, juli 2006.
- [6] F. Keijzer, "Gamma-radiation model, part 1-4", 1994-1996.
- [7] D.C. Kocher. "Radioactive decay data tables", DOE/TIC-11026, Technical Information Center U.S. Department of Energy (1981).
- [8] C.M. Lederer e.a. ed., "Table of isotopes", 7th edition, John Wiley & Sons, 1978.
- [9] F. Keijzer, "Neutron Yields and Surface Dose Rates for UF₆ Containers", 1996.
- [10] E. F. Shores, "SOURCES 4C: A Code for Calculating (a,n), Spontaneous Fission, and Delayed Neutron Sources and Spectra," LA-UR-02-1839, April 2002.
- [11] H.W.F. Tuentjer, "Stralingshygiënisch jaarverslag 2007", COM/08/0875, 28 maart 2008.