

■ Memo

datum: 22 april 2017

auteur(s): [REDACTED]

kenmerk: Vergunningsaanvraag: Activering en ontmanteling

1 Opmerking ANVS - Activering

Activering

In bunker en toestelonderdelen kunnen door activering radioactieve stoffen ontstaan. Behalve beton wordt er bij de afscherming ook gebruik gemaakt van betonijzer. Afhankelijk van positionering van de bunker kan de bodem ook geactiveerd raken, evenals de daktuin.

Nadere gegevens over activering van beton, betonijzer, bodem etc. ontbreken in de conceptaanvraag. Zo is bijvoorbeeld wel een document bijgevoegd waarin op basis van een aantal algemene aannames een schatting wordt gedaan voor de activering van beton, maar is onduidelijk of de resultaten ook van toepassing zijn voor ZON-PTC. Activering van de bodem en eventueel de daktuin komt in de conceptaanvraag niet aan bod.

Ik verzoek u deze gegevens (samenstelling beton, gebruik betonijzer, etc) en bijbehorende activeringsberekeningen met een analyse van de resultaten en eventuele maatregelen toe te voegen aan de definitieve aanvraag.

Tot slot geeft u aan dat geactiveerde onderdelen lokaal tijdelijk kunnen worden opgeslagen tot onder de vrijgavegrens. Deze bewering is niet onderbouwd en twijfelachtig. Ik verzoek u dit nader te onderbouwen.

2 Antwoord

In Lausanne is een faciliteit die dezelfde Mevion apparatuur gebruikt als Maastricht. Het cyclotron en de gantry zijn identiek, daarbij heeft het toestel identieke binnenafmetingen. De afdeling stralingsfysica van Lausanne heeft Monte Carlo simulaties uitgevoerd¹ voor de berekening van de activering van de bouwmaterialen. Gezien de overeenkomsten in apparatuur, zijn deze berekeningen ook representatief voor de Maastrichtse situatie.

In Lausanne heeft met voor de berekening van de activering van de wanden simulaties uitgevoerd met dunne platen van 1x1 m² oppervlakte; daarbij zijn diverse materialen ingebracht in de betonwanden op verschillende diepten. De bij de simulaties gebruikte materialen zijn onder meer beton (*NIST samenstelling*, 2.35 g/cm³, en ijzer (100% Fe, 7.87 g/cm³).

¹ Simulations Monte Carlo des futurs bunkers proton du CHUV, als bijlage toegevoegd

De FLUKA (een volledige geïntegreerd particle physics Monte Carlo simulatie pakket) simulaties zijn hoofdzakelijk gebruikt om de productie van radioactieve isotopen, geïnduceerd door bestraling met protonen en neutronen, te berekenen in de platen van verschillend materiaal.

Voor alle activeringsberekeningen is er rekening gehouden met de volgende vier bestraling niveaus:

1. 2 Gy gedurende één minuut
2. 200 Gy gedurende 8 uur
3. 1000 Gy voor een week (5 dagen)
4. 1000 Gy per week gedurende twee jaar.

Voor de berekening van de geactiveerde materialen in de wanden is er steeds aangenomen dat de bundel continu en rechtstreeks op de wand gericht is (zeer conservatieve schatting).

Activatie van het beton in de wanden en plafond

In Lausanne is berekend welke activering er plaats vindt in beton op een diepte van 10 cm in het plafond na bestraling van 200 Gy verdeeld over 8 uur met de bundel direct gericht naar het plafond. De totale activiteitsconcentratie en de activiteitsconcentratie van de meest actieve isotopen worden gepresenteerd als functie van de tijd. (figuur 52, 1)

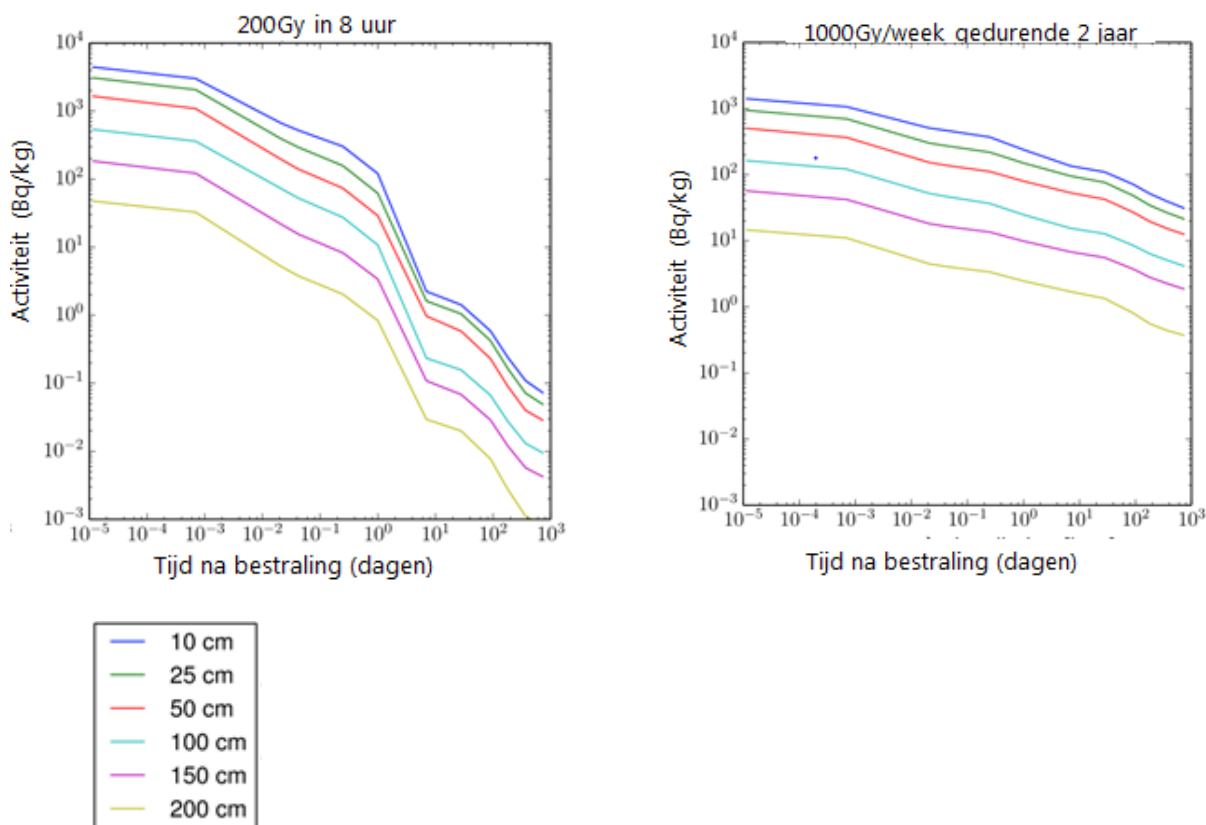
Tabel 1 toont daarvan een samenvatting.

Tabel 1: activering van beton op een diepte van 10 cm na bestraling met 200 Gy over 8 uur, met een op het plafond gerichte bundel.

Nuclide	Concentratie 1 uur na bestraling [Bq/kg]	Concentratie 1000 uur na bestraling (42 dagen) [Bq/kg]	Vrijstellingsgrenzen Bbs [Bq/kg]
O-15	0	0	
Al-28	0	0	
C-11	80	0	
Si-27	0	0	
N-16	0	0	
Na-24	70	0.1	1.000
Mg-27	0.8	0	
Si-31	40	0	1.000.000
F-18	10	0	10.000
N-13	0.8	0	
K-42	7	0	
H-4	5	0	100.000
Ar-37	0.2	0.07	
Be-7	0.06	0.04	10.000
K-43	0.1	0	10.000
P-32	0.02	0.002	1.000.000
Ca-45	0.01	0.01	100.000
Na-22	0.006	0.006	100
H3	0.006	0.006	100.000
Gesommeerde concentratie	200	0.1	

Figuur 1 toont vervolgens de gesommeerde activiteitsconcentratie op verschillende dieptes in het beton, als functie van de tijd, onder dezelfde condities, maar ook na bestraling met 1000 Gy per week gedurende twee jaar (komt overeen met Figuur 53, 1).

Figuur 1: gesommeerde activiteitsconcentratie op verschillende dieptes in beton onder bestralingscondities waarbij de bundel gericht is op het plafond, als functie van de tijd in dagen.

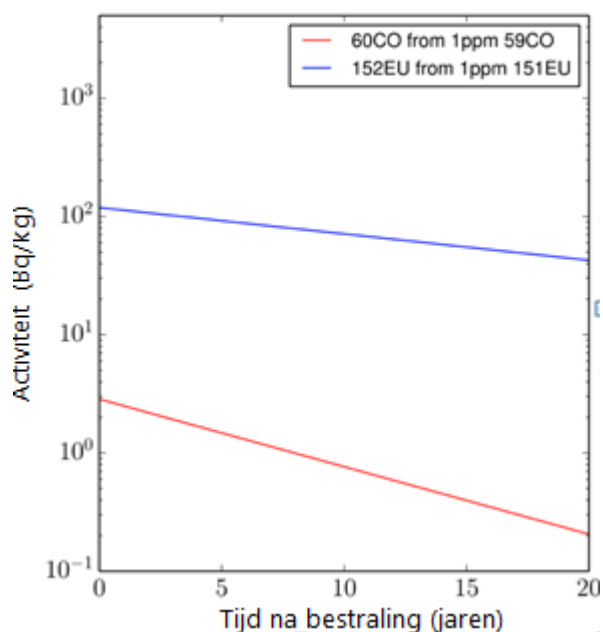


Uit de (rechter) grafiek is af te lezen, dat de gesommeerde activiteitsconcentratie twee jaar na bestraling, voor 10 cm diepte en alle dieper gelegen lagen, lager is 100 dan Bq/kg

Voor de activering van het beton is de accumulatie van isotopen met een lange levensduur bepalend voor gesommeerde activiteitsconcentratie. Belangrijke bijdragen daarvan komen van de elementen Cobalt (Co) en Europium (Eu), verontreinigingen in ijzer en beton. Na activering door thermische neutronen ontstaan de isotopen Co-60 en Eu-152.

In de Monte Carlo simulaties was het niet mogelijk om tekening te houden met de aanwezigheid van Co en Eu. Om de concentraties van deze isotopen te berekenen zijn er neutronensimulaties en dwarsdoorsnedes van neutronenvangst gemaakt. Het resultaat van deze berekeningen is opgenomen in Figuur 2 (overeenkomend met Figuur 55, 1).

Figuur 2: Activiteitsconcentratie van Co-60 en Eu-152 in beton als functie van de tijd na bestraling, uitgaande van een verontreiniging tot 1 ppm van Co-59 en Eu-151 in het beton.



Voor Co-60 is uit deze grafiek af te lezen, dat twee jaar na bestraling de activiteitsconcentratie ongeveer 100 Bq/kg bedraagt (vrijstellingsgrens Bbs). De concentratie aan Eu-152 is beduidend lager.

Activatie van betonijzer en staal in de wanden

Voor het bepalen van de activatie van ijzer, is er een berekening uitgevoerd waarbij het uitgangspunt was, dat er een ijzeren plaat van 1,8 cm dik en 1x1 m² oppervlakte, op 3 cm diepte in het plafond werd geplaatst. In deze berekeningen wordt een bestraling beschouwd met de bundel direct gericht op het plafond met verschillende perioden van continue bestraling.

Onderstaande tabel toont een overzicht van de geproduceerde nuclide en hun activiteitsconcentratie in ijzer, na bestraling met 200 Gy gedurende 8 uur (resultaten afgeleid uit *Figuur 57, 1*).

Tabel 2: activering van ijzer op een diepte van 3 cm na bestraling met 200 Gy over 8 uur, met een op het plafond gerichte bundel.

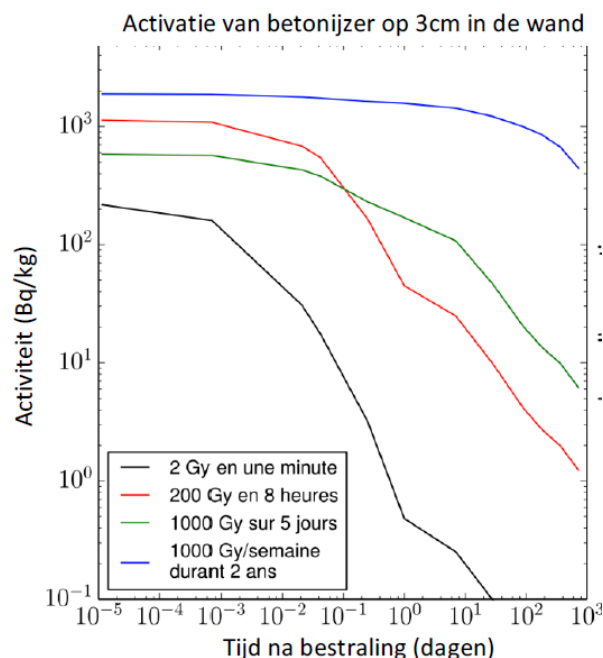
Nuclide	Concentratie 1 dag na bestraling [Bq/kg]	Concentratie 700 dagen na bestraling (2 jaar) [Bq/kg]	Vrijstellingsgrenzen Bbs [Bq/kg]
Mn-56	0.6	0	10.000
Fe-53	0	0	
Mn-51	0.1	0	10.000
Cr-49	0.01	0	
Sc-44	0.8	0	
Tl-45	0.2	0.0005	
Mn-52	30	0	1.000
Cr-51	10	0	100.000

V-48	8	0	1.000
Fe-52	4	0	10.000
Mn-54	3	0.5	100
Fe-55	2	1	1.000.000
V-49	0.3	0.1	
Fe-59	0.2	0	1.000
Sc-46	0.2	0.008	
H-3	0.03	0.03	100.000
Gesommeerde concentratie	60	2	

Ook voor de activering van het ijzer, gebruikt in het beton, zijn de nucliden met de lange levensduur bepalend voor de activiteitsconcentraties. De belangrijkste bijdragen komen van de nucliden Fe-55 en Mn-54 (zie *Tabel 2*).

Tabel 2 geeft inzicht in de activatie van ijzer (in beton) na een bestraling met 200 Gy over 8 uur. Om een beeld te krijgen van de activatie na langdurig gebruik is in *Figuur 3* (*Figuur 56, 1*) een overzicht weergegeven van de activatie van het betonijzer, voor verschillende bestralingscondities, waaronder bestraling gedurende twee jaar met 1000 Gy/week.

Figuur 3: gesommeerde activiteitsconcentraties in betonijzer na verschillende bestralingsregimes, als functie van de tijd.



De figuur toont een gesommeerde activiteitsconcentratie van ca. 700 Bq/kg, twee jaar na bestraling gedurende 2 jaar waarin 1000 Gy/week is afgegeven.

Deze waarde komt boven de vrijgavegrens van Mn-54 (100 Bg/kg, Bbs). Echter, hierbij moet worden vermeld dat de aannames op basis waarvan deze en alle andere grafieken tot stand zijn gekomen, zeer conservatief zijn. Zo is er een forse overschatting van de workload gemaakt (zie ook bijlage 12.10 van de vergunningaanvraag, ten minste een overschatting van een factor 2-8) en is verondersteld dat de bundel in één vaste positie is ingesteld. In realiteit draait het cyclotron en kan hiervoor ten minste een correctiefactor van 3 voor worden verondersteld. Dit in ogenschouw nemende, wordt verwacht dat de reële waarden beneden de vrijgavegrenzen zullen vallen.

Conclusie

De activatie van het beton is uiterst gering. De activatie van de wapening (betonijzer) geeft meer substantiële activiteitsconcentraties, die echter zijn berekend op basis van uiterst conservatieve aannames (dosis, 100% de bundel gericht op dezelfde locatie, grotere volumes wapening dan realiteit op een ondiepere locatie dan de realiteit). Het vertrouwen is dan ook ,dat de activiteitsconcentraties in realiteit beneden de in het Bbs gestelde vrijgavegrenzen zullen vallen.

3 Opmerking ANVS – Ontmanteling

Ontmanteling

In bijlage 12.11 is informatie over de ontmanteling van de bunker en een schatting van de kosten opgenomen. Echter is de schatting gebaseerd op een Amerikaans rapport en is onduidelijk of de aannames hierin ook toepasbaar zijn op de situatie bij ZON-PTC. Ik verzoek u dit nader toe te lichten.

Het is mij onduidelijk of de best beschikbare technieken worden toegepast om de kosten van ontmanteling en de hoeveelheid radioactief afval die daarbij ontstaat, te beperken. Daarbij denk ik onder andere aan het gelaagd of modulair uitvoeren van bunkermuren en het lokaal weglaten van bewapeningsstaal. Ik verzoek u om mij hierover meer informatie te verschaffen.

U geeft aan dat de bunker wordt afgeschreven over een periode van 30 jaar en na ontmanteling van het cyclotron functioneel blijft. Hoewel het aan de ondernemer is om een bedrijfseconomisch verantwoorde inschatting te maken van kosten, verzoek ik u toch om in de kostenbeschouwingen aandacht te besteden aan de gevolgen van een eventuele vroegtijdige ontmanteling van de bunker.

4 Antwoord

De activeringsberekening van het beton en het betonijzer laten zien dat alle geïnduceerde nucliden onder de (nieuwe) vrijstellingsgrenzen vallen en er geen bijzondere maatregelen noodzakelijk zijn in de bouw van de bunker, zoals gelaagd of modulair uitvoeren van de bunkermuren, dit in tegenstelling tot protonencentra die een cyclotron installeren die voor meerdere behandelruimtes gebruikt wordt. De cyclotron in een Mevion apparaat kan slechts gebruikt worden in een enkele behandelruimte, waardoor de hoeveelheid geproduceerde en versnelde protonen een factor 2-3 lager is dan grotere protonencentra. Er is ook geen speciale aparte ruimte waar de cyclotron geïnstalleerd wordt, de cyclotron is verbonden met geïntegreerd in de gantry van de behandelruimte en beweegt mee. Recent hebben wij op dezelfde locatie, om plaats te maken voor het protonencentrum, anderhalve bestaande fotonenbunker ontmanteld. Hierdoor hebben we een goed beeld op de ontmantelingskosten van de bunker en blijkt het bedrag dat opgenomen is voor de ontmanteling in het financiële businessplan (500k€, excl BTW) voldoende.