

Onderzoek naar de radiologische impact van het installeren van een rookgaszuiveringsinstallatie op de Electrabel site te Langerlo.

**Studie uitgevoerd in opdracht van
Electrabel, Klassieke Productie,
Exploitatiezone Kempen-Maas**

J. Paridaens, H. Vanmarcke

SCK•CEN,

Departement stralingsbescherming

BLG 846

Mol, Mei 2000

**Onderzoek naar de
radiologische impact van het
installeren van een
rookgaszuiveringsinstallatie
op de Electrabel site te
Langerlo.**

**Studie uitgevoerd in opdracht van
Electrabel, Klassieke Productie,
Exploitatiezone Kempen-Maas**

J. Paridaens, H. Vanmarcke

SCK•CEN,

Departement stralingsbescherming

BLG 846

Mol, Mei 2000

**ONDERZOEK NAAR DE RADIOLOGISCHE IMPACT VAN HET INSTALLEREN VAN EEN
ROOKGASZUIVERINGSINSTALLATIE OP DE ELECTRABEL SITE TE LANGERLO.**

1.	INLEIDING.....	1
2.	KORTE BESCHRIJVING VAN DE BETREFFENDE INSTALLATIES, TOESLAG- EN AFVALSTOFFEN.	1
	A. <i>Steenkool</i>	1
	B. <i>Vliegas en korrelas uit onbrandbare steenkoolfractie</i>	1
	C. <i>Gips uit ontzwaveling van rookgassen</i>	2
	D. <i>Ontstikkingsinstallatie</i>	2
3.	STAALNAMEPROGRAMMA, APPARATUUR EN WERKWIJZE	3
	A. <i>Staalname : enkel gamma spectrometrie</i>	3
	B. <i>Staalname : gamma spectroscopie en radon exhalatiemetingen</i>	4
	C. <i>Staalname : gamma spectroscopie, radon en thoron exhalatiemetingen</i>	5
	D. <i>Staalname : bemonstering vliegas in de schouw</i>	5
	E. <i>Radonmetingen : plaatsing detectoren</i>	5
	F. <i>Gamma dosistempometingen op de site</i>	6
4.	MEETRESULTATEN	6
	A. <i>Gammaspectroscopie</i>	6
	B. <i>Radon exhalatiemetingen</i>	7
	C. <i>Thoron exhalatie metingen</i>	8
	D. <i>Vliegas in de schouw</i>	9
	E. <i>Radonmetingen</i>	9
	F. <i>Gamma dosistempometingen op de site</i>	12
5.	EVALUATIE VAN DE STRALINGSBELASTING	12
	A. <i>Werknemers : uitwendige stralingsbelasting</i>	12
	B. <i>Werknemers : inwendige stralingsbelasting</i>	12
	C. <i>Bevolking : inwendige en uitwendige stralingsbelasting als gevolg van het aanwenden beton waarin vliegas werd verwerkt</i>	12
	D. <i>Bevolking : inwendige stralingsbelasting als gevolg van het aanwenden van gipskartonplaten</i>	13
6.	BESLUIT	14
7.	REFERENTIES.....	14
	APPENDIX 1. NATUURLIJKE VERVALREEKSEN	15
	APPENDIX 2. BEKNOPT VERKLARENDE WOORDENLIJST.....	17

Onderzoek naar de radiologische impact van het installeren van een rookgaszuiveringsinstallatie op de Electrabel site te Langerlo.

1. Inleiding

De kolencentrale van Electrabel, site Langerlo, bestaat uit twee verbrandingsgroepen, waarin fijne poederkool verstoekt wordt. Elk van deze groepen kan 250 MW elektrisch vermogen leveren. Begin 1999 werd er een rookgasontzwavelings- en ontstikkingsinstallatie (DESOX en DENOX) gedeeltelijk in gebruik genomen evenals een installatie voor het opvangen van vlieggas uit de rookgassen. Bij het verlenen van de vergunning werd gesteld dat binnen de 6 maanden na de definitieve ingebruikname een studie moest worden uitgevoerd naar de mogelijke toxicologische en radiologische aspecten van het project. Door problemen met de katalysatoren in de DENOX installatie, kon deze eind 1999 nog niet ten volle in bedrijf worden genomen. Daardoor werd de evaluatie van de toxicologische impact en de evaluatie van de bevolkingsdosissen door de uitstoot van vliegassen tijdens de steenkoolverbranding sterk bemoeilijkt, en er werd dan ook besloten deze aspecten van de studie uit te stellen tot wanneer de problemen met de DENOX installatie zijn opgelost. Anderzijds werd ook besloten om het gedeelte dat niet afhangt van de DENOX installatie wel uit te voeren. Het betreft :

1. Analyse van de gebruikte steenkool en van de diverse afval- en toeslagstoffen
2. Evaluatie van de nieuwe installatie op de stralingsbelasting van de werknemers
3. Evaluatie van de bevolkingsdosissen door het gebruik van vlieggas en rookgasontzwavelingsgips in de woningbouw.

Met dit gedeelte van de studie werd dan ook in oktober 1999 begonnen, door het studiecentrum voor kernenergie, SCK•CEN, na het opstarten van de volledige DESOX installatie.

2. Korte beschrijving van de betreffende installaties, toeslag- en afvalstoffen.

A. Steenkool

De steenkool bevat een fractie onbrandbaar materiaal van ongeveer 15 %. In deze onbrandbare fractie bevinden zich een aantal radioactieve isotopen van natuurlijke oorsprong. Het betreft hier ^{40}K en vervalproducten uit de ^{238}U (^{226}Ra) en ^{232}Th (^{228}Ra) reeks, die in variërende concentraties in zowat alle grondstoffen aanwezig zijn. Deze isotopen zullen in verschillende mate geconcentreerd worden in de restproducten. Ze kunnen aanleiding geven tot een verhoging van de gammastraling. Voor de radium isotopen uit de uranium- en de thoriumreeks, vermelden we bovendien hier het verval naar ^{222}Rn (radon) en ^{220}Rn (thoron) respectievelijk, beiden radioactieve edelgassen die kunnen ontsnappen en in de omgeving terecht komen. Inademing van de kortlevende dochters van deze edelgassen, kan aanleiding tot bestraling met alfadeeltjes van longen en luchtwegen. In Appendix.1 vindt men de ^{238}U en de ^{232}Th vervalreeksen.

B. Vliegas en korrelas uit onbrandbare steenkoolfractie

Van de ongeveer 15 % onbrandbaar materiaal in de steenkool, gaat ruwweg 90 % als vliegas mee met de rookgassen. Die vliegas wordt met behulp van elektrofilters opgevangen, met een efficiëntie van omstreeks 99.5 %. De overige 10 % van het onbrandbare materiaal uit de steenkool is korrelas die onderaan in de verbrandingsketels terecht komt en dan via de asladen en een transportband afgevoerd wordt. De onbrandbare fractie uit de oorspronkelijke steenkool, inclusief de radioactieve isotopen, wordt dus ruwweg vijf à tien keer geconcentreerd, in de vliegas en in de korrelas, ten opzichte van de oorspronkelijke concentratie in de grondstoffen. De vliegas wordt gebruikt in de cementindustrie, waar momenteel tot maximaal 18 % vliegas als toeslagstof wordt gebruikt. De korrelas wordt verwerkt in andere bouwmaterialen, zogenaamde 'asseblokken'. Deze bouwmaterialen kunnen dus eventueel aanleiding geven tot een verhoging van de gamma straling, vergeleken met natuurlijke bouwmaterialen. Verhoogde exhalatie van radongas behoort eveneens tot de mogelijkheden, hetgeen de radonconcentratie in het woonmilieu kan verhogen.

C. Gips uit ontzwaveling van rookgassen

De rookgassen worden ontzwaveld via een zogenaamde natte wassing met kalk. Hierbij worden de rookgassen door een wastoren geleid, waar ze instromen tegen een mengsel van water met kalksteen (CaCO_3). Het SO_2 uit de rookgassen reageert met de kalk tot primair gips, meer bepaald calciumsulfaat, bihydraat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Dit primair gips wordt geleverd aan Gyproc, Benelux, waar het een aantal thermische bewerkingen en herkristallisaties ondergaat, tot het uiteindelijke eindproduct ontstaat. Dit is secundair gips, met dezelfde chemische samenstelling als het primair gips, maar met een andere kristalstructuur die het gieten tot platen mogelijk maakt. Het gips wordt zodoende verwerkt tot gipskartonplaten, die als bouw materiaal worden gebruikt. Dit gips kan eventueel een kleine hoeveelheid radioactieve isotopen bevatten, afkomstig uit de steenkool of uit de kalksteen, zonder dat hier evenwel een noemenswaardige toename van de concentratie te verwachten is ten opzichte van de grondstoffen. Dit kan dan weer aanleiding geven tot verhoogde radon- of thoronexhalaties, met nadelige gevolgen op de radon of thoron concentratie in het woonmilieu.

D. Ontstikkingsinstallatie

In de NO_x rijke rookgassen wordt een mengsel van ammoniak, water en lucht geïnjecteerd. Dit alles wordt dan over een katalysator geleid, en wordt er omgezet tot zuiver stikstofgas (N_2) en water (H_2O), zodat hierbij dus geen andere producten voor eventuele recyclage vrijkomen.

De normale sequentie van zuivering van de rookgassen is eerst ontstikking, dan verwijdering van de vliegas, en tenslotte ontzwaveling. Alle gezuiverde rookgassen van beide groepen zullen via één enkele schoorsteen geloosd worden, bij volledig functioneren van de installatie. Een zeer eenvoudig schema van de rookgaszuivering vindt men in Fig. 1.

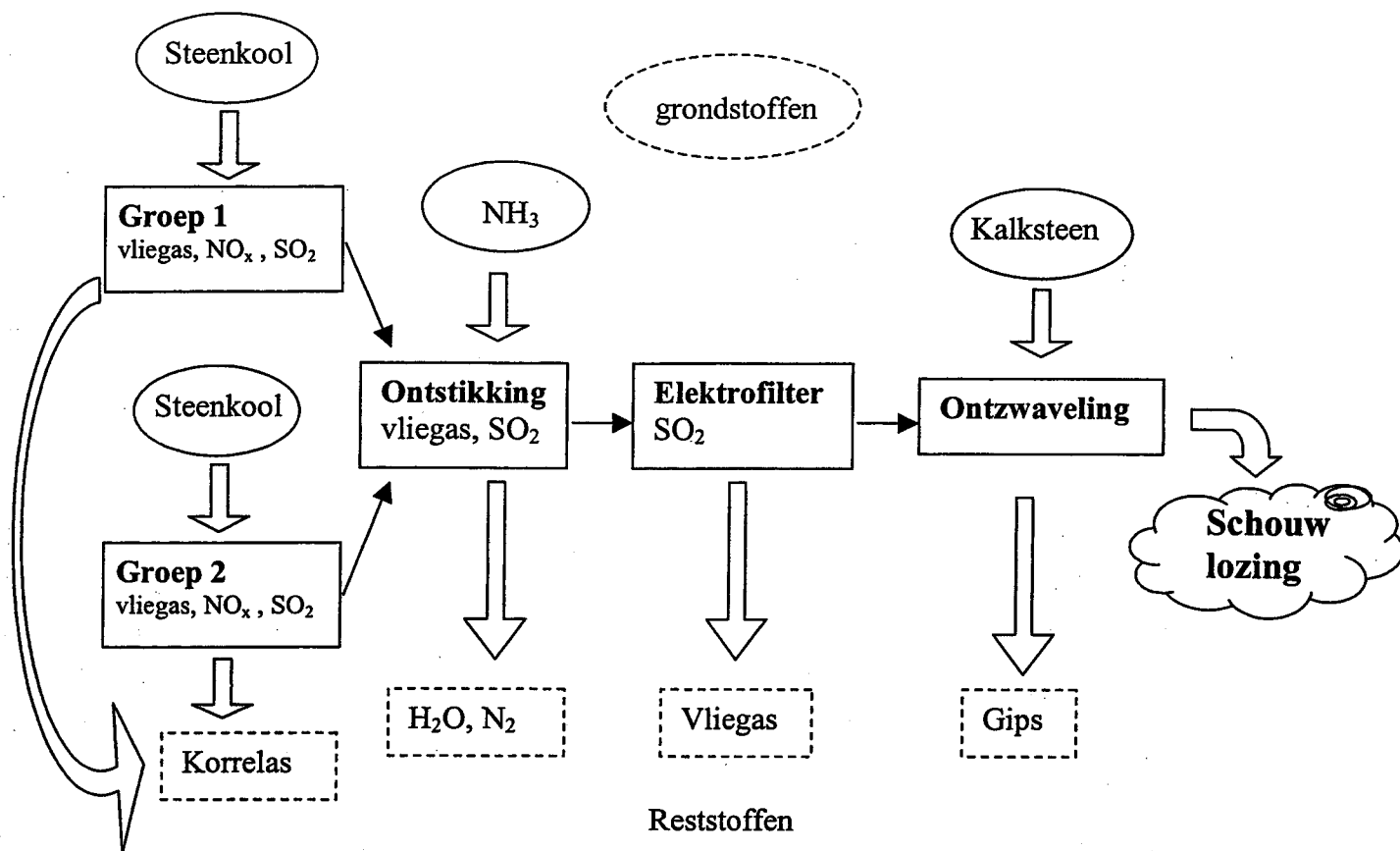


Fig. 1 : Vereenvoudigd schema van de rookgaswassing

3. Staalnameprogramma, apparatuur en werkwijze

De staalnamecampagne, alle metingen op het terrein en de plaatsing van de radon detectoren werden uitgevoerd op 6 oktober 1999.

A. Staalname : enkel gamma spectrometrie

Steenkool : Er werden stalen genomen van de steenkoolsoorten van verschillende herkomst die op dat ogenblik op het terrein van de kolenhaven aanwezig waren :

Fijnkool,	Zuid-Afrika	2 stalen	L1, L2
Grofkool,	China	2 stalen	L3, L4
Grofkool,	Australië	2 stalen	L5, L6
Grofkool,	Zuid-Afrika	2 stalen	L7, L8
Grofkool,	U.S.A.	2 stalen	L9, L10

Deze stalen werden ter plaatse in de kolenhaven opgescheept. Op het ogenblik van de staalname werd vooral Zuid-Afrikaanse grofkool (75 %) en Chinese grofkool (25 %) gestookt. Tot de dag vóór de staalname werd Zuid-Afrikaanse fijnkool gestookt.

Korrelas : Er werd één staal korrelas genomen voor elk van beide groepen. Deze stalen

werden genomen rechtstreeks vanop elk van de beide transportbanden die de korrelas naar de respectievelijke opslagsilo's voeren.

Korrelas, groep 1, L11
Korrelas, groep 2, L18

Kalksteen : Er werden 2 stalen kalksteen genomen, voor twee verschillende leveringsdata. Gezien de zeer moeilijke toegankelijkheid van de silo waarin de kalksteen wordt opgeslagen, werden deze stalen bekomen uit het testlabo van het bedrijf, waar voor elke levering kalksteen een kleine hoeveelheid wordt bewaard voor analyse.

Kalksteen, levering 14/9/1999, L12
Kalksteen, levering 1/10/1999, L13

Al deze stalen werden enkel geanalyseerd met behulp van hoge resolutie gamma spectroscopie, op een germaniumdetector, waarbij de aanwezigheid van ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th , en ^{40}K werd onderzocht. Hiertoe werden de stalen gewogen, en geprepareerd in een standaard 250 cc geometrie door toevoeging van 10 g geactiveerde kool per staal. De actieve kool belet het ontsnappen van radongas uit de stalen, zodat na een ingroeiperiode van drie weken evenwicht tussen ^{226}Ra , ^{222}Rn en de kortlevende dochters van ^{222}Rn ontstaat. Dit is nodig voor een correcte bepaling van de bijdrage van ^{226}Ra .

B. Staalname : gamma spectroscopie en radon exhalatiemetingen

Vliegas : Er werden vier stalen vliegas genomen, twee voor elke groep. Deze stalen werden genomen vlak onder de trechters waar de vliegas van de elektrofilters opgevangen wordt.

Vliegas, groep 1, L14
Vliegas, groep 1, L15
Vliegas, groep 2, L16
Vliegas, groep 2, L17

Gips : Er werden 6 stalen primair gips genomen in de gipsopslag waar het gips na de productie via een transportband gedeponerd en gestockeerd wordt. Drie stalen betroffen gips van recente productie op het ogenblik van de staalname, drie stalen waren reeds enkele weken oud.

primair gips, oud, L19
primair gips, oud, L20
primair gips, oud, L21
primair gips, recent, L22
primair gips, recent, L23
primair gips, recent, L24

Elk van deze stalen werd geanalyseerd met gammaspectroscopie op dezelfde wijze als hierboven beschreven. Bovendien werd op alle stalen vliegas en op één oud en één recent gipsstaal (L19 en L23) een radonexhalatiemeting uitgevoerd. Hiervoor wordt een hoeveelheid materiaal gewogen, en deze gekende massa wordt geplaatst in een afgesloten glazen recipiënt met een gekend volume. Dit recipiënt wordt nu gedurende 20 minuten gespeld met perslucht

uit een fles, waarvan men weet dat ze voldoende oud is zodat ze geen radongas meer kan bevatten. Zo wordt de radon background in het recipiënt nagenoeg volledig geëlimineerd. Gedurende een drietal weken wordt dan de ingroei van radon in het recipiënt opgemeten. Door het fitten van een exhalatiecurve aan de data kan dan het exhalatietempo van het staal worden bepaald. De methode wordt ondermeer beschreven in [1] op pagina 116.

C. Staalname : gamma spectroscopie, radon en thoron exhalatiemetingen

Thoron is een veel gebruikte benaming voor het ^{220}Rn isotoop. Hoewel het hier dus eigenlijk om een radon isotoop gaat wordt de benaming thoron gebruikt om aan te duiden dat het isotoop behoort tot de vervalreeks van ^{232}Th .

gipskartonplaat : Het primair gips wordt geleverd aan Gyproc Benelux, dat er secundair gips en dan gipskartonplaten mee maakt. De bedoeling was ook de thoron exhalatie van het gips te controleren. Gezien de zeer korte levensduur van thoron gas (55.6 s), hangt de thoron exhalatie sterk af van de manier waarop het gips verwerkt wordt. Daarom werd besloten aan Gyproc een hoeveelheid afgewerkte gipskartonplaten te vragen, gemaakt van gips afkomstig van Langerlo. Tegelijkertijd werd eveneens een staal van dit gips geleverd. Het gipsstaal werd geanalyseerd met gammaspectroscopie en er werd een radonexhalatie meting op uitgevoerd. Dit om de vergelijking met de gipsstalen door ons genomen te Langerlo toe te laten.

Op de gipskartonplaten werd een thoron exhalatiemeting verricht. Hiertoe werd 24 m^2 gipskartonplaat geplaatst in een exhalatievat met een gekend volume. In het vat, werden de platen zo geplaatst dat er voldoende ruimte rond elke plaat was. Bovendien werd een grote hoeveelheid aerosol in het vat gebracht, zodat de vervalproducten van thoron zich zeer snel konden hechten aan dit aerosol, vooraleer zich af te zetten op de platen of op de kamerwanden. Zestien uur na het inbrengen van het aerosol, werd de meting gestart. Deze tijd is nodig om voldoende ^{212}Pb activiteit, een thorondochter met een halfwaardetijd van 10.6 uur, te laten ingroeien. De meting gebeurt door middel van aanzuigen van lucht uit het vat over filters, die de thoronvervalproducten opvangen, en bepaling van de dochteractiviteit via alfa spectroscopie.

D. Staalname : bemonstering vliegias in de schouw

Stof in schouw : Voor de bemonstering van de vliegias in de schouw werden door de VITO (Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek) twee papieren filters beladen met stof uit de schouw. Het aangezogen volume gas en de overeenkomende hoeveelheid stof zijn gekend. Beide filters werden gezamenlijk onderzocht op ^{226}Ra inhoud, via de Lucas techniek. Hiertoe worden de filters opgelost, en met behulp van een lucas cel, wordt de ingroei van radon gas gemeten, en hieruit kan men de ^{226}Ra inhoud bepalen. De background correctie gebeurt via een identieke analyse op twee onbeladen filters.

Andere analyses zoals gamma spectroscopie zijn niet mogelijk op het stofmonster uit de schouw, wegens de te kleine hoeveelheid bekomen stof.

E. Radonmetingen : plaatsing detectoren

Op de site werden tien passieve radondetectoren geplaatst. De locatie van deze detectoren kan worden gezien op Fig. 2. Deze detectoren werden geanalyseerd na drie maanden.

F. Gamma dosistempometingen op de site

Met behulp van een draagbare scintilatiedosimeter (Automess 6150 AD6), werden over de ganse site de oppervlakte gamma dosistempo's gemeten. Gezocht werd naar eventueel verhoogde waarden ten opzichte van de natuurlijke background, en speciale aandacht werd geschonken aan de vliegas voorraden. De resultaten worden geïnterpreteerd in termen van werknemersdosissen.

4. *Meetresultaten*

A. Gammaspectroscopie

Tabel 1 : Resultaten gamma spectroscopie

Beschrijving	Staal Nr.	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th
		Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Fijnkool, Zuid-Afrika	L 1	35	25	30
Fijnkool, Zuid-Afrika	L 2	20	25	30
Grofkool, China	L 3	<25	15	20
Grofkool, China	L 4	<25	15	20
Grofkool, Australië	L 5	80	15	15
Grofkool, Australië	L 6	95	15	15
Grofkool, Zuid-Afrika	L 7	50	30	30
Grofkool, Zuid-Afrika	L 8	<30	25	25
Grofkool, U.S.A	L 9	105	20	15
Grofkool, U.S.A.	L 10	<25	5	4
Korrelas, groep 1	L 11	190	90	85
Korrelas, groep 2	L 18	190	100	100
Kalksteen, 14/9/1999	L 12	<9	2	<1
Kalksteen, 1/10/1999	L 13	6	4	<2
Vliegas, groep 1	L 14	240	160	165
Vliegas, groep 1	L 15	280	160	175
Vliegas, groep 2	L 16	265	175	195
Vliegas, groep 2	L 17	270	180	185
Primair gips, oud	L 19	<20	7	4
Primair gips, oud	L 20	<20	4	4
Primair gips, oud	L 21	10	6	4
Primair gips, recent	L 22	10	7	8
Primair gips, recent	L 23	10	9	9
Primair gips, recent	L 24	15	7	8

In tabel 1 worden de resultaten van de gammaspectroscopie op verschillende stalen samengevat. Waarden kleiner dan 10 Bq/kg werden afgerond tot een precisie van 1 Bq/kg, waarden groter dan 10 Bq/kg tot een precisie van 5 Bq/kg. Waarden met vermelding kleiner dan (<) geven aan dat geen activiteit van een bepaald isotoop boven de specifieke

detectielimiet voor een bepaald staal op een bepaalde detector kon worden vastgesteld.

Als gemiddelden geeft dit :

Tabel 2 : Gemiddelde concentraties natuurlijke radioactiviteit

Beschrijving	Staal Nr.	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
		Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Steenkool	L 1-10	50	20	20
Recent gestookte steenkool	L 1-4,6,7	30	22.5	20
Korrelas	L 11,18	190	95	92.5
Vliegas	L 14-17	265	170	180
Gips	L 19-24	15	7	6

De gemiddelde typische concentraties [2] op wereldvlak voor natuurlijke radioactiviteit in steenkool bedragen tussen de 10 en 25 Bq/kg voor zowel de ^{238}U (^{226}Ra) als de ^{232}Th serie. In vliegas en korrelas is dit gemiddeld 200 Bq/kg voor beide series. Wat betreft ^{40}K [2] kunnen we stellen dat de gemiddelde concentratie op wereldvlak in de bodem varieert tussen 140 en 850 Bq/kg. Voor natuurlijk gips [3] vinden we in Europa waarden die schommelen tussen 5 en 15 Bq/kg voor ^{226}Ra , tussen 2 en 8 Bq/kg voor ^{232}Th en tussen 10 en 100 Bq/kg voor ^{40}K . We zien dus dat de concentraties natuurlijke radioactiviteit in de steenkool perfect binnen de wereldgemiddelden vallen. In de korrelas treedt een concentratietoename met een factor 4 à 5 op, in vliegas is dit een factor 7 à 9. Dit viel te verwachten vermits ruwweg een zevende (15 %) van de steenkool onbrandbaar is en de radioactieve isotopen zich in deze fractie concentreren. Merken we nog op dat de concentratie aan ^{226}Ra en ^{232}Th in de korrelas ongeveer de helft van het wereldgemiddelde is en in de vliegas ongeveer gelijk is aan het wereldgemiddelde. Voor het geproduceerde rookgasontzwevelingsgips, kunnen we stellen dat de concentraties aan radioisotopen vergelijkbaar zijn met deze die men vindt in natuurlijk gips in Europa. Ter vergelijking merken we op dat in fosforgips de typische ^{226}Ra concentratie enkele honderden Bq/kg bedraagt.

B. Radon exhalatiemetingen

In tabel 3 vindt men de resultaten van de radon exhalatie metingen op de vliegas en de gips stalen.

Het radon exhalatie tempo geeft de radonactiviteit aan die per seconde en per kg uit het materiaal ontsnapt. De geëmaneerde fractie is de verhouding van het werkelijk radon exhalatie tempo tot het theoretisch mogelijke radon exhalatie tempo. Dit laatste wordt berekend met de gekende ^{226}Ra activiteit van het materiaal en veronderstellend dat 100 % van het hieruit gevormde radon gas uit het materiaal zou kunnen exhaleren. In de praktijk kan slechts een kleine fractie radon gas echt het materiaal verlaten. Hoeveel die fractie precies is hangt af ondermeer af van de porositeit van het materiaal. Zo ziet men dat de geëmaneerde fractie bij vliegas ongeveer 10 keer kleiner is dan die bij gips. Dit is te wijten aan het feit dat vliegas min of meer verglaasd is en dus een veel geslotener structuur vertoont dan gips.

Tabel 3 : radon exhalatie metingen

Beschrijving	Staal Nr.	Radon exhalatie tempo Bq / (s.kg)	geëmaneerde fractie (%)
Vliegas, groep 1	L 14	$2.7 \cdot 10^{-6}$	0.80
Vliegas, groep 1	L 15	$2.4 \cdot 10^{-6}$	0.73
Vliegas, groep 2	L 16	$3.6 \cdot 10^{-6}$	1.0
Vliegas, groep 2	L 17	$3.3 \cdot 10^{-6}$	0.89
Primair gips, oud	L 19	$1.7 \cdot 10^{-6}$	11.6
Primair gips, recent	L 23	$2.4 \cdot 10^{-6}$	13.4

Voor gips geldt als normale grootteorde van radon exhalatie tempo [4] een waarde van $2 \cdot 10^{-6}$ à $3 \cdot 10^{-6}$ Bq.kg⁻¹s⁻¹.

C. Thoron exhalatie metingen

De thoron exhalatie metingen gebeurden op 24 m² gipskartonplaat geplaatst in een vat met een volume van 4.17 m³. De platen waren zo geplaatst dat exhalatie van thoron langs beide zijden mogelijk was en bijdroeg tot de opbouw van thorondochters in het vat. Dit geeft een oppervlakte tot volume verhouding (S/V) van $(2 \times 24 \text{ m}^2) / 4.17 \text{ m}^3 = 11.5 \text{ m}^{-1}$. Bovendien was het vat hermetisch afgesloten zodat de ventilatiesnelheid (v) nagenoeg 0 h⁻¹ was. De ventilatiesnelheid wordt uitgedrukt in aantal keer dat het volledig luchtvolume verversst wordt per uur. In deze omstandigheden bouwde zich de volgende gemiddelde thorondochterconcentraties op in het vat :

$$^{212}\text{Pb} \quad : \quad 1.34 \text{ Bq/m}^3$$

$$^{212}\text{Bi} \quad : \quad 1.17 \text{ Bq/m}^3$$

$$\text{EEC} \quad : \quad 1.32 \text{ Bq/m}^3 \quad \quad \quad \text{S/V} = 11.5 \text{ m}^{-1} \quad \quad \quad \text{v} = 0 \text{ h}^{-1}$$

De EEC (equivalente evenwichtsconcentratie) is een concentratie thoron gas die in de lucht in evenwicht met haar vervalproducten dezelfde alfa energie zou vrijmaken als de werkelijk aanwezige dochterproducten.

In realistische omstandigheden zou men bijvoorbeeld een slaapkamer kunnen bekijken met afmetingen van 4 m x 3 m x 2.5 m, waarvan de wanden en het plafond met gipskartonplaten zijn bezet. We hebben :

$$S = 4 \times (4 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}) + (4 \text{ m} \times 4 \text{ m}) = 56 \text{ m}^2$$

$$V = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 30 \text{ m}^3$$

$$S/V = 1.87 \text{ m}^{-1}$$

In deze omstandigheden komt bouwt zich slechts fractie van de EEC op namelijk :

$$\text{EEC} = (1.87/11.5) \times 1.32 = \quad 0.21 \text{ Bq/m}^3 \quad \quad \quad \text{S/V} = 1.87 \text{ m}^{-1} \quad \quad \quad \text{v} = 0 \text{ h}^{-1}$$

Bovendien moeten we dan ook een realistische ventilatiesnelheid in acht nemen van bijvoorbeeld 0.7 h⁻¹. Dit zou de uiteindelijke EEC nog verder doen zakken tot 0.018 Bq/m³.

Afgerond kunnen we dus stellen dat in het voorbeeld van een typische slaapkamer, met wanden en plafond volledig bekleed met gipskartonplaten, de uiteindelijke EEC thoron van de orde van 0.02 Bq/m^3 zou zijn.

Op de gipskartonplaten werd ook een radonexhalatietest uitgevoerd in het vat van 4.17 m^3 . De radonexhalatie bleef echter beneden de detectielimiet in deze opstelling. Dit is logisch gezien in het totaal ongeveer 200 kg gips in vat werd ingebracht. Met een gemiddeld radon exhalatie tempo van $2 \cdot 10^{-6} \text{ Bq / (s.kg)}$, en *zonder ventilatie*, zou dit leiden tot de opbouw van een totale activiteit van ongeveer 190 Bq radon gas, of in dit vat dus dan 45 Bq/m^3 radon. De werkelijke ventilatiesnelheid in dit vat is echter van de orde van 0.01 h^{-1} . Dit zou leiden tot een eindconcentratie van 19 Bq/m^3 radon in het vat te wijten aan de gipskartonplaten. Dit is van de orde van de natuurlijke radon achtergrond. De kamer is te groot om effectief te spoelen met radon vrij stikstofgas, zodat deze achtergrond niet te elimineren valt. Dit maakt deze opstelling niet gevoelig genoeg om de radonexhalatie op de werkelijke gipskartonplaten te meten. De radon exhalatie van het gips zelf werd echter bepaald met de methode beschreven in punt 4.B., en bedroeg $1.8 \cdot 10^{-6} \text{ Bq / (s.kg)}$, hetgeen van dezelfde grootteorde is als voor natuurlijk gips.

De concentraties ^{40}K , ^{226}Ra en ^{232}Th in het gips bedroegen 9 Bq/kg , 5 Bq/kg en 3 Bq/kg respectievelijk. Deze concentraties zijn vergelijkbaar met de waarden gemeten in de gipsstalen die op de site van Langerlo zelf werden genomen, hoewel ze weliswaar iets lager zijn.

D. Vliegas in de schouw

Door de VITO werd over twee papieren filters een volume van 3.117 Nm^3 dr gas aangezogen, overeenkomend met 8.88 mg stof in de schouw. Radium analyse met de Lucas methode op het SCK•CEN leverde als resultaat $5.2 \text{ mBq} \pm 0.8 \text{ mBq}$ ^{226}Ra in het staal. Dat geeft dus :

^{226}Ra in vliegas schouw : $590 \pm 90 \text{ Bq/kg}$ $1.7 \pm 0.2 \text{ mBq/Nm}^3 \text{ dr}$

De ^{226}Ra concentratie in de vliegas in de schouw is ongeveer drie maal hoger dan deze in de vliegas opgevangen door de elektrofilters. Dit is normaal aangezien het ^{226}Ra meer aangerijkt wordt in de fijnere vliegas, waarvoor de elektrofilters het minst effectief zijn.

E. Radonmetingen

In tabel 4 vindt men de resultaten van de radonmetingen op het terrein en in geselecteerde gebouwen. De opgegeven fout is één standaardafwijking. De detectoren werden geplaatst van 6/10/1999 tot 12/01/2000. De situering van de detectoren is te zien in Fig. 2.

Tabel 4 : radon exhalatie metingen

Plaatsing detector	Detector Nr.	²²² Rn concentratie Bq / m ³
Binnen in gipsopslag	R1	30 ± 5
Binnen in gipsopslag	R2	20 ± 5
Buitenkant gipsopslag	R3	0 ± 5
Buiten, bij tank gedemineraliseerd water (OUGN)	R4	10 ± 5
Buiten, tussen twee oude schouwen en gasontspanningsstation	R5	0 ± 5
Buiten, aan gebouw hulpdiensten (2UBB)	R6	5 ± 5
Buiten, aan tank (OUVV) achter ontzwalingsgebouw	R7	5 ± 5
Binnen in ontzwavelingsgebouw, 1ste verdieping	R8	0 ± 5
Binnen in ontzwavelingsgebouw, 2de verdieping	R9	0 ± 5
Binnen in machinezaal, 1ste verd.	R10	0 ± 5

De gemeten radonconcentraties vallen perfect binnen de verwachte normale waarden voor radonconcentraties. Buiten liggen normale waarden omstreeks 10 Bq/m³ en binnen in woningen in Vlaanderen wordt gemiddeld ongeveer 40 Bq/m³ gemeten. De lokalen waar hier binnen gemeten werd zijn beter geventileerd dan de gemiddelde woning, wat lagere radonconcentraties tot gevolg heeft. Er werd nergens een verhoging van de radonconcentratie vastgesteld.

Dosistempi : nSv/h

Radondetectoren : **R1** ● t/m **R10** ●

R8 : 1 ste verdieping

R9 : 2 de verdieping

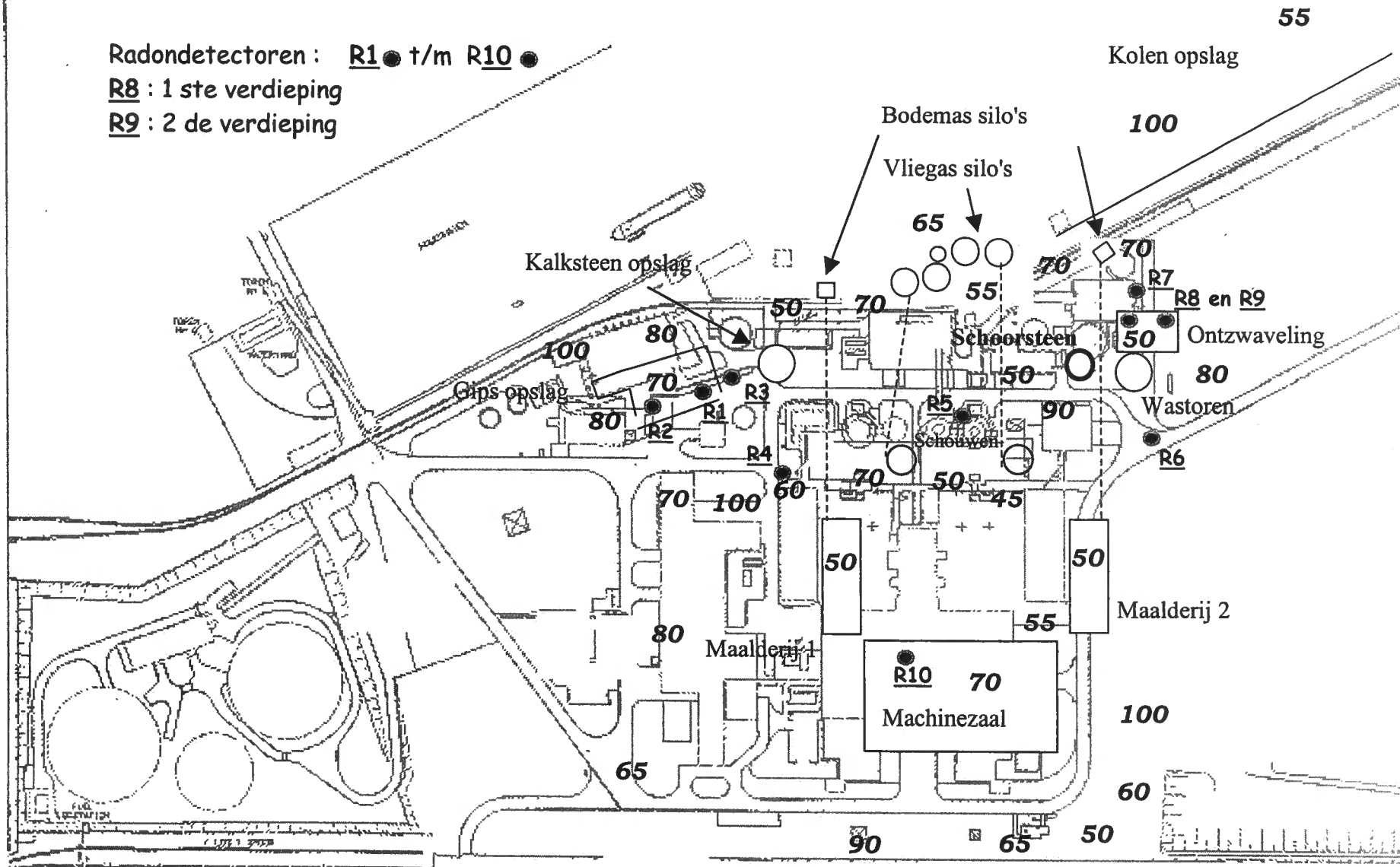


Fig.2. : Overzicht site Langerlo met gemeten dosistempo's en positie radondetectoren

F. Gamma dosistempometingen op de site

In Fig.2 zijn de gemeten oppervlakte gamma dosistempo's afgebeeld. Normale background waarden voor deze streek zijn 50 à 100 nSv/h. We zien dat nergens enige verhoging kon worden vastgesteld. Dit geldt eveneens voor de onmiddellijke omgeving van de vliegas silo's. Hoewel meting aan een staal vliegas zelf licht verhoogde dosistempo's oplevert, zorgt de betonnen constructie van de silo's voor voldoende afscherming. Onder de plaats waar de vliegas wordt opgevangen, dichtbij de stoffilters, is ook geen verhoging vast te stellen. Enkel contactmetingen met stalen vliegas, tonen een lichte verhoging tot ongeveer 150 nSv/h. Ook in de omgeving van de korrelas silo's of langs de korrelas transportbanden werd geen verhoging vastgesteld.

5. *Evaluatie van de stralingsbelasting*

A. Werknemers : uitwendige stralingsbelasting

Op de site variëren de dosistempo's, tussen de 50 en 100 nSv/h. Dit stemt overeen met de natuurlijke stralingsachtergrond in de streek.. Enkel contactmetingen met vliegas vertonen een zeer lichte verhoging van het stralingsniveau. De silo's waarin de vliegas wordt opgeslagen bieden volledige afscherming van deze lichte verhoging. Het transport van de vliegas naar deze silo's gebeurt zonder manuele tussenkomst. We kunnen dus besluiten dat de aanwezigheid van vliegas op de site de uitwendige stralingsdosis niet beïnvloedt. Gezien ook het gips, de korrelas, en de gebouwen waarin deze worden opgevangen of opgeslagen, geen sporen vertonen van verhoogde dosistempo's, is het zo dat op de site geen enkele stralingsdosis wordt opgelopen, boven de normale achtergrondstraling.

B. Werknemers : inwendige stralingsbelasting

Bij inwendige stralingsbelasting denken we vooral inhalatie van vervalproducten van radon die in de lucht zouden voorkomen. Nergens werden echter verhoogde radonconcentraties vastgesteld op de site, noch binnen noch buiten. Ook hier is dus geen extra inwendige stralingsbelasting te verwachten, boven de natuurlijke achtergrond.

C. Bevolking : inwendige en uitwendige stralingsbelasting als gevolg van het aanwenden beton waarin vliegas werd verwerkt

Het effect van het toevoegen van vliegas aan het cement waarmee beton wordt aangemaakt is nogal wisselvallig. In alle gevallen [5], vermindert de geëmaneerde fractie uit het beton. Dit is te wijten aan het feit dat vliegas wel de ²²⁶Ra activiteit van het beton doet toenemen maar dat tegelijk vliegas een kleinere exhalatiecoëfficiënt heeft dan zuiver beton. Zelfs het effect op de absolute radonexhalatiecoëfficiënt is nogal wisselvallig. Er zijn zowel gevallen waar de radonexhalatie van beton toeneemt als waar ze afneemt met het toevoegen van vliegas. Momenteel wordt maximaal 18 % (volume) vliegas als toeslag product voor cement gebruikt. In principe zou tot 30 % ook zonder technisch probleem mogelijk zijn. In beton wordt ruwweg voor 30 % cement verwerkt en 18 % vliegas hierin leidt slechts tot een fractie van ongeveer 2 % (gewicht) vliegas in beton. In beton zonder toevoeging van vliegas is een

typische ^{226}Ra concentratie 20 Bq/kg [5]. Het gebruik van 2 % (gewicht) vliegas hierin met een ^{226}Ra concentratie van 200 Bq/kg, zou leiden tot een ^{226}Ra concentratie in het beton van 24 Bq/kg, een toename met 4 Bq/kg, ofwel met 20 %. Uit [5] blijkt dat voor een toename met 80 % van de ^{226}Ra concentratie, te wijten aan het gebruik van vliegas in bepaalde types beton, en bij gebruik binnenshuis, een maximale toename van de radonexhalatie met 30 % werd vastgesteld. Een toename van de radonexhalatie met 7 à 8 % kan dus maximaal verwacht worden voor toevoeging van 18 % van dit type vliegas aan beton, bij 30 % toevoeging zou dit maximaal om een toename van de radonexhalatie van 12 à 13 % kunnen gaan. De radonexhalatie tempo's van gewoon beton variëren tussen de 10^{-6} en 10^{-5} Bq . kg⁻¹ . s⁻¹. Voor een gemiddelde waarde van $5 \cdot 10^{-6}$ Bq . kg⁻¹ . s⁻¹, zou een 10 % toename een extra radonexhalatie van $0.5 \cdot 10^{-6}$ Bq . kg⁻¹ . s⁻¹ teweeg kunnen brengen. Aangezien de bijdrage in de radonconcentratie afkomstig van beton in een kamer met betonnen wanden, slechts op enkele tientallen Bq/m³ wordt geraamd, geeft een mogelijke toename van een tiental percent slechts aanleiding tot maximaal enkele Bq/m³ toename in radonconcentratie, hetgeen te verwaarlozen is.

De extra uitwendige stralingsbelasting als gevolg van een toename van de ^{226}Ra concentratie met 4 Bq/kg bedraagt ongeveer 18 µSv op jaarbasis [6], voor een modelkamer van 4 m x 5 m x 2.8 m, met vloer, wanden en plafond volledig bestaand uit 20 cm dik beton, met een dichtheid van 2350 kg/m³. Voor thorium zou een analoge toename met 4 Bq/kg leiden tot een toename van de stralingsbelasting met 22 µSv per jaar. Ter vergelijking : de natuurlijke stralingsachtergrond van 50 nSv/h levert een dosis van 350 µSv per jaar.

D. Bevolking : inwendige stralingsbelasting als gevolg van het aanwenden van gipskartonplaten.

Uit de radonexhalatie metingen aan het gips en aan de gipskartonplaten, blijkt reeds dat de bijdrage van radon tot de inwendige stralingsbelasting, hieraan te wijten verwaarloosbaar klein zal zijn. Ter illustratie beschouwen we nog even de slaapkamer uit punt 4.C. De massa van 56 m² gipskartonplaat bedraagt ongeveer 500 kg. Als we veronderstellen dat dit gips een gemiddeld radon exhalatietempo van $2 \cdot 10^{-6}$ Bq / (s . kg.) vertoont, en we veronderstellen dat 100 % van het totaal geëxhaleerde radon uiteindelijk in de slaapkamer terecht komt, en we nemen een ventilatiesnelheid van 0.7 h^{-1} aan, dan zou de radonbijdrage te wijten aan de gipskartonplaat in de kamer minder dan 0.2 Bq/m³ bedragen. Schilderen of behangen van de gipskartonplaten zou deze bijdrage nog merkbaar doen verminderen. Dit is totaal verwaarloosbaar vergeleken met bijvoorbeeld de typische radonconcentratie van 40 Bq/m³ in woningen in Vlaanderen.

Voor thoron werd een EEC van 0.02 Bq/m³ gevonden voor deze kamer. Ook hier geldt dat schilderen of behangen van de gipskartonplaten, de thoronexhalatie gevoelig kan doen verminderen. Gezien de korte levensduur van thoron gas is dit effect nog uitgesprokener dan voor radonexhalatie : een eenvoudige deklaag verf kan de thoronexhalatie al met een factor tien tot twintig doen afnemen. Volgens ICRP32 komt 1 Bq/m³ thoron gas in evenwicht met zijn dochterproducten overeen met een dosis van 37.9 nSv/h. Voor een 100 % verblijfstijd in een vertrek met een thoronconcentratie van 0.02 Bq/m³, betekent dit een jaarlijks dosis van 6.6 µSv.

Ter vergelijking merken we op dat bij gebruik van fosforgipsplaten, waar de concentratie aan ^{232}Th en ^{226}Ra enkele honderden Bq per kg kan bedragen, gemakkelijk een honderd maal hogere dosis zou worden gehaald te wijten aan de combinatie van radon- en thoronexhalatie. Een gemiddelde radonconcentratie van 40 Bq/m³ zou (ICRP65) een dosis van ongeveer 860 µSv per jaar opleveren.

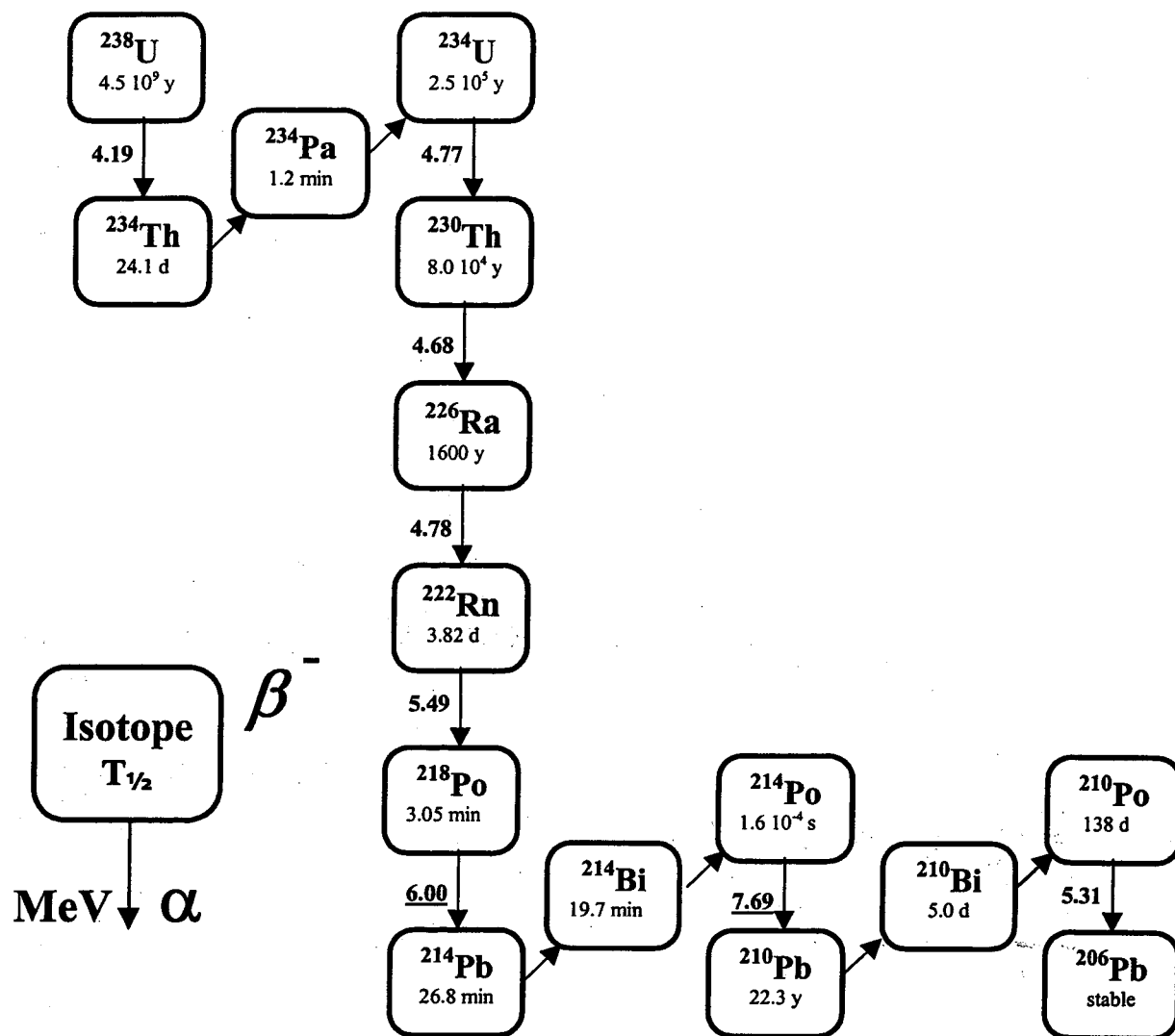
6. Besluit

De radiologische impact van het installeren van een rookgasontzwavelingsinstallatie en van de bestaande elektrostatische stoffilters in de kolencentrale van Langerlo werd geëvalueerd. Er werd vastgesteld dat de geproduceerde producten, geen noemenswaardige bijdrage leveren tot de werknemersdossissen op het terrein, en dat gebruik van de gips, vliegash of korrelas in bouwmaterialen zoals gipskartonplaten of cement tot een verwaarloosbare bijdrage tot de bevolkingsdosis leidt. Deze producten kunnen dan ook zonder radiologische problemen aangewend worden in de bouwindustrie.

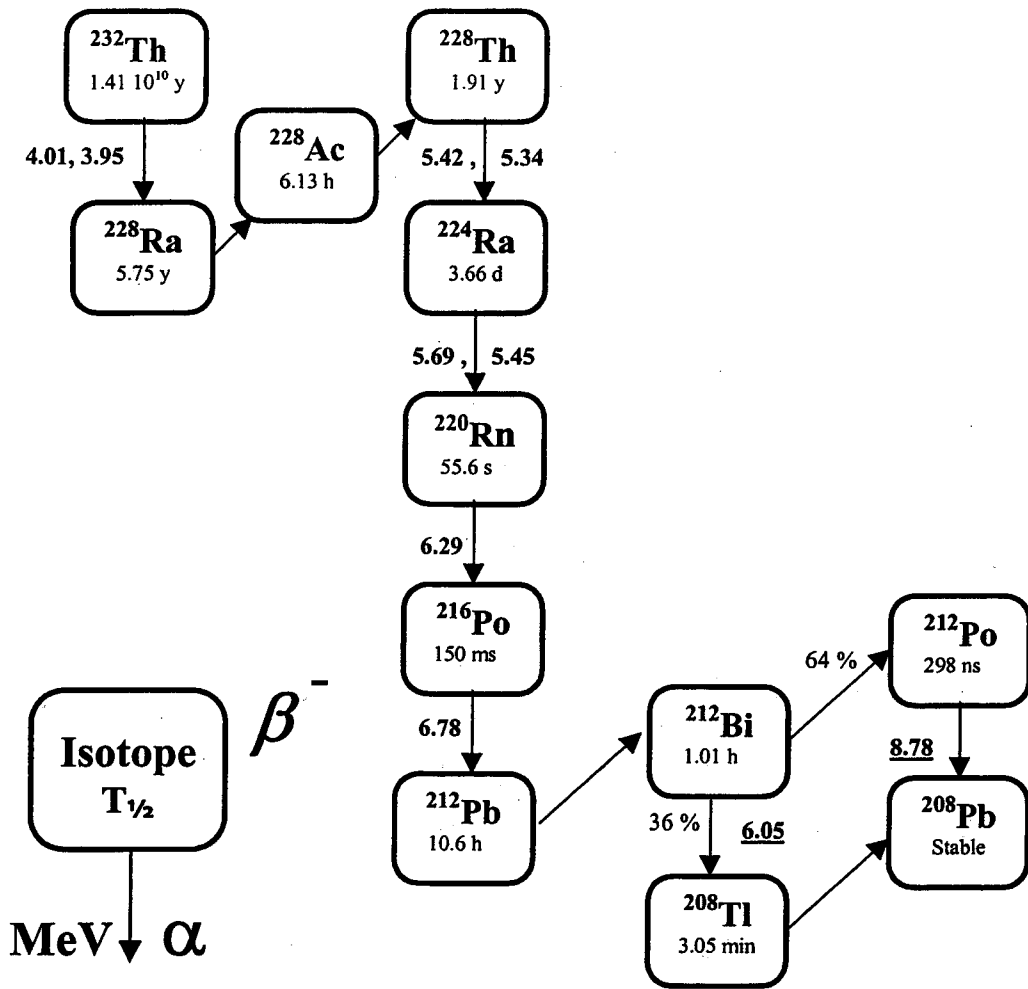
7. Referenties

- [1] W.W.Nazaroff en A.V.Nero,Jr., Radon and its decay products in indoor air, Wiley Interscience, 1988, ISBN 0-471-62810-7
- [2] Exposures from natural radiation sources, Annex B, UNSCEAR 2000
- [3] Enhanced Radioactivity of Building Materials, CEC Report, Contract 96-ET-003
- [4] Voorkomen en bestrijden van radon in woningen, WTCB, Technische Voorlichting 211, maart 1999
- [5] L.M.M.Roelofs en L.C.Scholten, The effect of aging, humidity, and fly-ash additive on the radon exhalation from concrete, Health Physics, Vol. 67, Nr.3, 1994, P266-271
- [6] Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, UNSCEAR Article 31 Expert Group

Appendix 1. *Natuurlijke vervalreeksen*



De ^{238}U vervalreeks



De ^{232}Th vervalreeks

Appendix 2. Beknopte verklarende woordenlijst.

activiteit :

de activiteit van een radioactieve bron is het aantal kernen dat per tijdseenheid vervalst in de bron. Ze wordt uitgedrukt in becquerel.

aërosol :

kleine deeltjes met diameters typisch tussen enkele miljoenen en enkele duizenden van een millimeter, die zich in de lucht bevinden. Radioactieve isotopen kunnen zich hieraan vasthechten en aldus langer in de lucht blijven zweven, zodat ze langer voor inademing beschikbaar blijven.

alfastraling :

straling bestaande uit alfadeeltjes, dit zijn ionen bestaande uit twee protonen en twee neutronen

becquerel (Bq) :

eenheid van radioactiviteit, één becquerel is één verval per seconde.

dosis :

meestal gaat het hier om effectieve dosis : het is een maat voor de stochastische gezondheidseffecten te wijten aan niet te hoge stralingsintensiteiten. Hierbij wordt rekening gehouden met de verschillende karakteristieken van de verschillende soorten straling, en met de verschillende karakteristieken van de verschillende organen en delen van het menselijk lichaam. Ze wordt uitgedrukt in sievert (Sv). Er is geen direct verband tussen de activiteit van een radioactieve stralingsbron (uitgedrukt in Bq) en de dosis. De dosis hangt af van de aard en de energie van de uitgezonden straling, en van de bestraalde delen van het lichaam.

dosistempo :

hoeveelheid dosis die per tijdseenheid op een bepaalde plaats kan worden opgelopen, uitgedrukt in sievert per uur (Sv/h).

gammastraling :

elektromagnetische straling die ontstaat bij het verval van een atoomkern

ICRP :

International Commission on Radiological Protection; Internationale Commissie voor stralingsbescherming. Het is een onafhankelijke wetenschappelijke commissie die in 1928 werd opgericht. Zij publiceert regelmatig aanbevelingen en richtlijnen en bepaalt aldus de filosofie van de stralingsbescherming

scintillatiedosimeter :

toestel dat toelaat om dosistempo's te meten. Het werkt op basis van een materiaal dat gammastraling omzet in licht (scintillatie), waarna de lichtintensiteit wordt gemeten en op basis van een ijking omgezet naar dosistempo's.

sievert :

hier de eenheid van effectieve dosis : zie dosis. De sievert is de energie die door de straling wordt afgegeven in een punt van een medium per eenheid van massa van dit medium, vermenigvuldigd met twee wegingscoëfficiënten. Eén wegingscoëfficiënt hangt af van het type van straling. Deze coëfficiënt is bijvoorbeeld 1 voor gammastraling en 20 voor alfastraling. De andere hangt af van het bestraalde orgaan of weefseltype. Voor de longen is die coëfficiënt bijvoorbeeld 0.12. *Voor alfastraling enkel in de longen is een effectieve dosis van één sievert gelijk aan 0.417 joule per kilogram ($0.417 \times 0.12 \times 20 = 1$).* De effectieve dosis is de som over alle soorten voorkomende straling en alle relevante organen. Meestal wordt gebruikt gemaakt van de onderverdelingen nano-, micro-, of millisievert (nSv, μ Sv, mSv). De gemiddelde effectieve dosis voor de Belgische bevolking wordt op 3.6 mSv per jaar geschat, waarvan ongeveer 70 % van natuurlijke oorsprong is en ongeveer 30 % van hoofdzakelijk medische oorsprong.

spectroscopie :

een techniek waarbij de energie wordt gemeten van de uitgezonden straling, en waarbij aan de hand van de hoeveelheid straling met een zekere energie, de activiteit van een bepaald radioactief isotoop kan worden bepaald. Bij alfa spectroscopie wordt de energie van de alfadeeltjes gemeten, bij gamma spectroscopie die van de gammastralen.

