

**Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming**

VOL. 3 N^o 4

1978

Driemaandelijkse
uitgave

Publication
trimestrielle

**Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection**

Hoofdredacteur

Prof. Dr. O. SEGAERT

Rédacteur en Chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de Rédaction

14 Juliette Wytmanstraat

14 rue Juliette Wytman

1050 BRUSSEL

1050 BRUXELLES

INHOUD

SOMMAIRE

J.P. MARET :

Système de radioprotection développés par ACEC pour la
centrale de Kalkar

173

M. LOOS, J.P. DEWORM :

Evolutie van de stralingskontrolle-apparatuur gebruikt in
het Studiecentrum voor Kernenergie te Mol

183

SYSTEMES DE RADIOPROTECTION DEVELOPPES PAR ACEC POUR LA CENTRALE DE KALKAR

J.P. MARET

RESUME

On donne une synthèse des systèmes de radioprotection du SNR-300 de Kalkar :

- Mesures du débit d'exposition gamma ambiant,
- Mesures gamma gaz et liquide contre canalisation,
- Mesures gamma et bêta et liquide avec cuve de prélèvement,
- Mesures alpha et bêta des poussières dans l'air,
- Mesures bêta à la cheminée .

1. INTRODUCTION.

L'équipement de radioprotection fabriqué par ACEC et destiné à la centrale nucléaire SNR 300 de KALKAR (R.F.A.) comprend actuellement 64 chaînes de mesure affectées à la surveillance soit de l'activité des effluents liquides ou gazeux, soit du débit d'exposition dans les différents locaux.

Chaque chaîne de mesure se compose schématiquement des sous-ensembles suivantes :

- 1) un système de prélèvement et de détection localisé au point de surveillance;
- 2) une ou plusieurs liaisons par câbles entre ce système de prélèvement et le châssis de mesure situé en salle d'électronique;
- 3) un châssis de mesure autonome associé à chaque système de détection et transformant le signal venant du détecteur en un courant variable dans la gamme 0 - 20 mA.

Ce signal de sortie, commun à plusieurs utilisateurs, sert principalement à :

a. l'indication locale ou reportée et l'enregistrement de l'activité mesurée au pint de surveillance;

b. l'attaque de déclencheurs à seuils réglables qui génèrent les signaux logiques de contrôle, d'alarme et d'actions à distance.

Les 64 chaînes de mesure se répartissent en 9 groupes principaux :

1) 21 voies de mesure du débit d'exposition gamma dans différents locaux;

2) 13 voies de mesure d'activité gamma d'un liquide ou d'un gaz par détection extérieure à une tuyauterie;

3) 9 voies de mesure d'activité gamma d'un gaz avec cuve de prélèvement;

4) 3 voies de mesure d'activité gamma d'un liquide avec cuve de prélèvement;

5) 7 voies de mesure d'activité bêta de l'air avec cuve de prélèvement;

6) 2 voies de mesure d'activité alpha des poussières et aérosols contenus dans l'air;

7) 5 voies de mesure d'activité bêta des poussières et aérosols contenus dans l'air;

8) 2 voies de mesure d'activité bêta de l'air avec détecteur plat à grande surface et circulation de gaz;

9) 1 système comportant 2 filtres fixes, l'un pour les aérosols et l'autre pour l'iode.

La multiplicité des points de mesure à contrôler nous a conduit à centraliser les informations de façon qu'un seul opérateur puisse se rendre compte immédiatement du niveau général des radiations.

Dans ce but, les châssis électroniques de mesure sont regroupés dans des armoires standards 19" et assurent les fonctions de mesure, signalisation, alarmes et commandes à distance.

Dans un souci de standardisation, ces fonctions sont réalisées au moyen de deux types de châssis :

- le CME qui est un châssis de mesure en courant

et

- le CMA qui est un châssis de mesure en impulsions.

Ces deux types de châssis sont constitués de modules électroniques enfi-chables.

2. CONSTITUTION ET CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES DIFFERENTS TYPES DE MESURES.

2.1 Mesures du débit d'exposition gamma

Ces chaînes de mesure effectuent la surveillance continue du débit d'exposition gamma ambiant dans différents locaux.

Le détecteur utilisé dans chaque cas est une chambre d'ionisation qui donne un courant de mesure proportionnel au débit d'exposition exprimé en mR/h. Le coefficient de proportionnalité est égal à $2 \cdot 10^{-11}$ A/mR/h.

Le courant de sortie du détecteur est acheminé directement par câble coaxial jusqu'au châssis de mesure CME installé en salle d'électronique.

Aucun préamplificateur n'est prévu entre le détecteur et le châssis de mesure.

Le châssis CME traite le courant venant du détecteur et génère des signaux de mesure et d'alarme telles que, par exemple, signalisation visuelle, sonore en local ou à distance, actions de sécurité.

Les caractéristiques fonctionnelles principales du CME sont les suivantes :

- haute tension réglable et adaptable à différents types de détecteurs;
- gamme de mesure : 10^{-12} à 10^{-6} A sans commutation et extension possible à 10^{-4} A (dynamique totale à 8 décades);
- signaux analogiques de sortie : 0 - 20 mA, 0 - 10 V ou 0 - 1 V;
- Isolation galvanique entre la sortie vers les utilisateurs et le circuit de mesure, par module d'isolement incorporé au châssis;
- Fonctions internes de vérification par générateur de courant à 10^{-11} et 10^{-6} A;
- Trois déclencheurs à seuil placés à la sortie du châssis et ajustables dans toute la gamme;
- Les relais de sortie associés à chaque déclencheur à seuil possèdent chacun 2 inverseurs libres de potentiel;
- Alimentation individuelle générale dans le châssis à partir d'un réseau 24 V continu ou d'un réseau 220 V alternatif ;

- Installation, soit dans une armoire standard 19", soit dans un coffret individuel.

2.2 Mesures d'activité gamma d'un liquide ou d'un gaz par détection extérieure à une tuyauterie

Ces chaînes de mesure sont utilisées pour surveiller l'activité des effluents liquides ou gazeux passant à l'intérieur d'une canalisation, sans devoir interférer mécaniquement avec celle-ci.

En général, ce type de chaîne est utilisé quand le niveau d'activité à surveiller est élevé et permet une détection directe sans prélèvement de fluide.

La limite de détection que l'on peut atteindre est de l'ordre de 10^{-3} Ci/m³.

Le détecteur utilisé est une sonde S-PS/G15 à scintillateur équipé d'un cristal Na (Tl) de diamètre 1" 1/2 et d'épaisseur 1".

La cuve de prélèvement est entourée d'un blindage uniforme en plomb d'épaisseur égale à 3". Ce blindage est constitué d'anneaux cylindriques de 50 kg maximum.

Un anneau supplémentaire d'épaisseur égale à 1" peut être ajouté facilement.

Le rayonnement γ émis par le fluide est concentré vers le détecteur au moyen d'un collimateur cylindrique situé dans l'axe de la sonde, entre le cristal et la tuyauterie.

La longueur de ce collimateur et son ouverture sont adaptés à chaque cas particulier.

La liaison entre la sonde détectrice et le châssis de mesure CMA est réalisée au moyen d'un seul câble coaxial du type RG-58C/U.

Le châssis de mesure CMA est équipé d'un icromètre logarithmique à 6 décades. Par commutation, il est possible de couvrir une gamme de mesure égale à 8 décades.

Les caractéristiques principales du CMA sont les suivantes :

- Haute tension réglable de 250 à 2.200 V en 4 gammes;
- Seuil de discrimination ajustable de 0 à 4,5 V;

- Gamme de mesure : 10 à 10^7 Imp/mon. sans commutation;
- Signaux analogiques de sortie : 0 - 20 mA, 0 - 10 V ou 0 - 1 V;
- Sortie monitoring pour analyse des impulsions d'entrée : gamme de 0 à 10 V pour une gamme d'énergie de 0 à 3 MeV;
- Isolation galvanique entre la sortie vers les utilisateurs et le circuit de mesure, par module d'isolement incorporé au châssis;
- Fonctions internes de vérification par générateur d'impulsions à 5 Hz et 50 kHz;
- Trois déclencheurs à seuil placés à la sortie du châssis et ajustables dans toute la gamme;
- Les relais de sortie associés à chaque déclencheur à seuil possèdent chacun 2 inverseurs libres de potentiel;
- Alimentation individuelle générée dans le châssis à partir d'un réseau 24 V continu ou d'un réseau 220 V alternatif ;
- Installation soit dans une armoire standard 19", soit dans un coffret individuel.

2.3 Mesures d'activité gamma d'un gaz avec cuve de prélèvement

Le fluide à surveiller passe dans la canalisation principale d'où il est aspiré dans un by-pass au moyen d'un groupe de pompage placé en série avec une cuve cylindrique de prélèvement SFL-30G.

La surveillance de l'activité du gaz est effectuée au moyen d'une sonde gamma S-PS/G15 placée dans un doigt de gant situé au centre de la cuve de prélèvement.

La cuve de prélèvement est entourée d'un blindage uniforme en plomb d'épaisseur égale à 3" et constitué d'anneaux cylindriques de 50 kg maximum.

Un anneau supplémentaire d'épaisseur égale à 1" peut être ajouté facilement.

La limite de détection que l'on peut atteindre , dans ce cas, est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-7}$ Ci/m³.

La liaison entre la sonde détectrice et le châssis de mesure CMA est réalisée au moyen d'un seul câble coaxial du type RG-58C/U.

Les caractéristiques du châssis CMA ont été explicitées au paragraphe précédent.

2.4 Mesures d'activité gamma d'un liquide avec cuve de prélèvement

Ce type de mesure présente une grande similitude avec le système de mesure gamma gaz examiné précédemment.

Ici, le liquide à mesurer circule au travers de la cuve de prélèvement SFL-30G.

Le débit dans la cuve dépend de la position relative du circuit de mesure placé en série ou en dérivation.

La surveillance de l'activité du liquide est effectuée au moyen d'une sonde gamma du type S-PS/G15 placée dans un doigt de gant situé au centre de la cuve de prélèvement.

La limite de détection que l'on peut atteindre dans ce cas est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-8} \text{ Ci/m}^3$.

La liaison entre la sonde détectrice et le châssis de mesure CMA est réalisée au moyen d'un seul câble coaxial du type RG-58C/U.

2.5 Mesures d'activité bêta de l'air avec cuve de prélèvement

L'air circulant dans le circuit principal est aspiré dans un by-pass au moyen d'un groupe de pompage placé en série avec une cuve cylindrique blindée à l'intérieur de laquelle est effectuée la mesure d'activité spécifique.

La surveillance de l'activité du gaz se fait au moyen d'une sonde S-PS/B200 situées dans la partie supérieure de la cuve de prélèvement.

La sonde S-PS/B200 est équipée d'un scintillateur plastique associé à un photomultiplicateur et à un préamplificateur d'impulsions alimenté par la haute tension du PM.

La cuve de prélèvement est entourée d'un blindage uniforme en plomb d'épaisseur égale à 3" et constitué d'anneaux cylindriques de 50 kg maximum.

La limite de détection que l'on peut atteindre dans ce cas est de l'ordre de 10^{-7} Ci/m^3 .

La liaison entre la sonde et le châssis de mesure CMA est également réalisée au moyen d'un simple câble coaxial du type RG-58C/U.

2.6 Mesures d'activité alpha des poussières et aérosols contenus dans l'air

Ces chaînes de mesure effectuent la surveillance continue de l'air en mesurant l'activité α des substances liées à la poussière et aux aérosols. L'air est aspiré par une pompe à travers une bande de papier filtre qui défile au dessus de l'ouverture d'aspiration. Les particules radioactives solides, liées à des matières solides ou des aérosols en suspension dans l'air, adhèrent au papier filtre.

Après accumulation, leur activité α est mesurée au moyen d'un détecteur à semi-conducteur placé en regard du papier filtre.

La sonde de détection comprend les éléments suivants :

- un détecteur semi-conducteur;
- un préamplificateur d'impulsions adapté au détecteur et alimenté séparément;
- deux connecteurs de sortie :
 - . l'un pour l'alimentation haute tension du détecteur
 - . l'autre pour l'alimentation du préampli et la sortie du signal vers le châssis CMA en salle des électroniques.

La machine utilisée pour prélever l'air à mesurer aspire celui-ci au travers d'un papier filtre qui défile devant un détecteur dont la fenêtre est plus petite que la fenêtre de pompage.

Un système automatique de déplacement du papier est prévu.

La fenêtre de pompage de 30 x 30 mm est couverte en 4 déplacements du papier filtre de 7,5 mm chacun. Les avantages de cette méthode pseudo-continue d'avancement sont les suivants :

- a) meilleure aspiration au point de succion;
- b) meilleure continuité de la mesure au point de mesure pendant l'avance du filtre.

Le temps de pompage et le temps total de la séquence peuvent être présélectionnés de 1 à 999 minutes par bonds de 1 minute.

Le débit de la pompe est environ de $10 \text{ m}^3/\text{h}$.

Un blindage en plomb de 2,5 cm d'épaisseur est installé autour du détecteur pour réduire l'influence du bruit de fond ambiant.

La limite de détection que l'on peut atteindre dans ce cas est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-11}$ Ci/m³.

La liaison entre le détecteur et le châssis de mesure CMA est réalisée au moyen de 2 câbles du type coaxial.

2.7 Mesures d'activité bêta des poussières et aérosols contenus dans l'air

Ces chaînes de mesure assurent la surveillance continue de l'air en mesurant l'activité β des substances liées à la poussière et aux aérosols.

L'air est aspiré de la même manière que pour les mesures aérosols alpha, en utilisant la même machine de prélèvement.

Ici toutefois, l'activité β est mesurée à l'aide d'un détecteur Geiger-Müller placé en regard du papier filtre et associé à un préamplificateur d'impulsions.

La limite de détection que l'on peut atteindre dans ce cas est de l'ordre de 10^{-12} Ci/m³.

La liaison entre le détecteur et le châssis de mesure CMA est réalisée au moyen de 2 câbles du type coaxial.

2.8 Mesures d'activité bêta de l'air avec détecteur plat à grande surface et circulation de gaz

Ces chaînes de mesure assurent la surveillance de l'activité à la cheminée au moyen d'un détecteur de forme rectangulaire et de grandes dimensions (25 x 25 cm environ) fixé sur une chambre de prélèvement parallélépipédique.

Le détecteur utilisé possède une fenêtre de très faible épaisseur (0,1 à 2 mg/cm²) de manière à atténuer le moins possible le rayonnement β incident.

Du fait de la faible épaisseur de la fenêtre, celle-ci ne saurait pas être étanche d'une façon absolue. Pour assurer un remplissage efficace et continu du détecteur, on y fait circuler un gaz dont la nature conditionne les caractéristiques de la détection.

En général, dans ce type de détecteur, on utilise un mélange de méthane et d'argon. Le débit du flux gazeux est environ de 0,5 l/h et on s'ar-

range pour que le gradient de pression sur la membrane entre la chambre de prélèvement et le détecteur n'excède pas 500 mm d'eau.

Un préamplificateur d'impulsions est associé au détecteur à l'endroit de la mesure.

Les signaux électriques ainsi formés sont envoyés par câbles vers le châssis de mesure CMA reporté en salle d'électronique.

La liaison se compose de 2 câbles coaxiaux et d'une paire blindée.

Pour ce type de mesure, la limite de détection que l'on peut atteindre est de l'ordre de 10^{-8} Ci/m³.

2.9 Système de filtres fixes aérosols et iode

Ces chaînes ne comportent pas de détecteur.

Il s'agit donc uniquement d'un système de prélèvement qui aspire l'air au travers d'un filtre papier fixe et d'une cartouche de charbon actif placés dans un support mis en série dans la canalisation.

Après pompage d'un certain volume d'air au travers du système, le filtre et la cartouche sont enlevés du support et envoyés en laboratoire pour analyse.

3. CALIBRATION NUCLEAIRE.

Les essais nucléaires de calibration des différents systèmes ont été réalisés dans les installations du CEN/SCK à Mol.

Les sources radioactives utilisées ont été soit fournies par l'I.R.E., soit générées dans le réacteur BR1 à Mol.

4. QUALIFICATION.

Les équipements décrits font l'objet d'un programme de qualification imposé par les organismes allemands de sécurité et de contrôle.

RESUME

On donne une synthèse des systèmes de radioprotection du SNR-300 de KALKAR :

- Mesures du débit d'exposition gamma ambiant,
- Mesures gamma gaz et liquide contre canalisation,
- Mesures gamma et bêta et liquide avec cuve de prélèvement,
- Mesures alpha et bêta des poussières dans l'air,
- Mesures bêta à la cheminée.

SAMENVATTING

Men geeft een synthese van de SNR-300 KALKAR radiobeschermingssystemen :

- Omgevings-dosiswaarde-gammametingen,
- Gas- en vloeistofgammametingen tegen buisleidingen,
- Gas- en vloeistofgamma-betametingen met bemonsteringskuip,
- Alpha-beta stofdeeltjesmetingen,
- Betametingen ter hoogte van de schouw.

SUMMARY

A synthesis of SNR-300 KALKAR radioprotection systems is given :

- Area monitoring gamma measurements,
- Gas and liquid gamma measurements against pipe,
- Gas and liquid gamma-beta measurements with off-line sampler,
- Alpha-beta air dust measurements,
- Beta measurements in exhaust stack.

ZUSAMMENFASSUNG

Man gibt eine Synthese der SNR-300 KALKAR Strahlenschutzinstrumentierungen :

- Ortsdosisleistungsgammamessungen,
- Gas- und Wassergammamessungen gegen Rohrleitung,
- Gas- und Wassergamma-betamessungen mit Messbehälter,
- Alpha-Beta Luftstaubmessungen,
- Betamessungen am Kamin.

EVOLUTIE VAN DE STRALINGSKONTROLE-APPARATUUR GEBRUIKT IN HET STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE TE MOL

M. LOOS, J.P. DEWORM

SCK Boeretang, 200 2400 MOL

10 november 1978

ABSTRACT :

Een beknopt overzicht van de stralingskontrole-apparatuur gebruikt in het Studiecentrum voor Kernenergie te Mol, geeft een beeld van de evolutie die deze apparatuur doormaakte. De vormgeving en elektronische schakelingen werden steeds aangepast aan de laatste ontwikkelingen der techniek. Proportionele gastellers vervangen geleidelijk een aantal G.M. en scintillatietellers in bepaalde toepassingen.

1. INLEIDING

De sektor van de kernenergie geeft aanleiding tot specifieke veiligheidsproblemen, die nu, zoals in het verleden, aangepaste oplossingen en maatregelen noodzakelijk maken. Reeds zeer vroeg werden de mogelijke gevaren onderkend en heeft men zowel internationaal als in de nationale wetgeving normen vastgelegd, die de werkomstandigheden bepalen.

Ten einde te kunnen voldoen aan deze normen zijn middelen, meet-apparatuur, nodig. In hetgeen volgt wordt beschreven hoe deze apparatuur evolueerde wat betreft kwaliteit en gebruiksmogelijkheden.

De controles, uitgevoerd om de veiligheid te waarborgen, kunnen verdeeld worden over vier grote gebieden met aangepaste meettoestellen :

- de controle van de radioactieve besmetting en bestraling van het personeel;
- de controle van oppervlaktebesmetting, luchtbesmetting en straling in de laboratoria en rond de reactoren;
- de controle van de luchtbesmetting en waterbesmetting in de lozingspunten;
- de controle van luchtbesmetting, waterbesmetting en straling in de grotere omgeving van het SCK.

2.1. Personeelsdosimetrie

Het doel van de personeelsdosimetrie voor uitwendige straling is niet alleen het beletten van de overschrijding van de wettelijke toegelaten waarden, maar eerder zoveel mogelijk de dosis van het personeel te beperken, door verbetering van de werkmethoden.

Sedert de oprichting van het SCK/CEN is er een evolutie geweest van de personeelsdosimetrie. Deze werd uitgevoerd met behulp van filmdosimeters ("filmbadges").

De dosimeter bestond uit een vlakke aluminium koker langs één zijde gesloten, langs het open uiteinde afgesloten met een zwarte P.V.C. kop en gedurende het gebruik opgeborgen in een polyethyleen zakje. De wanddikte van de koker was 2 mm. De koker was langs zijn breedste zijde doorboord op drie plaatsen (ϕ 9 mm.). Langs de binnenzijde bedekte een aluminium plaat (van 0,2 mm; 55 mg cm^{-2}) de drie openingen en verzekerde de lichtdichtheid van de koker.

De drie openingen waren voorzien aan de voor- en achterzijde van filters tegen straling namelijk :

- a) Een tin filter (1,9 mm $1,4 \text{ g cm}^{-2}$) voor de γ -straling (> 50 keV).
- b) Zonder bijkomend filter voor β -straling.
- c) Een cadmium filter (1,7 mm $1,4 \text{ g cm}^{-2}$) voor de thermische neutronen.

Deze filters lieten nochtans niet toe te discrimineren tussen zwakke γ -straling en β -straling.

In het kokertje werden twee röntgenfilmen gebracht, de Structurix D10 met een meetbereik van 10 mrem tot 10 rem ($100 \mu\text{Sv} - 0,1 \text{ Sv}$), en een tweede Structurix D2 vervulde de bovenste grens tot 200 rem (2 Sv).

Na 1964 werd een nieuwe filmdosimeter ontworpen bestaande uit een zwarte polypropyleen houder met twee afzonderlijke naast elkaar gelegen filmen. Beide gedeelten van de houder zijn voorzien van een reeks filters langs voor- en achterzijde. In een gedeelte bevindt zich een zeer gevoelige Structurix D10 - film, in de andere een minder gevoelige Structurix D2.

In het D2-gedeelte is eveneens een thermoluminescentie dosimeter onder de vorm van een staafje LiF aangebracht voor hoge dosissen (> 3 rad, (30 m Gy)).

De vier filters zijn :

- een gemengd filter : lood : 220 mg cm⁻²
tin : 1 100 mg cm⁻²
en aluminium : 27 mg cm⁻²
- een gemengd filter : lood : 220 mg cm⁻²
cadmium : 1 100 mg cm⁻²
en aluminium : 27 mg cm⁻²
- luciet en plastic : 300 mg cm⁻²
- plastic : 100 mg cm⁻²

De karakteristieken van deze dosimeter worden hierdoor samengevat in de onderstaande tabel.

Straling	1 ^{ste} film rad (Gy)	2 ^{de} film rad (Gy)
Hard X en γ -straal > 85 KeV	0,01 - 5 (10^{-4} - $5 \cdot 10^{-2}$)	2 - 2000 ($2 \cdot 10^{-2}$ - 20)
Zachte X en γ -straal \sim 40 KeV	0,001- 0,3 (10^{-5} - $3 \cdot 10^{-3}$)	0,1 - 70 (10^{-3} - 0.7)
β -stralen	tot 7 (tot 0,07)	tot 2000 (tot 20)
Thermische neutronen zonder γ < 0.5 eV	0,005- 2,5 ($5 \cdot 10^{-5}$ - $2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}$)	1 - 1000 (10^{-2} - 10)

Gezien de jaarlijkse photon dosisekwivalent veel belangrijker is dan de jaarlijkse neutronen dosisekwivalent, houdt men met de neutronenstraling geen rekening.

Een neutronen filmdosimeter van het "Gesundheitsinstitute Neuherberg" wordt gebruikt voor bepaling van neutronen dosisekwivalent gedurende specifieke werken met neutronenstraling (Ref. [1]).

Deze "filmbadge" is eveneens aan de achterzijde uitgerust met een kritikaliteitsdosimeter bestaande uit een zwavel-detektor, een goud-detektor en een indium-detektor.

Deze kritikaliteitsbadge zal in de toekomst verbeterd worden door het gebruik van dosimeters uitgerust met fissiemateriaal detektoren en detektie van de fissieprodukt terugslagbanen in plastic.

In de periode voor 1972 werd de evaluatie en de compilatie van de meetgegevens manueel uitgevoerd. Sedert 1972 gebeurt het rekenwerk door de IBM-computer. Uitgaande van de manuele bepaling van de zwarting van de film onder de verschillende filters en te zamen met de identifikatienummers op de film, gebeurt de berekening van de γ , X en β -dosis nominatief voor elke periode (wekelijks, tweeweekelijks of maandelijks).

Het opslaan van deze nominatieve gegevens laat dan voor iedere werknemer toe, de 13-weeken dosisekwivalent, en de jaar dosisekwivalent te berekenen, en af te drukken op officiële dokumenten. Op deze manier worden vergissingen in de meetgegevens vermeden.

Het gebruik van thermoluminescente materialen zal nochtans in een nabije toekomst de filmdosimeters volledig verdringen. Hierbij is de volledige automatisatie van nominatieve meting en interpretatie mogelijk.

Op het SCK/CEN gebruikt men sedert ongeveer tien jaar thermoluminescente vingerdosimeters en bijkomende TLD-dosimeters ter hoogte van de borst. Deze TLD-dosimeters laten toe vlugger de dosis te bepalen na bepaalde werkzaamheden. Deze TLD-dosimeters worden meestal onder een filter van 7 en 300 mg cm^{-2} gebruikt.

De wetgeving verplicht ons nochtans naast de filmdosimeter ter hoogte van de borst eveneens een rechtstreeks afleesbare dosimeter te dragen of een dosimeter die toelaat zeer vlog de dagelijkse ontvangen dosis te ramen. Dit is het geval indien de weekdosisekwivalent de 100 mrem kan overschrijden. Hiervoor gebruikt men bijna steeds direkt afleesbare of onrechtstreeks afleesbare zakionisatiekamers.

2.2. Alarmdosismeters

Naast de hoger vermelde dosismeters beschikt de dienst stralingskontrolle over alarmdosismeters. Deze worden gebruikt op plaatsen waar een verhoogd risico van bestraling bestaat, zoals bij voorbeeld tijdens tussenkomsten in afgeschermdde cellen.

Bij het bereiken van een vooraf ingestelde geaccumuleerde dosis geven deze toestellen een geluidssignaal. De eerste types integreerden de stroom van GM detectoren, later kwamen miniatuur ionisatiekamers met een delikaat elektrostatisch relais.

De betrouwbaarheid van beide liet te wensen over. De nu gebruikte toestellen zijn digitaal uitgevoerd, en accumuleren het aantal impulsen van een GM detector. Ze zijn zeer betrouwbaar en robuust gebouwd.

De meest recente evolutie op dit gebied gebeurt in de richting van tele-meting. Hierbij dient de drager van de "alarm" dosismeter niet langer de opgelopen dosis te volgen of aandacht te schenken aan een geluidssignaal. De meetgegevens worden draadloos aan een centrale post doorgezonden. Op deze manier kan de toename van de opgelopen dosis op ieder ogenblik gevolgd worden, en kan aan de drager, waarmee men langs een communicatiesysteem contact heeft, medegedeeld worden wanneer hij de gevarenzone dient te verlaten.

2.3. Bepaling van de uitwendige besmetting der personen

Voor de bepaling van deze besmetting worden twee families van apparaten gebruikt. Enerzijds is er de laboratorium-apparatuur voor de bepaling van oppervlakte besmetting. Deze bespreken we in de paragraaf over kontrolle van de laboratoria. Anderzijds bestaan er vaste installaties voor kontrolle van handen, voeten, en de totale persoon.

Oorspronkelijk werd voor β -meting een toestel met GM detectoren en loodafscherming ontworpen, dat toeliet één hand aan één zijde te kontroleren. Zeer vlug werd dit gevolgd door een handen- en voetenmonitor, nog steeds uitgerust

met GM detektoren en loodafscherming.

Een volgende stap was de overschakeling van G.M. naar proportionele tellers met gasdoorstroming. Deze hebben een veel betere oppervlaktespreiding van het rendement.

Voor α -meting was er een gelijklopende evolutie : eerst een losse (ZnS) detector met grote oppervlakte, en later een handen- en voetenmonitor met gasdoorstroomde proportionele tellers.

De laatste stap in de ontwikkeling van handen- en voetenmonitoren, was het ontwerp en konstruktie van een monitor die gelijktijdig de α en β besmetting meet met discriminatie tussen beide en met aftrek van de β -background (zonder Pb afscherming).

Een personenmonitor is een verdere stap : na handen en voeten wordt ook de rest van het lichaam (in β) gemeten. De gebruikte toestellen hebben een zeer grote meetoppervlakte en daardoor een grote gevoeligheid.

Omwille van de grote oppervlakte is echter de "background" een probleem. Het toestel kan enkel geplaatst worden in lokalen met een zeer laag stralingsniveau. Door de industrie worden belangrijke inspanningen gedaan om hieraan te verhelpen. De voornaamste evolutie in de nog recente geschiedenis van deze toestellen is gebeurd op het gebied van de bijhorende elektronische gehelen. Deze worden meer en meer uitgevoerd in digitale technieken.

3. KONTROLE VAN DE LABORATORIA

3.1. Controle van de oppervlakte besmetting

Oorspronkelijk werden op het SCK detektoren ontwikkeld voor α en β besmetting.

Voor α -meting betrof het twee modellen nl. de 7 C 4 en 7 C 5 met een nuttige oppervlakte van respectievelijk 225 cm² en 40 cm².

Voor β -meting zijn er de 7 E 3 en 7 E 9. De eerste met wanddikte van 30 mg/cm², de tweede met een vensterdikte

van $\pm 2 \text{ mg/cm}^2$ en nuttige oppervlakte van 20 cm^2 .

Van dergelijke α en β sondes zijn er voor het ogenblik een 500 tal in gebruik.

De evolutie op dit gebied gebeurde hoofdzakelijk door verbetering van de mechanische uitvoering van de ZnS sondes : ronde detektoroppervlakte (type 1A) in plaats van vierkant of rechthoekig, en veel gemakkelijker uit mekaar te nemen en te herstellen.

Op het gebied van de gebruikte elektronica echter werden de ontwikkelingen der technologie toegepast, zodat de kwaliteit en het gebruiksgemak der toestellen aanzienlijk verbeterde.

Eerst waren voor controle van besmetting vier toestellen nodig : een alfadetektor (7 C 4), een bijhorende telsnelheidsmeter (type 6.15), een betadetektor (7 E 9) en een bijhorende telsnelheidsmeter (6.14). Vervolgens werden de beide telsnelheidsmeters (6.14 en 6.15) gekombineerd in één enkele (type 6 P 2).

De laatste ontwikkeling is het gebruik van toestellen met proportionele gasteller die nog slechts 1 detektor voor α en β en één telsnelheidsmeter erbij aangebouwd bezitten. Dit is dus een zeer kompakt en licht toestel dat zowel α als β metingen toelaat met een nuttige oppervlakte van 100 cm^2 .

Voor γ besmetting is er praktisch geen evolutie geweest. Deze wordt nog steeds gemeten met een NaI (Tl) detektor in verschillende uitvoeringsvormen.

3.2. Controle van de stralingsvelden

-Neutronenstraling

Oorspronkelijk werden afzonderlijke detectoren gebruikt voor snelle en thermische neutronen, elk met bijhorend elektronisch meettoestel. Dit gaf echter aanleiding tot een moeilijke interpretatie voor de totale neutronendosis. Daarom werd overgeschakeld op een "NEUTRON REM COUNTER" met een energie-respons overeenkomstig met de

ICRP kurve. Dit toestel bestaat uit een BF_3 teller in een polyethyleen moderator en met speciale filters om de hogergenoemde energiekurve te bekomen.

- γ straling, draagbare toestellen

In eerste instantie werden eenvoudige toestellen met G.M. detektor gebruikt. Een volgende stap was de aankoop van "surveyometers" met ionisatiekamer en elektrometerbuis-versterker.

Later werd op het SCK de 6 P 1. ontwikkeld, die een plastifluor-detektor met fotovermenigvuldiger bevat, en die een goedkope produktie mogelijk maakte, met minder voorzorgen dan nodig zijn bij ionisatiekamers.

Vermits dit toestel geen meting van β straling toelaat werd recent overgegaan tot de ontwikkeling van een " β - γ survey-meter". De op de markt aanwezige toestellen leken bepaalde nadelen te vertonen, waarvoor een oplossing werd gezocht. Het ontworpen toestel bestaat uit een weefselekwivalente ionisatiekamer van $\pm 250 \text{ cm}^3$ met een varactorbrug elektrometerversterker. Deze laat toe stromen, te meten tot 10^{-14} Ampère, en is toch ongevoelig voor overspanningen tot 300 V op de ingang. Het toestel heeft meetbereiken van 0 - 1 m R/h tot 0 - 300 R/h.

Voor hogere stralingsniveau's worden toestellen met teleskopische detektor van 3 à 4 m lang gebruikt tot 1 000 R/h.

Voor nog hogere niveau's is een CdS detektor beschikbaar aan een lange kabel, die metingen toelaat tot 30 000 R/h. Voor de allerhoogste niveau's is een diamantsonde in studie.

- γ straling, vaste toestellen

De vaste toestellen volgden ongeveer dezelfde evolutie als de draagbare.

Eerst werden ionisatiekamers met elektrometerbuis gekonstrueerd, later werd overgeschakeld op plastifluor detektors, om tenslotte over te gaan op ionisatiekamers met varactor-brug versterkers, en een meetbereik van 0,1 m R/h tot 10 R/h.

Voor minder kritische meetpunten worden G.M. detektie-sondes gemaakt. Eén model meet van 1 m R/h tot 10 R/h en een model voor toepassing in afgeschermden cellen meet van 100 m R/h tot 1 000 R/h. Deze sondes hebben een diameter van 5 cm en een lengte van 12 cm. Ze worden aangesloten op een elektronische module type nr. 6 T 1 met ingebouwde hoogspanning, tijdschakeling en instelbaar alarmniveau.

3.3. Stof en gas controles

Deze paragraaf is van toepassing op de controle van de laboratoria zowel als op de controle van de lozingspunten aangezien vergelijkbare apparaten gebruikt worden voor beide toepassingsgebieden.

- α stof-meting

Lucht wordt aangezogen uit het te controleren lokaal over een filtermedium. Op deze wijze wordt stof geakkumuleerd, en de radioactiviteit van dit stof wordt ogenblikkelijk en continu gemeten met een ZnS-detektor.

Een belangrijk nadeel van dit toestel is dat het enkel kan gebruikt worden op plaatsen waar slechts weinig invloed van de natuurlijke Rn en Tn-activiteit te verwachten is.

Daarom werd een toestel gebouwd volgens een principe dat onder meer door Brown e.a. (ref. [2]) werd beschreven, nl. een pseudo-coïncidentie van RaC met RaC' en ThC met ThC'. Het aantal pseudo-coïncidenties is, binnen bepaalde grenzen, een maat voor de Rn en Tn-koncentratie in de lucht, zodat hiervoor kan gecorrigeerd worden.

Dit gaf een belangrijke verbetering. [3]

Beide beschreven systemen zuigen hun lucht aan door een leiding, met het gevaar voor stofneerslag in deze buisleiding, en daardoor een verminderd telrendement. Dit was de aanleiding tot de ontwikkeling van een diskontinu meet-systeem, waar de filter als het ware naast de neus van het personeel in de laboratoria werd opgesteld op het uiteinde van een zuigleiding, zodat de kollektie van het stof

veel betrouwbaarder gebeurde. Deze filters worden dagelijks vervangen, en vervolgens automatisch gemeten, waarbij de resultaten op een papierstrook gedrukt worden. De meting gebeurt nadat de aktiviteit van Rn en dochterprodukten verdwenen is, en met kompensatie (door pseudo-coïncidentie) voor Tn en dochterprodukten. Hierdoor wordt een zeer betrouwbare en gevoelige meting bekomen, waarvan het resultaat echter slechts na 24 h bekend is. [4]

Een logische volgende stap was dus, voor alarmdoeleinden, een detektor te bevestigen op de filterhouders in het labo. Zo beschikken we over een ogenblikkelijke en continue meting, en tevens over een uitgestelde nauwkeurige bepaling van de stofaktiviteit in de lucht. Als detektor wordt een "surface barrier diode" gebruikt, en een aangebouwde monokanaals analysator laat toe het effect van de natuurlijke aktiviteit met een faktor $5 \text{ à } 10$ te verminderen.

- β stofmeting

De studie en konstruktie van een kontinu metende β -stofmachine werden reeds op het einde der vijftiger jaren uitgevoerd. Het toestel bestaat uit een meetkop met kontinuu bewegende filterband (2 cm/h) en een G.M. detektor in loodafscherming. De meetgrens van deze monitor is $\sim 7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci/m}^3$.

Het aandrijfsysteem van het filterpapier en de meetelektronica werden in de loop der jaren aangepast en verbeterd.

Als draagbaar monstername toestel is sinds het begin van het SCK een hoog-volume stofzuiger (Staplex) in gebruik. Op een half uur tijd wordt ongeveer 35 m^3 lucht door een filter gezogen.

Voor α meting (met 7 C 4) is de meetgrens 10^{-12} Ci/m^3 , en voor β meting (met 7 E 1) 10^{-11} Ci/m^3 .

-Gasmeting

^{131}I meting :

Deze gebeurt door akumulatie van jodium uit aangezogen

lucht in een koker gevuld met aktieve kool. De koker is in een putkristal [NaI (Tl)] met loodafscherming geplaatst. Ogenblikkelijk en kontinu wordt, door middel van een monokanaals analysator, de fotopiek van 364 KeV gemeten.

Aangezien dit toestel integrerend werkt, werd later een (analoge) differentiator bijgebouwd, die toelaat rechtstreeks de ^{131}I -koncentratie in de lucht te meten.

De voornaamste evolutie is ook hier op elektronisch gebied gebeurd. De vroegere schakelingen met lampen werden eerst vervangen door getransistoriseerde en vervolgens door geïntegreerde schakelingen. Dit ging gepaard met een volumevermindering tot 1/7 van het oorspronkelijke.

^3H meting :

De aangezogen meetlucht (20 l/h) wordt met het telgas methaan (40 l/h) gemengd en vervolgens door een proportionele teller met twee anticoïncidentie gedeelten geleid. Het geheel is in een loodafscherming (7 cm) geplaatst. Op deze manier meet men hoofdzakelijk laag-energetische beta deeltjes (van ^3H) en bekomt men een goede discriminatie tegen gamma-stralen en beta deeltjes van edelgassen. De evolutie is verlopen zoals voor de ^{131}I monitor. De detektor is onveranderd en de elektronische gehelen werden gemoderniseerd.

Edelgassen :

De te meten lucht wordt door het meetvolume gepompt, waarin zich een dunne plastic scintillator (ϕ 62,5 mm, dikte 1 mm) met aangebouwde fotovermenigvuldiger bevindt. Het geheel bevindt zich in een loodafscherming. Deze opstelling is geoptimaliseerd om zo weinig mogelijk gamma-background en zo hoog mogelijk beta-rendement te hebben. De elektronische schakelingen werden gemoderniseerd.

4. OMGEVINGSKONTROLE

De middelen in werking gesteld voor de controle van de omgeving gebeuren :

- In het emissiepunt d.w.z. op het ogenblik van de uitstorting voor de schoorstenen (zie o.a. controle van laboratoria) en door monsternamen voor de lozing van vloeibare effluenten.
- Een tweede meetketen bestaat uit zes paviljoenen in de omgeving van het SCK, die op continue wijze een controle uitvoeren van de stofdeeltjes in suspensie evenals van de omgevingsstraling.
- Een derde groep bestaat uit de diskontinue monsternamen van stofdeeltjes, omgevingsdosimeter, monsternamen van melk, gras, water e.d.

4.1. Paviljoenen voor omgevingscontrole : luchtmonstering

Een filterband beweegt met uniforme snelheid voor een aanzuigmond, waardoor stofdeeltjes uit de omgeving opgenomen worden.

De β -aktiviteit van deze stofdeeltjes wordt direkt gemeten zonder verval tijd (β_0).

Een tweede β -teller en de eerste α -teller, tegenover elkaar geplaatst meten de β en α -aktiviteit na een verval tijd van 20 h.

Een derde meetgroep bestaande uit α en β -teller bepaalt de α en β -aktiviteit na 66 uur verval.

Het geheel der apparaturen is opgeborgen onder een luchtdicht deksel.

Het luchtdebiet is ongeveer $20 \text{ m}^3/\text{h}$ en, als filterpapier wordt Schneider bleu HYN 75 % gebruikt met een zuigoppervlak van 16 cm^2 en een nuttig gebruikte oppervlakte van $7,5 \text{ cm}^2$, de snelheid van het papier is 12 mm/h .

De β -detektor is een scintillatieteller nl. een dunne schijf plastifluor (ϕ 48 mm, dikte 2 mm) afgeschermd met

gealuminiseerde Mylar (1 mg/cm^2) en een aluminiumplaatje ($0,03 \text{ mm}$ dikte). De nuttige diameter bedraagt 43 mm .

De β_{20} en β_{66} detektors zijn G.M. tellers met een venster ($\phi 38 \text{ mm}$) van $3 \text{ à } 4 \text{ mg/cm}^2$ en een bescherming uit gealuminiseerde Mylar (1 mg/cm^2).

De α_{20} en α_{66} detektors zijn ZnS (zinksulfide) scintillatoren met een venster ($\phi 43 \text{ mm}$) van 1 mg/cm^2 gealuminiseerde Mylar.

Het toestel is elektronisch uitgerust als volgt :

β_0 : voorversterker + logaritmische telsnelheidsmeter
($0.1 - 10^4 \text{ t/s}$)

β_{20} : lineaire ($0,5 - 10^4 \text{ t/s}$) en log. telsnelheidsmeter

β_{66} : lineaire telsnelheidsmeter

α_{20} : voorversterker + lin. + log. telsnelheidsmeter

α_{66} : voorversterker + lin. telsnelheidsmeter

Al deze signalen (7) worden samen met de omgevingsstraling geregistreerd op twee strookschrijvers.

De alarminstelling wordt juist boven de maximale natuurlijke background geplaatst.

4.2. Omgevingsstraling

Het paviljoen is ook uitgerust met twee G.M. tellers zonder bijkomende afscherming en twee met 1 mm dikke Aluminium afscherming (300 mg/cm^2).

De wanddikte van de G.M. tellers is 30 mg/cm^2 op $85,3 \%$, en 174 mg/cm^2 op $14,7 \%$ van de oppervlakte. In iedere groep is één teller aangesloten op een lineaire en de andere op een logaritmische telsnelheidsmeter. Ook hier wordt het alarmniveau ingesteld op een waarde juist boven de maximale natuurlijke background ($\pm 100 \mu\text{R/h}$). Bovendien worden er op bepaalde plaatsen in de omgeving integrerende dosimeters opgesteld, die periodiek uitgelezen worden.

4.3. Evolutie

De monsternamen en detektiegedeelten van de installatie zijn onveranderd sinds het begin van het SCK.

Elektronisch is een heel nieuw gecentraliseerd systeem voor gegevensverzameling in konstruktie, opgebouwd met een "CAMAC Serial Highway system" en een PDP8E als centrale minicomputer.

5. BESLUIT

- Uit dit beknopte overzicht blijkt dat in het algemeen de meetmethodes niet fundamenteel veranderd zijn. Er is nochtans een tendens waar te nemen om G.M. en scintillatietellers te vervangen door grote-oppervlakte proportionele gastellers. Bovendien wordt er meer nadruk gelegd op gevoeliger toestellen die mechanisch, en wat betreft gebruiksmogelijkheden, handiger uitgevoerd werden.
- Wat betreft de elektronische gehelen, is er echter een belangrijke evolutie gebeurd, die gelijke tred houdt met de algemene evolutie in de elektronika. Dit leidde tot meer mogelijkheden in kleinere volumes en met minder verbruik van energie.
- Tenslotte dient vermeld dat, tegelijk met de groei van het SCK, er een belangrijke toename van het aantal gebruikte toestellen is opgetreden.

REFERENTIES

- [1] 25 Jahre Münchener Bewertungstabellen für Strahlendosimeter. Kerntechnik 20^e Jahrgang (1977) n° 10 p 457-462.
- [2] BROWN D.P. et al., A Coincidence count alpha particulate air monitor, AEC Research and Development Report HW-75 384, (Jan. 3, 1963).

- [3] G. FIEUW, Kontrole van de zones in de installaties waar plutonium behandeld wordt. De stralingsbescherming Journal Belge de Radiologie Vol. 52 (1969) fase 1.
- [4] J. DEWORM, G. FIEUW, Dix ans d'experience dans la détermination de la contamination interne des travailleurs des laboratoires de plutonium in Diagnosis and Treatment of incorporated Radionuclides IAEA Vienna 1976 STI/Pub/411.

SAMENVATTING

Een beknopt overzicht van de stralingskontrolle-apparatuur gebruikt in het Studiecentrum voor Kernenergie te Mol, geeft een beeld van de evolutie die deze apparatuur doormaakte. De vormgeving en elektronische schakelingen werden steeds aangepast aan de laatste ontwikkelingen van de techniek. Proportionele gastellers vervangen geleidelijk een aantal G.M.- en scintillatietellers in bepaalde toepassingen.

RESUME

L'évolution des appareils pour le contrôle des radiations utilisés dans le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire à Mol est passée en revue. L'aspect extérieur et les circuits électroniques ont été adapté aux développements techniques. Les détecteurs proportionnels à gaz ont dans certaines applications remplacé un nombre de compteurs G.M. et de compteurs à scintillation.

SUMMARY

A description of the radiation control instruments, used at the " Studiecentrum voor Kernenergie " in Mol, gives a general view of the evolution of these instruments. The design and electronic circuits were adapted to the developments of technology. In certain applications the G.M. and scintillation counters are being replaced by proportional gas-counters.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Evolution der Strahlenschutzgeräte, die ins " Studiecentrum voor Kernenergie " in Mol verwendet werden, wird beschrieben. Der Form und die elektronische Schaltungen sind immer die letzten Entwicklungen der Technik angepasst worden. Proportionelle Durchflusszähler haben in bestimmte Anwendungen die G. M. und Scintillationszähler ersetzt.