

V.U. Mme Cl. Stiévenart
Av. Armand Huysmans 206, bte 10
B- 1050 Bruxelles - Brussel

ISSN - 0250 -5010

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

VOL. 32, N°2, 2007

3° trim. 2007

Transports et Radioprotection
Transporten en Stralingsbescherming

Driemaandelijkse periodiek
1050 Brussel 5

Périodique trimestriel
1050 Bruxelles 5

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Mr C. Steinkuhler
Rue de la Station 39
B- 1325 Longueville

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. Stiévenart
Av. Armand Huysmans 206, bte 10
B- 1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de Rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs. Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijke toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs. Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

Transports et Radioprotection Transporten en Stralingsbescherming

SOMMAIRE

Acceptable dose exceeding in radionuclides transport drivers
P. DELABARRE

Het transport van radioactieve materialen
Regelgeving : historiek en praktische ervaringen
H. SANNEN

Transport fuel cycle in the production of fission Mo-99
(Abstract)
F. DESMEDT

INHOUD

p.107

p.119

p.127

Ce numéro contient des textes d'exposés présentés lors de la réunion organisée par l'Association belge de Radioprotection à Bruxelles, le 16 février 2007.

Dit nummer bevat teksten van de uiteenzettingen ter gelegenheid van de vergadering van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming in Brussel, op 16 februari 2007.

ACCEPTABLE DOSE EXCEEDING IN RADIONUCLIDES TRANSPORT DRIVERS

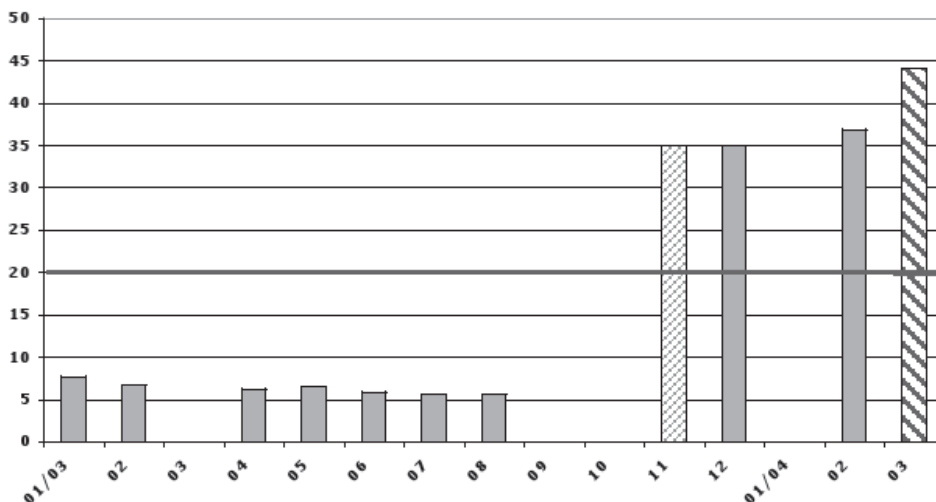
Dr. Med. Pierre DELABARRE, Occupational Physician

IDEWE, Occupational Health Service, Wetstraat 23, B 1040 BRUSSELS

INTRODUCTION

This case-study originated when, mid March 2004, without any foregoing signal, a 12-gliding month dose of 33,5 mSv (fig 1) was recorded in a 50 year old male driver in a radionuclides transporting firm, dose which is nearly the double of the ICRP maximal admitted year-dose of 20 mSv.

fig 1: 12-gliding months dose (mSv)



Apart from immediate prohibition of any further professional exposure to ionising radiation for the driver concerned, and an inquiry for possible explanations involving the employer as well as the driver, an in-depth investigation of the records of all the drivers of this firm was started, in order to diminish possible occupational exposure to ionising radiation, to improve work conditions and procedures, and to establish (and improve, if applicable) the dosimeter management.

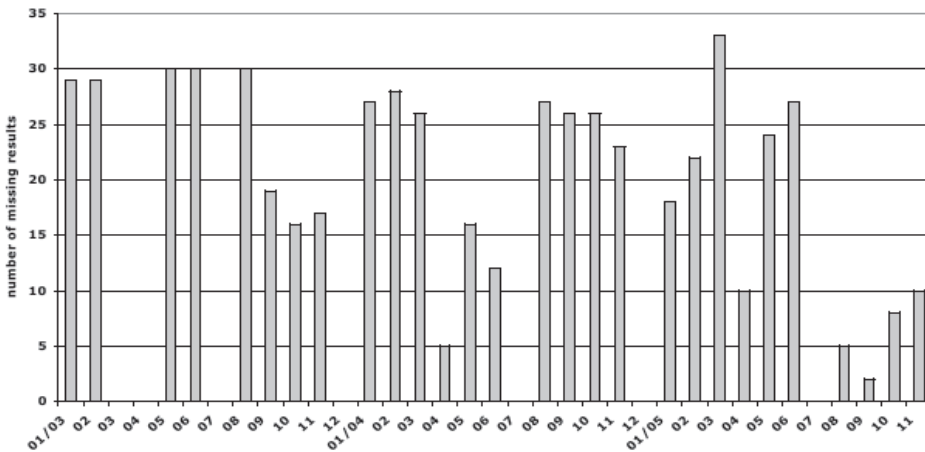
OBSERVATIONS

Normal practise should be that anyone with the risk of occupational exposure to ionising radiation, for whom the bearing of a dosimeter is compulsory, hands in the dosimeter at the end of every month, after which a dosimeter analysis is performed by a qualified laboratory; four to six weeks elapse between the handing over of the dosimeter and the reception of the results by the employer.

First observation

After the alleged time of six weeks after the end of month X, a substantial number of dosimeter analysis results were very frequently missing, as a result of not turning in the dosimeters on time (fig 2).

fig 2: missing dosimetry results on time due

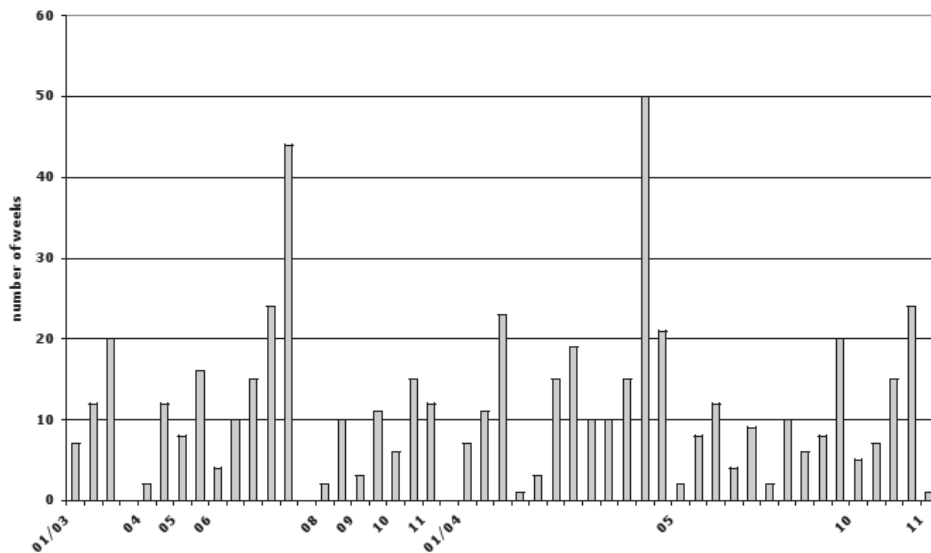


Second observation

Arrears in handing in the dosimeters were up to 50 (!) weeks. (fig 3).

For the driver concerned, the 33,5 mSv result, received in March 2004, related to the dosimeter of November 2003 (delay of 9 weeks); as this high dose was unknown till March 2004, no accordingly appropriate action could be taken by the occupational physician between the end of 2003 and the adnotation of the exceeding dose in March 2004, what explains the yet increasing of the 12-gliding month dose to up to 44,3 mSv (fig 1) , dose that exceeds the double of the ICRP maximal admitted year-dose of 20 mSv.

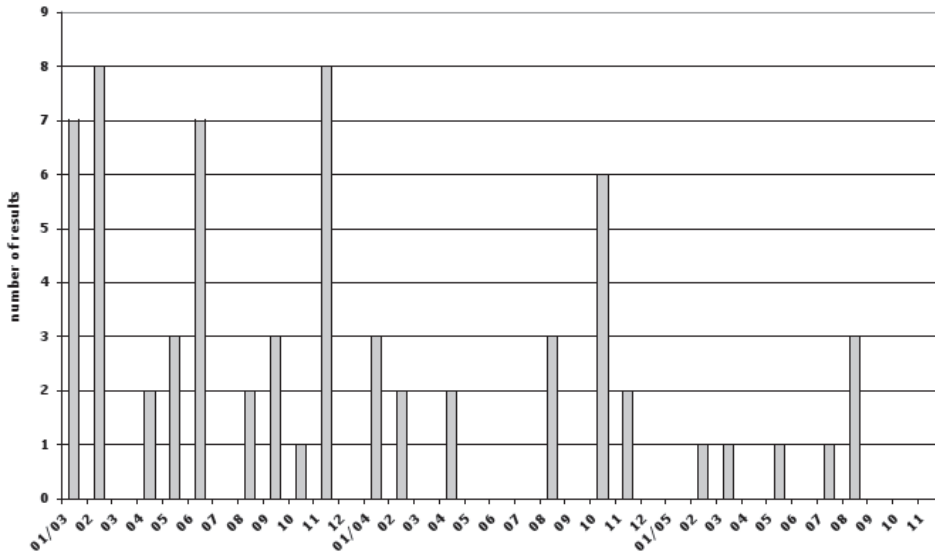
fig 3: weeks overdue of dosimetry results



Third observation

As the maximal admitted year-dose is 20 mSv, one could deduce a maximal admitted month-dose of 1,67 mSv; this limit was frequently transgressed by several drivers (fig 4).

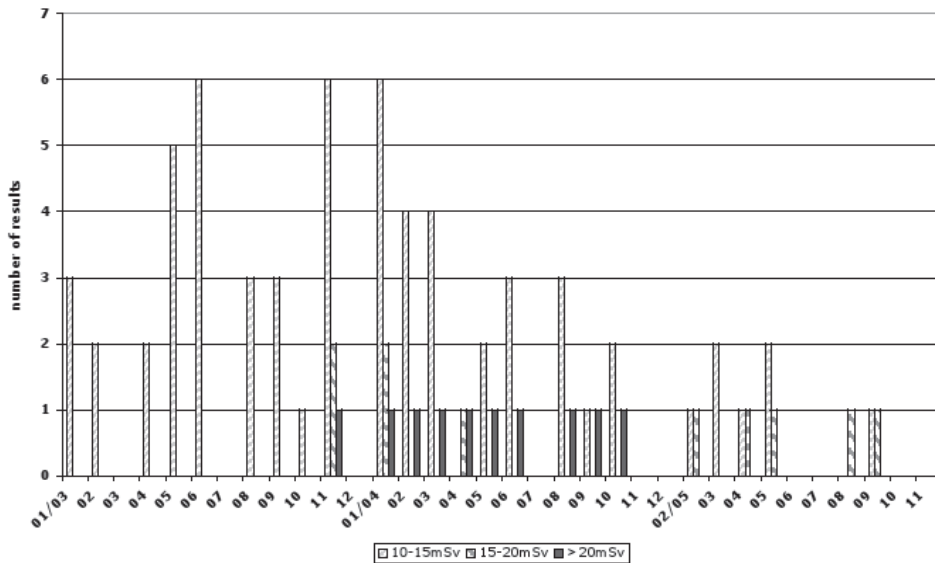
fig 4: monthly dosimetry results $>1/12$ of max admitted year-dose



Fourth observation

Not only was the maximal admitted month-dose transgressed frequently, a dose of over half, even of over three quarters of the maximum admitted year-dose was registered repeatedly (fig 5).

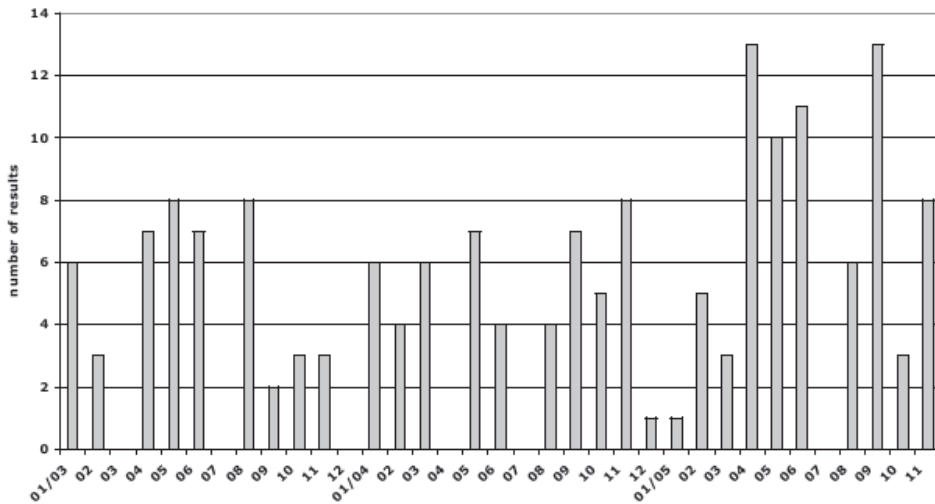
fig 5: high 12-gliding months dosimetry results



Fifth observation

Nevertheless the two previous observations (frequently transgression of the maximal acceptable month-dose and frequently transgression of the half, even of three quarters of the maximum admitted year-dose), and although loads, distances and work schedules could differ, quite a lot of drivers presented dosimetry results of naught (fig 6) suggesting, at the very best, an extremely good stewardship of their work, but, at the very worst, and regretfully the most probable: absence of wearing a dosimeter or absence of wearing the dosimeter correctly.

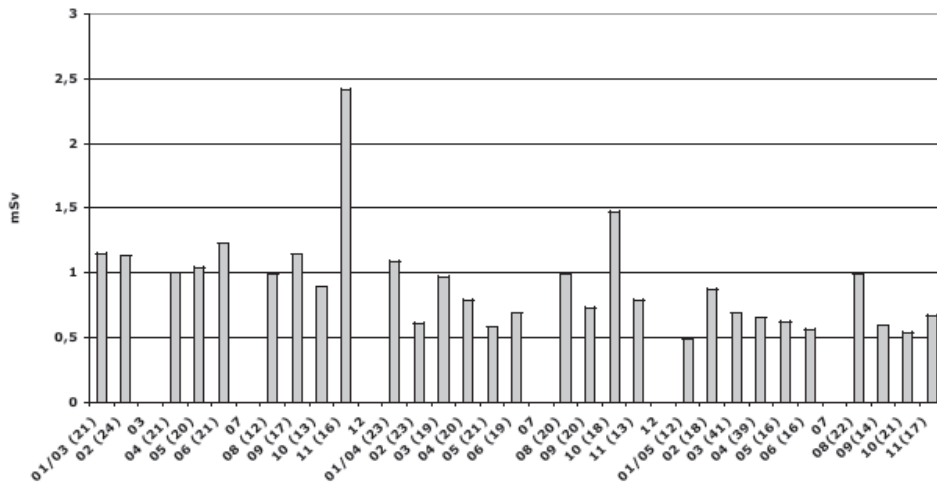
fig 6: monthly dosimetry results = 0



Sixth observation

The very bad management of the dosimeters turns out in monthly very variable numbers of results different from naught, varying between 12 and 41 drivers; giving mean monthly exposures ranging between 0,5 to 2,5 mSv (fig 7).

**fig 7: monthly mean dosimetry results in mSv
(number of employees with dose > 0 between brackets)**



ACTIONS

General

On the basis of the exceeding 12-gliding month dose and on the basis of the observations mentioned above, multiple discussions were held with employer, occupational physician and an agent of the qualified organisation for dosimeter analysis, during which the employer was anything but cooperative; the given possible causes for the exceedings could not be corroborated. In an attempt to clarify the multiple problems, the Governmental Agency for Nuclear Control was involved, which imposed in a first time a – not very stringent, but rather indulgent—action plan.

Meanwhile, a written comment on the monthly dosimeter analyses was sent to the employer and to the concerned drivers if a month-dose exceeded 1,67 mSv and/or if a 12-gliding month dose exceeded 10 mSv. There was no reaction, neither from the employer nor from the drivers.

The Belgian legislation on occupational health gives employers the choice which service of occupational they want to adhere to: this has as a consequence, that an employer, who is unsatisfied by the occupational health service or by the occupational health physician, can ask for an other physician, or can adhere to an other health service.

The latter happened.

Contacts with the colleague who took over the occupational health responsibility over this employer nevertheless made it possible to provide some follow-up on the progress made by the employer.

End 2005 and beginning 2006, the number of missing dosimetry results was clearly much lower than previously (fig 8); the other way round, the number of results, known on due time, was definitely higher (fig 9).

fig. 8: MISSING DOSIMETRIES

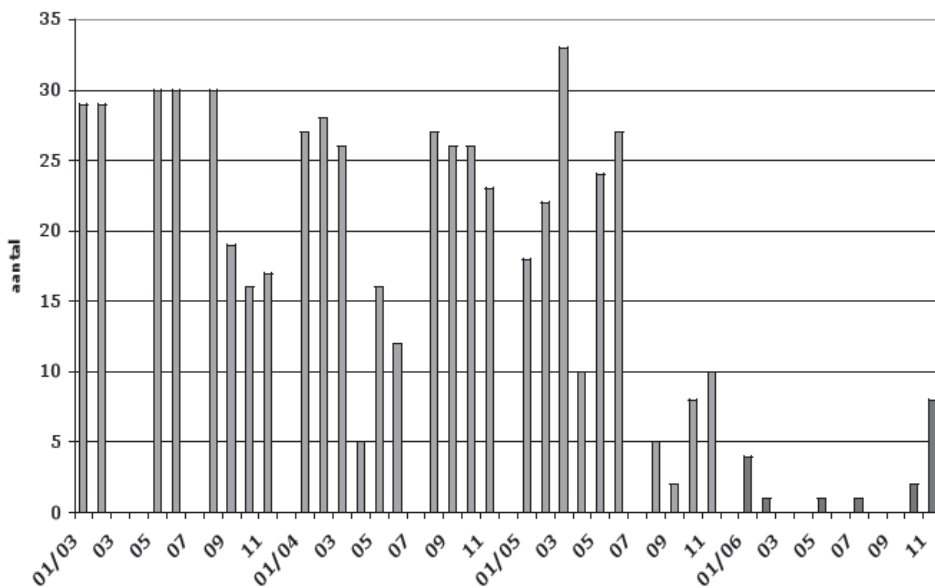
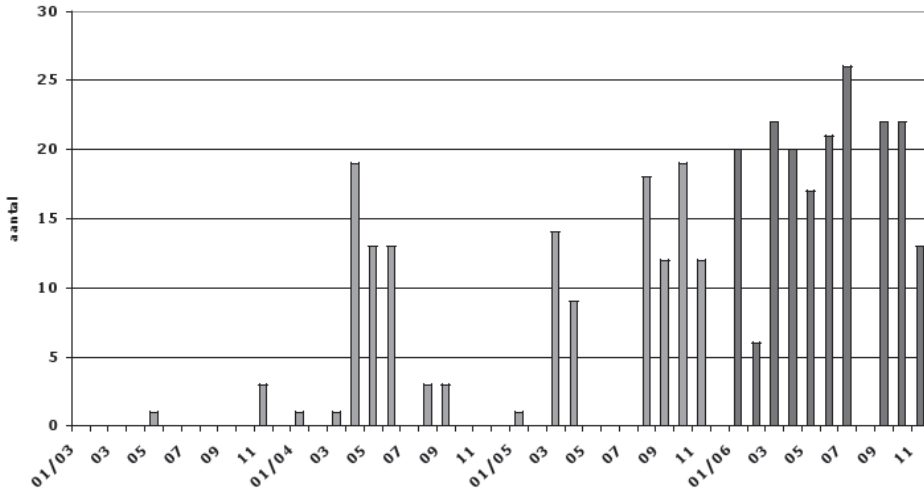
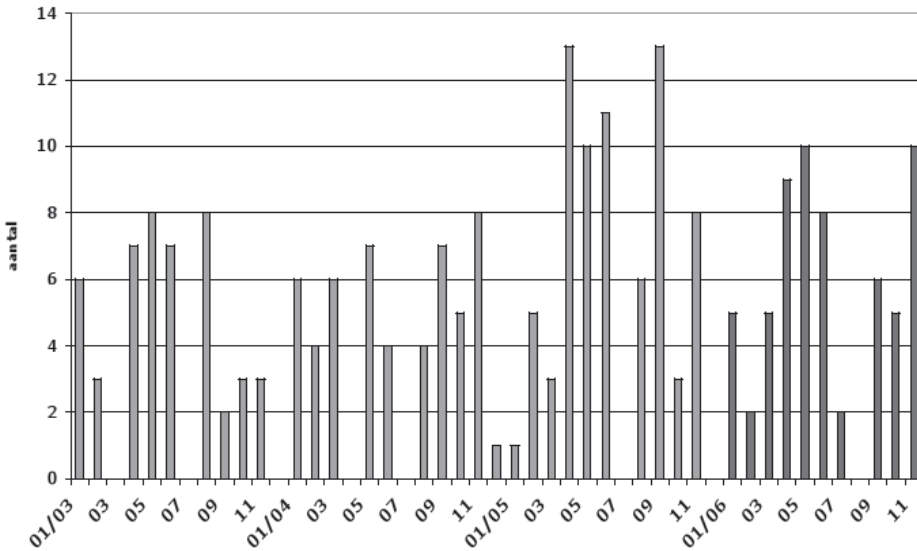


fig. 9: RESULTS KNOWN IN DUE TIME



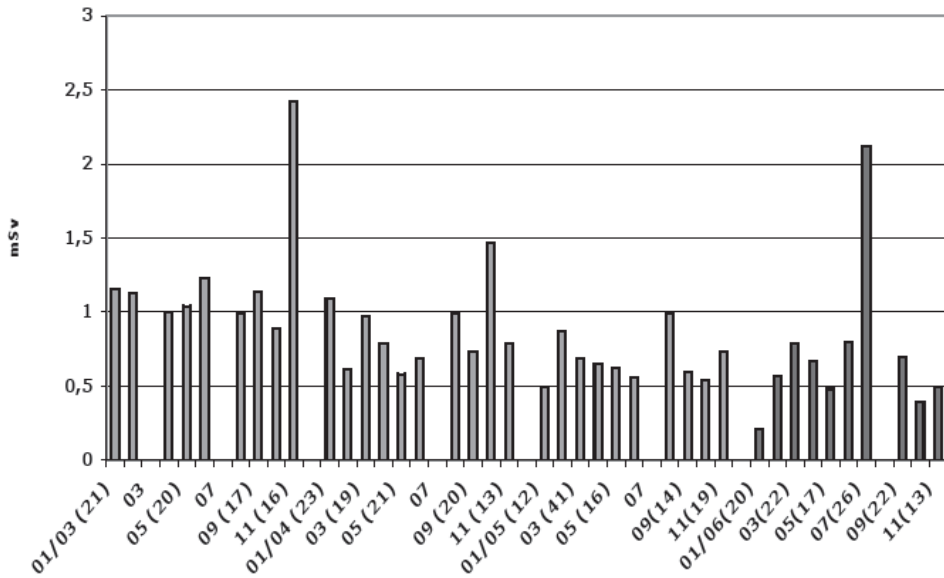
Otherwise, the number of dosimetry results with value naught, did only diminish slightly (fig. 10).

fig. 10: DOSIMETRIEËN MET WAARDE = NUL



The monthly mean value for the employees with dosimetry results greater than zero, did diminish slightly, although mean values of over 0,5 mSv (even to nearly 2,5 mSv), did occur (fig.11).

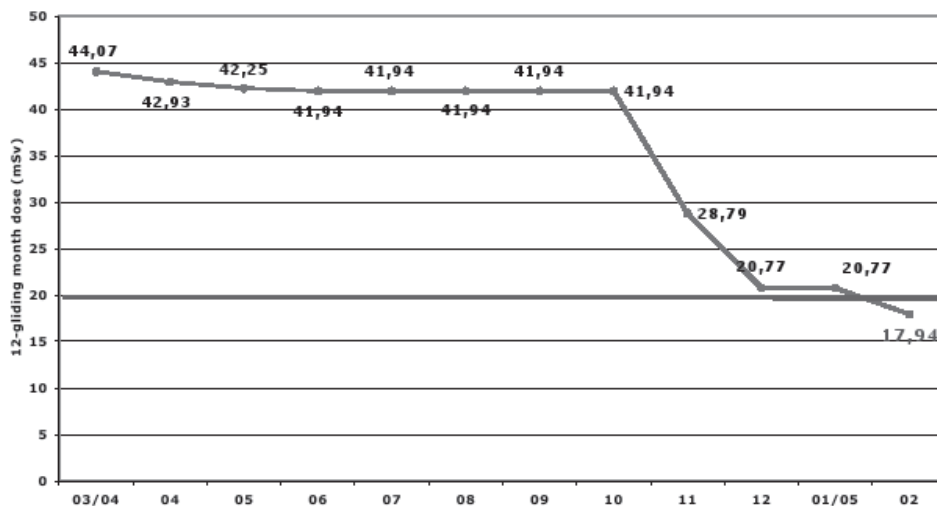
fig. 11: MONTHLY MEAN VALUE in mSv
(number between brackets)



Driver with exceeding dose

As the driver was no longer exposed to ionising radiation, his 12-gliding month dose diminished every month; the lowering was in the first month rather restricted, as the rising had been low (if any) the first three quarters of 2003 and suddenly very high end 2003 (fig 1); by sequential subtraction of the monthly dose the moment of re-admission to the risk of ionising radiation could be calculated and fixed on February 2005 (fig 12).

fig 12: regularizing scheme



GENERAL CONCLUSION

118

In the radionuclides transport enterprise studied, incorrect work procedures for prevention of irradiation and/or a degree of non-compliance to these procedures caused several (severe) transgressions of acceptable good practise values. Because of clearly insufficient management of the dosimeters by the employer, the occupational health physician was in the impossibility of tracing in time the procedure or attitude errors, as well as to provide guidance in these matters.

The impact of the -rather indulgent- controls and admonitions by the Federal Agency for Nuclear Control, was rather limited.

Very tough compliance (by employer and employees) to a well organised management of the dosimeters is the only way to prevent dose transgressions as noted.

HET TRANSPORT VAN RADIOACTIEVE MATERIALEN: REGELGEVING: HISTORIEK EN PRAKTISCHE ERVARINGEN.

Herman Sannen

Transnubel

Gravenstraat 73, 2480 Dessel

Historiek van de regelgeving IAEA

Sinds de zestiger jaren heeft zowel de nationale als de internationale regelgeving aangaande het vervoer van radioactieve stoffen enkele grondige wijzigingen ondergaan.

Bij het samenstellen van de originele regels door het IAEA in de zestiger jaren (eerste uitgave in 1961), werd van het begin af het zwaartepunt van de transport veiligheid op de correcte en aangepaste verpakking gelegd. De criteria van besmetting en dosislimieten ondergingen sinds dien geen fundamentele wijzigingen. Voor het transport van radioactieve materialen die door hun samenstelling of hoeveelheid een reëel risico zouden vormen indien zij bij een ongeval zouden vrijkomen, werd reeds in de eerste uitgave van het IAEA het gebruik van verpakkingen die ook in ongevalomstandigheden hun beschermende functies behouden voorgeschreven. In de eerste uitgaven (begin zestiger jaren) ging het hier om kwalificaties van de verpakkingen zelf. Deze moesten aan een aantal testcriteria voldoen en daarna nog hun essentiële eigenschappen wat betreft bescherming (stralingsafscherming, dichtheid, warmteafvoer,...) behouden. De combinatie van val van 9m (eigenlijk toen 9,2m) in zijn meest kwetsbare oriëntatie op een onvervormbaar oppervlak en een brandtest van 30 min bij 800° C werden reeds vereist in voorschriften voor verpakkingen type B die van kracht waren in 1961!

Al tamelijk vroeg, vanaf de uitgave van SS6-1972, uitgegeven in 1973 werden de verpakkingscriteria op het collo (dwz op de combinatie van verpakking + inhoud) gefocuseerd. In deze uitgave werden ook de A1 en A2 waardes ingevoerd en werden de ontwerp criteria van verpakkingen

verder verfijnd Sterke Industriële verpakkingen, Type B(U), B(M), valtest van 1m op paal van 20cm hoogte, temperatuur en insolarisatie enz werden reeds van toen opgenomen in de regelgeving.

In de uitgave SS 6 -1973 Gereviseerde uitgave (As Amended), uitgegeven in 1979, werden enkel details aangepast en gewijzigd; de meest belangrijke wijziging naar mijn gevoel is, dat men voor de penetratie test (val van 1m op paal van 20 cm lengte) het zinnetje toegevoegd heeft “of langer indien dit tot meer schade zou kunnen leiden”

In de volgende versies van SS6 (1985, 1985 as amended 1990) zien wij praktisch geen essentiële wijzigingen in de verpakkingsvoorschriften en testcriteria meer; de belangrijkste evoluties vinden we daar in de administratieve voorschriften: enkele A1/A2 waarden werden aangepast (sommige versoepeld, andere verstrengd; zeer opvallend was de versoepeling van de A2 waarde voor 226Ra met praktisch een factor 10). Het hoofdstuk LSA werd grondig herzien: de criteria voor LSA II vloeistoffen werden aangepast en substantieel verstrengd (deels tengevolge van de aangepaste A2 waarden), er werd een onderscheid gemaakt tussen LSA en SCO, (SCO werd gedefinieerd), en LSАIII vervangt een deel van LLS. Verder werden QA criteria ingevoerd, en een aanzet voor de vereisten van een Radio Protectie Program werd gegeven. De besmettingslimieten voor uitgezonderde colli werden met een factor 10 verminderd.

In 1996 werd een nieuwe versie van de IAEA regelgeving uitgegeven onder de nieuwe benaming ST-1. Behalve de naamwijziging, kenmerkt deze uitgave zich in het feit dat men afstapt van het duidelijk multimodale karakter van de verpakkingsvoorschriften van de vorige uitgaven, en specifieke verpakkingscriteria voor luchtvervoer van splijtstoffen en hoge activiteiten van sterk radiotoxische isotopen oplegt: de type C verpakking. Deze uitgave kenmerkt zich ook door het verschijnen van de notie LDM, de vereiste van een Stralingsbeschermings programma en de specifieke bijkomende voorschriften voor UF6 colli wat betreft het gedrag in geval van brand. Als minder opvallende wijzigingen noteren wij de verandering van een aantal A2 waarden, die meestal een versoepeling inhouden, behalve o.a. voor 226Ra, dat terug naar de oorspronkelijk 10 maal strengere waarde gaat, en de terugkeer naar een zelfde oppervlakte besmettingslimiet voor alle colli (ook de uitgezonderde). De verpakking en testcriteria voor de andere colli (niet luchtvervoer en niet UF6) ondergingen geen substantiële

wijzigingen in vergelijking met de vorige versies van de reglementering.

Ook de volgende versies van de IAEA regelgeving hielden, behoudens nog eens een naamsverandering (TS-R-1 uitgegeven in 2000 tot TS-R-1 2005 editie), geen essentiële wijzigingen in met betrekking tot verpakking of testcriteria.

Samenvattend kunnen wij dus stellen dat, wat betreft de verpakkingscriteria en de testcriteria waaraan de verpakkingen voor het vervoer van radioactieve stoffen moeten voldoen, de internationale regelgeving zeer constant gebleven is gedurende nu bijna 5 decennia. De set test criteria waaraan verpakkingen die ook onder ongevalcondities hun eigenschappen dienen te bewaren (Type B(U) of B(M)) moeten voldoen is feitelijk gebaseerd op de tests die reeds in de 1961 uitgave opgesteld en voorgeschreven werden; op enkele verfijningen en uitbreiding in de zeventiger jaren na verschillen zij in principe niet van de actueel van toepassing zijnde combinatie. Het dient opgemerkt dat deze set van testcriteria niet aanzien wordt als een nabootsing van ongevalsituaties of als ongevals simulaties, maar als toetsen en vereisten voor ontwerpcriteria, die indien correct geïmplementeerd, de garantie bieden dat het collo, indien betrokken in de overgrote meerderheid van de te voorziene ongevallen, geen onaanvaardbare risico's veroorzaakt. De notie "Maximal credible accident" van de eerste jaren werd al spoedig verlaten, omdat die al snel leidde tot "Maximal incredible accident". Enkele ongevals simulaties die ondertussen uitgevoerd werden (vb "Smash-Hit" in de U.K. en de test met de exploderende LPG tank bij BAM) bevestigden deze zienswijze.

Uit de hoger aangetoonde stabiliteit van de verpakking criteria zoals opgelegd door de IAEA regelgeving nu concluderen dat er geen evolutie zou zijn in het ontwerp van de verpakkingen is niet in overeenstemming met de feiten.

Enerzijds heeft de evolutie in de wetenschap en de techniek, denk maar aan de gesofistikeerde computer en simulatie programma's, de ontwerpers mogelijkheden geboden om meer performante verpakkingen te ontwikkelen en zo tegemoet te komen aan de industriële en economische vereisten om sterkere bronnen en hogere activiteiten op een economisch en veiligheidstechnisch verantwoorde wijze te vervoeren.

Anderzijds hebben de bijkomende administratieve voorschriften (bv QA) en de evolutie in interpretatie door de bevoegde overheden van de bestaande criteria het de ontwerpers moeilijker gemaakt de betrokken bevoegde overheden ervan te overtuigen dat het voorliggende ontwerp aan al de criteria van de reglementering in alle omstandigheden voldoet. Een actueel veiligheidsdossier voor goedkeuring van een type B(U) collo is veel omvattender en complexer dan een vergelijkbaar dossier uit de zestiger of zeventiger jaren.

De Belgische situatie

Van in het begin van de zestiger jaren werd in België o.a. het vervoer van radioactieve stoffen in essentie geregeld door het KB van 1963. Specifiek voor België was (en is) dat voor het transport van alle radioactieve stoffen een vervoervergunning verplicht is. De internationale (IAEA) regelgeving werd, althans wat de verpakkingscriteria betreft, door deze vervoervergunning reeds van in het begin geïmplementeerd ook voor het nationale wegvervoer. Voor het lucht en zee vervoer en het internationaal wegvervoer is de (volledige) implementering van de IAEA regelgeving door de ICAO, IMO en ADR conventies geregeld. Later werd door de Europese richtlijnen het volgen van de ADR voorschriften (en dus de implementering van de IAEA voorschriften) ook voor nationale transporten voorgeschreven.

Sinds enkele jaren werd het KB van 1963 vervangen door het KB van 20 Juli 2001. Ook hier kunnen wij niet spreken van een revolutie; de grote principes van de wetgeving zijn constant gebleven. De weegfactor van activiteitslimieten voor o.a. het beperken van de activiteit die onder dekking van een bijzondere of algemene vergunning kan vervoerd worden werd aangepast: in plaats van de vroegere radiotoxiciteit klassen werd een splitsing naar Atoomnummer gemaakt. Dit had tot gevolg dat b.v. het vervoer van grote hoeveelheden Uraanerts of concentraat, dat vroeger onder een bijzondere of algemene vergunning kon uitgevoerd worden, nu een speciale vergunning vereist. Het feit dat bepaalde ertsen nu onder de reglementering vallen en vroeger niet, en dus nu een vervoervergunning vereisen, is meer een gevolg van de evolutie van de internationale regelgeving dan van de Belgische. Het principe van vervoervergunning,

zoals het in België toegepast wordt heeft zowel nationaal als internationaal zijn voor en tegenstanders. Tegenstanders vinden het een bijkomende complicatie, die enkel kosten verhogend (zeker sinds het invoeren van de retributies) en voor een stuk protectionistisch werkt. Soms wordt het zelfs als reden of aanleiding aangegeven waardoor bepaalde vervoerders het vervoer van radioactieve stoffen zouden afwijzen. Anderzijds kunnen wij vaststellen dat bevoegde overheden die zich vroeger afzetten tegen dit principe, nu, al dan niet verdoken, gelijkaardige voorschriften invoeren of plannen in te voeren om aan hun controleopdrachten in het kader van QA, C.A., RPP, security e.a. te voldoen.

Enkele Praktijkvoorbeelden

Uit het feit dat zowel de Belgische als de Internationale transportreglementering, zeker wat betreft de verpakkingsvoorschriften en criteria, gekenmerkt wordt door een opmerkelijke stabiliteit in de tijd, zou men kunnen veronderstellen dat deze door alle betrokkenen goed gekend en eenduidig en correct zouden geïnterpreteerd worden. Dit is duidelijk niet altijd het geval.

- Het feit dat men sinds meer dan dertig jaar reeds rekening moet houden met de inhoud van een collo om het correct te kunnen klassifiëren blijkt nog altijd niet overal goed begrepen. Type A of IP attesten voor verpakkingen, zonder opgave van inhoud beperkingen zijn daar een voorbeeld van:
 - Een type A verpakking voor het vervoer van vaste stoffen is niet hetzelfde als een type A verpakking voor het vervoer van vloeistoffen.
 - Een isocontainer kan perfect aan de IP2 criteria voldoen indien hij homogeen beladen is met materiaal van een beperkte dichtheid, maar niet indien de inhoud bestaat uit een massief element met hoge dichtheid zonder bijkomende verregaande maatregelen van krachtsverdeling.

- Een hardnekkig misverstand is dat men in een type A verpakking evenveel of meer mag vervoeren als in een IP2 of IP3; men vergeet hier dat de beperkende factor bij een type A verpakking de activiteit is (A2 of A1). Bij de IP verpakkingen is de eerste beperkende factor de activiteitsconcentratie (bv 10Exp-4 A2/g) en in tweede instantie de uitgezonden straling (max 10 mSv/h op 3m van de onafgeschermd inhoud). In de praktijk kan de totale activiteit ruimschoots boven de A2 limiet uitkomen. Dit misverstand wordt in de hand gewerkt door het feit dat in bepaalde landen splijtstof steeds in een type A of Type B collo moet vervoerd worden; I-F kennen zij niet – nog een erfenis van de 1961 reglementering?
- Etiketten 7A (1 Wit), 7B (II Geel), 7D (III Geel) en 7D (Radioactief) zijn ons reeds lang bekend, maar 1 Geel en 1 Wit met Transportindex zijn zeker niet internationaal genormaliseerd. (maar lokaal kunt ge die wel tegenkomen).
- Om de reglementering correct te verstaan en te interpreteren moet men de betreffende definities, zoals ze in de reglementering voorkomen, correct en consequent gebruiken.
 - De discussie dat 60Co of 137Cs niet als LSA kunnen gecatalogeerd worden omdat zij een hoge specifieke activiteit hebben klopt natuurlijk voor de zuivere isotopen, maar niet indien zij verdund zijn en binnen de criteria van LSA. Men moet hier de definitie van de reglementering gebruiken en niet die van een woordenboek.
 - Een gelijkaardig en nog duidelijker voorbeeld is de omschrijving: “Radioactief materiaal in speciale vorm”. Het is niet omdat een bron 50 cm lang is en 3 cm breed, dat het een “special form” bron is. “Sealed Source”, “Special Form Radioactive material” en “Ingekapselde Bron” zijn geen synoniemen!!!
- Een aantal afzenders (vnl centrales, reactoren, en onderzoekcentra maar niet enkel zij) hebben blijkbaar nogal problemen om de samenstelling van hun radioactieve materialen correct weer te geven : activiteit en isotopen zijn dikwijls een probleem. Een specifiek probleem wordt het indien een complexe mengeling van

isotopen verzonden wordt: bij het bepalen van de “dominante” of “belangrijkste” isotopen vergeet men dat niet alleen de activiteit de bepalende factor is, maar ook het aantal A2.

- VB: Geactiveerde klei met als dominante isotopen Ca en Mg ver beneden de A2 limiet en, na vragen om bijkomende informatie omdat de voorgestelde verpakking (type A met zware afscherming) niet overeenkwam met de te voorziene straling, als onzuiverheid enkele mg ^{60}Co (maar dat was wel boven de A2 waarde)
- MFP met als dominante isotopen ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr opgegeven; bij nader toezien bleek de ^{241}Am isotoop een 10 maal hogere A2 dan de vorige isotopen te hebben. (wel een lagere activiteit)
- Het correct gebruiken van verpakkingen (correcte toegelaten inhoud, correcte montage en sluiting, geen “aanpassingen” enz) zijn de verantwoordelijkheid van de afzender en essentieel voor de veiligheid van de transportoperaties. Het weglaten of vervangen van onderdelen “omdat anders de inhoud er niet in past” of “omdat het dan sneller vooruitgaat” behoort niet tot de goede praktijk en is geen goede interpretatie van het ALARA principe.

Als besluit zou ik willen zeggen, dat naar mijn gevoel en bij mijn weten, in het algemeen het vervoer van radioactieve materialen gewetensvol en veilig gebeurt. Een aangepaste, doelgerichte en efficiënte opleiding van alle betrokkenen moet ons aller bekommernis zijn, zowel binnen de bedrijven zelf als vanwege de overheid.

De beste garantie, ook in de toekomst, voor het veilig transport van Radioactieve stoffen en materialen, is het optimaal toepassen van een geoptimiseerde reglementering. Bij het aanpassen van deze reglementering en de interpretatie/toepassing ervan, moeten de betrokkenen wel oppassen niet te vervallen in “maximal incredible hypothetical circumstances” als de standaard.

Een wijs en grijs man zei mij eens:

“THE BEST IS THE ENNEMY OF THE GOOD”

TRANSPORT FUEL CYCLE IN THE PRODUCTION OF FISSION Mo-99

François DE SMEDT
TRANSRAD

Abstract

- Mo-99 is the basic isotope for the manufacturing of TC-99m generators for medical diagnostic purposes.
- Mo-99 is a fission product of enriched uranium.
- Usually, highly enriched uranium (HEU) is used for this purpose.
- Due to the fact of HEU the physical protection during transport is very important.
- The first step in the fuel cycle is the transport of the non-irradiated uranium targets to the reactors.
- The targets are irradiated for a short time in a high neutron flux reactor.
- Only 3 to 4% of the uranium is burned-up during irradiation.
- The second step in the fuel cycle is the transport of the irradiated targets to the reprocessing facility.
- After reprocessing of the irradiated uranium and recovery of the Mo-99, the remaining material is stored.
- This material, which is still HEU, can be recycled to produce new targets which can be irradiated as well.
- This closes the fuel cycle.
- Theoretically this process could be repeated several times with still a good yield in Mo-99.