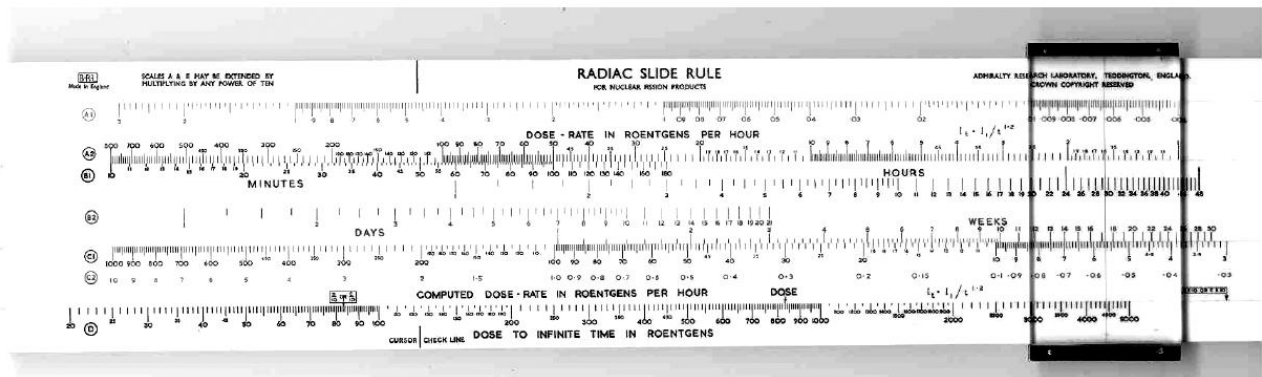


Als de bom valt...

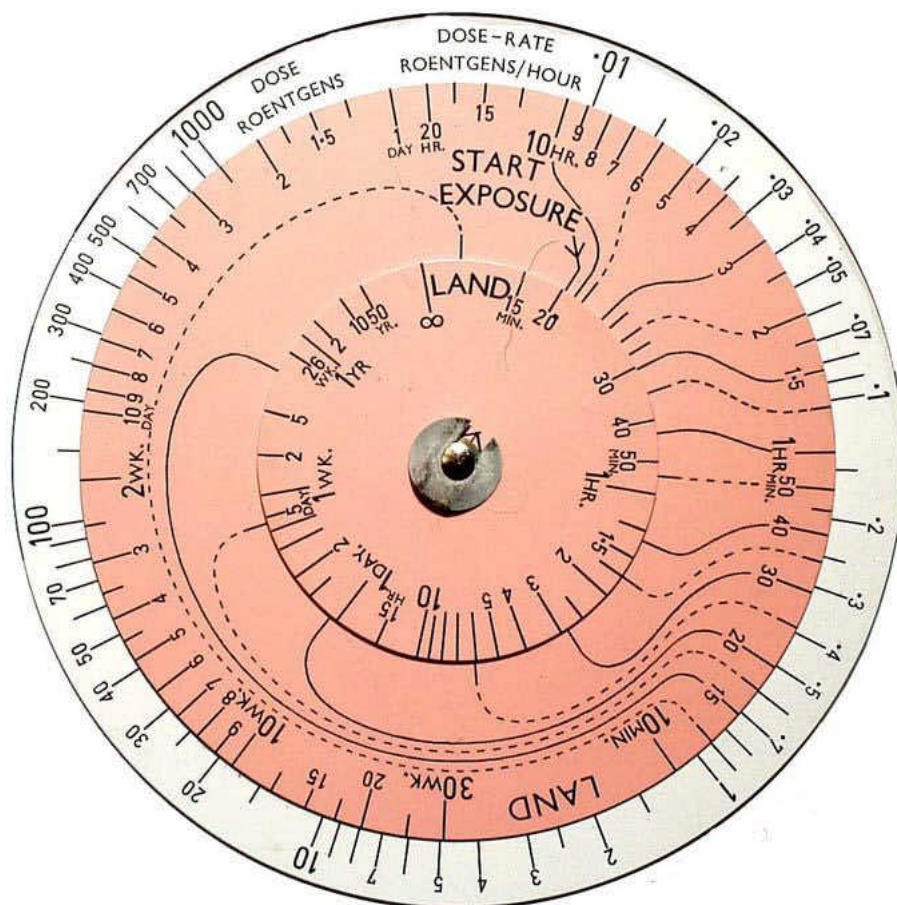
In zijn boek "The Slide Rule - Technical Cultural Heritage"[1] beschrijft IJzebrand Schuitema een Radiac-rekenliniaal van Blundell Rules Ltd. (figuur 1) waarmee berekend kan worden hoe groot de stralingsdosis is die men op kan lopen ten gevolge van de radioactieve fall-out na de explosie van een atoombom. Veel bekender dan de Radiac-rekenliniaal zijn de Radiac-rekenschijven die meestal gemaakt zijn uit slap plastic en verpakt zijn in een groen plastic hoesje met een typische geur (figuur 2).



Wat is de relatie tussen de Radiac-rekenliniaal en de Radiac-rekenschijf?



Figuur 1 : Radiac-rekenliniaal van Blundell Rules Ltd.



Figuur 2: Radiac-rekenschijf

De formules voor de rekenliniaal zijn[2]

$$I(t) = I(1) t^{-x} \quad (1)$$

$$D(t,8) = \frac{I(1) t^{(1-x)}}{x-1} \quad (2)$$

waarin: t = tijd na de explosie (in uren)

$I(t)$ = stralingssterkte op tijdstip t , in R/h of Gy/h [3]

$D(t,8)$ = totale stralingsdosis die ontvangen wordt tussen t en de "eeuwigheid" (waarover later meer), in R of Gy [3]

x = een vervalsconstante.

Met formule (1) kan berekend worden hoe groot de stralingssterkte is op een bepaald moment, als de stralingssterkte op een ander moment bekend is. Met formule (2), de integraal van formule (1), kan dan worden berekend hoe groot de totale ontvangen stralingsdosis zal zijn, afhankelijk van de tijd na de explosie waarop de bestraling begint. Bij de meeste rekenlinialen bedraagt de kortste tijd tussen explosie en begin van bestraling 15 minuten. Als de waarnemer een kortere tijdsspanne moet aflezen kan hij zich beter om andere dingen zorgen maken.

Een algemenere versie van formule (2), waarbij de bestraling begint en ooit eindigt, volgt ook uit formule (1):

$$D(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} I(1) t^{-x} dt = \left. \frac{I(1) t^{1-x}}{1-x} \right|_{t_1}^{t_2}$$

Op het eerste gezicht zijn dit rare formules. Bij radioactiviteit denk je als eerste aan exponentieel verval:

$$I(t) = I(0) 2^{-t/T_{1/2}} \quad (3)$$

waarin: $T_{1/2}$ = de halfwaardetijd

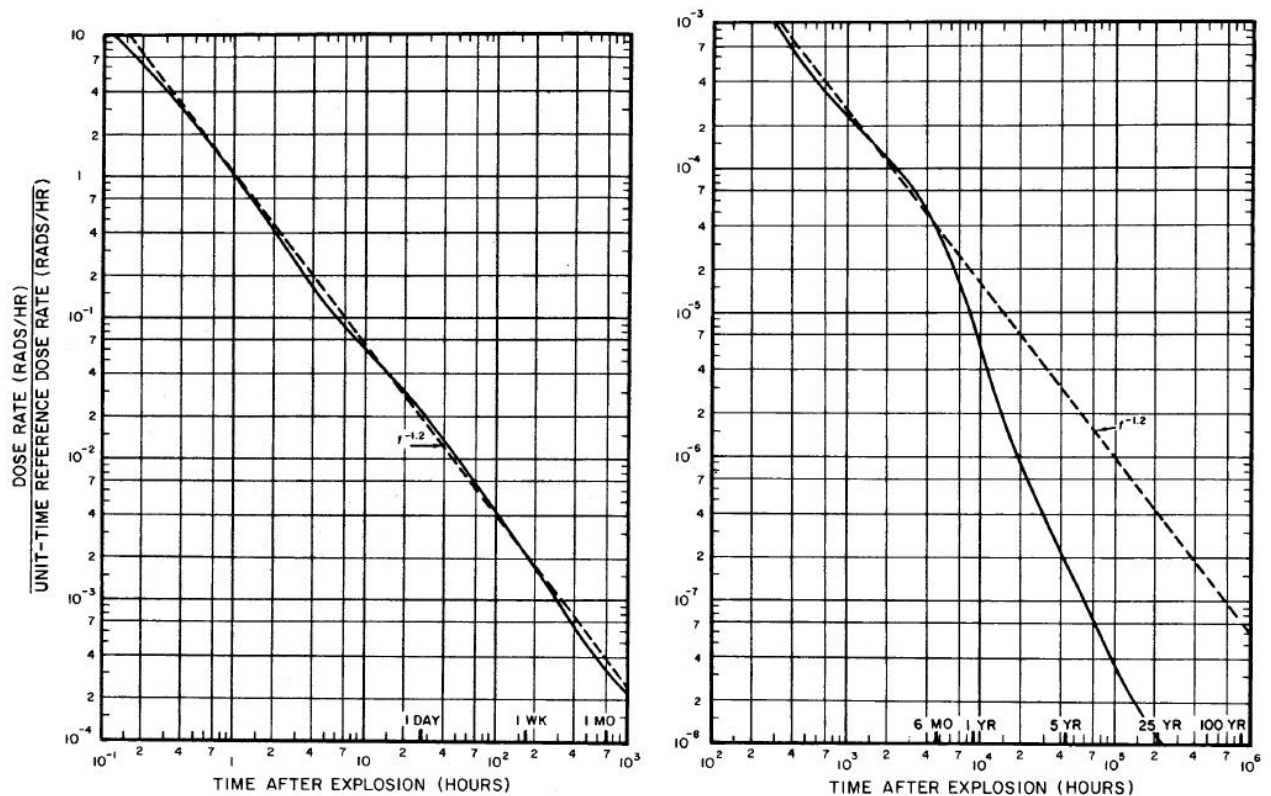
maar de rekenlinialen gebruiken een t-macht.

Wat is hier aan de hand?

Formule (3) geldt voor een ideale stralingsbron: één radioactieve isotoop die vervalst naar een stabiele isotoop. De fallout van een atoombom is verre van ideaal: er komen wel 300 verschillende radioactieve isotopen in voor met zeer uiteenlopende halfwaardetijden, en de straling kan ook nog andere isotopen activeren. Daarom wordt voor fallout de empirische formule (1) gebruikt, waarbij geschat wordt dat x ligt tussen 0.2 to 2.0. Deze waarde hangt onder andere af van de soort bom, de hoogte van de explosie en de ondergrond van de explosie[2,4,5]. Eigenlijk zou x per explosie door metingen bepaald moeten worden. Als eerste schatting wordt genomen: $x = 1.2$. Deze waarde geldt ongeveer voor 30 minuten tot 200 dagen na de explosie. De eeuwigheid is dus beperkt tot 200 dagen, wat mij in het geval van een nucleaire oorlog nog een optimistische schatting lijkt.

Formule (1) wordt ook wel de Kaufmann formule genoemd, of de 7:10 regel: na 7 uur is 1/10 van de straling over (want $7^{-1.2} = 0.1$). Voor gebruik op zee heeft de Radiac-rekenliniaal aan de achterkant van de schuif een schaal met $x = 1.3$, om de invloed te verdisconteren van de Na24-isotoop die door neutronenvangst wordt gevormd.

In figuur 3 worden de theoretische stralingscurve en de $x = 1.2$ -fit gegeven[5].



Figuur 6 : de berekende en gefitte stralingscurve voor land-explosies[5]

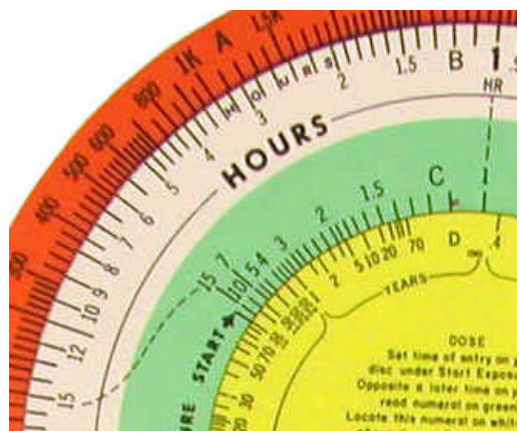
De ronde Radiacs bevatten dubbelzijdige draaibare schijven: de ene kant is voor land-explosies, de andere voor zee-explosies, wat overeenkomt met de twee zijden van de schuiven van de Radiac-liniaal. De schijven gebruiken dezelfde x -waarden als de liniaal: $x = 1.2$ voor land en $x = 1.3$ voor water. In tegenstelling tot de liniaal vermelden de schijven deze waarden niet, maar ik heb ze door meting gecontroleerd. Blundell Rules Ltd. heeft ook deze rekenschijven gemaakt. Ze kunnen voorkomen met een röntgen-schaal, of met een gray-schaal. De schaal op de buitenste schijf heeft een dubbele functie: hij wordt gebruikt voor zowel voor de stralingssterkte (in R/h of Gy/h) als de dosis (R of Gy). Voor formule (1) gebruik je de schaal op de buitenste schijf als stralingssterkte-schaal, in combinatie met de tijdschaal op de tussenschijf: draai de tussenschijf zo dat het tijdstip waarop een stralingsmeting is gedaan tegenover de gemeten stralingsterkte ligt en lees dan de verwachte stralingsterkte op een ander tijdstip af.

Formule (2) is op de schijven meer uitgebreid dan op de liniaal: in plaats van $D(t, 8)$ kan $D(t_1, t_2)$ voor twee willekeurige tijdstippen worden bepaald. Zet hiervoor t_1 van de centrale schijf bij de pijl "Start exposure" op de tussenschijf, zoek dan t_2 op de centrale schijf, volg de kromme lijn naar de rand van de tussenschijf, en lees op de buitenste schijf de dosis af staan.

Om op de Radiac-liniaal $D(t_1, t_2)$ te bepalen zou men $D(t_1, 8)$ en $D(t_2, 8)$ moeten aflezen en het verschil uit het hoofd moeten berekenen. Met de Radiac-schijven kan ook $D(t, 8)$ worden berekend: de centrale schijf bevat een markering voor $t = 8$. Overigen is dit een "gauge mark" die nog ontbreekt in Panagiotis Venetsianos' boek.

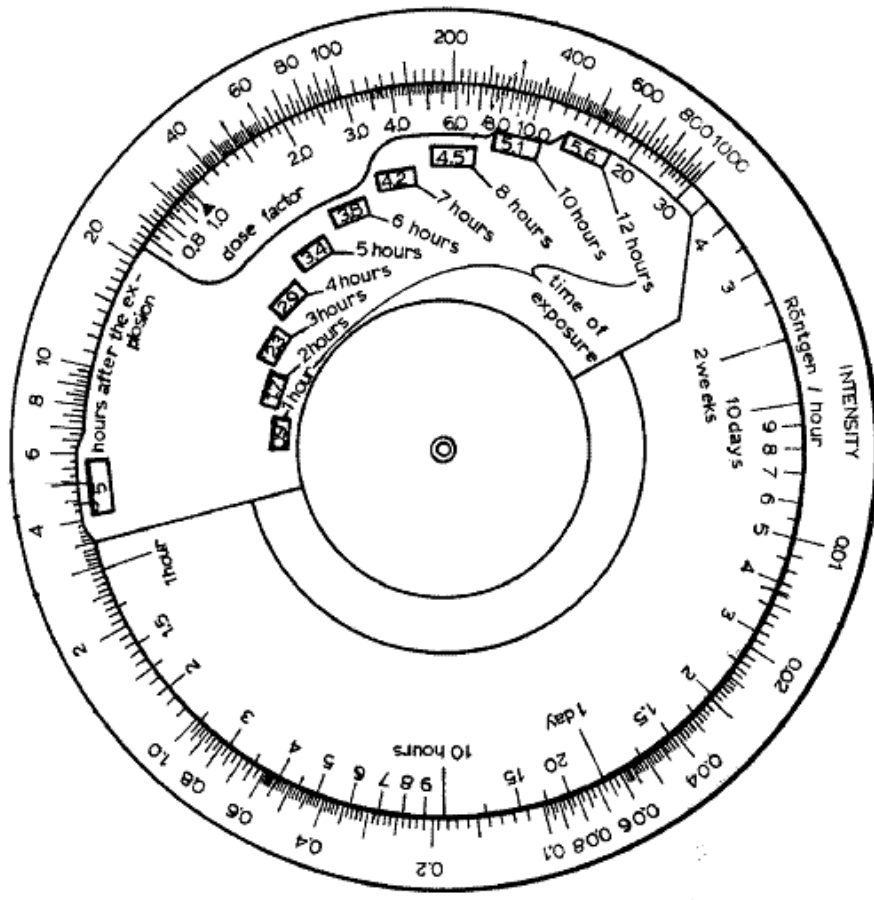
Nestler heeft een vergelijkbare schijf gemaakt, de ABL 1962 Commanders Radiation Guide, waarin de fraaie kromme lijnen zijn vervangen door lelijke gekleurde blokken.

Bij de M-2 Radiation Calculator (Wade Products Inc., voor de New York State Civil Defense Commission) komen geen lijnen of blokken voor. Bij deze rekenschijf heeft de tussenschijf een hulpschaal die tegen de centrale schijf aanligt. Deze schaal correspondeert met de schaal aan de buitenrand van de tussenschijf. Om van de tijdschaal op de centrale schijf naar de dosis-schaal op de buitenste schijf te komen moet de gebruiker geen kromme lijn volgen, maar op de binnenste schaal van de tussenschijf een waarde aflezen die bij de gewenste tijd op de centrale schijf staat en vervolgens die waarde op de buitenste schaal zoeken. De M-2 illustreert het principe door twee voorbeeldlijnen (figuur 4). Deze lijnen komen dus overeen met de lijnen op de typische ronde Radiacs.

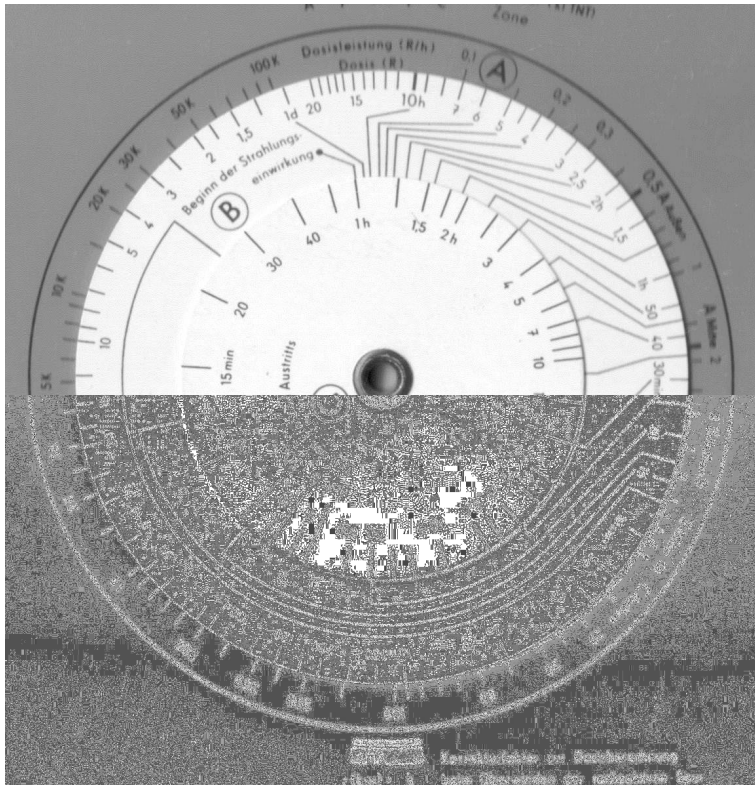


Figuur 4: gedeelte van de M-2 Radiation Calculator, met hulpschaal C en twee voorbeeldlijnen.

In een serie patenten die is toegekend aan de Staat der Nederlanden[8] wordt een andere oplossing beschreven. Hierbij wordt een combinatie van rekenschijf en rekenschuif gebruikt (figuur 5). De werking is als volgt: zet het venstertje "hours after the explosion" op de begintijd t_1 van de bestraling, en zoek een venstertje dat hoort bij de bestralingsduur ($t_2 - t_1$). In dit venster staat een getal. Dit is de dosisfactor. Zet de pijl van de dosisfactor-schaal tegenover de (op de begintijd gemeten) stralingssterkte op de buitenste schijf. Hierdoor verdwijnt meestal de begintijd uit het "hours after the explosion"-venster. Localiseer de onthouden dosisfactor op de "dose factor"-schaal en lees bij dit getal op de buitenste schijf de ontvangen dosis af. Deze laatste handeling is simpelweg de vermenigvuldiging van de dosisfactor met de gemeten stralingssterkte. Volgens het patent is deze rekenschijf nauwkeuriger dan de Radiacs. Als extra informatie wordt de nauwkeurigheid van de benadering aangegeven door middel van de kleur van de getallen onder de dosisfactor-vensters. De afwijking van de werkelijkheid is in de meeste gevallen 6.5% of minder, maar soms bedraagt deze meer dan 15%. Radiacs zouden dus nog grotere afwijkingen moeten vertonen.



Figuur 5: De Nederlandse Radiac, uit US patent 4117315

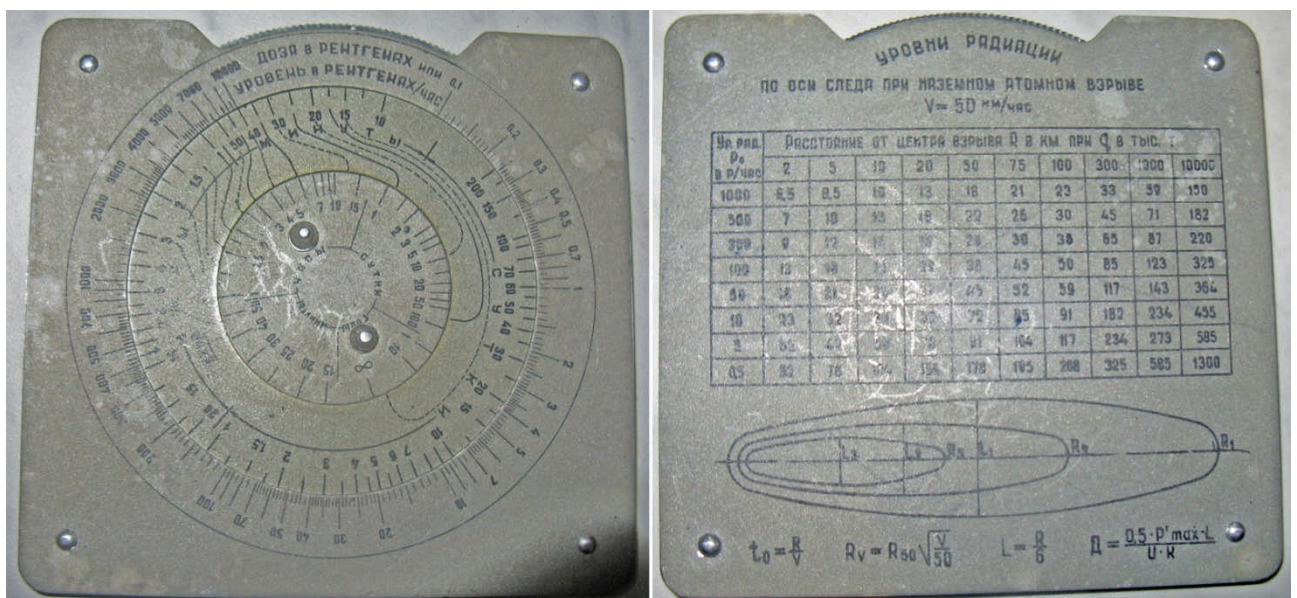


Achter de muur

De Oostduitse Rechenscheibe LS-67 (figuur 6) bevat een Radiac-calculator voor land-explosies. Daarnaast zijn er tabellen en een draaibare getallenschuif waarmee andere eigenschappen en gevolgen van een kernexplosie worden kunnen bepaald, zoals de doorsnede van de vuurbal, de grootte van de krater, de straal van het gebied waar alle gebouwen vernield worden (netjes verdeeld in beton, metselwerk en hout). De LS-67 geeft ook aan hoeveel bescherming bepaalde constructies of voertuigen bieden tegen straling. Deze informatie wordt ook summier op de Amerikaanse Radiac Calculator ABC-M1A1 gegeven[7]. In het westen werden voor de materiële gevolgen aparte rekenschijven gebruikt, zoals de Nuclear Bomb Effects Computer van de Lovelace Foundation/Blundell Rules Ltd. en de RAND Bomb Damage Effects Computer[6].

Figuur 6: Detail van de Rechenscheibe LS-67

De LS-67 geeft ook informatie over de directe gevolgen voor mensen van de kernexplosie, aan de hand van de grootte van de gebieden waarin personen gewond raken of verbrandingen ondergaan, in drie zwaarte-categorieën. Deze informatie staat in een draaibare tabel.



Figuur 7: Voor- en achterzijde van een Russische Radiac.

Een Russische Radiac combineert de "radiac" schalen met een tabel waarin, voor een windsterkte van 50 km/uur en verschillende explosie-sterktes, de stralingssterkte als functie van de afstand tot de explosie wordt gegeven (figuur 7). Deze rekenschijf is uitgevoerd in zeer onedel metaal en zit met een handleiding in een kunstlederen mapje. Qua ontwerp lijkt hij sprekend op de Amerikaanse Radiacs, maar hij is wat kleiner: de buitenste schaal heeft een doorsnede van 7 cm en de Amerikaanse meet 10.5 cm.

Het grote verschil tussen de rekenschijven uit het Oostblok en die uit het Westen is dat de stralingssterkte-schaal in het Oostblok loopt van 0.1 tot 10000 R/h, terwijl die in het Westen van 0.01 tot 1000 R/h loopt. Blijkbaar werd verwacht dat de soldaten in het Oostblok met sterkere straling konden worden geconfronteerd.

Leven na de bom

Alle genoemde rekenhulpmiddelen geven geen antwoord op een cruciale vraag: overleef ik de fall-out? Gelukkig heb ik daarvoor een Oost-Duits boekwerkje "Auswertung der Kernstrahlungslage"[9]. Dit boekje leidt eerst met behulp van tabellen de ontvangen stralingsdosis af, zoals ook mogelijk is met de besproken Radiacs, en komt dan met een tabel waarin per ontvangen dosis, voor verschillende tijdstippen van begin en einde van de bestraling t.o.v. het explosietijdstip, de "uitval van gevechts- of arbeidskracht" wordt gegeven als functie van de tijd. In een extra kolom wordt het overlijdenspercentage gegeven. De tabel houdt op bij een overlevingsduur van 30 dagen. De stralingsschade op langere termijn was blijkbaar niet interessant. De dosis loopt van 1 Gy (nauwelijks effect) tot 6 Gy (binnen 30 dagen iedereen dood). Het lugubere is dat deze tabel zeer gedetailleerd is. Hij neemt zes A5 pagina's in beslag en waarden worden op 1% nauwkeurig gegeven. Alsof het menselijk lijden exact is te berekenen.

Literatuur

- [1] IJzebrand Schuitema, "The Slide Rule - Technical Cultural Heritage", 2003, p.96
- [2] B.W. Soole, "The RADIAC slide rule for the computation of external radiation dose from nuclear fission products", J. Sci. Instrum. 29 (1952) p.189-192.
[DOI:10.1088/0950-7671/29/6/308](https://doi.org/10.1088/0950-7671/29/6/308)
- [3] 1 R (röntgen) is de hoeveelheid ioniserende straling die in droge lucht bij 1 atmosfeer 1 esu aan elektrische lading vrijmaakt; 1 Gy (gray) is de hoeveelheid ioniserende straling die bij absorptie in 1 kg materie 1 joule energie oplevert. 1 Gray ~ 115 R, in de praktijk: 1 R = 1 centigray.
- [4] "Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks, and predicting and warning of associated hazards and hazard areas", NATO/PfP, ATP-45 (C), Jan 2006, <http://www.futenma.usmc.mil/wx/PUBS/ATP-45C.pdf>
- [5] S.Glasstone, P.J. Dolan, "The Effects of Nuclear Weapons", GPO, Washington DC, 1962, 1977
<http://tinyurl.com/kkyrnp> Bij dit boek kon een uitgebreide rekenschijf worden aangeschaft, de Nuclear Bomb Effects Computer, waarvan een online simulatie beschikbaar is <http://www.fourmilab.ch/bombcalc>
- [6] Health Physics Historical Instrumentation Museum Collection,
<http://www.orau.org/PTP/collection/sliderules/sliderules.htm>
- [7] <http://sliderules.lovett.com/herman/fulldetails.cgi?match=5065>
- [8] Cornelis Georg Frederik Ampt, Keimpe Klaas Keimpema, "Calculating device", Patent GB1528892, 18 Oct. 1978, toegekend aan de Staat de Nederlanden, te dezen vertegenwoordigd door de Directeur-Generaal der Posterijen, Telegrafie en Telefonie. Zie ook US4117315, NL168353. In te zien via <http://ep.espacenet.com>
- [9] "Auswertung der Kernstrahlungslage", Ministerrat der Deutschen Demokratischen Republik, Ministerium für Nationale Verteidigung K053/3/002, Juni 1989.