

Zin en onzin van de elektromagnetische puls

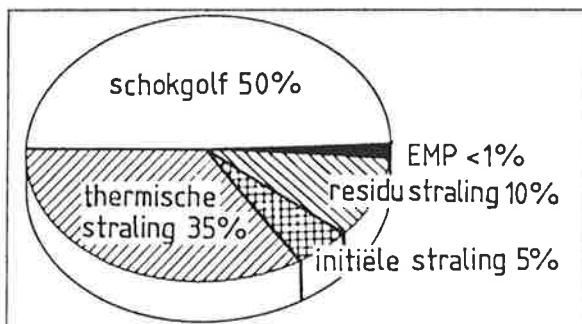
Een nucleaire explosie veroorzaakt een uiterst snel, pulsvormig elektromagnetisch veld dat vele malen sterker is dan dat van de krachtigste radiozender. De meningen over de gevolgen daarvan voor mensen en materieel van de krijgsmacht lopen uiteen van aanzienlijke schade aan alle elektronische apparatuur en elektrocutie van personeel tot het volledig vertrouwen op de genomen nbc (nucleaire, biologische, chemische) beschermingsmaatregelen en de bescherming door ondergrondse onderkomens. Tegen de achtergrond van de veranderende Oost-Westrelaties en de daarmee gepaard gaande afnemende dreiging en voorstellen tot reductie van nbc-maatregelen is een nadere beschouwing van het probleem „elektromagnetische puls” (EMP) zinvol.

Eind 1989 werd het einde van de Koude-Oorlogperiode ingeluid met een duidelijke omwenteling in Oost-Europa. Met uitzondering van Roemenië ging dat zelfs zonder bloedvergieten. Nog geen jaar later was de hereniging van West- en Oost-Duitsland een feit. De snelheid van de ommekeer zorgde voor nogal wat verdeeldheid binnen het Oostblok (is er eigenlijk nog wel sprake van een „blok”?), zodat het nogal onwaarschijnlijk is dat de oude situatie van voor 1989 binnen afzienbare tijd zou kunnen terugkeren.

Als nagenoeg onmiddellijke reactie richtte de politiek haar aandacht op de Westerse defensieuitgaven. En niet ten onrechte. Een veranderende situatie vraagt om een aangepast beleid en dat kan budgettaire gevolgen hebben. Prioriteiten in het defensieaanschaf- en onderzoeksbeleid moeten worden herzien. Een nieuw dreigingsbeeld is in de maak. Hoe past nu een door een nucleaire explosie veroorzaakte elektromagnetische puls in dit beeld? Daartoe kijken wij eerst eens nader naar het ontstaan en de gevolgen van zo'n EMP.

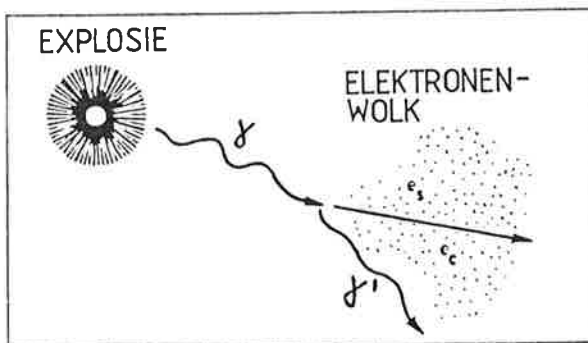
De elektromagnetische puls (EMP)

De energie die bij een nucleaire explosie vrijkomt (afb. 1) manifesteert zich voor ruim de helft als een schokgolf. Thermische straling (hitte) vertegenwoordigt ca. 35% van de explosie-energie, de radioactieve, ioniserende straling neemt 15% voor haar rekening. Het energieaandeel van de EMP is minder dan 1%. Toch kan deze 1% een aanzienlijke invloed hebben. Om dit te kunnen in-



Afb. 1 Energieverdeling van de totaal vrijkomende energie van een kernwapenexplosie (splijtingswapen) over de verschillende effecten

zien is het nodig onderscheid te maken tussen explosies op geringe hoogten, tot enkele tientallen kilometers, en explosies op grote hoogten, 100 km en meer. Het ontstaansmechanisme van de EMP is voor beide situaties verschillend, waarover straks meer. De lage explosies, ook wel endo-atmosferisch genoemd, kunnen ontstaan als gevolg van het gebruik van tactische kernwapens, bv. artillerie met nucleair geschut of laag boven het zeeoppervlak vliegende raketten met een kernlading. De hoge explosies, ver buiten de atmosfeer en daarom exo-atmosferisch genaamd, zijn bv. het gevolg van het tot ontploffing brengen van een ICBM (Intercontinental ballistic missile) of de interceptie en vernietiging ervan door een ABM (Anti ballistic missile). Het belangrijkste verschil ligt in het feit dat bij een exo-atmosferische explo-



Afb. 2 Het Comptoneffect: gammastraling afkomstig van een nucleaire explosie maakt elektronen vrij uit lucht moleculen

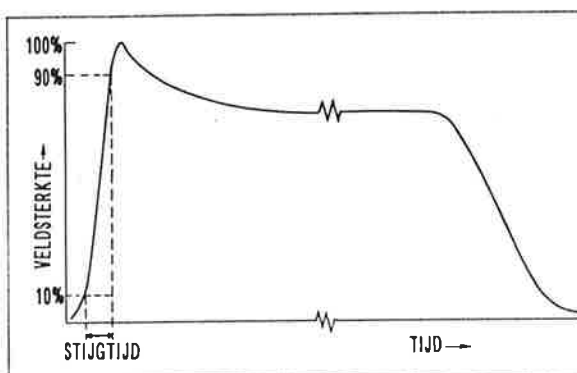
Afb. 3 Vorm van een endo-atmosferische EMP; de maximale elektrische veldsterkte is ca. 40.000 V/m

sie de effecten van de schokgolf, thermische straling en radioactieve straling het aardoppervlak niet bereiken, doch dat zulks bij een lage, endo-atmosferische explosie wel het geval is. Precies omgekeerd echter is de uitwerking van de geproduceerde EMP: de exo-atmosferische explosie produceert een veel grotere EMP-invloed op het aardoppervlak dan de endo-atmosferische explosie. Dat effect werd voor het eerst onderkend tijdens de bovengrondse kernproeven begin jaren '60. De EMP, teweggebracht door zo'n hoge, exo-atmosferische explosie op 8 juli 1962, beschadigde alarminstallaties en legde de energievoorziening op Hawaï stil. De explosie vond plaats 1300 km daar vandaan, boven het Johnston-atol.

Het ontstaan van verschillende EMP'en

Laten wij eerst een lage, endo-atmosferische explosie, dus tot op een hoogte van maximaal 30 km bezien. De als eerste bij een explosie vrijkomende radioactieve, ioniserende straling is gammastraling. Deze straling heeft een zodanige energie dat ze uit de omringende lucht moleculen elektronen, kleine negatief geladen deeltjes, vrijmaakt. Deze elektronen worden Comptonelektronen genoemd, naar de ontdekker van dit effect. De gammastraling verliest bij dit proces een aanzienlijk deel van haar energie, maar laat de lucht moleculen in een geïoniseerde toestand achter. De Comptonelektronen hebben een zodanige energie meegekregen, dat ze zelf uit andere lucht moleculen nog meer elektronen vrijmaken. Voor ieder Comptonelektron zijn dat er ongeveer 30.000. Aldus ontstaat een lawine-effect binnen luttele delen

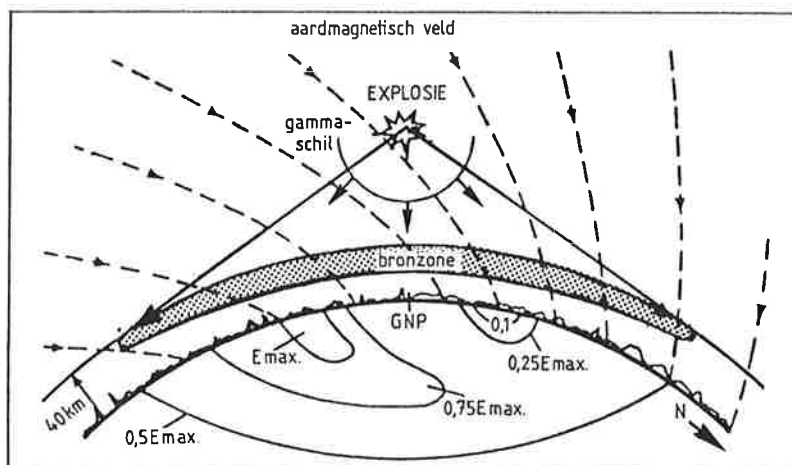
van een seconde na de explosie (afb. 2). Het gebied waarin de elektronen ontstaan heeft, afhankelijk van de explosiehoogte, een diameter van 5 tot 15 km. Dat gebied wordt bronzone genoemd. Doordat de vrijgemaakte elektronen in die bronzone zich van de zwaardere geïoniseerde lucht moleculen verwijderen, ontstaat een ladingsscheiding, die een sterk elektromagnetisch veld tot gevolg heeft. Dat veld plant zich voort over afstanden tot ongeveer 100 km van het explosiepunt. Het elektrische veld is nabij het aardoppervlak nagenoeg verticaal van richting en koppelt daardoor



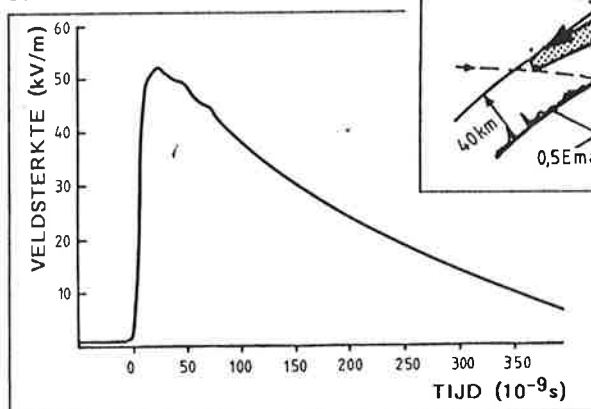
goed met bv. verticale antennemasten. De elektrische veldsterkte bedraagt dichtbij de bronzone ca. 40.000 V/m (afb. 3).

Het ontstaansmechanisme van de EMP bij een hoge explosie is vergelijkbaar met dat van een lage explosie, maar wijkt op een aantal punten duidelijk af. Een hoge, exo-atmosferische explosie vindt, zoals de naam al aangeeft, plaats buiten de atmosfeer, op hoogten van 100 km en meer boven het aardoppervlak. De vrijkomende gammastraling verplaatst zich eerst over een aanzienlijke afstand voordat interactie met lucht moleculen mogelijk is. Dat gebeurt waar de gammastraling de bovenste atmosferelagen binnentreedt, op ca. 40 km hoogte (zie afb. 4). Het Comptoneffect treedt ook hier op. De bronzone, het gebied waar de elektronen vrijkomen, heeft nu de vorm van een soort platte pannenkoek op ca. 40 km boven het aardoppervlak. De omvang van de bronzone is afhankelijk van de explosiehoogte. De vrijgekomen elektronen worden onder invloed van het aardmagnetische veld afgebogen, waarbij elektromagnetische straling ontstaat. Het aldus opgewekte elektromagnetische veld bereikt zijn maximale veldsterkte van ca. 50.000 V/m in enkele ns (nanoseconde = 10^{-9} s; afb. 5). De grootte van het

Afb. 4 Het ontstaan van een EMP bij een hoge, exo-atmosferische nucleaire explosie



Afb. 5 Vorm van een exo-atmosferische EMP

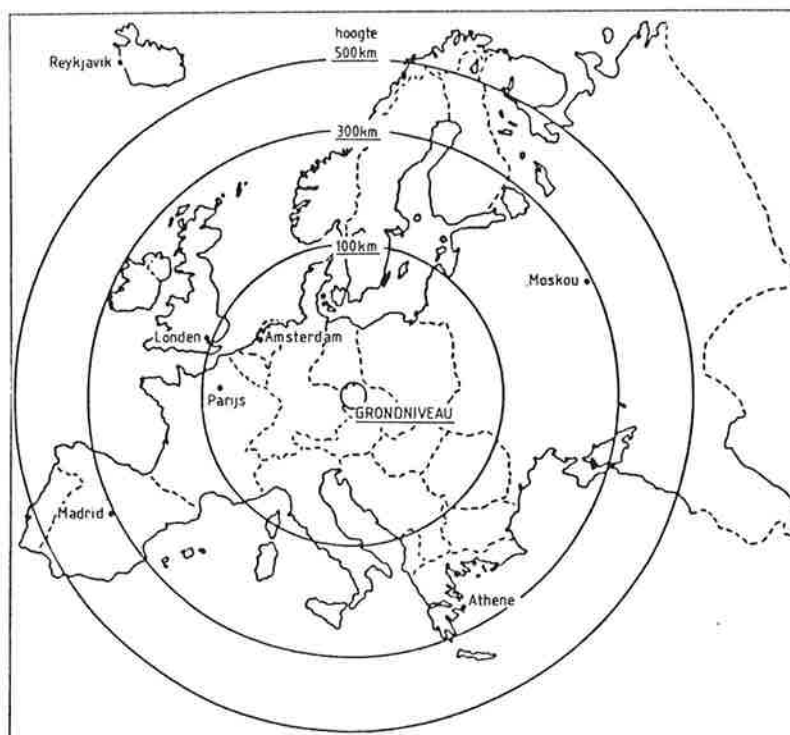


gebied waarover dat veld zich uitstrekt hangt sterk af van de explosiehoogte. Bij één enkele explosie op 400 km hoogte wordt een gebied met een diameter van 4500 km aan EMP blootgesteld; afb. 6 illustreert dit. De sterkte van het exploderende wapen heeft geen noemenswaardige invloed op de sterkte van het EMP-veld. Wel van invloed is het aardmagnetische veld waardoor onder de bronzo-

ne plaatsen ontstaan met lagere veldsterkten (afb. 4). Omdat het vooraf nooit zeker is waar een explosie zal plaatsvinden, wordt altijd rekening gehouden met de maximaal optredende veldsterkte.

Teweegebrachte effecten

Er zijn twee belangrijke verschijnselen aanwijsbaar, die door een EMP worden veroorzaakt: directe instraling van een elektromagnetisch veld en voortplanting van hoge stromen en spanningen langs elektrische geleiders. Zowel personeel als apparatuur kunnen in voorkomend geval blootstaan aan het directe elektromagnetische veld van



Afb. 6 Het dekingsgebied van een exo-atmosferische EMP, afhankelijk van de explosiehoogte, bij interceptie van een nucleaire ICBM van 1 Mt boven Praag

een EMP. Voor personeel is inmiddels vastgesteld dat in het lichaam geen gevaarlijke temperatuurverhoging wordt opgewekt. Weliswaar zijn relatief hoge piekstromen gemeten in armen en benen (ca. 100-200 A), maar gedurende slechts zo'n korte tijd dat geen temperatuurverhoging optreedt. Dit in tegenstelling tot bv. blootstelling aan het (continue) veld van een microgolfoven of een radarsysteem. De energie-inhoud van de korte EM-puls is voor een temperatuurverhoging te gering. Andere effecten op personeel zijn tot nog toe niet geconstateerd, maar zijn ook niet op voorhand uit te sluiten. Dit is nog onderwerp van studie.

Anders ligt het voor elektronische apparatuur. Met name halfgeleiders als transistors en geïntegreerde circuits (IC's) zijn gevoelig voor de hoge piekspanningen en piekstromen die een EMP op de aansluitklemmen kan teweegbrengen. Daarbij komt nog dat één enkele EM-puls gemiddeld $1000 \times$ meer energie bevat dan nodig is om zo'n halfgeleidercomponent te beschadigen. Veelal betekent dat een kortsluiting van een overgang tussen twee halfgeleidende materialen of het wegbranden van de aansluitdraden. Logische IC's, die onder meer in computers worden toegepast, zijn gevoeliger voor een EMP naarmate de dataverwerkingssnelheid hoger is. Het plaatsen van elektronische apparatuur in een dichte metalen kast biedt enige bescherming tegen directe instraling van een elektromagnetisch veld. Meestal is dat echter onvoldoende, omdat ook elektrisch geleidende kabels op zo'n kast zijn aangesloten voor communicatie met de buitenwereld of toevoer van elektrische voeding (het „lichtnet”).

Dat brengt ons op het tweede belangrijke verschijnsel: EMP-voortplanting langs elektrische geleiders. Een elektromagnetisch veld koppelt altijd met een elektrische geleider. Koppelen betekent in dit geval overdracht van energie in de vorm van een stroom of een spanning die in de desbetreffende geleider wordt opgewekt. Bij „geleider” valt te denken aan een telefoonkabel, het lichtnet, een hoogspanningsleiding, maar ook een koperen water- of gasleiding, en de buizen van een centrale verwarming. De stroom die in dergelijke geleiders wordt geïnduceerd kan aanzienlijk zijn. De tabel illustreert dit. Het moge duidelijk zijn dat het toevoeren van dergelijke grote stromen aan elektronica die met zo'n geleider is verbonden desastreuze gevolgen zal hebben. De grootte van de stroom

die in een geleider wordt opgewekt is afhankelijk van de lengte van die geleider en zijn richting ten opzichte van het invallende elektromagnetische veld. Zo zal een verticale mast op een schip meer energie opnemen uit de verticale component van het elektrische EMP-veld en een horizontale hoogspanningsleiding meer uit de horizontale veldcomponent. De geleider werkt aldus als een onbedoelde antenne en brengt energie uit het invallende EMP-veld over op de aangesloten elektronica. Het is zeer goed mogelijk dat tevens een aanrakingsgevaar voor personeel ontstaat. Op de uiteinden van een geleider kan een grote piekspanning ontstaan, doordat die geleider wellicht over grote lengte, bv. enkele tientallen kilometers, aan het EMP-veld heeft blootgestaan. De stroom die bij aanraking door het lichaam van de desbetreffende persoon gaat lopen is niet op voorhand ongevaarlijk. Weliswaar duurt de EM-puls kort, maar de persoon in kwestie is nu verbonden met een mogelijk uitgebreide antenne, hetgeen een geheel andere situatie is dan blootstelling aan het veld op zich. De grootte van de „schok” hangt af van de kleding, de vochtigheidsgraad en de lichamelijke conditie van de persoon.

Een belangrijk verschil is er in de uitwerking van de EMP, teweeggebracht door een lage (endo-) of een hoge (exo-atmosferische) explosie, voor het gemak aangeduid met endo- resp. exo-EMP. Het effect van een endo-EMP is betrekkelijk lokaal, tot op ca. 100 km van het explosiepunt. Daarbij neemt de veldsterkte af met het kwadraat van de afstand. Qua omvang is een endo-EMP vergelijkbaar met bv. een blikseminslag in de directe omgeving. Een exo-EMP strekt zich echter uit over een erg groot gebied, zoals al aangegeven in afb. 6. Binnen dit gebied moet rekening worden gehou-

Geïnduceerde piekstromen in geleiders

type geleider	door een EMP geïnduceerde piekstroom
ondergrondse telefoonkabel van enkele kilometers lengte	800-2000 A
ondergrondse elektriciteitskabel van enkele tientallen meters lengte	500-1600 A
metalen water- of gasleiding	500-1600 A
bovengrondse elektriciteitskabel van enkele tientallen meters lengte	1000-3000 A
UHF antennekabel, 30 m lang	400-1200 A

den met de maximaal optredende veldsterkte. Dit betekent dat een uitgestrekt systeem als een mobiel straalverbindingsnet, een (inter)nationaal telefonienet of een energienet gelijktijdig over zijn gehele omvang blootstaat aan het EMP-veld. Het inbouwen van redundantie in zo'n telecommunicatienet om verbindingen te kunnen herrouteren bij tijdelijke uitval van een beperkt deel biedt geen bescherming tegen EMP-inwerking. Ook het redundante systeem staat bloot aan het EMP-veld. Hetzelfde geldt voor de reservecapaciteit (*hot stand-by*) in energienetten.

EMP- en nbc-bescherming: „balanced hardening”

De EMP-beschermingsmaatregelen worden vaak beschouwd als een onderdeel van het totaal aan nucleaire, biologische en chemische beschermingsmaatregelen. Zoals zal blijken is dat voor exo-EMP echter niet goed mogelijk.

In de inleiding is al opgemerkt dat bij een endo-atmosferische explosie alle nucleaire effecten aanwezig zijn: schokgolf, thermische straling, endo-EMP en de radioactieve straling. Het beschermingsbeleid is erop gericht maatregelen te nemen die bescherming bieden tegen de combinatie van deze effecten. Het is weinig zinvol een systeem slechts te beschermen tegen thermische straling en endo-EMP als het niet bestand is tegen bv. de schokgolf. De bescherming tegen de verschillende effecten dient in evenwicht te zijn: de *balanced-hardening*-conceptie. De mate van EMP-bescherming is daarmee ook afhankelijk van de tegen de overige effecten genomen maatregelen. Het gehele beschermingspakket wordt ingegeven door operationele eisen: op welke afstand tot het explosiepunt van een tactisch nucleair wapen moet het systeem in kwestie overleven? Of, meer recent: hoe groot is de kans dat een tactisch nucleair wapen wordt gebruikt en welk risico loopt een systeem dan met een lagere beschermingsgraad? Is dat risico wel acceptabel?

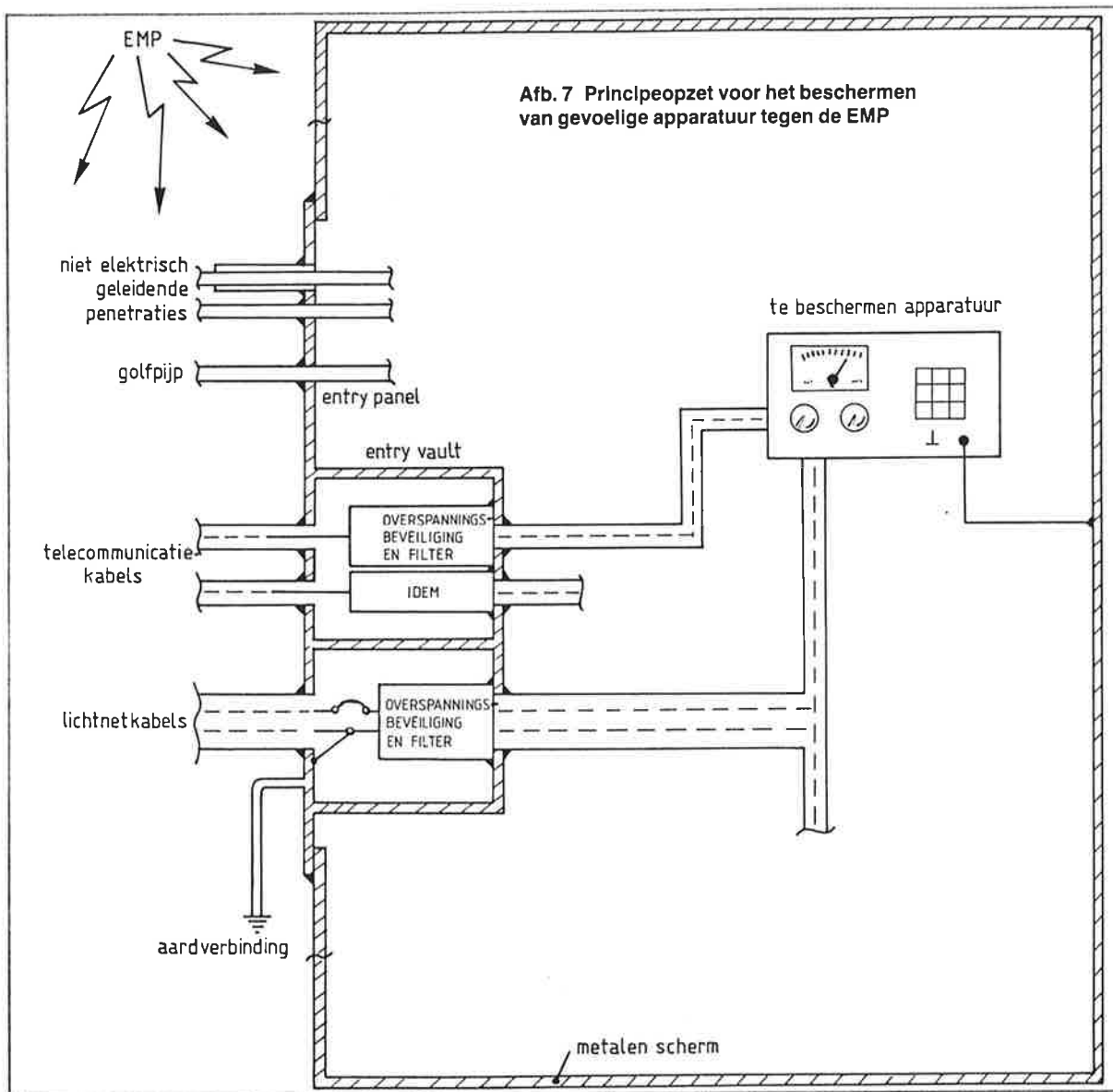
Heel anders is de situatie ten aanzien van de EMP die vrijkomt bij een exo-atmosferische explosie. Hier immers zijn de schokgolf, de radioactieve en de thermische straling niet aanwezig op het aardoppervlak, maar wel de exo-EMP. Er is dus geen sprake van een *balanced-hardening*-conceptie. Anders dan bij het ontwerp van nbc-beschermen-

de maatregelen, waar vooral wordt gelet op de dreiging van tactische nucleaire wapens, dient voor bescherming tegen de exo-EMP de aandacht juist uit te gaan naar strategische nucleaire wapens.

EMP en het dreigingsbeeld

Het is de vraag welke afspraken tussen Oost en West over vermindering van tactische nucleaire wapens ook consequenties zullen hebben voor de strategische, nog afgezien van het feit dat behalve Oost en West ook Noord en Zuid beperkt over deze soort wapens beschikken. De crisis in de Golf heeft dit nog eens duidelijk aangescherpt. In hoeverre is een mogendheid geneigd haar nucleaire arsenaal te gebruiken indien ze zich ziet geplaatst tegenover een overmacht aan conventionele strijdkrachten, uitgerust met diverse chemische strijdmiddelen? Het blijft immers een „aantrekkelijke” gedachte door middel van één enkele hoge, exo-atmosferische nucleaire explosie met de EMP een chaos te creëren in een groot gebied, mogelijk gevolgd door een conventioneel conflict. Problemen met radioactiviteit in het getroffen gebied zijn er niet, maar wel kan een eventuele weerstand worden lamgelegd, bv. door het uitval- len van grote delen van de militaire en civiele telecommunicatiemiddelen, gas- en elektriciteits- distributie en navigatiesystemen van havens en luchthavens. Gegevensverlies bv. in centrale computers van grote banken en bevolkingsadministraties van gemeenten is in crisistijd misschien minder cruciaal, maar toch op zijn minst vervelend.

De NAVO heeft haar nucleaire potentieel tot nog toe met succes gebruikt als afschrikking tegen een mogelijke, conventioneel sterkere tegenstander. De veroorzaker van een exo-EMP staat in zijn algemeenheid echter zelf ook bloot aan het EMP-veld. Indien deze partij zelf geen beschermende maatregelen neemt, roept dat vraagtekens op ten aanzien van de geloofwaardigheid van een mogelijke inzet van strategische nucleaire wapens. Gebruik maken van de afschrikkende werking van nucleaire wapens leidt derhalve automatisch tot een keuze voor EMP-bescherming van de vitale delen van de eigen organisatie. In dit licht moet dan ook de recente bijstelling worden gezien van de door de NAVO gehanteerde EMP-specificaties



die worden gebruikt voor het berekenen en testen van aangebrachte EMP-beschermingsmiddelen. Een bijstelling die noodzakelijk werd door de voortschrijdende ontwikkeling van verschillende typen nucleaire wapens.

Bij de heroverweging van het dreigingsbeeld en de te nemen nbc-beschermingsmaatregelen is het derhalve zinvol de bescherming tegen exo-EMP apart te beschouwen tegen de achtergrond van de afschrikkende werking die van nucleaire wapens uitgaat.

Beschermingsmogelijkheden

De beschermingsmaatregelen tegen de EMP zijn

voor endo- en exo-EMP op dezelfde principes gebaseerd. De omvang van de te nemen maatregelen en de dimensionering van de aan te brengen bescherming zijn echter verschillend, zoals uit het voorgaande moge zijn gebleken. Bij het ontwerp van EMP-bescherming spelen de volgende overwegingen een rol.

- 1 Hoe kritisch zijn de apparatuur resp. het systeem ten aanzien van de te verrichten taak? Met andere woorden: is het toelaatbaar dat het systeem gedurende korte tijd uitvalt (mogelijke snelle reparatie of opnieuw opstarten) of juist niet?
- 2 Wat is de EMP-dreiging? Voor een specifiek systeem kunnen EMP-specialisten door berekeningen en metingen vaststellen welke spanningen

en stromen zullen ontstaan in de apparatuur bij blootstelling aan een EMP en of de elektronica daardoor kans loopt op beschadiging.

3 Wat kost de bescherming? EMP-bescherming heeft ten onrechte de naam erg duur te zijn. Vaak is een combinatie mogelijk met voorzieningen die zijn aangebracht voor EMC en Tempest. Voor de EMP-protectie is dan nog slechts een enkele toevoeging nodig, zodat de kosten in het algemeen uitkomen op minder dan 1% van de aanschafkosten van de apparatuur. Zijn er geen andere EMC-voorzieningen aangebracht, dan komen de kosten voor EMP-bescherming alleen als regel uit op ca. 5% van de aanschafkosten van de apparatuur indien bij het ontwerp ervan al rekening is gehouden met EMP-bescherming. Wordt bescherming pas achteraf toegevoegd aan een bestaande installatie (zg. *retrofit*), dan kunnen de kosten in een extreem geval oplopen tot (meer dan) 100% van de apparatuurkosten. Die situatie moet derhalve zo veel mogelijk worden voorkomen.

De EMP-bescherming is altijd gebaseerd op twee principes:

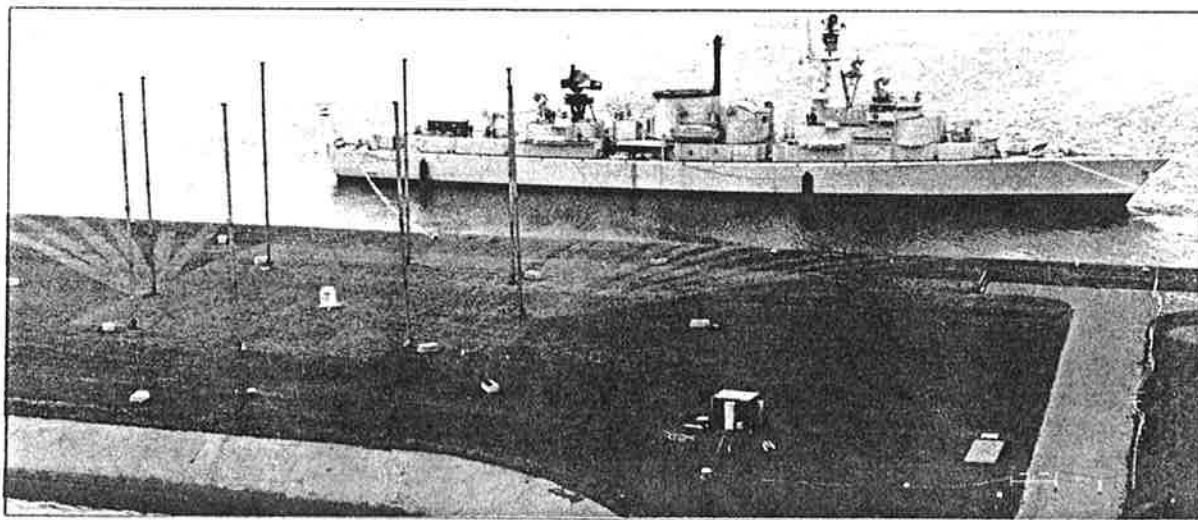
- plaats apparatuur in een door een metalen omhulsel afgeschermd kast of ruimte, en
- beveilig alle geleiders die dit omhulsel doorboren tegen overspanningen en -stromen.

Afb. 7 toont een voorbeeld van deze aanpak. Alle geleiders die noodzakelijkerwijs het metalen omhulsel doorboren zijn voorzien van overspanningsafleiders en filters. De door de geleiders aangevoerde grote piekstromen t.g.v. een EMP worden op deze wijze niet doorgegeven naar de be-

schermde ruimte. Het type overspanningsbeveiliging en de eisen die aan het metalen omhulsel worden gesteld zijn afhankelijk van de vastgestelde dreiging en de gevoeligheidsgraad van de apparatuur. Belangrijk hierbij is nog dat een mogelijk al aangebrachte beveiliging tegen blikseminslag geen bescherming biedt tegen EMP. De EMP is vele malen sneller dan een bliksempuls. De blikseembeveiliging reageert daardoor te traag en laat een EMP nagenoeg ongehinderd door. Maatregelen die zijn getroffen om apparatuur te beschermen zijn meestal ook afdoende om gevaar voor personeel door aanraking van metalen delen weg te nemen. Net als tijdens een fikse onweersbui is echter voorzichtigheid geboden.

Controle van de goede werking van aangebrachte beschermingen gebeurt niet door het wachten op een nucleaire explosie maar met behulp van een EMP-simulator. Een dergelijke simulator produceert op een gecontroleerde manier in een beperkt volume een EMP-veld, waarin een apparaat of systeem kunnen worden geplaatst. Door middel van metingen is vast te stellen of de genomen beschermingsmaatregelen afdoende zijn. In Nederland beschikt het Fysisch en Elektronisch Laboratorium (FEL) van TNO over dergelijke EMP-simulators. Daarmee zijn diverse installaties, variërend van kleine elektronische apparatuur tot complete schepen (afb. 8) op EMP-bestandheid onderzocht. Ook wordt gebruik gemaakt van apparatuur om hoge piekstromen op kabels te indu-

Afb. 8 De transportabele EMP-simulator EMIS-3/VPD van het FEL-TNO, opgesteld in Den Helder voor de beproeving van een marinedregat

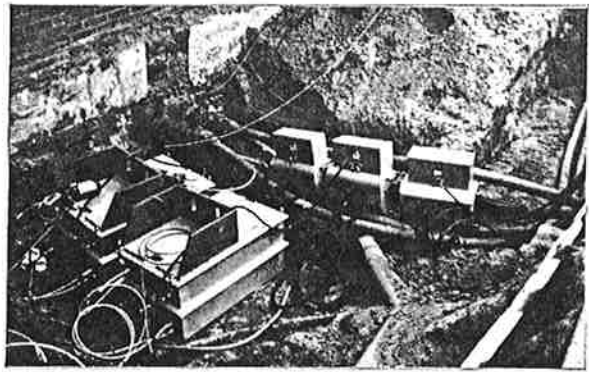


ceren en zo de werking van beveiligingen te controleren (afb. 9). Het FEL-TNO verricht onderzoek naar adequate EMP-beschermingsmethoden voor uiteenlopende apparatuurtypen. Daarbij is vastgesteld dat bescherming tegen EMP goed mogelijk is. De te nemen maatregelen verschillen echter nogal per systeem, zodat eigenlijk sprake is van maatwerk.

Conclusie

Bij een heroverweging van de te nemen maatregelen tegen de uitwerking van nucleaire, biologische en chemische (nbc) wapens in het licht van de Oost-Westontspanning is het zinvol de bescherming tegen de elektromagnetische puls (EMP) van een nucleaire explosie apart te beschouwen. Er bestaat een onderscheid tussen de EMP van een lage, endo-atmosferische explosie en die van een hoge, exo-atmosferische. De laatstgenoemde, exo-EMP, wordt teweegebracht door een ander type wapen dan waartegen in het algemeen de nbc-maatregelen zijn ontworpen. Anders dan voor endo-EMP bestaat er voor exo-EMP geen conceptie van evenwichtige bescherming tegen de gelijktijdige uitwerking van verscheidene nucleaire (en mogelijk ook biologische en chemische) effecten. Een exo-EMP is een apart geval.

De keuze voor het al dan niet aanbrengen van EMP-bescherming op vitale delen van de eigen organisatie hangt sterk samen met het belang dat



Afb. 9 De stroominductiegenerator SIG brengt grote stromen aan op telecommunicatiekabels van een beschermde ruimte tijdens een beproeving van de EMP-bestandheid

wordt gehecht aan de afschrikkende werking van het eigen nucleaire arsenaal. Zonder EMP-bescherming van eigen delen wordt de inzet van eigen nucleaire middelen twijfelachtig.

Bescherming tegen zowel endo-EMP als exo-EMP is zeer goed mogelijk. De te nemen maatregelen zijn sterk afhankelijk van het te beschermen systeem en de operationele eisen. Behalve het aanrakingsgevaar van spanningvoerende metalen delen zijn voor personeel tot nu toe geen nadelige effecten van de EMP vastgesteld. Schade ten gevolge van EMP zal in het algemeen ontstaan aan onbeschermd elektronica die halfgeleiders, als transistors en IC's, bevat. Met name snelle data-verwerkende apparatuur kan hiervoor gevoelig zijn. De goede werking van aangebrachte beschermingsmaatregelen is na te gaan door het gebruik van EMP-simulators.

