

Validatie van trainingssimulators

Simulators genieten een groeiende belangstelling, in het bijzonder van de zijde van de krijgsmacht. De staatssecretaris van defensie heeft in twee nota's het belang van de inzet van simulators bij training en opleiding duidelijk onderstreept. Daarbij wordt o.a. gewezen op financiële besparingen, een geringere afhankelijkheid van de weersomstandigheden en beschikbaarheid van terreinen, minder hinder voor de omgeving en beperking van milieuschade. Bovendien bieden simulators soms de mogelijkheid operationele situaties op te roepen, die normaal in vredetijd niet kunnen worden nagebootst. Fabrikanten maken zich sterk om aan de vraag naar simulators voor voer-, vlieg- en vaartuigen, wapensystemen, commandovoering en bediening te kunnen voldoen.

Momenteel zijn bij de krijgsmacht ca. 250 trainingssimulators geïntroduceerd, en voor de komende tien jaar wordt nog eens met een investering in deze categorie van ca. f 375 miljoen rekening gehouden. De ontwikkeling van simulators heeft in recente jaren kunnen profiteren van snelle technologische ontwikkelingen, o.a. op het gebied van geavanceerde beeldgeneratietechnieken.

Men kan in deze ontwikkeling een aanwijzing zien dat het gebruik van simulators in het algemeen aan de verwachtingen beantwoordt. Er zijn echter behalve positieve ervaringen ook talrijke negatieve ervaringen geweest, die de aandacht bepalen bij de noodzaak iedere trainingssimulator aan een *validatieonderzoek* te onderwerpen. In dit artikel wordt ingegaan op de voornaamste aspecten van het validatieonderzoek, zoals die naar voren zijn gekomen bij de beoordeling van een aantal actuele simulators door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO. De nadruk komt daarbij te liggen op wat er mis kan gaan, niet om een negatief totaalbeeld op te roepen, maar om van de fouten te leren.

Validatieonderzoek

De waarde van een trainingssimulator wordt in de eerste plaats bepaald door de mate waarin de geleerde vaardigheden overdraagbaar zijn naar het werkelijke systeem. Hiervoor wordt de term *leeroverdracht* (transfer of training) gebruikt. Heeft een leerling na oefening op de simulator nog maar een geringe aanvullende training nodig op het werkelijke systeem, dan is er sprake van een goede leeroverdracht. In dat geval kan het validatieonderzoek verder beperkt blijven tot de kostenbatenanalyse, die natuurlijk ook nodig is.

De leeroverdracht kan echter ook laag zijn of zelfs negatief. Het validatieonderzoek spitst zich dan toe op de vraag hoe dat komt en op de mogelijke verbetering. Allereerst zal daarbij worden nagegaan of de werkelijkheid voldoende natuurgetrouw is nagebootst. De validiteit hangt zo sterk hiervan af dat de term *validiteit* vaak exclusief wordt gebruikt om de natuurgetrouwheid ermee aan te duiden.

Voor veel simulators is de natuurgetrouwheid technisch geen moeilijke opgave. Dat geldt in het bijzonder voor wat men proceduretrainers zou kunnen noemen. Cruciaal is hierbij het ontwerpen van de juiste scenario's, niet zozeer de technische realisatie. De technische uitdagingen liggen op het gebied van de bewegende systemen, waarbij de dynamiek natuurgetrouw moet worden nagebootst en meestal bovendien een eveneens dynamisch „buitenbeeld" moet worden gepresenteerd. Het is in dit verband, mede met het oog op de kosten-batenafweging, goed te bedenken dat de natuurgetrouwheid niet beter hoeft te zijn dan nodig is voor het bereiken van een bepaalde aanvaardbare leeroverdracht.

Natuurgetrouwe nabootsing is niet het enige punt waarop in het validatieonderzoek moet worden

gelet. De simulator moet ook op de juiste manier in het hele leerprogramma worden ingezet. Vaak zal een heel nieuw leerprogramma moeten worden ontworpen om de mogelijkheden van simulatie optimaal te benutten. Dat brengt ons ten slotte bij de vraag of het gestelde leerdoel wel goed is gekozen. Dikwijls wordt gestreefd naar integrale simulatie van een bepaalde taak als geheel, met als gevolg hoge en dure eisen aan de benadering van de werkelijkheid en betrekkelijke lage leeroverdracht. Men kan echter in zo'n geval vaak betere resultaten bereiken met eenvoudige deelsimulatoren, ieder met een beperkt leerdoel, en daarbij de integratie voltooien op het werkelijke systeem.

Leeroverdracht

Door het IZF is de leeroverdracht van diverse simulatoren onderzocht. Kwantitatief kan de leeroverdracht, behorende bij een bepaald oefeningsprogramma, op de simulator worden gedefinieerd als het percentage van de oefentijd op het werkelijke systeem dat ermee kan worden bespaard.

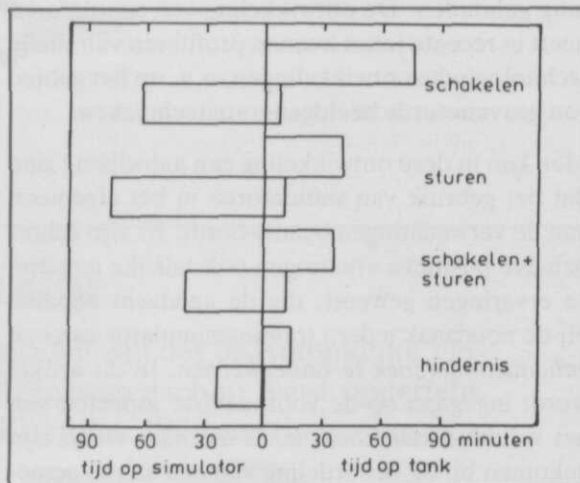
Een goed voorbeeld wordt geïllustreerd in afb. 1, betreffende de resultaten van het validatieonderzoek bij de rijsimulator Leopard I [1]. De simulatorcabine was identiek aan die van de bestuurdersplaats in de tank (een hoge *face validity*). Het buitenbeeld werd verkregen d.m.v. een televisieopnamesysteem in een maquette. Verder kon de cabine bewegen door drie rotaties („gieren”, „dompen” en „rollen”) die werden verkregen via een sensor die de terreinoneffenheden volgde. In het validatieonderzoek werd onderscheid gemaakt tussen vier basistaken: schakelen plus rechttuitrijden, sturen, schakelen plus sturen, en het nemen van een hindernis.

De te rijden trajecten waren vooraf vastgesteld: voor de tank op een afgesloten terrein en voor de simulator op een speciaal vervaardigd schaalmodel. De leerlingen moesten voor elk van de vier taken een criteriumprestatie leveren (uitgedrukt in tijd en fouten). De helft van de leerlingen werd op de simulator opgeleid, de andere helft op de tank. De simulatorgroep moest daarna op de tank nog een aanvullende training volgen totdat ook dan aan de criteriumprestatie werd voldaan. Afb. 1 laat de resultaten zien in termen van de benodigde trainingstijd, en hier blijkt duidelijk een positieve

leeroverdracht op te treden. Zo blijkt dat voor het leren schakelen en rechttuitrijden slechts 8 minuten op de tank zelf behoeft te worden geoefend als men eerst op de simulator is getraind, doch dat daarvoor zonder simulator 76 minuten nodig zijn. De leeroverdracht bedraagt hier dus bijna 90%. Toch waren de instructeurs indertijd niet zo erg tevreden en men kan in afb. 1 ook wel zien waarom: op de totale oefentijd werd niets bespaard, integendeel zelfs. Daar gaat het dan ook niet om bij het begrip leeroverdracht. Goede leeroverdracht betekent hier alleen: minder tankgebruik.

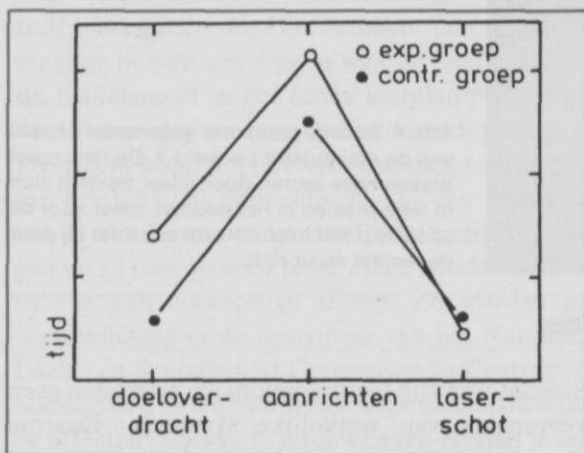
Recent is ook een validatieonderzoek ingesteld bij de rijsimulator Leopard II, naar aanleiding van negatieve ervaringen in het gebruik [2]. Deze rijsimulator werkt niet meer met een maquette, maar met een terreinmodel dat in het geheugen van de computer is opgeslagen, en waaruit het momentane beeld, zoals de chauffeur dat te zien krijgt, door de computer wordt gereconstrueerd. Afb. 2 toont de leergrafieken voor het rijden met de tank zelf door een pilonenuik door een groep leerlingen met, en een groep zonder vooroefening op de simulator. Deze vooroefening op de simulator bestond uit 8 ritten door dezelfde pilonenuik. Het zal duidelijk zijn, dat deze vooroefening geen winst heeft opgeleverd en dat er dus geen sprake is van leeroverdracht.

Afb. 3 ten slotte geeft een voorbeeld van *negatieve leeroverdracht*, waarbij men blijkbaar op de simu-



Afb. 1 Leeroverdracht rijsimulator Leopard I voor afzonderlijke taakelementen. Vergeleken wordt telkens het oefenen alleen op de tank met het oefenen op de simulator, gevolgd door aanvullende oefening op de tank. Vooroefening op de simulator leidt inderdaad tot minder tankgebruik

Afb. 2 Leergrafieken voor het rijden met de Leopard II in een pilonenuit. Als prestatie maat is de gemiddelde afwijking ten opzichte van de as verticaal uitgezet tegen het aantal ritten. De exp.groep heeft vooraf al 8 ritten op de simulator gemaakt, de contr.groep niet. Er is blijkbaar geen sprake van leeroverdracht want de exp.groep doet het niet beter

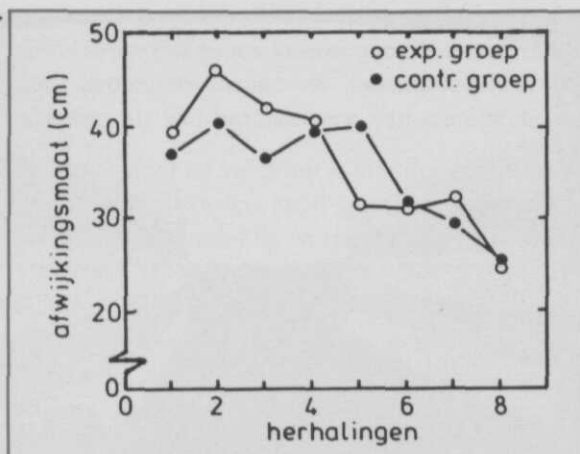


Afb. 3 Negatieve leeroverdracht van de schietsimulator Leopard II. De exp.groep heeft voorgeoefend op de simulator (100 doelbestrijdingen) en blijkt trager te zijn dan de contr.groep die dat niet heeft gedaan

lator iets verkeerd heeft geleerd en dat eerst weer op het echte systeem moet afleren. Dit voorbeeld is ontleend aan het validatieonderzoek van de schietsimulator Leopard II [3]. Weer werden twee groepen van tankbemanningen vergeleken die beiden 50 doelbestrijdingen op de tank uitvoeren. De ene groep heeft wel, de andere niet voorgeoefend op de schietsimulator. De vooroefening bestond uit 100 soortgelijke doelbestrijdingen. Afb. 3 toont de gemiddelde tijd die nodig was voor de doeloverdracht van commandant naar schutter, voor het aanrichten door de schutter, en de tijd tussen de afstandsmeting en het schot. Vooroefening op de simulator heeft de desbetreffende bemanningen duidelijk trager gemaakt inzake de doeloverdracht en het aanrichten.

Bewegingspatroon

Zoals reeds gezegd gaat het bij validatieonderzoek niet alleen erom de leeroverdracht vast te stellen, maar vooral ook om te onderzoeken waarom deze eventueel teleurstelt en hoe ze kan worden verbeterd. Een belangrijke factor is het bewegingspatroon. Het trage schietgedrag na vooroefening op de schietsimulator Leopard II kon zo worden herleid tot het tragere bewegingspatroon van



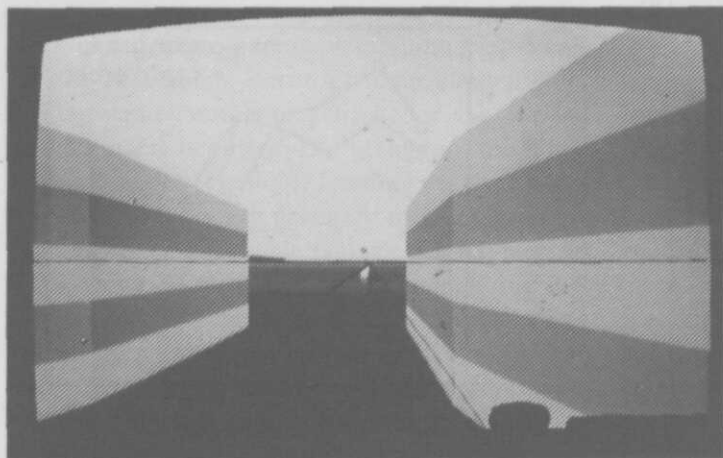
deze simulator in vergelijking met de echte tank. Voor het trainen van taakelementen, waarbij het juist op snelheid aankomt is een dergelijke afwijking fnuikend.

Het kan ook andersom liggen: de simulator kan ook te snel zijn. In de jaren '60 werden stuurlieden van supertankers getraind m.b.v. een schaalmodel 1:25. De uiterlijke nabootsing van het model was prima, maar de tijdschaal waarmee de manoeuvres met het scheepje werden uitgevoerd had een verhouding van 5:1 met de werkelijkheid: alle manoeuvres verliepen vijfmaal zo snel. De desbetreffende stuurlieden leerden op deze manier juist *niet* hoe ze moesten omgaan met de extreem trage supertankers [4].

In het algemeen kan worden gesteld dat voor het oefenen van dynamische taakelementen aan de validiteit van het bewegingspatroon hoge eisen moeten worden gesteld. De reeds genoemde problemen met de rijsimulator Leopard II kunnen wellicht ook gedeeltelijk worden herleid tot gebreken in de nabootsing van de voertuigbewegingen. Op het ogenblik wordt dit nog nader onderzocht.

Buitenbeeld

Natuurgetrouwe weergave van het uitzicht op het terrein en de bewegingen daarin is een zeer moeilijke opgave. Tegenwoordig wordt het terrein meer en meer in het geheugen van een computer opgeslagen en wordt het uitzicht beeld voor beeld berekend. In principe kan dit foutloos gebeuren, maar om binnen een redelijk budget te blijven wordt in de praktijk met benaderingen gewerkt. De vraag is natuurlijk welke afwijkingen wel, en welke niet aanvaardbaar zijn; natuurlijk weer met



Afb. 4 Door de computer gegenereerd beeld van de rijnsimulator Leopard II. De tank moet tussen twee muren doorrijden, bevindt zich in feite precies in het midden, maar voor de chauffeur ziet het toch ernaar uit dat hij door de rechter muur rijdt

de leeroverdracht als criterium. Of een afwijking al dan niet aanvaardbaar is zal niet altijd zo duidelijk zijn als in het voorbeeld van afb. 4. De hier getoonde afwijking in de beeldgeneratie van de rijnsimulator Leopard II is zonder meer onaanvaardbaar [5]. Elementaire informatie over de positie van de tank ten opzichte van zijn directe omgeving is voor het manoeuvreren, en dus ook voor het oefenen daarin, cruciaal. Meer in het algemeen bleken de leerlingen grote moeite te hebben met het beoordelen van afstanden en dus ook van snelheden aan de hand van het nagebootste beeld, en het is zeer waarschijnlijk dat de slechte leeroverdracht hiermee verband houdt.

Niet alleen in de samenstelling van het beeld als zodanig maar ook in de wijze waarop het beeld wordt geprojecteerd kunnen ernstige fouten binnensluipen. Zo geeft de wijze waarop het buitenbeeld van de rijnsimulator Leopard II wordt geprojecteerd, de chauffeur het gevoel 5 à 6 meter boven het wegooppervlak te zweven.

Eén beperking hebben gesimuleerde buitenbeelden met de werkelijkheid gemeen: dat is de doorgaans vrij geringe omvang van het „oefenterrein”. Het idee, dat men wat dit betreft met een simulator het terrein onbeperkt kan uitbreiden gaat in de praktijk toch niet op. Een goed voorbeeld van de nadelen van een beperkt terrein vindt men in de simulator voor de training van artilleriewaarnemers [6]. Men zou bij voorkeur iedere waarnemer willen confronteren met een groot aantal verschillende terreinconfiguraties, maar de simulator kan daarin niet voorzien en zo raakt het oefenmateriaal eigenlijk uitgeput vóórdat het gewenste leereffect is bereikt.

Inzet

Simulatoren zijn leerhulpmiddelen en bieden geen vervanging van werkelijke systemen. Daarom vereist de inzet van simulatoren in trainingsprogramma's een eigen specifieke benadering. Het zonder meer overnemen van leerschema's zoals die voor het werkelijke systeem worden gebruikt kan tot moeilijkheden leiden. Dat deed zich met name voor in het begin, bij het gebruik van de rijnsimulator Leopard I. Zoals uit afb. 1 duidelijk naar voren komt was het nodig bij de inzet van de simulatie voor het tankleerplan een heel ander tijdschema op te zetten. Nader onderzoek toonde overigens aan dat de simulator op het punt van het sturen gebreken vertoonde. Verbetering daarvan leidde tot een betere inpassing van het leren sturen in het leerplan met de simulator.

Dat de simulator geen vervanging is van het echte systeem maar een leerhulpmiddel in een aangepast leerplan moet ook goed worden besproken met de instructeurs. Dat kan de acceptatie en de motivatie zeer ten goede komen.

Risico en gevaar

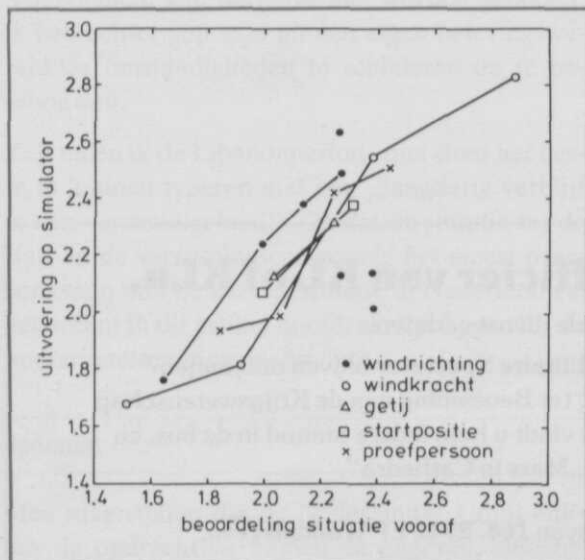
Een bezwaar van het oefenen met een simulator kan de afwezigheid van echt risico zijn: het is maar een „spel”. Er kan zich wel een ongeval voordoen, maar dat houdt niet het risico van grote materiële schade of persoonlijk gevaar in. Het leren omgaan met dat element van de taak kan dus in het algemeen niet met een simulator gebeuren. Een goede illustratie hiervan ontleen wij aan een onderzoek van Wilson e.a. [7], die in een vergelij-

kende studie de hartslagfrequentie maten bij vliegers in een vliegsimulator en in een echt vliegtuig. Afb. 5 toont hoe de hartslagfrequentie toenam tijdens het opstijgen met het echte vliegtuig en ook tijdens de vlucht hoger bleef dan tijdens de briefing vooraf, terwijl er in de simulator wat dit betreft niets gebeurde. Dat betekent niet dat de simulator in zo'n geval geen waarde heeft, wel dat dit taakelement in het totale leerplan pas aan de beurt komt als voor het eerst echt wordt gevlogen. Overigens komt het ook voor dat men een simulator gebruikt om bemanningen op een gecontroleerde manier in een gevaarlijke situatie te brengen en ze daarop voor te bereiden zonder het risico van een noodlottige afloop. Zo worden gevechtsvliegers in de centrifuge van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Geneeskundig Centrum te Soesterberg blootgesteld aan hoge G-krachten om de effecten daarvan te leren kennen en zich te oefenen in de gewenste lichamelijke inspanning.

Gedragsonderzoek

Behalve voor training worden simulatoren ook gebruikt voor gedragsonderzoek, bv. om vooraf de uitvoerbaarheid van een nog te ontwikkelen nieuw systeem te beoordelen. Met behulp van de simulator wordt dan het prototype nagebootst en uitgeprobeerd. Het IZF-TNO beschikt sinds 1975 over

Afb. 5 Taakzwaarte vlieger zoals die tot uitdrukking komt in de hartslagfrequentie bij taakuitvoering in het vliegtuig zelf en op een vliegsimulator; op de simulator is geen echt risico aanwezig



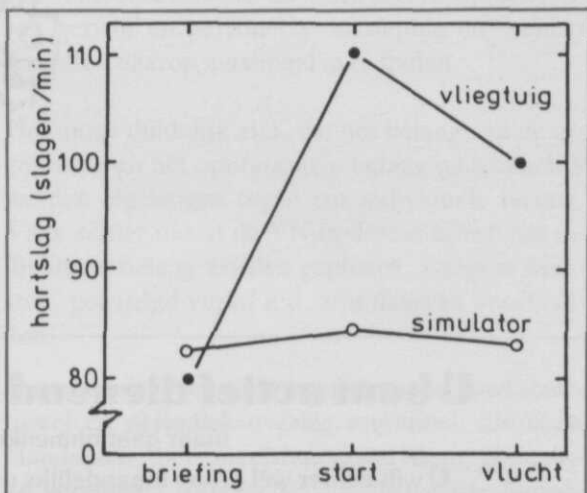
een buitenbeeldsimulator, die vooral als scheepssimulator werd gebruikt in een groot aantal onderzoeksprojecten inzake de bestuurbaarheid van schepen als wel het ontwerp van waterwegen.

De vraag naar de validiteit is hier doorgaans moeilijk te beantwoorden: men gebruikt immers de simulator juist omdat de werkelijkheid nog niet beschikbaar is. Afb. 6 laat zien hoe Truysen en Schuffel [8] toch met een tamelijk bevredigende oplossing kwamen. Zij lieten ervaren kapiteins een aantal manoeuvres vooraf beoordelen en vervolgens op de simulator uitvoeren. Gelukkig werd er een duidelijk verband gevonden tussen de beoordelingen vooraf en de uitvoering op de simulator. De betekenis daarvan is dat de simulator zich nagenoeg precies zo gedroeg als door de ervaren kapiteins werd verwacht.

Terugkerende naar de trainingssimulatoren: het verdient, zeker in het licht van de verschillende teurstellingen, naar onze mening sterk aanbeveling het ontwerp daarvan ook eerst als prototype op een flexibele onderzoekssimulator te realiseren en aan het noodzakelijke gedragsonderzoek te onderwerpen.

Slotbeschouwing

Als er al met al geen al te rooskleurig beeld naar



Afb. 6 Poging tot validering van onderzoek naar de bestuurbaarheid van duwbotten m.b.v. de scheepsmanoeuvresimulator van het IZF-TNO. Ervaren kapiteins beoordeelden diverse manoeuvres in diverse situaties vooraf en voerden ze vervolgens uit op de simulator. De uitvoering op de simulator komt blijkbaar redelijk overeen met de verwachtingen vooraf

voren is gekomen van de bruikbaarheid van trainingssimulatoren, dan moet worden bedacht dat de aandacht van het validatieonderzoek natuurlijk selectief is uitgegaan naar de probleemgevallen.

Het totale beeld over alle in gebruik genomen simulatoren is ongetwijfeld gunstiger. Toch mag deze overweging de aandacht niet afleiden van de vrij ernstige tekortkomingen die bij een aantal belangrijke simulatorprojecten zijn geconstateerd. De les die hieruit kan worden getrokken is naar onze mening dat er een beter evenwicht moet komen tussen „technology push” enerzijds, en een wel-

overwogen behoeftestelling anderzijds. De simulatormarkt moet een gebruikersmarkt zijn. Zo zal men zich vanuit bezinning op het leerplan, en op de simulator als leerhulpmiddel — niet als vervanging — steeds moeten afvragen of men met deelsimulatoren of met één integrale simulator wil werken. De praktijk leert dat eenvoudige systemen of deelsimulatoren vaak een hoge educatieve waarde hebben. Bovendien moet men rekening houden met een in educatieve zin afnemende meeropbrengst bij het technisch perfectioneren van een simulator. Het zal duidelijk zijn dat dit ongunstig is voor de kosten/batenverhouding.

Literatuur

1. J. Moraal en K. J. Poll — *De Link-Miles rijsimulator voor pantservoertuigen; verslag van een validatieonderzoek* (Rapp. 1979-23). IZF-TNO, Soesterberg (1979).
2. L. van Breda en J. P. A. Boer — *Validatiestudie rijsimulator Leopard II* (Memo 1988-M7). IZF-TNO, Soesterberg (1988).
3. P. G. A. M. Jorna — *Richtvaardigheid van mobilisabele bemanningen Leopard II* (Rapp. 1988-23). IZF-TNO, Soesterberg (1988).
4. W. A. Wagenaar en J. A. Michon — *The effect of contracted time scales in scale model manoeuvring* (Rapp. 1968-C3). IZF-TNO, Soesterberg (1968).
5. P. Padmos — *Visual modeling errors in the Leopard II driving simulator* (Rapp. 1989-6). IZF-TNO, Soesterberg (1989).
6. U. Boon-Heckle — *Evaluatie van de voortgezette opleiding van voorwaartse waarnemers* (Rapp. 1989-5). IZF-TNO, Soesterberg (1989).
7. G. F. Wilson e.a. — *Physiological data used to measure pilot workload in actual flight and simulator conditions*. *Proc. Annual conf. Human Factors Society* (1979)779.
8. C. L. Truijens en H. Schuffel — *Ergonomisch onderzoek „Open Hartelkanaal”, dl 3: De validiteit van simulatie van duwvaart in het Hartelgebied* (rapp. 1978-C6). IZF-TNO, Soesterberg (1978).



U bent actief dienend officier van KL of KLu,

maar gaat binnenkort de dienst verlaten.

U wilt echter wel graag maandelijks de Militaire Spectator blijven ontvangen?
Dat kan: als lid van de Koninklijke Vereniging ter Beoefening van de Krijgswetenschap (contributie f 30,- per jaar; buitenland f 40,-) vindt u hem iedere maand in de bus, en tevens viermaal per jaar „Mars in Cathedra”.

Meldt u als lid bij de secretaris: Peuleyen 164, 2742 EP Waddinxveen.