

Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek



Fysisch en Elektronisch
Laboratorium TNO



Postbus 96864
2509 JG 's-Gravenhage
Oude Waalsdorperweg 83
's-Gravenhage
Telefax 070 - 328 09 61
Telefoon 070 - 326 42 21

TNO-rapport

DTIC FILE COPY

AD-A226 728

rapport no. exemplaar no.
FEL-90-A179 8

I.D. 90 00 55

titel

Storingsanalyse ten behoeve van het
materieelverzorgingsplan

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
terzake tussen partijen gesloten
overeenkomst.

© TNO

auteur(s):

Ir. M.M. Stoop

Ir. B. Bhola

DTIC
ELECTE
SEP 14 1990
S E D

TDCK RAPPORTENCENTRALE
Frederikkazerne, Geb. 140
van den Burchlaan 31
Telefoon: 070-3166394/6395
Telefax : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag TDCK

rubricering

titel

: ongerubriceerd

samenvatting

: ongerubriceerd

rapport

: ongerubriceerd

oplage

: 23

aantal bladzijden

: 38

aantal bijlagen

: -

datum

: mei 1990

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;
Distribution Unlimited

90-09-13 225



```

rapport no.      : FEL-90-A179
titel            : Storingsanalyse ten behoeve van het materieel-
                  verzorgingsplan

auteur(s)        : Ir. M.M. Stoop & Ir. B. Bhola
instituut        : Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

datum            : mei 1990
hdo-opdr.no.     : A89KL648
no. in iwp '90   : 702.2

```

SAMENVATTING (ONGERUBRICEERD)

Het materieelverzorgingsplan beschrijft de organisatie van het onderhoud en de logistieke ondersteuning van een bepaald type materieel bij de KL. Alle onderhoudshandelingen zijn in principe terug te voeren tot het voorkomen of opheffen van storingen van het materieel.

Dit rapport beschrijft de bijdrage die storingsanalyse kan leveren aan het opstellen en bijstellen van het materieelverzorgingsplan. Het blijkt dat de in de literatuur bekende storingsanalyses 'failure mode effect and criticality analysis' (FMECA) en 'fault tree analysis' (FTA) niet direct toepasbaar zijn door de KL. Daarom worden in dit rapport 'expertmeningen' en het analyseren van veldgegevens voorgesteld ter ondersteuning van het invullen van het materieelverzorgingsplan.

Author: [redacted]
 Title: [redacted]
 Edition: [redacted]
 Date: [redacted]
 Subject: [redacted]
 Series: [redacted]
 Notes: [redacted]
 A-1

report no. : FEL-90-A179
title : Failure analysis for the maintenance plan

author(s) : M.M. Stoop M. Sc. & B. Bhole M. Sc.
institute : TNO Physics and Electronics Laboratory

date : May 1990
NDRO no. : A89KL648
no. in pow '90 : 702.2

ABSTRACT (UNCLASSIFIED)

The maintenance plan describes the organization of the maintenance and logistics support of a system at the Royal Army. In principle all maintenance actions are based on failures of the system. This report describes the contribution failure analysis could give to the setting up and adjustment of the maintenance plan. It appears that the failure analyses 'failure mode effect and criticality analysis' (FMECA) and 'fault tree analysis' (FTA) are not directly applicable by the Royal Army.

As alternatives the use of expert opinions and analysis of field data are proposed to support the logistician responsible for the maintenance plan.

INHOUD

SAMENVATTING	1
ABSTRACT	2
INHOUDSOPGAVE	3
1 INLEIDING	4
2 HET MATERIEELVERZORGINGSPLAN	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Het onderhoudsschema	8
2.3 Wijze van invulling van het onderhoudsschema	9
2.4 Invulling van het onderhoudsschema in de praktijk	14
2.5 Conclusies	16
3 STORINGSANALYSES	18
3.1 'Failure mode effect and criticality analysis'	18
3.2 'Fault tree analysis'	22
3.3 Analyse van storingsgegevens in de instandhoudingsfase	26
3.4 Bruikbaarheid van storingsanalyses voor het MVP	28
4 BIJDRAGE INVULLING VAN HET MVP	31
4.1 Expertmeningen	31
4.2 Verzamelen van gegevens	34
5 CONCLUSIES	36
6 LITERATUUROPGAVE	38

1 INLEIDING

De logistieke ondersteuning van KL-materieel is georganiseerd volgens de beschrijving in het materieelverzorgingsplan (MVP) behorende bij dat materieel en kan beheerst worden door het optimaal opstellen en bijstellen van dat MVP.

Dit onderzoek is gericht op een mogelijke ondersteuning van het invullen en bijstellen van het MVP. In dit rapport zal de bijdrage die storingsanalyses kunnen leveren ter ondersteuning van het invullen van het MVP behandeld worden. Het onderzoek is voortgekomen uit de haalbaarheidsstudie van het 'integrated logistics support' (ILS) concept voor de DMKL [1]. Die opdracht betrof een onderzoek naar de optimalisering van de inrichting van de instandhoudingsorganisatie voor nieuw KL-materieel, met name complexe wapensystemen.

In het ILS-rapport is geconcludeerd dat het MVP, afgezien van enkele tekortkomingen, een goed uitgangspunt biedt voor het inrichten van een goede logistieke ondersteuning voor nieuw te verwerven KL-materieel. De tekortkomingen betreffen het ontbreken van kwantitatieve normen voor logistieke parameters, op grond waarvan de logistieke ondersteuning ontworpen moet worden.

Binnen ILS wordt de logistieke ondersteuning zodanig ingericht dat aan van tevoren vastgestelde kwantitatieve normen voor beschikbaarheid, inzetbaarheid, betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid wordt voldaan. De logistieke ondersteuning volgens het MVP is gebaseerd op tactische overwegingen (bijvoorbeeld tijdsnormen voor de indeling van onderhoudshandelingen i.v.m. de mobiliteit) en de inzetbaarheid van het materieel onder zowel oorlogs- als vredesomstandigheden. De inzetbaarheid wordt echter niet kwantitatief onderbouwd (bijvoorbeeld met behulp van logistieke modellen).

Een aanbeveling uit het ILS-rapport [1] is het verrichten van een onderzoek naar de bruikbaarheid van uit de 'logistics support analysis' (LSA) bekende analyses voor het ondersteunen van het invullen van het

MVP. Deze analyses betreffen storingsanalyse, onderhoudstakenanalyse, onderhoudsniveau-analyse en logistieke kostenanalyse. Alle onderhoudshandelingen aan materieel (zowel preventief als correctief) zijn terug te voeren tot het voorkomen of opheffen van storingen van het materieel. Inzicht in de aard en frequentie van de storingen geeft inzicht in het benodigde onderhoud aan het materieel, dat bepalend is voor de logistieke ondersteuning. Storingsanalyse vormt daarom de basis voor de andere analyses. In deze opdracht wordt de bruikbaarheid van storingsanalyse voor het invullen van het MVP onderzocht.

Het onderhoud van uitrustingsstukken is gebaseerd op het onderhoud-schema uit het MVP, dat de kern voor de logistieke ondersteuning vormt. Dit schema dient als basis voor het vaststellen van de kwaliteit en kwantiteit van het onderhoudspersoneel, de benodigde gereedschappen voor de uitvoering van het onderhoud en de benodigde hoeveelheid en verdeling van reservedelen en directe ruilcomponenten. Verbetering van de logistieke ondersteuning kan gerealiseerd worden door het ondersteunen van het invullen van het onderhoudsschema.

Een belangrijk onderdeel van ILS is 'life cycle costing' (LCC). Doelstellingen van LCC zijn het reduceren van de levensduurkosten en het verhogen van de systeembeschikbaarheid. Deze doelstellingen zijn in het algemeen conflicterend. Door het optimaliseren van de logistieke ondersteuning kan een compromis gevonden worden tussen deze twee doelstellingen. Belangrijke invoergegevens voor een LCC-analyse zijn de storingsgegevens van de verschillende modules waaruit een systeem is opgebouwd. Uit de opdrachten "evaluatie van de toepassing van het Licyco-model ten behoeve van de DMKL" [2] en "onderzoek naar de levensduurkosten van de lichte vrachtauto" [3] is gebleken dat die storingsgegevens moeilijk te verkrijgen zijn. In deze opdracht zal tevens onderzocht worden in hoeverre storingsanalyses toepasbaar zijn door de KL voor het verkrijgen van deze gegevens.

De indeling van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt het invullen van het onderhoudsschema van het MVP geanalyseerd. Deze analyse richt zich zowel op de richtlijnen voor het invullen van het MVP als op het daadwerkelijk invullen van het MVP in de praktijk en geeft knelpunten daarbij weer.

Hoofdstuk 3 beschrijft in het kort de volgende storingsanalyse-technieken:

- 'failure mode effects and criticality analysis' (FMECA) en
- 'fault tree analysis' (FTA).

Tevens wordt het analyseren van storingsgegevens behandeld.

Vervolgens wordt de bruikbaarheid van deze storingsanalysetechnieken en het analyseren van storingsgegevens voor het ondersteunen van het MVP aangegeven.

Op basis van de bevindingen in de hoofdstukken 2 en 3 geeft hoofdstuk 4 alternatieve methoden voor het ondersteunen van het invullen van het MVP. De conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

2 HET MATERIEELVERZORGINGSPLAN

2.1 Inleiding

Bij ieder type uitrustingsstuk hoort een, door de DMKL uitgegeven, materieelverzorgingsplan. Het materieelverzorgingsplan is een systematische beschrijving van:

- De organisatie van het onderhoud,
- De voor het uitvoeren van het onderhoud benodigde personele en materiële middelen en
- De verdeling van het materieel over de KL-organisatie.

Het doel van het MVP is het zeker stellen van de logistieke ondersteuning van materieel waarvan de invoering, instandhouding en afstoting consequenties heeft voor de KL-onderhoudsorganisatie, zowel op het moment van invoering als tijdens het gebruik. Met het opstellen van het MVP dient in een zo vroeg mogelijk stadium van de "voorzien in" fase te worden begonnen. In de instandhoudings- en afstotingsfase dient het MVP steeds een actueel beeld te geven van de bestaande situatie.

Wijzigingen in het MVP dienen aanpassingen van de organisatie conform deze wijzigingen als direct gevolg te hebben.

De doelstellingen van het materieelverzorgingsplan in de verschillende levensfasen van het materieel zijn:

- In de voorzien in fase:
 - Het ondersteunen van de keuze van nieuw materieel door in algemene zin inzicht te geven in de logistieke consequenties van mogelijke alternatieven tijdens de instandhoudingsfase.
 - Het, op het moment van invoer, zeker stellen dat de logistieke ondersteuning van nieuw in de KL in te stromen materieel is gewaarborgd.
- In de instandhoudingsfase:
 - Het geven van richtlijnen t.b.v. het doelmatig en effectief uitvoeren van het onderhoud aan materieel.

Om deze doelstellingen te realiseren dient het MVP zo goed mogelijk te worden ingevuld. Het onderhoudsschema van het MVP vormt de kern voor de logistieke ondersteuning. Op basis van de gegevens in dit deel worden andere delen van het MVP ingevuld, zoals de delen betreffende de aantallen reservedelen en directe ruilcomponenten, de benodigde kwaliteit en kwantiteit van het personeel en de benodigde gereedschappen en speciale (test)apparatuur.

Dit hoofdstuk behandelt het invullen van het onderhoudsschema van het MVP. Achtereenvolgens worden de volgende onderwerpen geanalyseerd:

- De gegevens die in dit onderhoudsschema van het MVP ingevuld moeten worden.
- De methode waarmee het onderhoudsschema ingevuld dient te worden (hierbij gaat het vooral om het verzamelen van de benodigde gegevens).
- De wijze waarop het onderhoudsschema in de praktijk wordt ingevuld.

2.2 Het onderhoudsschema

Het onderhoudsschema van het MVP bestaat uit:

- de 'kruisjeslijst',
- de onderhoudsnormen,
- het opleidingsniveau en
- een overzicht van aan het uitrustingsstuk gerelateerde documentatie.

De gegevens die in de verschillende subdelen worden ingevuld worden hieronder beschreven.

De 'kruisjeslijst' dient als basis voor het bepalen van de onderhoudsnormen (werklast) van de verschillende onderhoudsechelons. In de 'kruisjeslijst' dient het volgende aangegeven te worden:

- De onderhoudstaken (zowel preventief als correctief) per hoofd- en subgroep (dit is een opdeling van het systeem naar functioneel samenhangende delen).

- Het onderhoudsniveau waar iedere onderhoudstaak uitgevoerd zal worden (1°, 2°, 3°, 4° of 5° echelon)
- De essentiële reservedelen.
- De directe ruilcomponenten.
- De gemiddeld benodigde tijdsduur per onderhoudshandeling.
- De frequentie per onderhoudshandeling.

De onderhoudsnormen geven per echelon en per uitrustingsstuk het verwachte jaarlijks benodigde aantal onderhoudsuren (preventief en correctief) aan.

Bij het opleidingsniveau dient het te onderscheiden kennisniveau en de te onderscheiden vakrichting van het personeel ingevuld te worden. Het personeel wordt onderverdeeld in militair dienstplichtig, militair vrijwillig dienend en burgerpersoneel. Van het militair vrijwillig dienend personeel moet ook de rang worden vermeld.

De voor het onderhoud benodigde documentatie wordt opgenomen in het documentatie-overzicht.

2.3 Wijze van invulling van het onderhoudsschema

Ter ondersteuning bij het invullen van het materieelverzorgingsplan heeft de opsteller (logistiek voorbereider) o.a. de volgende documenten tot zijn beschikking:

[8] 'Bijvoegsel A-3-d bij vaste order 5-9-2' en

[9] 'Richtlijnen ten aanzien van het materieelverzorgingsplan'.

Deze documenten geven de uitgangspunten en normen die de opsteller in acht moet nemen bij het invullen van het MVP. De vaste order 5-9-2 is echter niet meer van kracht.

Bij het initieel invullen van het MVP zijn niet altijd alle benodigde gegevens bekend. Met de dan beschikbare gegevens dient het MVP initieel ingevuld te worden. In een later stadium, wanneer de benodigde gegevens beschikbaar komen door middel van beproevingen of terugkoppeling uit het veld, dient het MVP aangepast/bijgesteld te worden.

In het vervolg zal per in te vullen onderwerp beschreven worden hoe de opsteller aan de benodigde gegevens kan komen.

2.3.1 Onderhoudstaken

De richtlijnen t.a.v. het MVP [9] geven niet aan hoe de onderhoudstaken geïdentificeerd moeten worden. Hiervoor is de opsteller aangewezen op de gegevens van de leverancier en op gegevens van soortgelijk materieel dat in gebruik is bij de KL. Voor het identificeren van de onderhoudstaken wordt het uitrustingsstuk opgedeeld in hoofdgroepen en subgroepen volgens de standaard functionele groepsindeling. Per subgroep worden dan de onderhoudstaken beschreven. Deze gegevens moeten in de technische voorwaarden voor aanschaffing (TVA) van de leverancier geeist worden. Een onderscheid van de onderhoudstaken naar preventieve en correctieve onderhoudstaken wordt in de bijvoegsel bij VO 5-9-2 [8] niet van belang geacht. In de richtlijnen t.a.v. het MVP [9] wordt gepleit voor een onderscheid van de onderhoudstaken naar preventief onderhoud aan opgelegd materieel, preventief onderhoud aan in gebruik zijnd materieel en correctief onderhoud, omdat dit een betere onderbouwing geeft voor het bepalen van de onderhoudswerklast en de logistieke ondersteuning.

2.3.2 Onderhoudsniveaus

Voor het vaststellen van het onderhoudsniveau zijn de uitgangspunten en normen die hierbij gehanteerd moeten worden beschreven in de richtlijnen t.a.v. het MVP [9]. Opmerkelijk is dat hierbij geen aandacht wordt besteed aan het economisch aspect. Wel wordt hier onderscheid gemaakt tussen vreedstijd en oorlogstijd. Het onderhoud aan het materieel dat bij de Nationale Sector (NS) is ingedeeld en dat in oorlogstijd veelal een andere bestemming krijgt dan in vreedstijd, wordt opgedragen aan een eigen onderhoudsgroep/-peloton of onderhoudselement van één van de regiostaven. Moeilijke taken waarvoor speciale gereedschappen benodigd zijn worden opgedragen aan de herstelwerkplaatsen die belast zijn met voornamelijk correctieve onderhoudshandelingen. De organisatie van het onderhoud voor het materieel ingedeeld bij het 1^o legerkorps (1LK) is ingericht voor een oorlogssituatie. De indeling van taken op echelons is vooral gebaseerd op de tijdsduur van de taken. Economische aspecten

worden bij deze indeling niet expliciet meegenomen. Een 'level of repair analysis' (LORA) wordt niet uitgevoerd.

In het vervolg worden de normen en uitgangspunten voor het onderhoud aan materieel ingedeeld bij 1Lk kort samengevat.

2.3.2.1 1° echelons onderhoud

Het eerste echelon beperkt zich a priori tot preventieve onderhoudshandelingen. De benodigde tijdsduur per onderhoudstaak dient klein te zijn. Als norm mag het onderhoud op dit echelon per gebruiker/bedienaar in totaal niet groter zijn dan 150 uren per jaar.

De onderhoudstaken moeten met bij het uitrustingsstuk behorend gereedschap worden uitgevoerd voor zover gereedschappen benodigd zijn. De onderhoudshandelingen moeten 'zeer eenvoudig' zijn.

2.3.2.2 2° echelons onderhoud

Het tweede echelons onderhoud wordt uitgevoerd door speciaal daartoe opgeleid personeel ingedeeld bij operationele eenheden (pelotons-grootte), of door verzorgingscommando's t.b.v. logistiek niet-zelfstandige eenheden.

Het onderhoud omvat zowel preventieve als correctieve onderhoudstaken en wordt onderverdeeld naar compagniesniveau en bataljonsniveau. Daar het om een gevechtssituatie gaat, zijn er tijdsbegrenzungen voor de benodigde tijdsduren gegeven (zie [9]).

Op compagniesniveau komen geen onderhoudstaken voor waarvoor speciaal gereedschap benodigd is. Tevens worden er geen gecompliceerde onderhoudstaken uitgevoerd omdat deze niet onder gevechtssituaties kunnen geschieden.

Preventieve onderhoudshandelingen mogen niet vaker plaatsvinden dan eens per drie maanden of een equivalent daarvan in schoten, draaiuren of kilometers.

2.3.2.4 3° echelons onderhoud

Het 3° echelons onderhoud wordt uitgevoerd door gespecialiseerd personeel ingedeeld bij herstelcompagnieën en herstelwerkplaatsen. Vanwege de hoge mobiliteitsgraad van vooral de herstelcompagnieën, optredend in het brigadevak en het divisievak, mogen geen werkzaamheden uitgevoerd worden met een lange technische hersteltijd. De tijdsbegrenzungen voor technische hersteltijden staan beschreven in de richtlijnen t.a.v. het MVP [9].

2.3.2.4 4° echelons onderhoud

Het 4° echelons onderhoud is qua karakter niet echt verschillend van het 3° echelons onderhoud. Het betreft hier onderhoud dat langere tijd vergt (langer dan de tijdsbegrenzungen voor het 3e echelons onderhoud) en/of omvangrijker gereedschappen vereist. Dit onderhoud wordt buiten het eerste legerkorps bij NLC-werkplaatsen uitgevoerd.

2.3.2.5 5° echelons onderhoud

Het 5° echelons onderhoud is volledig gepland onderhoud met als doel het halen en/of verlengen van de levensduur. Het betreft revisie van componenten en ingrijpende modificaties (basisonderhoud).

Volgens de richtlijnen t.a.v. het MVP [9] moet voor preventief onderhoud aan opgelegd materieel, preventief onderhoud aan in gebruik zijnd materieel en voor correctief onderhoud apart een onderhoudschema ingevuld worden.

Bij het indelen van de onderhoudstaken dient de opsteller zich in grote lijnen te houden aan de bovenstaande uitgangspunten en normen. Hiermee wordt verondersteld dat de inzetbaarheid van het materieel gewaarborgd is. De logistieke voorbereider, die belast is met het invullen van het MVP, heeft dus geen inzicht in hoeverre de in te vullen gegevens de inzetbaarheid van het materieel beïnvloeden.

2.3.3 Essentiële reservedelen

Voor het aangeven van de essentiële reservedelen zijn geen specifieke methoden aangegeven. Er wordt vastgesteld dat het ontbreken van deze componenten de materiële inzetbaarheid van een eenheid negatief kan beïnvloeden. Hoe deze inzetbaarheid wordt vastgesteld staat niet beschreven. De reservedelen zijn meestal gerelateerd aan de onderscheiden onderhoudshandelingen.

2.3.4 Directe ruilcomponenten

Directe ruilcomponenten zijn herstelbare componenten die op het tweede of derde echelon verwisseld worden en op een hoger echelon gerepareerd worden. Deze componenten moeten speciaal aangegeven worden.

2.3.5 Tijdsduur

Voor het vaststellen van het echelon waarop een onderhoudshandeling verricht wordt, dient de opsteller de tijdsbegrenzungen zoals beschreven in de richtlijnen t.a.v. het MVP [9] in acht te nemen. De tijdsduur is de belangrijkste parameter voor het indelen van een handeling op een bepaald echelon. Als ondersteuning dient hij gebruik te maken van de gegevens van de leverancier, beproevingen, soortgelijke uitrustingsstukken in gebruik bij de KL en van gegevens van hetzelfde uitrustingsstuk bij bondgenoten. Hoe de opsteller van deze gegevens gebruik dient te maken staat niet beschreven. Nogmaals wordt uitgegaan van de kennis/ervaring van de opsteller die in staat wordt geacht om, via vergelijkingen van de gebruiksomstandigheden en verschillen in ontwerpen, de beschikbare gegevens aan te passen.

2.3.6 Frequentie

De frequentie per onderhoudstaak wordt in de bijvoegsel bij de VO 5-9-2 [8] en de technische voorwaarden voor aanschaffing (TVA) alleen voor preventieve onderhoudstaken gevraagd. Voor de correctieve onderhoudshandelingen zijn deze frequenties moeilijk aan te geven. De leverancier weigert over het algemeen deze frequenties te geven omdat ze grotendeels van het gebruik afhangen, hij niet verantwoordelijk gesteld wil worden of omdat hij de mogelijkheden hiertoe niet heeft. Deze frequenties en de

tijdsduren van de correctieve onderhoudshandelingen geven echter een betere onderbouwing voor het bepalen van de werklast. Vandaar dat de frequenties van de correctieve onderhoudshandelingen in de richtlijnen t.a.v. het MVP [9] geëist worden.

Voor de frequenties van preventieve onderhoudshandelingen dient zoveel mogelijk gestreefd te worden naar overeenkomsten per half jaar, jaar en twee jaren. De leverancier is meestal wel in staat het preventieve onderhoudsschema te geven voor in gebruik zijnd materieel maar niet voor opgelegd materieel. Voor opgelegd materieel kan gebruik gemaakt worden van gegevens van soortgelijk materieel bij de KL wanneer de leverancier niet in staat is deze gegevens te leveren.

Het kan nodig zijn dat de leveranciersgegevens aangepast worden aan de KL-onderhoudsorganisatie omdat de gegevens van de leverancier vaak gebaseerd zijn op een gebruikssituatie die anders is dan die bij de KL of omdat de frequenties van het preventieve onderhoud niet passen in de bestaande KL-situatie.

Voor de correctieve onderhoudshandelingen kunnen de gegevens niet van de leverancier verwacht worden. In de TVA worden deze gegevens niet geëist van de leverancier. De opsteller zal deze frequentie zelf uit beproevingsgegevens, gegevens van soortgelijk materieel bij KL, gegevens van materieel bij de bondgenoten en zijn eigen kennis en ervaring moeten schatten. Hierbij dient hij wel rekening te houden met de uitgangspunten en de normen zoals beschreven in de richtlijnen t.a.v. het MVP [9]. Voor de preventieve onderhoudstaken worden deze gegevens wel door de leverancier toegeleverd.

2.4 Invulling van het onderhoudsschema in de praktijk

In deze paragraaf wordt de invulling van het onderhoudsschema, zoals dat in de praktijk gebeurt, besproken. Deze beschrijving is gebaseerd op een drietal interviews die gehouden zijn met logistiek voorbereiders van verschillende productafdelingen binnen de DMKL.

De gegevens die benodigd zijn voor het invullen van het onderhoudsschema worden in de praktijk gevraagd aan de leverancier van het uitrustingsstuk (in de vorm van een onderhoudsschema en een suggestielijst reservedelen). Deze gegevens vormen de belangrijkste informatiebron voor het invullen van het onderhoudsschema. Afhankelijk van het soort materieel worden de gegevens anders aangepast.

2.4.1 Wielvoertuigen

Bij wielvoertuigen worden de gegevens van de leverancier gebruikt omdat de logistiek voorbereiders deze gegevens voldoende nauwkeurig achten. Alleen de echelonnering dient af en toe aangepast te worden. Op basis van de suggestielijst reservedelen worden de onderhoudsnormen (zie paragraaf 2.2) voor de correctieve werklast geschat. Frequenties voor de correctieve onderhoudshandelingen blijken niet gegeven te kunnen worden door de leverancier en de logistiek voorbereider. Men maakt geen gebruik van gegevens over het huidige (te vervangen) materieel omdat men van mening is dat er meestal te veel verschillen zijn tussen het huidige en het nieuwe materieel vanwege de snelle technische vooruitgang en de grote vervangingstijd van het materieel.

2.4.2 Rupsvoertuigen en tanks

Bij het aanschaffen van wapensystemen (zoals tanks) en rupsvoertuigen werkt de KL vaak samen met bondgenoten, in het bijzonder de Bundeswehr. Dit betekent dat de KL gebonden is aan de gezamenlijke contractonderhandelingen tussen de betrokken bondgenoten en de leverancier. Het onderhoudsschema, zoals dat opgesteld wordt door de leverancier en vaak, zij het summier, beproefd wordt door een andere bondgenoot, is niet afgestemd op de KL-organisatie. Het onderhoudsschema wordt dan door de KL aangepast op basis van de ervaring van verschillende functionarissen binnen de KL. De onderhoudsnormen worden door de leverancier of de bondgenoot vaak geschat op basis van de (theoretische) MTBF van de modules van het systeem, doch ook deze zijn niet gebaseerd op het gebruik in de KL-situatie. Deze onderhoudsnormen worden echter wel overgenomen omdat men niet in staat is zelf frequenties te schatten van de onderhoudshandelingen.

2.4.3 Electronisch materieel

Electronisch materieel wordt steeds meer in modulevorm ontworpen. Consequenties daarvan zijn dat het lagere echelons onderhoud zich beperkt tot het vervangen van modules. De reparaties van de modules vinden plaats op het vierde echelon of worden door de leverancier verricht. Het onderhoudsschema is dus beperkt. Hoewel waarden voor de MTBF's van de modules bekend zijn worden zij niet gebruikt bij het vaststellen van de onderhoudsnormen. De logistiek voorbereider is van mening dat deze waarden in de praktijk vaak niet realistisch zijn. De onderhoudsnormen worden zodanig geschat/gekozen dat het onderhoud binnen de bestaande organisatie en capaciteit is in te passen, omdat het in de praktijk moeilijk is om extra capaciteit te verkrijgen.

2.5 Conclusies

Het MVP biedt binnen het kader van de gestelde uitgangspunten en normen (in [9]) een goede basis voor het zeker stellen van de logistieke ondersteuning voor nieuw in te stromen materieel. Hoewel deze logistieke ondersteuning tot doel heeft het inzetbaar houden van het materieel, komen in het MVP geen kwantitatieve normen ten aanzien van de inzetbaarheid ter sprake. Binnen ILS vormen kwantitatieve normen ten aanzien van de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en onderhoudbaarheid een belangrijk aspect en moet de logistieke ondersteuning garanderen dat deze normen gehaald worden.

De uitgangspunten en normen voor de logistieke ondersteuning bij de KL zijn gebaseerd op tactische overwegingen voor oorlogsomstandigheden. De belangrijkste factoren/argumenten voor het indelen van een onderhoudshandeling op een bepaald echelon zijn de tijdsduur en de moeilijkheidsgraad van de handeling. Bij deze echelonnering wordt geen economische afweging gemaakt (bijvoorbeeld m.b.t. het neerleggen van reservedelen en directe ruilcomponenten). Een 'level of repair analysis' (LORA), waarbij de keuze van het onderhoudsniveau gebaseerd is op een economische afweging, is binnen de gestelde uitgangspunten en normen bij de KL (tijdsbegrenzungen en specialismen voor de echelons) niet toepasbaar.

In de instandhoudingsfase moet het MVP aangepast worden aan de realiteit zodat het steeds een correct beeld geeft van de huidige situatie. Het MVP is dan echter geen plan meer maar een overzicht van de huidige stand van zaken.

De onderhoudsnormen gaan uit van een redelijk constant aanbod van werk over de jaren. Vooral bij mechanisch materieel heeft men te maken met het verschijnsel slijtage/veroudering. Hierdoor is de werklast niet gelijkmatig. Daarom zou men de werklast moeten geven voor verschillende periodes tijdens de levensduur van het materieel, zodat men hiermee rekening kan houden met het plannen en opleiden van personeel en het aanschaffen van reservedelen.

In de praktijk blijkt het invullen van de frequenties van de correctieve onderhoudshandelingen het knelpunt te vormen. Hierdoor is men niet in staat een gefundeerde schatting van de onderhoudsnormen te geven. Veldgegevens, op basis waarvan het MVP in de instandhoudingsfase kan worden bijgesteld, worden niet structureel verzameld. Berichten over de status van de logistieke ondersteuning en knelpunten daarbij komen naar boven via informele contacten. Door de productafdelingen wordt geen onderzoek uitgevoerd naar de status van de logistieke ondersteuning en het onderhoud omdat de verantwoordelijkheid en de capaciteit onvoldoende blijkt te zijn. Dit heeft tot gevolg dat het MVP zelden bijgesteld wordt.

3 STORINGSANALYSES

Bij storingsanalyse worden storingen van materieel onderzocht op de volgende aspecten:

- de invloed van storingen op de beschikbaarheid en inzetbaarheid van het materieel,
- de oorzaak van storingen, en
- de verdeling van storingen over de storingsrelevante grootheid (b.v. tijd, afstand, aantal schoten, gebruiksomstandigheden).

De 'failure mode effect analysis' (FMEA) is een storingsanalyse die vooral het eerste aspect omvat. De 'fault tree analysis' (FTA) is een storingsanalyse die vooral gericht is op het tweede aspect. Deze analyses gaan uit van reeds geïdentificeerde storingen en geven geen gestructureerde procedure voor het identificeren van alle mogelijke storingen. Een dergelijke analyse zou een storingsidentificatie ('failure mode identification') genoemd kunnen worden.

3.1 'Failure mode effect and criticality analysis'

Het belangrijkste doel van FMECA is het identificeren van die storingen die het meeste effect hebben op de beschikbaarheid van het materieel en die het gedrag van het materieel domineren (Pareto 20-80 regel). De aandacht bij het ontwerpen voor betrouwbaarheid kan dan geconcentreerd worden op deze storingen en het verantwoordelijke gedeelte van het ontwerp. Bij een reeds vaststaand ontwerp kan de aandacht bij het plannen en inrichten van de logistieke ondersteuning en het onderhoud voornamelijk toegespitst worden op het vermijden of verhelpen van deze storingen.

FMECA is een combinatie van 'failure mode effect analysis' (FMEA), die de gevolgen van storingen aangeeft en 'criticality analysis' (CA), die de kritiekheid (effect plus frequentie) van storingen aangeeft.

3.1.1 Systematische benadering van de FMECA

In de systematische benadering van de FMECA kunnen de volgende zes stappen onderscheiden worden.

3.1.1.1 Definitie van het systeem en het laagste niveau van analyse
De eerste stap van de analyse bestaat uit het definiëren van dat gedeelte van het systeem waarop de analyse zal worden toegepast en daarna om het laagste niveau aan te geven van waaruit de analyse zal starten.

3.1.1.2 Identificatie van de primaire storingen

In de tweede stap wordt ieder item op dat laagste niveau apart bekeken. Van die items worden, in de ideale omstandigheden, alle 'failure modes' (storingshoedanigheden) beschreven en opgenomen in een lijst. In de praktijk blijkt het meestal niet mogelijk om alle storingshoedanigheden op te sporen (b.v. vanwege de omvang van de taak) en zal een selectie gemaakt moeten worden op basis van technisch inzicht ('engineering judgement'). Het belangrijkste hulpmiddel bij het identificeren van storingen van mechanische componenten is een 'checklist'. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat voor mechanische componenten de externe omgeving van evengroot belang is als de interne omgeving, zowel voor de invloed van de omgeving op de items als de invloed van de items op de omgeving. Er zal goed afgesproken moeten worden wat als een storing beschouwd moet worden. Bij mechanische systemen dienen naast componenten ook bedrijfsstoffen (oliën etc.) in de analyse betrokken te worden om het vergeten van fatale 'failure modes' te voorkomen.

3.1.1.3 Bepaling van de storingskansen/-frequenties

Stap drie kan kwalitatief of kwantitatief worden uitgevoerd. Bij de kwalitatieve benadering worden de in stap twee geïdentificeerde 'failure modes' geordend volgens de (verwachte) waarschijnlijkheid van optreden of ingedeeld in klassen van optreden (bijvoorbeeld frequent, vrij waarschijnlijk, af en toe, onwaarschijnlijk en zeer onwaarschijnlijk). Bij de kwantitatieve benadering wordt getracht van iedere 'failure mode' de frequentie van optreden te geven. Wanneer een FMEA (zonder CA) wordt uitgevoerd kan deze stap overgeslagen worden.

3.1.1.4 Toekennen van effecten

De vierde stap in de FMECA bestaat uit het toekennen van effecten aan de storingen, eerst op de aangrenzende of omvattende componenten en uiteindelijk op het systeem als geheel. Gestart wordt met het onderzoeken of de geïdentificeerde storingen andere storingen op het zelfde niveau (het laagste niveau) kunnen induceren (secundaire storingen). Deze worden toegevoegd aan de lijst die opgesteld is in stap twee. Daarna worden de effecten van deze 'failure modes' op items van een hiërarchisch hoger niveau bepaald. Tegelijkertijd moeten 'failure modes' die specifiek zijn voor dit hogere niveau meegenomen worden. Van de 'failure modes' op dit niveau moet bekeken worden of zij weer een effect hebben op het lagere niveau. Deze stap wordt herhaald totdat het allerhoogste (gedefinieerde) niveau is bereikt. Aan het eind van stap vier moet het mogelijk zijn om een lijst te produceren met daarin de effecten die op het uiteindelijke niveau kunnen worden waargenomen en die het gebruik van het systeem kunnen beïnvloeden. Tevens moet ieder effect terug te leiden zijn tot zijn oorza(a)k(en).

3.1.1.5 Klassificeren van de eind-effecten

In de vijfde stap wordt een klassificatie gegeven van de uiteindelijke effecten uit stap vier. Dit gebeurt op basis van de invloed van het effect op het opereren van het systeem als geheel. In een grove analyse worden meestal de volgende klassen onderscheiden:

- catastrofaal (dood of systeemvernietiging),
- kritiek (belangrijke persoonlijke of systeemschade die resulteert in het niet volbrengen van een missie),
- marginaal (minder belangrijke persoonlijke of systeemschade resulterend in verlaging van beschikbaarheid of missiesucces) en
- miniem (niet serieuze schade aan personen of systeem maar wel resulterend in niet gepland onderhoud).

Ook kan gebruik gemaakt worden van een numerieke schaal waarbij bijvoorbeeld een 10 een catastrofe aanduidt en een 1 een zeer klein effect.

3.1.1.6 Bepaling van de kritiekheid

De zesde en laatste stap behoort tot de CA. In deze stap wordt de kritiekheid van iedere 'failure mode' bepaald. Deze kritiekheid is afhankelijk van zowel de ernst van de storing als de frequentie van of de kans op die storing.

3.1.2 Opmerkingen

Een FMECA is voor elektronische of electro-mechanische systemen beter uit te voeren dan voor mechanische systemen. De eerste stap is voor mechanisch materieel complex omdat de interactie tussen componenten vaak groot is en omdat meestal niet één niveau als initieel te definiëren is. Het laagste analyseniveau is voor mechanisch materieel vaak hoger dan voor electro-mechanisch materieel, waar iedere component apart bekeken kan worden.

De waarde van een FMECA als een storingsanalyse voor de DMKL moet gerelativeerd worden, in het bijzonder voor mechanische systemen. Naast de kwaliteit van de beschikbare documentatie van het systeem hangt het succes van de analyse af van het technisch en "engineering" inzicht van de analist. Dit inzicht vormt voor mechanische systemen het belangrijkste deel van de invoer voor de analyse. Het toepassen van FMECA is in het algemeen een kostbare en tijdrovende bezigheid.

FMECA is een procedure die het systematisch analyseren van storingen en de effecten daarvan ondersteunt. Voor het identificeren van de storingen zijn ervaringen uit de praktijk, goede beschrijvingen van en een gedegen inzicht in het systeem noodzakelijk. Het technisch inzicht is wel aanwezig bij de leverancier die in staat is zo'n analyse te verrichten. De DMKL moet dan ook de resultaten van de FMECA van de leverancier eisen omdat de leverancier vaak deze analyse zelf verricht bij het ontwerpen van het systeem.

3.2 'Fault tree analysis'

Een 'fault tree' is een boomstructuur die weergeeft op welke wijze 'basic events' (primaire storingen) tot een 'top event' (uiteindelijke storing) kunnen leiden.

'Fault tree analysis' (FTA) [5,6] is een deductieve vorm van storingsanalyse die:

- de oorzaken van een gebeurtenis (b.v. een storing) grafisch presenteert door het construeren van een 'fault tree' en
- de kans van optreden van deze gebeurtenis ('top event') bepaalt door het evalueren van deze 'fault tree'.

In tegenstelling tot FMECA gaat FTA uit van een op te treden effect ('top event') en geeft hiervan de oorzaken aan. Deze top-down benadering kan leiden tot identificatie van storingen en combinaties daarvan op lagere niveaus die kunnen leiden tot de 'top event' en die bij een bottom up methode buiten beschouwing kunnen blijven. In de volgende paragrafen worden de 'fault tree' constructie en de 'fault tree' evaluatie nader beschreven.

3.2.1 'Fault tree' constructie

Bij de constructie van de 'fault tree' gaat het om het modelleren van de systeemcondities die kunnen leiden tot de 'top event'. Een eerste stap hierbij is het definiëren van de 'top event' waarvoor de 'fault tree' geconstrueerd wordt. Belangrijke aspecten hierbij zijn de systeemdefinitie, een beschrijving van de gebruiksomstandigheden van het systeem en de gemaakte aannames.

Daarna worden alle mogelijke oorzaken van de 'top events' ('sub events') geïdentificeerd en met behulp van 'gates' (AND en OR gates) aan de 'top event' gerelateerd. De constructie van de 'fault tree' is een recursief proces door iedere 'event' op een lager niveau als een 'top event' te beschouwen. Wanneer een 'event' niet verder gespecificeerd kan worden naar verschillende oorzaken spreekt men van een 'basic event' die de constructie van een tak in de 'fault tree' beëindigt. Bij de 'AND gate' vindt de gebeurtenis op het hoger niveau plaats indien alle gerelateerde gebeurtenissen op het daaronderliggende niveau optreden. De gebeurtenis

bij een 'OR gate' vindt plaats indien één of meer van de gerelateerde gebeurtenissen op het onderliggende niveau optreedt/optreden.

Storingen in een 'fault tree' worden grofweg in drie categorieën onderverdeeld, te weten:

- Een primaire storing; dit is storing ten gevolge van interne karakteristieken van een systeemelement,
- Een secundaire storing; dit is een storing ten gevolge van verkeerd gebruik en/of omgevingsverandering en
- Een commandostoring; dit is een storing ten gevolge van verkeerde - of het ontbreken van - controle signalen.

Bij de eerste twee categorieën kan het systeemelement zijn functie niet vervullen totdat dit element is gerepareerd, terwijl bij de derde categorie het element zijn functie wel kan vervullen wanneer de juiste controlesignalen aanwezig zijn.

Voor het construeren van de 'fault tree' bestaan er verschillende computerprogramma's (op mainframes) die de analist kunnen helpen bij de constructie [5].

3.2.2 'Fault tree' evaluatie

Afhankelijk van de analyse is de evaluatie kwalitatief, kwantitatief of beide. Bij de kwalitatieve evaluatie gaat het om het vinden van 'min cut sets' en 'min path sets' (zie hieronder) en bij de kwantitatieve evaluatie gaat het om het bepalen van de kans van optreden van de top event.

3.2.2.1 Kwalitatieve evaluatie

Een 'cut set' is een verzameling van 'basic events', wiens gezamenlijke optreden het optreden van de 'top event' veroorzaken. Een 'cut set' is minimaal ('min cut set') wanneer na het verwijderen van een 'basic event' uit de 'cut set' deze verzameling geen 'cut set' meer is.

Een 'path set' is een verzameling van 'basic events' wiens gezamenlijke "niet optreden", het "niet optreden" van de 'top event' garandeert. Een 'path set' is minimaal wanneer het verwijderen van een 'basic event' hieruit deze verzameling geen 'path set' maakt.

Voor het bepalen van 'min cut sets' en 'min path sets' bestaan er verschillende algorithmen die de analist kunnen helpen [5]. Voor complexe systemen zijn er meer verfijnde methoden noodzakelijk omdat zowel het aantal als de grootte van de verzamelingen bij deze systemen groot zijn.

3.2.2.2 Kwantitatieve evaluatie

Bij de kwantitatieve evaluatie van de 'fault tree' gaat het om het bepalen van de kans van optreden van de 'top event'. Wanneer de verdelingen en de statistische afhankelijkheden van de 'basic events' bekend zijn, kan de kans of verwachtingswaarde voor het optreden van de 'top event' bepaald worden. De kans van optreden van de 'top event' kan afhankelijk van de statistische afhankelijkheden van de 'basic events' en de mogelijke replicaties (het op meerdere plaatsen in de 'fault tree' voorkomen van dezelfde 'event') exact bepaald of benaderd worden.

3.2.2.2.1 Exacte bepaling

De kans van optreden van de 'top event' wordt exact bepaald in het geval dat er geen replicaties van 'basic events' in de 'fault tree' zitten en alle 'basic events' statistisch onafhankelijk zijn. Bij de exacte bepaling wordt gebruik gemaakt van de Boole algebra om het optreden van de 'basic events' aan te geven. Met de Boole variabelen en de 'min cut/path sets' wordt een structuurfunctie van de 'fault tree' beschreven waarmee de kans van optreden van de 'top event' exact wordt bepaald. De structuurfunctie is (na uitwerking) een som van producten van de Boole variabelen.

3.2.2.2.2 Benadering

De kans van optreden van de 'top event' wordt benaderd indien:

- de 'fault tree' zeer omvangrijk is en er verder dezelfde beperkingen zijn als bij de exacte bepaling (geen replicaties van 'basic events' en alle 'basic events' zijn statistisch onafhankelijk). In dit geval wordt het zogenaamde inclusie-exclusie principe gebruikt om successievelijke onder- en bovengrenzen voor de kans van optreden te bepalen. Hierbij wordt het gelijktijdig optreden van alle 'events' in een 'min cut set' als een aparte gebeurtenis beschouwd. De kans dat de 'top event' optreedt is dan gelijk aan de kans van de vereniging van deze gebeurtenissen. Deze kans kan benaderd worden door de berekening volgens het inclusie-exclusie principe voortijdig te beëindigen. Dit geeft dan successievelijk boven- en ondergrenzen voor de kans van optreden.
- replicaties van 'basic events' aanwezig zijn en de basic events statistisch onafhankelijk zijn. In dit geval geeft de structuurformule met behulp van de 'min cut/path sets' een boven- / ondergrens voor de kans van optreden van de 'top-event'.
- de 'basic events' statistisch afhankelijk zijn. In dit geval geven het maximum en minimum van de kans op het gelijktijdig optreden van alle 'basic events' in respectievelijk de 'min cut sets' en 'min path sets', waarbij de 'basic events' als onafhankelijk worden beschouwd, een onder- en bovengrens voor de kans van optreden van de 'top event'.

3.2.3 Opmerkingen

FTA dient vooral voor complexe systemen met catastrofale gevolgen toegepast te worden omdat via een FTA de analist inzicht kan krijgen in het systeem en de oorzaken van (fatale) storingen. Daarnaast geeft het ook een systematische procedure voor het vinden van storingen en combinaties van storingen die kunnen leiden tot de 'top event'. Ondanks de vele computerondersteuning voor het construeren en het evalueren van 'fault trees' blijkt de FTA in de praktijk een moeilijke

analyse te zijn die niet alleen veel tijd vergt maar vaak ook heel duur is. Daarnaast heeft men vaak te maken met een tekort aan reële gegevens. FTA is geen storingsidentificatiemethode zodat belangrijke storingen over het hoofd gezien kunnen worden, mede door het deductieve karakter ervan.

3.3 Analyse van storingsgegevens in de instandhoudingsfase

Wanneer men de beschikking heeft over gegevens van opgetreden storingen van materieel, dan kunnen met behulp van statistische analyses uitspraken gedaan worden over de betrouwbaarheid en onderhoudbaarheid van het materieel. Het doel van deze analyses is over het algemeen het voorspellen van de te verwachten hoeveelheid storingen en het detecteren van storingen die vaker dan verwacht optreden. Op basis van de uitkomsten van deze analyses kan het materieelverzorgingsplan en derhalve de logistieke ondersteuning aangepast worden. Tevens kunnen de uitkomsten aanleiding geven tot modificaties en basisonderhoud.

3.3.1 Kansverdelingen

Bij het modelleren van storingen met behulp van kansverdelingen concentreert men zich op iedere (soort) storing apart. Voor iedere storing wordt de kans van optreden aangegeven met een kansdichtheidsfunctie of een kansverdelingsfunctie. In de literatuur wordt de Weibullverdeling aangegeven als de meest ideale verdeling om de storingskans van een mechanische component of module weer te geven. Deze verdeling heeft de belangrijke eigenschap dat de storingsgraad als functie van tijd kan worden gegeven, waarmee het verouderingsproces gemodelleerd wordt. Het werken met kansverdelingen is geschikt wanneer men slechts geïnteresseerd is in de storingskans van één item en wanneer het materieel na reparatie/vervanging van de defecte component of module weer in de originele staat is teruggebracht. In de literatuur zijn verschillende methoden bekend om de parameters van verdelingen te schatten en om een verdeling te 'fitten' voor bepaalde gegevens. Indien men geïnteresseerd is in storingen ten gevolge van één bepaalde oorzaak en niet in de storingen ten gevolge van andere oorzaken, dan heeft men

te maken met incomplete gegevens. Van sommige items heeft men dan wel de juiste gegevens (storingstijdstip van de storing door gewenste oorzaak) en van andere items heeft men dan niet de juiste gegevens (storingstijdstip van de storing door ongewenste oorzaak). Indien een storing optreedt door een ongewenste oorzaak weet men niet wanneer de "gewenste" storing zou optreden. Het is echter wel bekend dat deze storing nog niet is opgetreden en het storingstijdstip dus in de toekomst ligt.

In zo'n geval kan gebruik gemaakt worden van de zogenaamde 'hazard plotting' methode [12]. De 'hazard plotting' methode is een grafische statistische methode waarmee onderzocht kan worden of de (incomplete) data uit een bepaalde verdeling komt. Tevens kunnen de parameters van die verdeling geschat worden. Uit deze verdeling is de MTBF af te leiden. De 'hazard plotting' methode kan slechts worden toegepast indien aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- Alle bij de steekproef betrokken items moeten een onafhankelijke en gelijke storingsverdeling hebben;
- Wanneer een defect is opgetreden wordt het item uit de steekproef genomen;
- De storingstijden van de items die niet door de gewenste oorzaak uit de proef zijn genomen moeten onafhankelijk zijn van het tijdstip waarop zij uit de proef zijn genomen (de 'sensing time');
- De steekproef moet voldoende groot zijn.

In de praktijkgevallen bij de KL moet onderzocht worden in hoeverre aan deze voorwaarden voldaan wordt om de hazard plotting methode te kunnen gebruiken.

3.3.2 Storingsprocessen

Mechanisch materieel is vaak aan slijtage onderhevig en vertoont na verloop van tijd verouderingskarakteristieken. Storingen van mechanische componenten zijn sterk afhankelijk van de omgeving waarin zij verkeren. Wanneer een storing is opgetreden wordt de defecte component vaak gerepareerd of vervangen. De toestand van de component na de reparatie

is meestal niet identiek aan de initiële toestand van de component (nieuwstaat). Na vervanging van een component door een nieuw exemplaar komt dat nieuwe exemplaar in een veranderde omgeving (ten opzichte van de initiële omgeving). Deze veranderingen zijn verantwoordelijk voor het feit dat het modelleren van storingen d.m.v. kansdichtheden of kansverdelingen niet geheel juist is en men het storingsproces beter kan modelleren als een stochastisch proces van achtereenvolgens optredende gebeurtenissen (storingen). Hierbij kunnen tijdreeksanalyses gebruikt worden om bepaalde trends te ontdekken en om voorspellingen te doen omtrent de toekomstige werklast.

3.4 Bruikbaarheid van storingsanalyses voor het MVP

Deze paragraaf geeft de bruikbaarheid aan van de boven beschreven storingsanalysetechnieken voor het invullen van het MVP. FMEA is een methode voor het identificeren van belangrijke storingen en het bepalen van de effecten van deze storingen op systeemniveau. De bijbehorende kritiekheidsanalyse (CA) geeft tevens de kritiekheid (kans van optreden en gevolgen) van de storingen aan. Deze methode vindt vaak een toepassing tijdens het ontwerpen van het systeem. Door het tijdig ontdekken van zeer kritische storingen (hoge kans van optreden en/of fatale gevolgen) kan het ontwerp aangepast worden om daarmee deze kritische storingen te voorkomen. Deze aanpassing geeft een reductie in de totale levensduurkosten van het materieel, wat gezien wordt als de winst bij het toepassen van FMECA. Bij het toepassen van deze analyse wordt het systeem onderverdeeld naar verschillende systeemniveaus. Indien wenselijk kan deze onderverdeling tot componentniveau plaatsvinden. De analist geeft dan op het laagst wenselijk niveau alle mogelijke storingshoedanigheden aan. Voor het beschrijven van het systeem naar verschillende niveaus en het identificeren van de storingshoedanigheden op een gewenst niveau, is voldoende technisch inzicht in het materieel noodzakelijk. Dit technisch inzicht in het materieel ontbreekt binnen de DMKL. Dit technisch inzicht is wel beschikbaar bij de leverancier. De leverancier geeft dan ook de

onderhoudshandelingen aan die uiteindelijk door de DMKL gehanteerd worden om het MVP in te vullen. Gezien de nauwkeurigheid van de beschreven onderhoudshandelingen in het MVP, die afkomstig zijn van de leverancier, het ontbreken van technische kennis bij de DMKL (noodzakelijk voor het toepassen van FMECA), de hoge kosten en tijd voor deze toepassing, wordt deze storingsanalysetechniek niet meteen bruikbaar geacht voor het invullen van het MVP.

FTA is een storingsanalysetechniek die met behulp van de constructie van een foutenboom ('fault tree') de analist inzicht verschaft in het systeem en de mogelijke oorzaken die kunnen leiden tot een storing ('top event'). Deze analyse geeft tevens de mogelijkheid om de kans van optreden (evt. frequentie) van de 'top event' te bepalen. Hiervoor moet de analist de kansen van optreden (of frequenties) van de 'basic events' (oorzaken) aangeven. Samen met de 'fault tree' is dan de kans van optreden van de 'top event' te bepalen. Bij toepassing van deze methode voor het invullen van het MVP wordt niet waarschijnlijk geacht dat de kansen van optreden (frequenties) van 'basic events' (oorzaken) gemakkelijker te schatten zijn door DMKL medewerkers dan de kans van optreden van de 'top event' (een correctieve onderhoudshandeling). De onderhoudshandelingen zijn immers "herkenbaarder" dan de oorzaken ervan. Bovendien zal het construeren van de 'fault tree' niet eenvoudig zijn omdat het benodigde technisch inzicht, de benodigde kennis en geautomatiseerde modellen bij de DMKL ontbreken. Het technisch inzicht en de benodigde kennis zullen wel aanwezig zijn bij de leverancier. De toepassing van deze storingsanalysetechniek is eveneens kostbaar en tijdrovend. Deze techniek wordt evenals FMECA toegepast om tijdig in de ontwerpfase kritieke storingen op te sporen zodat hiermee bij het ontwerp rekening gehouden wordt.

Deze technieken vinden een toepassing voor storingen die een belangrijke invloed hebben op de beschikbaarheid, inzetbaarheid en betrouwbaarheid van het systeem. Bij het invullen van het MVP gaat het om alle mogelijke storingen om daarmee onder andere de werklast van een onderhouds-afdeling te bepalen. Het behaalde resultaat bij het toepassen van deze

technieken bij de DMKL zullen niet opwegen tegen de problemen, de hoge kosten en de tijd. De technieken zullen geen essentieel betere resultaten geven dan die van de leverancier worden verkregen. Derhalve wordt geconcludeerd dat deze technieken niet meteen bruikbaar zijn voor het ondersteunen van het invullen van het MVP.

4 BIJDRAGE INVULLING VAN HET MVP

In hoofdstuk 2 is gebleken dat het voornaamste knelpunt bij het invullen van het onderhoudsschema het bepalen van de frequenties van de correctieve onderhoudshandelingen is. De logistiek voorbereiders zijn niet in staat deze gegevens te genereren. De leverancier wenst deze gegevens niet te geven vanwege het onzekere karakter van deze variabelen en de afhankelijkheid van deze variabelen van het gebruik. De storingsanalysetechnieken FMECA en FTA blijken niet meteen bruikbaar voor het bepalen van deze frequenties. Een alternatief om deze frequenties op korte termijn te bepalen is het raadplegen van deskundigen die schattingen voor deze onzekere variabelen kunnen geven. Deze schattingen kunnen gebruikt worden bij het initieel opstellen van het MVP. In de instandhoudingsfase kunnen veldgegevens verzameld worden die op langere termijn kunnen helpen om deze frequenties te bepalen. Het onderhoudsschema, en daarmee ook de organisatie van de logistieke ondersteuning, kan op basis van deze veldgegevens worden bijgesteld. In de volgende paragrafen worden het gebruik van expertmeningen en het verzamelen van veldgegevens nader besproken.

4.1 Expertmeningen

Het raadplegen van deskundigen (experts) voor het schatten van onzekere variabelen is bekend in de literatuur. Een theorie die hiervoor gebruikt wordt is de theorie van de subjectieve waarschijnlijkheid. Deze theorie wordt gebruikt voor het schatten van de kans op onzekere gebeurtenissen met catastrofale gevolgen. De keuze van deskundigen die geraadpleegd worden, hangt af van de ernst van de gevolgen, het beschikbare budget, de tijd en de beschikbaarheid van mensen binnen de eigen organisatie met voldoende kennis en ervaring.

Personen die als deskundigen (experts) kunnen fungeren voor het schatten van de frequenties van de correctieve onderhoudshandelingen voor de DMKL zijn:

- de projectbehandelaar,
- de logistiek voorbereider,

- het hoofd van een onderhoudsfaciliteit,
- de beproevingsleider en/of
- de leverancier.

Vanwege de verschillende achtergronden van de experts, waardoor iedere expert anders tegen het probleem zal aankijken, en het onzekere karakter van de frequenties is te verwachten dat de meningen van deze experts verschillend zullen zijn. Het is daarom raadzaam om meerdere experts te raadplegen.

Een moeilijkheid die zich hierbij voordoet is het verkrijgen van één enkele schatting uit verschillende schattingen, omdat er maar één frequentie per onderhoudstaak nodig is. In de literatuur bestaan verschillende methoden om te komen tot een overeenstemming tussen de experts en het combineren van verschillende schattingen tot één schatting voor een onzekere variabele. Enkele van deze methoden zijn:

- de Delfi-techniek,
- het combineren van meningen met behulp van gewichten,
- het combineren van meningen volgens een Bayesiaanse methode en
- psychologische schaling.

Naast het geven van één getal per frequentie kan men ook werken met verdelingen voor de frequenties. De experts wordt dan bijvoorbeeld gevraagd om waarden te geven voor fractielen van die verdeling.

4.1.1 Delfi-techniek

De Delfi-techniek is een methode voor het verkrijgen van een consensus waarbij er directe of indirecte interactie bestaat tussen de experts. Bij deze techniek worden uitspraken van alle deelnemers anoniem rondgestuurd en wordt de deelnemers gevraagd hun meningen bij te stellen of te beargumenteren. Door dit herhaaldelijk te doen tracht men tot een consensus te komen. De argumenten kunnen worden rondgestuurd of bediscussieerd. Uit een aantal onderzoeken is echter gebleken dat de Delfi-methoden en andere methoden met interactie niet noemenswaardig beter scoren dan het eenvoudig middelen van de initiële uitspraken [10].

4.1.2 Het combineren van meningen met behulp van gewichten

Voor het combineren van meningen met behulp van gewichten zonder dat een a priori schatting aanwezig is bestaan verschillende modellen. Het eenvoudigste model geeft de experts gelijke gewichten. Gewichten kunnen aangepast worden door het toepassen van bepaalde scores die gebaseerd zijn op de ervaring met de experts en de werkelijke uitkomsten van vroegere schattingen. Gewichten kunnen gegeven worden door de beslisser of door de experts onderling.

4.1.3 Bayesiaanse methoden

Bayesiaanse methoden gaan uit van een vooraf veronderstelde verdeling (a priori verdeling) voor een onzekere variabele, die meestal aanwezig is bij de beslisser. De schattingen van de experts, die hier gezien worden als "observaties" van de variabele, worden gebruikt om de a priori verdeling aan te passen tot een nieuwe verdeling (a posteriori verdeling). De aanpassing van de a priori verdeling tot een a posteriori verdeling vindt plaats volgens het theorema van Bayes bekend uit de kansrekening.

4.1.4 Psychologische schaling

Psychologische schaling is een methode die gebruik maakt van paarsgewijze vergelijkingen door de experts. Deze methode vereist slechts een kwalitatieve input van de experts (geen numerieke waarden) en geeft automatisch een consensus. Bovendien kunnen betrouwbaarheidsintervallen gegeven worden door het toepassen van simulatietechnieken. Voor deze methode zijn echter veel experts nodig (circa 15 of meer).

Om de schattingen van de experts te kunnen evalueren zijn gegevens nodig over de werkelijke waarden van de schattingen. Deze gegevens moeten in de instandhoudingsfase bijgehouden worden. Wanneer gegevens bekend zijn van analoog materieel, of van het materieel dat vervangen moet worden, kunnen de experts geëvalueerd worden door het geven van schattingen voor dat materieel. Tevens kan dat een goede training zijn voor de experts, vooral voor het vertrouwd raken met begrippen als waarschijnlijkheid, kans en fractielen.

In principe zijn alle methoden toepasbaar voor de DMKL. Deze methoden zijn vooral bruikbaar bij het initieel schatten van de frequenties van de onderhoudshandelingen en wanneer er verder geen andere gegevens voorhanden zijn. De schattingen van experts kunnen gebruikt worden voor het bepalen van de MTBF's van de componenten van het systeem die benodigd zijn voor LCC-analyses.

4.2 Verzamelen van gegevens

Het MVP geeft uitgangspunten en normen voor het toekomstig onderhoud van het materieel. Inzicht in hoe het materieel daadwerkelijk onderhouden wordt, kan verkregen worden door gegevens tijdens de instandhoudingsfase te verzamelen. Een vergelijking van deze veldgegevens en de gegevens in het MVP brengen knelpunten in het onderhoud van het materieel aan het licht. Deze vergelijking kan eventueel ook leiden tot het bijstellen van de uitgangspunten en normen in het MVP voor het toekomstige onderhoud van het materieel.

Een goede vergelijking is alleen mogelijk wanneer voldoende en de juiste gegevens beschikbaar zijn. Er zijn voldoende gegevens nodig om statistische uitspraken te doen (b.v. over frequenties) en alleen relevante gegevens geven een duidelijk overzicht. Overbodige gegevens leiden er vaak toe dat de relevante gegevens moeilijk te filteren zijn. Voorts is het van groot belang dat gegevens op een consistente manier verzameld worden. Inconsistent verzamelen gaat ten koste van de kwaliteit van de gegevens wat kan leiden tot het verkeerd kiezen van normen en uitgangspunten. Consistent verzamelen is alleen mogelijk wanneer de betrokkenen steeds het doel van het registreren voor ogen houden en gemotiveerd deze taak blijven uitvoeren. Bij afname van de motivatie zal ook de consistentie en daarmee de kwaliteit van de gegevens afnemen.

Ten aanzien van de correctieve onderhoudshandelingen is het doel van deze gegevensverzameling het verschaffen van inzicht in de daadwerkelijke werklast ten gevolge van correctief onderhoud.

Per onderhoudstaak zullen de volgende gegevens verzameld moeten worden:

- de tijdsduur,
- de materiaalkosten en
- de waarde van de storingsrelevante grootheid (datum, kilometerstand) waarbij deze taak is uitgevoerd; hiermee kan de jaarlijkse frequentie bepaald worden.

De benodigde capaciteit voor het verzamelen van verschillende gegevens kan laag blijven door dit verzamelen te organiseren en door een representatieve steekproef te nemen. Hoe groot de steekproef moet zijn en welke onderhoudsfaciliteiten er bij betrokken dienen te worden moet van geval tot geval onderzocht worden. Bij het interpreteren van de gegevens dient er rekening mee gehouden te worden dat deze gegevens gebaseerd zijn op een beperkt aantal van de totale populatie. Indien het materieel bij andere onderhoudsfaciliteiten anders gebruikt wordt dienen de gegevens aangepast te worden. Wanneer het gebruik en dientengevolge het onderhoud totaal anders is moet overwogen worden om daarvoor apart de gegevens te verzamelen.

5 CONCLUSIES

Het knelpunt bij het opstellen van het materieelverzorgingsplan blijkt het geven van de frequenties van de onderhoudshandelingen in het onderhoudsschema te zijn. Ook de tijdsduren van deze handelingen kunnen niet goed ingeschat worden. Hierdoor ontbreekt de basis voor het invullen van de onderhoudsnormen (de werklast) en hoeveelheden reservedelen en directe ruilcomponenten.

De storingsanalyses FMECA en FTA blijken niet meteen toepasbaar door de DMKL om deze frequenties te geven.

Het gebruik van 'expertmeningen' biedt een mogelijkheid om de frequenties en tijdsduren te schatten. Hiervan kan gebruik worden gemaakt bij het initieel opstellen van het MVP en bij het, in een vroeg stadium van het "voorzien in" proces, uitvoeren van LCC-analyses. Voor het bijstellen van het MVP en het beheersen van de logistieke ondersteuning en de inzetbaarheid van het materieel in de instandhoudingsfase kan het verzamelen en analyseren van veldgegevens ondersteuning bieden. Tevens kunnen deze gegevens van pas komen bij (toekomstig) gebruik van 'expertmeningen' en het initieel invullen van het materieelverzorgingsplan.

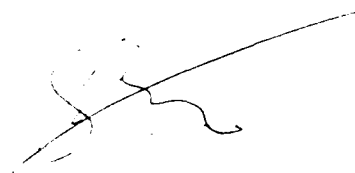
Afgezien van de frequenties en tijdsduren van correctieve onderhoudshandelingen wordt het MVP in de praktijk volledig (initieel) ingevuld. Bijstelling van het MVP vindt slechts sporadisch plaats.

De beheersing van de logistieke ondersteuning van materieel kan daarom ondersteund worden door het verzamelen en analyseren van veldgegevens, op basis waarvan het MVP periodiek bijgesteld kan worden.

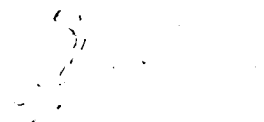
Aanbevolen wordt om aan de hand van een case-studie te onderzoeken welke gegevens binnen de KL aanwezig zijn en op welke wijze hiermee de frequenties en de tijdsduren van de onderhoudshandelingen geschat kunnen worden danwel aan te geven op welke wijze deze frequenties en tijdsduren geschat kunnen worden met in de toekomst te verzamelen gegevens.



Ir. P.A. Slat (groepsleider)



Ir. M.M. Stoop (auteur)



Ir. B. Bhola (auteur)

6 LITERATUUROPGAVE

- [1] Stoop M.M. en P.A. Slat, 'Het Integrated Logistics Support concept voor de DMKL: een haalbaarheidsstudie', Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO, FEL 89-A122.
- [2] Broos J.A.M. en L.H. Kramer, 'Evaluatie toepassing Licyco-model ten behoeve van de DMKL', Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO, FEL 1989-55 (confidentieel).
- [3] Stoop M.M., 'Levensduurkostenonderzoek bij de vervanging van de lichte vrachtauto', Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO, FEL 89-A309.
- [4] Carter A.D.S., 'Mechanical reliability', MacMillan Education LTD, 1986
- [5] Lee W.S, D.L. Grosh, F.A. Tillman en C.H. Lie, 'Fault tree analysis, methods, and applications - a review', IEEE Transactions on Reliability, vol. R-34, no.3, 1985 august.
- [6] Barlow R.E. en H.E. Lambert, Introduction to fault tree analysis, in 'Reliability and Fault Tree Analysis', door Barlow R.E., J.B. Fussel en N.D. Singpurwalla, SIAM, Philadelphia, 1975.
- [7] MIL-STD 1629A, 'Procedures for performing a failure mode effect and criticality analysis'.
- [8] 'Bijvoegsel A-3-d bij vaste order 5-9-2', DMKL.
- [9] 'Richtlijnen ten aanzien van het materieelverzorgingsplan', DMKL afdeling logistiek beleid.
- [10] Seaver D.A., 'How group can access uncertainty: human interaction versus mathematical models', Proc. Int. Conf. Cybernetics and Soc., Washington DC, 19-21, p 185-190, 1977.
- [11] Cooke R.M., 'Experts in uncertainty, Expert opinion and subjective probability in science', TU Delft, 1989.
- [12] Nelson W., 'Hazard plotting for incomplete failure data', Journal of Quality Technology, Vol. 1, No. 1, januari 1969.

UNCLASSIFIED

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER
TD90-0055		FEL-90-A179

4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.	5. CONTRACT NUMBER	6. REPORT DATE
22015	A89KL648	MAY 1990

7. NUMBER OF PAGES	8. NUMBER OF REFERENCES	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED
38	12	INTERIM REPORT

10. TITLE AND SUBTITLE
STORINGSANALYSE TEN BEHOEVE VAN HET MATERIEELVERZORGINGSPLAN
(FAILURE ANALYSIS FOR THE MAINTENANCE PLAN)

11. AUTHOR(S)
M.M. STOOP M.SC. AND B. BHOLA M.SC.

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)
TNO PHYSICS AND ELECTRONICS LABORATORY
P.O. BOX 96864, 2509 JG THE HAGUE, THE NETHERLANDS

13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S)
ROYAL ARMY
FREDERIKKAZERNE 35 K679,
V.D. BURCHLAAN 31, 2597 PC THE HAGUE, THE NETHERLANDS

14. SUPPLEMENTARY NOTES

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 POSITIONS)

THE MAINTENANCE PLAN DESCRIBES THE ORGANIZATION OF THE MAINTENANCE AND LOGISTICS SUPPORT OF SYSTEMS AT THE ROYAL ARMY. IN PRINCIPLE ALL MAINTENANCE ACTIONS ARE BASED ON FAILURES OF THE SYSTEM. THIS REPORT DESCRIBES THE CONTRIBUTION FAILURE ANALYSIS COULD GIVE TO THE SETTING UP AND ADJUSTMENT OF THE MAINTENANCE PLAN. IT APPEARS THAT THE FAILURE ANALYSES 'FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS' (FMECA) AND 'FAULT TREE ANALYSIS' (FTA) ARE NOT DIRECTLY APPLICABLE TO THE ROYAL ARMY. AS ALTERNATIVES THE USE OF EXPERT OPINIONS AND ANALYSIS OF FIELD DATA ARE PROPOSED TO SUPPORT THE LOGISTICIAN RESPONSIBLE FOR THE MAINTENANCE PLAN.

16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS
FAILURE	FAILURE ANALYSIS
LOGISTIC SUPPORT	
LOGISTIC ORGANISATION	FAILURE MODE EFFECT AND CRITICALITY ANALYSIS
MAINTENANCE LOGISTICS	FAULT TREE ANALYSIS

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED

18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
UNLIMITED AVAILABILITY	UNCLASSIFIED

UNCLASSIFIED