

Betrouwbaarheidsanalyse van constructies

Citation for published version (APA):

Kraker, de, A. (1984). Betrouwbaarheidsanalyse van constructies. *Constructeur*, 23(3), 38-43.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1984

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

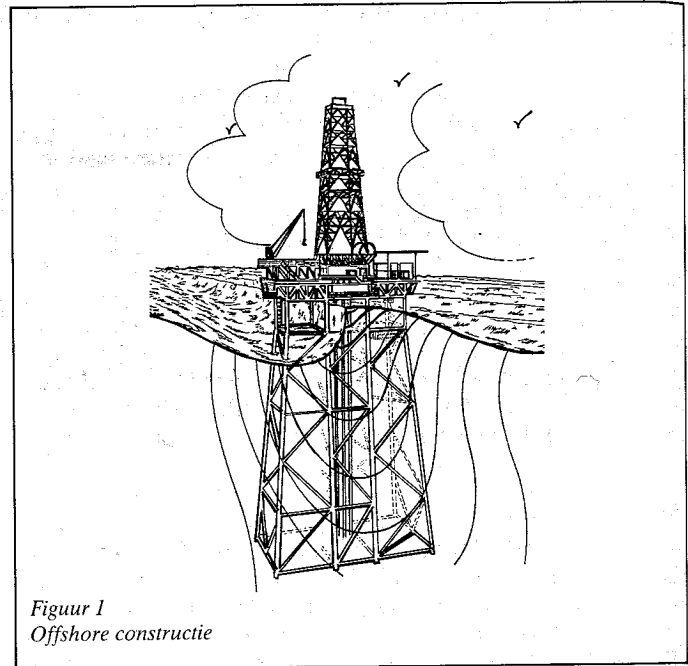
Betrouwbaarheidsanalyse van constructies

Bij het op dit moment ontwerpen van een constructie voor een in de toekomst te vervullen taak op basis van in het verleden opgedane ervaring wordt men noodzakelijkerwijs geconfronteerd met het voorspellen van belastingen en invloeden van buitenaf op de constructie, alsmede het voorspellen van het gedrag van de constructie onder deze belastingen. Dit betekent dat men te maken heeft met een groot aantal onzekerheden bij het bepalen van de betrouwbaarheid en/of veiligheid van deze constructie in een in de toekomst gelegen, afgebakende periode. Een algemene grondslag voor deze problematiek wordt gepresenteerd in het rapport van de hoofdgroep bouw en metaal, TNO [1]. Een aspect van deze algemene grondslag is gericht op het verkrijgen van een goed inzicht in de bedreigingen waaraan een constructie kan worden blootgesteld, en hoe de constructie bij gegeven materiaal en geometrie daarop respondeert. Teneinde daarbij behulpzaam te zijn is een oriëntatieoverzicht (of checklist) opgesteld. In dit artikel wordt de achtergrond en opbouw van dit overzicht toegelicht.

Op de eerste plaats dient onderscheid gemaakt te worden tussen wat veelal aangeduid wordt als de betrouwbaarheid (structural reliability) en het begrip bedrijfszekerheid (reliability engineering). Bij de laatste staat in feite het voorspellen van de gemiddelde levensduur van een constructie centraal waarbij gebruik gemaakt wordt van langs statistische weg bepaalde schatters op basis van steekproeven. Essentieel is dat we daarbij vaak te maken hebben met in relatief grote aantallen vervaardigde of beschikbare componenten met een relatief eenvoudig systeemgedrag en een van de omgeving te isoleren functioneren (weinig of geen interactie). Als voorbeeld kan hierbij gedacht worden aan koelwater voedingspompen.

Enige tientallen of zelfs honderden van deze deelsystemen kunnen uit een produktielijn afgezonderd worden of na installatie enige tijd geobserveerd worden om op die manier betrouwbare schattingen voor de bedrijfszekerheid van deze componenten te verkrijgen. Deze informatie kan daarna gebruikt worden voor het bepalen van de globale bedrijfszekerheid van de totale constructie waarvan zij deel uitmaken. Bij het analyseren van de betrouwbaarheid van een constructie staat het voorspellen van de faalkans van een enkelvoudige, complexe constructie centraal, of complementair geformuleerd, de kans dat de constructie een bepaalde, vooraf vastgestelde periode, zonder problemen de gewenste taak zal vervullen. De ontwerper van een nieuw vliegtuig zal bij voorbeeld helemaal niet geïnteresseerd zijn in de gemiddelde levensduur van zijn ontwerp, maar veel meer belang hechten aan het veilig functioneren ervan gedurende een bepaalde periode.

Karakteristiek voor dit soort constructies is dat zij bestaan uit complexe deelsystemen met een sterke onderlinge interactie, zodanig dat het gedrag van het deelsysteem (of bezwijkmechanisme) niet afzonderlijk bepaald kan worden in een geïsoleerde testomgeving (bij voorbeeld een offshore constructie (figuur 1)). Het benadrukken van het verschil tussen beide genoemde inval-



Figuur 1
Offshore constructie

hoeken is belangrijk omdat de statistiek bij een betrouwbaarheidsanalyse haar voorspellende waarde verliest en vervangen moet worden door een op kansrekening gebaseerde, rationele benadering van het probleem. Immers bij het ontwerpen van een moderne geavanceerde offshore-constructie vervalt de mogelijkheid tot het uitvoeren van een groot aantal experimenten met de uiteindelijke constructie of een voldoende complex schaalmodel.

Redenen waarom toch in toenemende mate belang gehecht wordt aan een nauwkeurige voorspelling van de betrouwbaarheid van deze constructies zijn onder andere:

- hoge ontwerp-, bouw-, en exploitatiekosten. Dit uit zich veelal in een gering aantal vergelijkbare constructies met daarnaast de eis voor langere economische levensduren. Dit wordt ook wel aangeduid met het inkorten van de zogenaamde 'learning-curve'
 - toenemende complexiteit van de constructies met weinig, zo niet geen enkele speelruimte voor fouten of vergissingen
 - het snel toenemen van de eisen die de maatschappij stelt aan het in gebruik nemen van deze constructies.
- Bij de ontwikkeling van methoden voor het analyseren van de betrouwbaarheid van complexe constructies met het uiteindelijke doel te komen tot ontwerpcodes heeft in het verleden het type constructie een belangrijke rol gespeeld. Om dit aan te kunnen geven zou men de volgende onderverdeling kunnen hanteren:
- civiele constructies: gebouwen, bruggen, dammen, etcetera
 - 'klassieke' werktuigkundige constructies: produktiemachines, procesinstallaties, etcetera
 - nucleaire constructies: kernreactoren, etcetera
 - offshore constructies: platformen, schepen, etcetera.

*) Ten tijde van dit onderzoek werkzaam bij TNO-IWECO te Delft.

Een tweede aspect dat karakteristiek is voor deze ontwerpgrondslag is een noodzakelijkerwijs interdisciplinaire aanpak van de problematiek. Dit zou men aan kunnen geven via de trefwoorden:

- sterkte en stijfheid
- vermoeiing en breukmechanica
- corrosie en onderhoud
- systeemleer en -analyse
- waarschijnlijkheidsrekening.

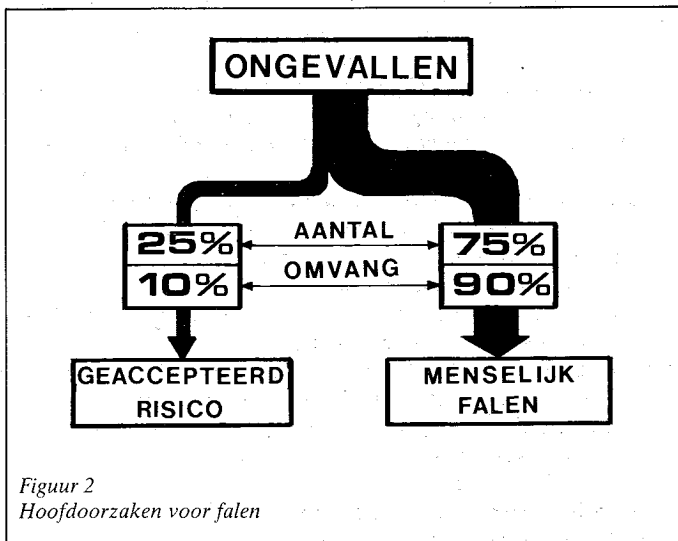
Al met al een groot aantal invalshoeken van waaruit het probleem kan worden benaderd. Gelukkig hoeven niet altijd al deze factoren tegelijk in de beschouwing te worden betrokken. Zo speelt bij voorbeeld bij (civiele) gebouwen vooral de statische sterkte een belangrijke rol, gecombineerd met weersinvloeden zoals windbelasting, sneeuw, etcetera en zal de nadruk niet liggen op de verwachte levensduur van deze constructies daar deze voornamelijk bepaald wordt door economische, politieke en culturele factoren. Ondanks het feit dat voor de verschillende ontwerpgebieden door onderzoekers met een vaak verschillende specialistische achtergrond deze methoden zijn ontwikkeld bevatten zij toch een aantal gemeenschappelijke kenmerken. Daarbij kan met name gedacht worden aan:

- waarschijnlijkheidsrekening
- te hanteren fysische modellen.

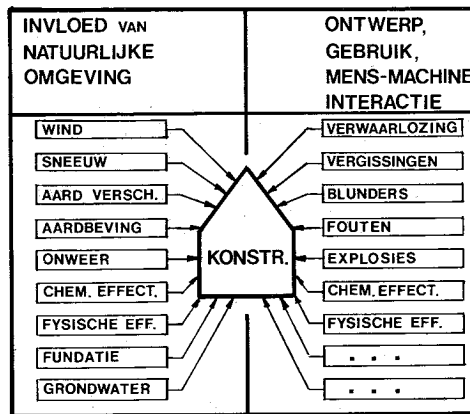
Dit leidt tot een min of meer algemene basis voor de analyse van de betrouwbaarheid en levensduur van complexe constructies zoals aangegeven in hoofdstuk 2 van [1]. Hierbij wordt aandacht geschonken aan het analyseren van de gehele of een deel van de constructie met inachtnaam van alle mogelijke bezwijkmechanismen en een rationele benadering van de onzekerheden die daarmee gepaard gaan.

Het is echter algemeen bekend dat de meeste 'ongelukken' samenhangen met factoren waaraan tijdens het ontwerpen van de constructie voorbij is gegaan; met andere woorden, fouten, onzekerheden en tekortkomingen die het gevolg zijn van menselijke activiteiten bij ontwerp, uitvoering en bediening. Dit wordt geïllustreerd in figuur 2, ontleend aan Matousek [3].

Een nogal vaak optredend misverstand is dat door het onderkennen van deze laatste onzekerheden, het voorspellen van de betrouwbaarheid van de constructie geen enkele zin meer zou hebben. Dit is nu fundamenteel onjuist. Het impliceert enkel dat de modellen waarmee altijd is gewerkt aangepast moeten worden en dat een systematische aanpak van de in het probleem een rol spelende onzekerheden de enige mogelijkheid is om tot een verantwoorde ontwerpmethodiek te kunnen komen. Om dit laatste mogelijk te maken is gepoogd een algemeen schema op te stellen waarin de relevante aspecten op een min of meer logische wijze kunnen worden ondergebracht. Dit schema zou dan kunnen



Figuur 2
Hoofdoorzaken voor falen



Figuur 3
Mogelijk classificatieschema

dienen als een kwalitatieve eerste fase waarbij nagegaan wordt welke elementen in de beschouwing in een gegeven geval van doorslaggevende betekenis zouden kunnen zijn. Dit overzicht (ook wel checklist genaamd) zal het verder onderwerp van dit artikel vormen (hoofdstuk 3 van [1]).

Opbouw van de checklist

Factoren die de betrouwbaarheid van een constructie bepalen zijn zeer verscheiden en dientengevolge moeilijk in een algemeen schema onder te brengen. Ondanks deze op het oog onoverkomelijke moeilijkheid lijkt de enige weg om te komen tot een verantwoorde aanpak van de vraagstukken te liggen in de volgende systematische benadering:

- classificatie van aspecten die van relevante betekenis zijn voor het onderhavige probleem
- nalopen van alle mogelijke (elkaar beïnvloedende) veiligheidsmaatregelen
- opstellen van gebeurtenissen-scenario's
- ontwikkelen van een veiligheidsplan.

Classificatieschema's voor het nalopen van alle mogelijke invloeden hebben veelal min of meer ernstige tekortkomingen. Een mogelijk schema is gegeven in figuur 3.

Hierbij worden twee hoofdingangen beschouwd, namelijk invloeden van de natuurlijke omgeving en invloeden ten gevolge van menselijke activiteiten, gebruik van de constructie en de mens-constructie interactie. Uiteraard is deze lijst niet compleet en bovendien is het falen van een constructie over het algemeen niet enkel te wijten aan het optreden van één invloed of het optreden van een aantal invloeden na elkaar, maar veel meer aan een aantal tegelijk optredende, elkaar soms sterk onderling beïnvloedende factoren. Dit leidt tot een zeer complex probleem. Enige aanzetten voor de aanpak hiervan zijn gegeven in hoofdstuk 4 van [1].

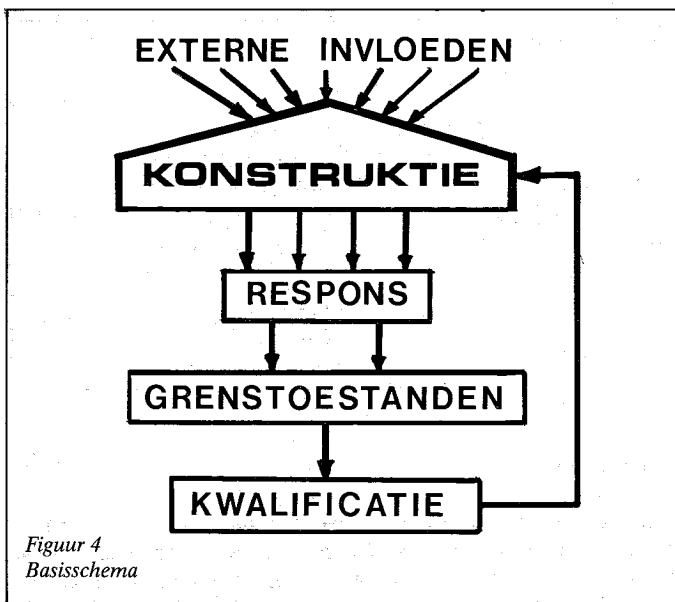
Om de invloeden en hun mogelijke onderlinge relaties aan te kunnen geven is het opstellen van een scenario onontbeerlijk. De analogie van deze benaming met de filmwereld is niet toevallig. Het fundamentele doel van zulk een scenario is immers de onderzoeker te dwingen complexe betrouwbaarheidsvraagstukken aan te pakken met creatieve fantasie, of met andere woorden, de constructie zo goed mogelijk te beschrijven gedurende een bepaald tijdsinterval met zoveel mogelijk onderscheid voor alle details.

Eerst moet die bezwijkmogelijkheid gelocaliseerd worden met de meest indringende gevolgen: de primaire bezwijkvorm (hoofdrupseler). Daarna moeten alle mogelijke simultaan optredende invloeden (bijrollen) beschreven worden welke leiden tot zogenaamde secundaire bezwijkvormen. Tenslotte dient het geheel van

Betrouwbaarheidsanalyse van constructies

elkaar beïnvloedende factoren beschouwd te worden en moet men zich trachten voor te stellen op welke wijze de 'tragedie' zich zou kunnen ontwikkelen en welke rollen de diverse aspecten zouden kunnen spelen. Bij het opstellen van zo'n scenario is een zo interdisciplinair mogelijk overzicht van aspecten die een rol zouden kunnen spelen van fundamentele betekenis.

Bij de opzet om te komen tot zo'n overzicht van aspecten in het kader van een betrouwbaarheidsanalyse is uitgegaan van de grondgedachte dat een te ontwerpen of bestaande constructie een aantal externe invloeden te verduren heeft, daarop een respons vertoont, eventueel een grenstoestand bereikt waarbij tenslotte het bereiken van deze grenstoestand dient te worden gekwalificeerd. Dit is



Figuur 4
Basisschema

weergegeven in figuur 4.

Op basis hiervan zijn vijf hoofdingangen voor het opstellen van het overzicht afgezonderd, namelijk:

- externe invloeden
- eigenschappen van de constructie (materiaal/geometrie)
- grenstoestanden
- bijzondere effecten
- veiligheidscriteria.

Externe invloeden op een constructie hebben over het algemeen een zeer duidelijk herkenbare praktische betekenis met een veelal stochastisch karakter. Deze invloeden dienen dan ook meestal als stochastische variabelen te worden gezien met de mogelijkheid van een frequentistische interpretatie. Bij elke betrouwbaarheidsanalyse zal men dan ook aan moeten geven of dit stochastische karakter al dan niet expliciet in rekening moet worden gebracht. Een heel ander probleem doet zich voor bij de eigenschappen van de constructie. Een frequentistische aanpak zal hierbij in de meeste gevallen niet mogelijk zijn en dientengevolge moet men

zich wenden tot een probabilistische aanpak gebaseerd op het Bayesiaanse kansbegrip. Dit biedt de mogelijkheid om op basis van ervaring, gezond verstand en intuïtie de ontbrekende informatie aan te vullen en langs die weg de in de analyse voorkomende subjectieve beoordelingsprocessen in een logisch geordende strategie te doorlopen.

Grenstoestanden die een kritische fase in het gedrag van een constructie omschrijven dienen in principe deterministisch gedefinieerd te worden.

Een bijzondere categorie bij veiligheidsproblemen vormen de fouten, onzekerheden en tekortkomingen, samenhangend met de menselijke activiteiten bij ontwerp, uitvoering en bediening. Aangezien deze categorie zich niet eenvoudig in een van de rubrieken van het schema in figuur 4 laat onderbrengen is hiervoor een afzonderlijke vierde rubriek geopend, namelijk bijzondere effecten. Het zal duidelijk zijn dat meer nog dan voor de eigenschappen van de constructie voor deze categorie van bijzondere effecten een Bayesiaanse aanpak noodzakelijk is.

Het uitvoeren van een betrouwbaarheidsstudie is geen doel op zich. De uitkomsten van elke analyse zullen getoetst moeten worden aan bepaalde criteria om na te kunnen gaan of het ontwerp of het verder functioneren zinvol geacht moet worden. Omdat het aanbeveling verdient ook bij het opstellen van deze uitgangseisen een systematische aanpak te betrachten is ook de categorie veiligheidscriteria in het overzicht opgenomen.

Voorop staat dat het opstellen van zo'n oriëntatie-overzicht essentieel niet tot een één-eenduidig eindresultaat zal kunnen leiden. Van groot belang is de mate van verfijning die men in zulk een schema wenst aan te brengen en waar men de systeemgrenzen wenst te leggen voor de verschillende hoofdgroepen van het schema. Op het moment dat twee facetten van het schema een rol gaan spelen (bij voorbeeld statische belasting en vormgeving) gaat ook de interactie tussen deze twee grootheden een rol spelen en zal het niet triviaal zijn waar de scheiding tussen deze twee aspecten dient te worden aangebracht.

Elk van de genoemde onderwerpen van het overzicht zal in het hiernavolgende summier worden toegelicht. Voor uitgebreidere informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van [1].

Externe invloeden

Invloeden die van buitenaf op een constructie inwerken en in staat geacht moeten worden op de een of andere manier de veiligheid van de constructie te beïnvloeden of de levensduur ervan te bekorten moeten over de een of andere vorm van energie beschikken. Daarom is aangesloten bij de bekende onderverdeling in mechanische, fysische en chemische invloeden, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

EXTERNE INVLOEDEN	
MECHANISCH	: Statische krachten : Dynamische krachten : Wrijvingskrachten : Impulsen : Opgedrongen verplaatsingen : Opgedrongen versnellingen
FYSISCH	: Temperatuur : Straling : Vocht
CHEMISCH	: Zuurstof + water : Zuren : Zouten : Giften
FYSISCH-CHEMISCH	: Smeermiddelen
BIOLOGISCH	: Micro-organismen

Eigenschappen van de constructie

Elke van buitenaf op een constructie werkende invloed resulteert in principe in een respons van deze constructie, afhankelijk van de constructie en de specifieke invloed of combinatie van invloeden. Al deze mogelijke responsies van een willekeurige constructie zijn moeilijk in een algemeen schema te representeren. Een mogelijke ordening is die in reversibele processen zoals bij voorbeeld de zuiver elastische deformatie en irreversibele processen zoals bij voorbeeld vermoeiing en slijtage. Een ander daar gedeeltelijk mee samenvallende onderverdeling is die in 'spontane' responsies zoals bij voorbeeld plastische vervorming of knik en responsies waarbij tijd en veroudering een essentiële rol spelen zoals bij voorbeeld kruip of scheurgroei.

Te concluderen valt dat een zeer scherpe en in alle facetten bevredigende onderverdeling niet bestaat en dan ook niet nagestreefd moet worden. De rangschikking in deze hoofdgroep is op zodanige wijze geschiedt dat van boven naar beneden het instantane karakter geleidelijk overgaat in een meer cumulatief karakter van een bepaalde respons.

DE CONSTRUCTIE

MECHANISCH	: Elastisch : Plastisch : Dynamisch
MECHANISCH/ FYSISCH	: Visceus - kruip - demping : Vermoeiing : Breukmechanisch : Thermodynamisch : Temperatuur afhankelijk : materiaaleigenschap
FYSISCH	: Thermisch : Absorptie/emissie : Veroudering : Elektrisch
MECH./FYS./CHEM.	: Slijtage
CHEMISCH	: Corrosie : Aangroei gevoeligheid : Interne chemische activiteit
GEOMETRISCH	: Vormgeving : Slankheid : Maatvoering : Initiële inperfectionen : Initiële micro defecten : Inhomogeniteiten

Grenstoestanden

Voor het analyseren van de betrouwbaarheid spelen grenstoestanden een essentiële rol. Deze bepalen immers een min of meer instantane verandering van het systeem waarbij verder functioneren of handhaven van de constructie overwogen moet worden. Als hoofdingeling is gekozen voor uiterste, bruikbaarheids en progressieve grenstoestanden. Uiterste grenstoestanden houden verband met het feitelijk ophouden te bestaan van de constructie zoals bij voorbeeld tengevolge van plastische knik, breuk, etcetera.

Bij bruikbaarheidsgrenstoestanden zal de constructie globaal gezien geen plotselinge verandering ondergaan maar toch niet meer zodanig functioneren dat aan de gestelde doelen wordt voldaan. Voorbeelden hiervan zijn ontoelaatbare slijtage, onvoldoende rendement, etcetera. Bij moderne ontwerpmethoden ten slotte wordt ook nog vaak onderscheid gemaakt in 'progressieve' grenstoestanden waarbij het incasseringsvermogen van de constructie uitgeput raakt en een serie opeenvolgende processen tot een fatale gebeurtenis aanleiding kan geven.

GRENSTOESTANDEN

UITERSTE GRENSTOESTANDEN	: Breuk : Maximaal draagvermogen
BRUIKBAARHEIDS GRENSTOESTANDEN	: Ontoelaatbare deformatie : Ontoelaatbare scheurvorming : Overmatige slijtage : Onooglijkheid : Onvoldoende rendement : Gevaar voor omgeving
PROGRESSIEVE GRENSTOESTANDEN	: Onvoldoende incasseringsvermogen : Hervreiding van spanningen : onmogelijk

Bijzondere effecten

Zoals reeds eerder is opgemerkt speelt bij een betrouwbaarheidsanalyse de invloed van menselijke activiteiten en de interactie hiervan met de constructieve omgeving een belangrijke rol. Alhoewel er zeer weinig statistisch materiaal voorhanden is omtrent deze facetten lijkt het toch noodzakelijk op deze invloeden te attenderen, en onder te brengen in het oriëntatie-overzicht zoals hieronder is geschiedt.

BIJZONDERE EFFECTEN

FOUTEN/ONZEKERHEDEN	: Ontwerp : Uitvoering/fabricage : Bediening/beheer
ONZEKERHEDEN MET BETREKKING TOT	: Rekenmodellen : Statistische modellen
ALGEMEEN	: Onderhoud : Inspectie : Reparatie

Schade-criteria

Over het algemeen geldt dat een aanvaardbaar risiconiveau wordt bepaald door de graad waarin een zeker risico vrijwillig wordt aanvaard, de redenen voor het nemen van een zeker risico, moeilijkheden bij het beheersen van bepaalde risico's, eventuele mensenlevens betrokken bij het falen van een constructie en ook historische en ecologische factoren. Toch is het essentieel bij het opzetten en uitvoeren van een betrouwbaarheidsanalyse het doel zo zuiver mogelijk voor ogen te hebben, vandaar deze laatste hoofdgroep van aspecten zoals hieronder aangegeven.

SCHADE-CRITERIA

SOCIALE CRITERIA	: Vrijwillig risico : Risico beïnvloedbaar : Doden/gewonden
ECONOMISCHE CRITERIA	: Belang produktievoortzetting : Reparatiekosten : Inspectiekosten
MILIEU/TECHNISCH	: Natuurhistorisch : Invloed op mens/dier

Review of aspects relating to service life consideration

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. External influences														
mechanical	static force	•			S	S	D	S		S	D	D		D
	variable forces	•	S	S		S	S		D	D	D	D		
physical	frictional forces													
	impulses										D	D		
	imposed displacements						S				D	D		
	imposed accelerations							S						
chemical	temperature				S		D		D		D	D		D
	radiation													
	moisture													
physicochemical	oxygen + water					D					D	D		
	acids										D	D		
	salts		D			D					D	D		
biological														
	poisons													
	lubricants or the absence thereof													
	micro-organisms													
2. Properties of the structure (material and geometry)														
mechanical	elastic	•	S	D		S	S		D	D	D	D	D	D
	plastic				D	S	S	S		D	D	D	D	D
mechanical/physical	dynamic	•	S	D						D	D	D	D	D
	viscous	}	S	D						D				D
damping														
physical	fatigue	•	S	D			S		D		D	D	D	D
	fracture mechanics (defects)										D	D	D	D
	thermodynamic				D									
	effect of temp. on material properties					D	D				D	D		D
mechanical/chemical/physical	thermal					D	D				D	D		D
	absorption/emission													
	ageing													D
chemical	electrical													
	wear resistance													
	corrosion resistance									S	D			
geometric	susceptibility to accretion													
	internal chemical activity													
mechanical/chemical/physical	shape design		D	D		D	D	D	D	D	D	D		
	slenderness	•												
	dimensional accuracy	•	S		S	S	S			D	D	D		
	initial imperfections	•				S					D	D	D	
	initial micro-defects													D
	inhomogeneties													D
														D
3. limit states														
ultimate limit states	fracture		X	X			X			X	X	X	X	X
limit states of serviceability	maximum loadbearing capacity	•			X	X	X							X
	inadmissible deformation	•				X	X							
	inadmissible cracking								X		X	X		
	excessive wear													
progressive limit states	unsightliness									X				
	inadequate efficiency										X	X		
	danger to environment													
	insufficient redundancy													
	stress redistribution not possible													
4. special effects														
errors and uncertainties in	design									X	X			
uncertainties associated with	execution/manufacture												X	
	operation/management					X			X	X			X	
	mathematical models					X								
general	statistical models													
	maintenance													
	inspection										X	X	X	X
	repairs													
5. damage criteria														
socioal criteria	voluntary risk													
economic criteria	risk modifiable					X								
	injuries/deaths involved					X								
	importance to maintain production	•						X	X					
environmental factors	cost of repairs		X			X								
	cost of inspection					X								
	effects on wildlife					X								
	effect of people and animals etc.					X								

De dagelijkse praktijk toont aan dat bij het uitvoeren van betrouwbaarheidsstudies enerzijds in toenemende mate factoren een rol spelen die min of meer buiten de eigenlijke discipline van de onderzoeker vallen door de complexiteit van de problemen, terwijl anderzijds de noodzaak blijft bestaan het aantal factoren dat in de analyse wordt betrokken te beperken om het probleem 'oplosbaar' te houden. Dit betekent dat in de beginfase van het ontwerp alle mogelijke van belang zijnde factoren de revue moeten passeren en hun invloed dient te worden afgeschat.

Een interdisciplinaire aanpak (werken in teamverband) is daarvoor een noodzakelijke voorwaarde. Op de tweede plaats dient op basis van deze oriënterende startfase een keuze gemaakt te worden ten aanzien van de factoren en invloeden die een essentiële rol spelen in het te analyseren probleem.

Voor wat betreft dit laatste zijn gelukkig de afgelopen vijf jaar de mogelijkheden aanzienlijk verruimd; met name door de ontwikkeling van steeds snellere computers. Dit impliceert dat steeds complexere problemen ook daadwerkelijk tot een oplossing kunnen worden gebracht. Voor het in de aanloopfase nalopen en waarderen van mogelijke van belang zijnde factoren in een betrouwbaarheidsstudie is naar onze mening het gepresenteerde oriëntatie-overzicht een nuttig hulpmiddel. Het in de praktijk toepassen van dit overzicht zal dit nut verder aan moeten tonen, en zal ongetwijfeld aanleiding geven tot aanvullingen of modificaties, hetgeen de bruikbaarheid ervan weer ten goede zal komen. Het overzicht is onder andere gehanteerd om een twaalftal reeds eerder binnen TNO uitgevoerde studies op het gebied van de betrouwbaarheid en/of levensduur van constructies (al dan niet op probabilistische grondslag) te kwalificeren. Voor een beschrijving van deze studies wordt verwezen naar het eindrapport [1]. Bovendien is nagegaan welke factoren naar onze mening in het algemeen in zo'n beschouwing worden betrokken indien wij kijken naar 90 procent van de dagelijkse (werktuigkundige als ook civiele) ingenieurspraktijk. Dit laatste is weergegeven in kolom 0 van het hiernaast gegeven schema; de kolommen 1 tot en met 12 hebben betrekking op de genoemde TNO studies. Voor de eerste twee hoofdgroepen (externe invloeden en eigenschappen van de constructie) is onderscheid gemaakt tussen een statistische (S) beschrijving van een bepaalde invloed en een deterministische (D) beschrijving.

Globaal kan gesteld worden dat een viertal aspecten opvallen bij de bestudering van deze informatie, namelijk:

- zeker in de dagelijkse praktijk, maar ook voor de studies 1 tot en met 12 geldt dat slechts een beperkt aantal factoren in de analyse wordt betrokken. Dit terwijl de bij de studies 1 tot en met 12 betrokken onderzoekers deze toch al als tamelijk complex ervaren
- indien een breed scala van facetten in de beschouwing wordt betrokken geschiedt dit meestal op deterministische grondslag (studies 9 tot en met 12)
- bij deze studies ligt de nadruk duidelijk op sterktechnische factoren en in veel mindere mate wordt gekeken naar begrippen als chemische invloeden, thermische invloeden, smering, etcetera
- voor slechts enkele van de genoemde studies is werkelijk uitgegaan van een zogenaamd 'Safety target', met andere woorden slechts in een aantal gevallen is de bepaalde betrouwbaarheid werkelijk getoetst aan de uitgangseisen te stellen op basis van economische/sociale criteria.

Resumerend kan gesteld worden dat de checklist een redelijk geslaagde eerste poging is om te komen tot een overzicht van de bedreigingen waaraan een constructie wordt blootgesteld, en hoe de constructie bij gegeven materiaal en geometrie daarop respondeert. Het overzicht biedt geen enkele garantie dat onaangename verrassingen worden uitgesloten maar geeft wel een aanzet tot een meer systematische aanpak van de problemen waarmee men nu en in de toekomst geconfronteerd zal worden.

Literatuur

- [1] de Kraker, A., Tichler, J.W., Vrouwenfelder, A.C.W.M., *Veiligheid, Betrouwbaarheid en Levensduur van Constructies*, TNO rapport, augustus (1981).
- [2] Hart, G.C., *Uncertainty Analyses, Loads, and Safety in structural Engineering*, Prentice-hHall (1982).
- [3] Moan, T., Shinozuka, M., *Structural Safety and Reliability*, Proceedings of ICOSSAR 1981, Trondheim, June (1981).
- [4] Thoft-Cristensen, P., Baker, M.J., *Structural Reliability Theory and its Applications*, Springer-Verlag (1982).

BESPREKING BOEKBESPREKING BOEKBESPREKING

Kunststof Handbuch, Band 7 Polyurethane

Becker/Braun

Carl Hanser Verlag, München, 1983
664 pagina's, 544 figuren, 121 tabellen
DM 346,-

In de monsterserie over kunststoffen die het Hanser Verlag uitgeeft, is onlangs de compleet herziene versie verschenen van Band 7 Polyurethane. De stormachtige ontwikkeling die deze kunststofsoort in de afgelopen 45 jaar heeft doorgemaakt, heeft nieuwe wegen geopend voor de verwerking en toepassing van polyurethanen. Het boek richt zich zowel op fabrikanten, verwerkers, toepassers en kunststofmachinbouwers. Zoals gebruikelijk is het samengesteld uit een vijftiental

hoofdstukken die steeds door verschillende auteurs zijn geschreven. Aan de orde komen onder meer ontwikkeling en markt voor polyurethanen, de chemische en fysisch-chemische grondslagen, de grondstoffen, de eigenschappen van PUR, PUR-lijmstoffen etcetera. De illustraties zijn goed verzorgd, maar dat mag ook wel voor die prijs. Een nadeel zou kunnen zijn dat veel aandacht is gewijd aan de fabricage-technische kant van dit materiaal, en dat het voor zo'n uiteenlopende groep van technici is geschreven. Voor de constructeur die er mee werkt bevat het boek daardoor nogal wat overbodige ballast.

ir. L.J. de Ridder