

VU Research Portal

Probabilistic lifetime prediction with application to high-performance p-aramid fiber

Knoester, H.

2017

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Knoester, H. (2017). *Probabilistic lifetime prediction with application to high-performance p-aramid fiber*.

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 ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting Nederlands

Dit proefschrift gaat over het modeleren van de levensduur van Twaron p-aramide garens in industriële toepassingen. Vanwege hun grote sterkte en stijfheid kunnen industriële synthetische garens en garenversterkte composietmaterialen de competitie met conventionele staalconstructies aan. Voor touwen, (offshore) kabels, hogedrukslangen en olie- en gaspijpen, die versterkt zijn met lichtgewicht, industriële garens, zijn zowel de sterkte als de te verwachten levensduur van de garens van groot belang.

Zelfs als synthetische garens laag belast worden, ver beneden hun sterkte, zullen ze toch uiteindelijk een keer falen (breken). Falen door aanhoudende belasting wordt in Engels vakjargon met 'creep rupture' aangeduid. De totale tijd dat een garen een constante belasting kan weerstaan tot het moment van falen wordt *faaltijd* genoemd. Deze hangt af van de opgelegde belasting, de temperatuur en de materiaaleigenschappen van het garen. Faaltijd is geen deterministische maar een stochastische grootheid, die beschreven wordt door een distributie. De faaltijd van Twaron p-aramide garens wordt goed beschreven door een Weibull distributie.

Experimenteel is het niet goed mogelijk om faaltijden te meten van garens onderworpen aan relatief lage belastingen, representatief voor industriële toepassingen. Dergelijke experimenten zouden dan vele jaren en zelfs decennia in beslag nemen. Daarom worden de garens experimenteel aan veel hogere krachten onderworpen, die corresponderen met veel kortere faaltijden. Lange faaltijden, behorende bij lage belastingen, kunnen daarna geschat worden door extrapolatie van de resultaten verkregen uit de kortlopende experimenten.

In dit proefschrift onderzoeken we twee procedures om lange faaltijden te schatten: regressieanalyse en de meest aannemelijke schattingsanalyse ('maximum likelihood estimation'). Er zijn geen kortlopende faaltijdexperimenten gedaan, maar in plaats daarvan worden faaltijdobservaties willekeurig getrokken uit een passende Weibull verdeling. Door middel van Monte Carlo simulaties worden de beide schattingsprocedures nagebootst. Iedere simulatie bestaat uit het trekken van een set (korte) faaltijden (als vervanging van een programma van kortlopende experimenten) gevolgd door regressie of de meest aannemelijke schattingsanalyse waarmee een schatting wordt verkregen voor een lange faaltijd bij lage belasting. We tonen aan dat de variabiliteit in de faaltijd in belangrijke mate bepalend is voor de kwaliteit van schatters voor lange faaltijden. Naarmate de variabiliteit groter is, neemt de betrouwbaarheid van de schatters af en dienen daarom grotere veiligheidsfactoren in acht genomen te worden. Bij het schatten van de variabiliteit van de faaltijd, op basis van een set kortlopende metingen, bestaat de neiging dat een te kleine variabiliteit wordt gevonden, corresponderend met een te smalle faaltijddistributie.

In industriële toepassingen moeten garens zodanig laag belast worden dat de waarschijnlijkheid dat de garens de beoogde levensduur van de toepassing overleven zeer groot is. Daarnaast moeten de mechanische eigenschappen van de garens tijdens gebruik zoveel mogelijk intact blijven. De residusterkte van de garens moet voldoende zijn om plotselinge piekbelastingen te kunnen weerstaan.

In dit proefschrift beschrijven we metingen aan de residusterkte van Twaron p-aramide garens, die enige tijd aan een voorspanning onderworpen zijn geweest. Deze residusterkte blijft op een hoog niveau tijdens belasting van de garens, zelfs als de waarschijnlijkheid van falen van het garen al groot is. Verder blijkt dat een belangrijke klasse van faalmodellen niet goed in staat is onze metingen te beschrijven, maar statistisch significant de residusterkte van Twaron garen onderschat.

Voor het modeleren van de faaltijd van garens of andere materialen kunnen zogenaamde schademodelen gebruikt worden. Deze modellen beschrijven de schadeopbouw in een garen of materiaal dat belast wordt gedurende een willekeurig belastingprogramma. Bij overschrijding van een drempelwaarde voor de opgebouwde schade breekt het garen en dat levert een, veelal deterministische schatting voor de faaltijd. Een veel kleinere groep van probabilistische schademodelen houdt wel rekening met het feit dat faaltijd een stochastische grootte is. Deze modellen leveren, op ieder moment tijdens de belasting, een waarschijnlijkheid van falen indien de momentane schade en het momentane belastingniveau bekend zijn.

Veel bestaande modellen zijn gebaseerd op lineaire schadetheorie ('linear damage theory'). Deze theorie veronderstelt dat de schades die worden opgebouwd tijdens onderdelen van het belastingprogramma lineair bij elkaar opgeteld kunnen worden om de totale schade te bepalen en daarmee de overgebleven levensduur van het garen vast te stellen. Voor dergelijke modellen heeft de volgorde van verschillende belastingen geen invloed op de overall schadeopbouw en ook niet op de te verwachten levensduur. Het is bekend uit de literatuur dat veel materialen, waaronder ook p-aramide garens, een veel complexer faalmechanisme hebben. Wij kennen geen probabilistische schademodelen die niet gebaseerd zijn op lineaire schadetheorie.

In dit proefschrift construeren we twee klassen van probabilistische modellen waar belastingvolgorde wel in belangrijke mate de faaltijd beïnvloedt. Modelparameters worden zoveel mogelijk vastgesteld aan de hand van eenvoudig meetbare gareneigenschappen, zoals de garensterkte (van verse, nog onbelaste garens) en faaltijd gemeten bij hoge, constante belasting. De modellen zijn uitgewerkt voor éénstapsprogramma's. Gedurende dergelijke programma's worden garens achtereenvolgens onderworpen aan twee verschillende, constante belastingniveaus, waarbij er één keer een snelle verandering van belastingniveau plaatsvindt (van hoog naar laag of omgekeerd). Dergelijke programma's blijken uitermate effectief in het bepalen van het faalgedrag van materialen.

We hebben de faaltijden gemeten van Twaron p-aramide garens die onderworpen werden aan éénstapsprogramma's. Het blijkt dat geen van de onderzochte probabilistische modellen het gedrag van Twaron garens acceptabel kan beschrijven. In sommige gevallen verbetert Twaron garen zelfs na het ondergaan van een voorbelasting. Dergelijk gedrag kan nooit worden verklaard door een schademodel dat aanneemt dat schadegroei een niet-negatieve functie is van de opgelegde belasting.