

Probabilistische lekstabiliteit

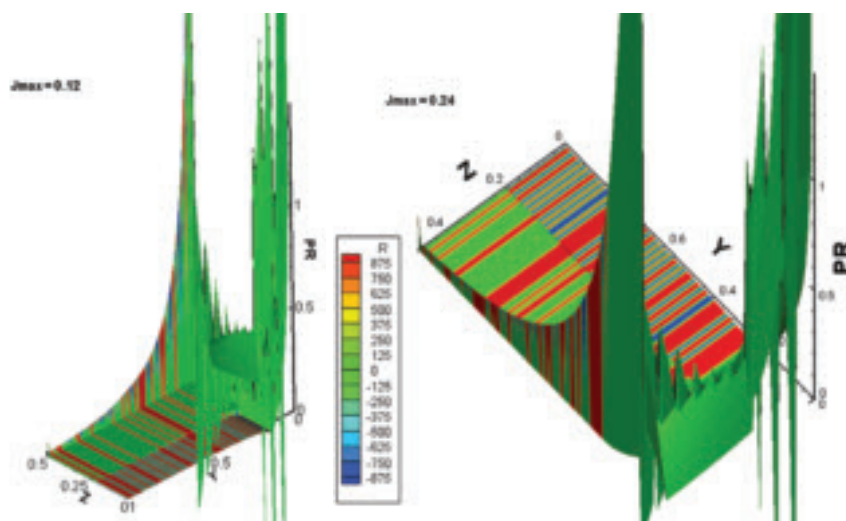
Deel 2

Dit is het tweede deel van een artikel over de nieuwe probabilistische lekstabiliteitsregels voor vrachten- en passagiersschepen. In het eerste deel (SWZ 12 2006) werden de algemene kenmerken van de huidige en nieuwe regels behandeld. In dit deel komen de mogelijkheden en werkwijze van een specifiek computerprogramma aan bod.

Sinds ongeveer 1988 is het PIAS-pakket van scheepsbouwkundige computerprogramma's uitgerust met modules voor probabilistische lekstabiliteit volgens de voorschriften van IMO res. A.265, SOLAS 1992 en dr-67 (voor hopperschepen met gereduceerd vrijboord). Deze modules hebben naar tevredenheid gefunctioneerd, maar de nieuwe inzichten zoals besproken in deel 1, alsmede de nieuwe SOLAS voorschriften hebben tot de ontwikkeling van een nieuw, geïntegreerd computerprogramma voor probabilistische lekstabiliteit geleid. De achtergrond en functionaliteit van dit programma, wat vanzelfsprekend geheel compatible is met de overige PIAS en Fairway modules, worden in dit tweede deel besproken.

Toepasbare regels

Opgenomen zijn de op dit moment van kracht zijnde voorschriften, zoals ge-



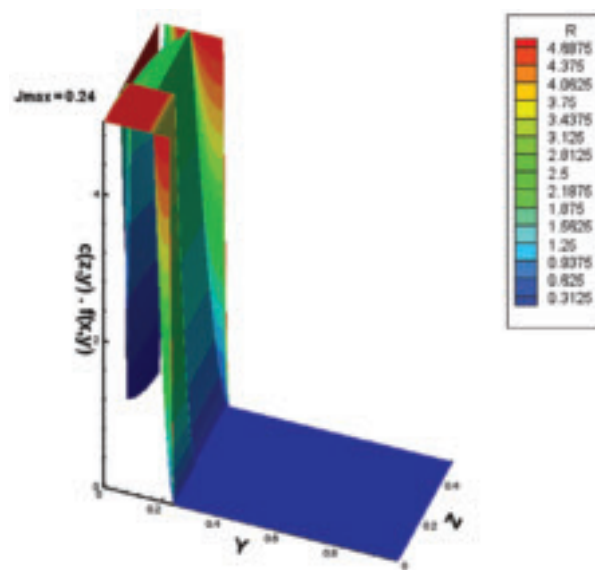
Figuur 2: Praktische kansfuncties bij gebruikmaking van SOLAS 1992

noemd in de vorige paragraaf, alsmede de nieuwe SOLAS 2009 regels. Voor de huidige regels wordt er een merkwaardig onderscheid gemaakt tussen 'SOLAS 1992' en 'gereconstrueerde SOLAS 1992'. De reden daarvoor is

toegelicht in [7] (zie literatuurlijst bij vorige deel), maar samengevat is zij gelegen in de manier waarop de langs- en dwarscheepse onderverdeling wordt behandeld in SOLAS 1992. (Een iets uitgebreidere versie van dit artikel, met dit onderwerp in wat meer detail besproken, is beschikbaar op www.sarc.nl, 'Download' gedeelte, login als non-registered user, map 'lekstabiliteit september

2006'). Als gevolg hiervan stemt de theoretische kansfunctie uit figuur 1 niet overeen met de praktische kansfunctie uit figuur 2. Overigens is het wilde karakter van de laatste figuur ook opmerkelijk. Niet alleen zijn er pieken aan te wijzen met negatieve kansen, maar let ook eens op de kansfactor die met kleur op de grafieken is aangebracht: daar waar deze in figuur 1 vloeiend verloopt tussen ongeveer 0,3 en 5, wat redelijke waarden zijn, springt deze in figuur 2 wild heen en weer tussen -1000 en 1000. Dientengevolge verschillen de berekeningsresultaten die verkregen worden met numerieke integratie van de kansfuncties van die zoals ze volgen uit de directe toepassing van de SOLAS-voorschriften. Omdat getalsmatige compatibiliteit toch ook wel praktisch is, hebben we door middel van *reverse engineering* een nieuwe kansfunctie afgeleid uit figuur 2, en dat is dus de 'gereconstrueerde SOLAS 1992' geworden. Samengevat is de SOLAS 1992 methode theoretisch in overeenstemming met de

Herbert Koelman is werkzaam bij Scheepsbouwkundig Advies en Reken Centrum (SARC), onder andere de producent van de scheepsontworpssoftwarepakketten PIAS en Fairway.



Figuur 1: Theoretische kansfunctie in SOLAS 1992

voorschriften, maar geeft deze numeriek afwijkende antwoorden, terwijl de gereconstrueerde SOLAS 1992 theoretische onzin is, maar wel antwoorden geeft die overeen stemmen met een conventionele berekening. Overigens speelt deze hele kwestie niet bij SOLAS 2009, omdat de hele fundering van die nieuwe methode veel meer solide is door een gezamenlijke behandeling van langs- en dwars-scheepse onderverdeling.

Berekeningsinstellingen

Het nieuwe computerprogramma is ontworpen voor maximale flexibiliteit, wat met zich meebrengt dat veel keuzen niet voorgeprogrammeerd zijn, maar door de gebruiker moeten worden gemaakt. Dat kan die gebruiker als een bezwaar beschouwen, want nu moet hij zich buigen over al die keuzen. Maar dat is niet anders, de ervaring heeft immers geleerd dat verschillende instanties in verschillende gevallen steeds verschillende keuzen opleggen. En daarnaast wil die gebruiker, de scheepsontwerper vaak, ook wel eens kiezen, en wel voor die combinatie van instellingen die de hoogst behaalde indelingsindex oplevert. Zodoende zijn er heel wat mogelijke instellingen:

- Vier berekeningsmethoden: op zones gebaseerd, op compartimenten, op subcompartimenten en met numerieke integratie.
- Vijf soorten voorschriften: IMO res. A.265, SOLAS 2009, dr-67, SOLAS 1992 en gereconstrueerde SOLAS 1992.
- De keuze tussen gemiddelde en minimum indringingsdiepte.
- De keuze tussen globale en lokale indringing voor meercompartimentschades (zie §4.3 van [2] voor details)
- De keuze tussen twee indringingsbeperkingsregels, zoals eerder besproken: b_1 en b_2 allebei kleiner dan het dubbele van het minimum van b_1 en b_2 (volgens SOLAS 1992), en $b_{gemiddeld}$ kleiner dan het minimum van b_1 en b_2 (volgens SOLAS 2009). Daarnaast vier scenarios voor de toepassing van deze regel: a) pas de regel helemaal niet toe, b) pas de regel toe, behalve voor schades die tot hartschip lopen, c) pas de regel toe, behalve voor schades waarvan de binnenbegrenzing evenwijdig aan hartschip loopt en d) pas de regel in alle gevallen toe.
- Al dan niet op nul stellen van de bijdrage van ieder schadegeval aan de behaalde indelingsindex, indien deze ne-

gatief is.

- Al dan niet opnemen van tussenstadia van vervulling.
- Maximum aantal compartimenten per schadegeval.

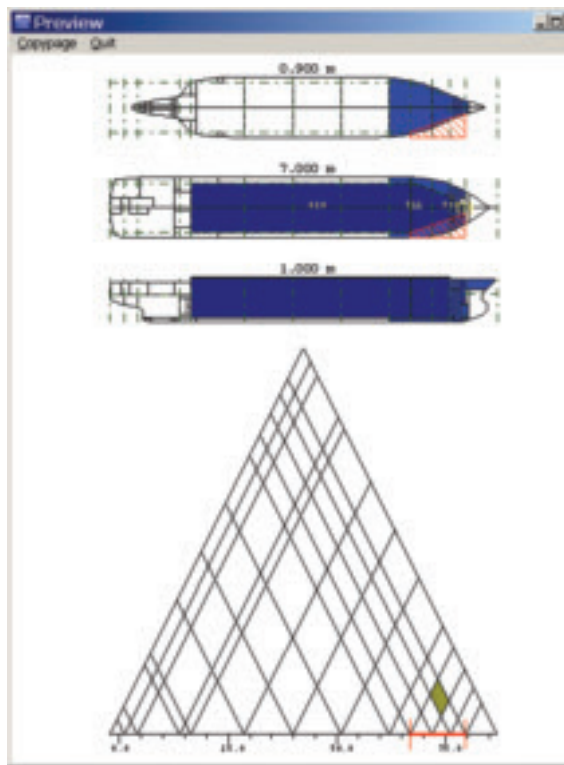
Tenslotte biedt het programma nog een aantal gereedschappen zoals:

- De automatische bepaling van de KG (bij één diepgang), zodanig dat de behaalde indelingsindex precies gelijk is aan de vereiste index.
- Generatie van schadegevallen en automatische vaststelling van de schadegrenzen.
- Uitvoer van tussenresultaten naar tekstbestand en naar spreadsheetfile.

Resultaten

De presentatie van de resultaten hangt af van de gekozen voorschriften en berekeningsmethode. In het bijzonder willen we de aandacht vestigen op de som van de kans van optreden van alle schades, hierna genoemd totaal kans. Het is een tautologische vaststelling dat, aannemende dat het schip beschadigd raakt, de som van de kansen op optreden van alle schades 1 moet bedragen. De mate waarin deze totaal kans de 1 benadert beschouwen we dan ook als een compleetheidsmaatstaf voor een berekening. Een totaal kans van minder dan 1 geeft aan dat de berekening incompleet is, terwijl een waarde van meer dan 1 aangeeft dat de berekening overcompleet is, maar beide verschijnselen kunnen ook de getalsmatige vertaling zijn van de knelpunten die in §2 aangestipt zijn. Overigens is compleet niet hetzelfde als nauwkeurig, neem bijvoorbeeld een zoneberekening met een gering aantal zones, die is wel compleet omdat het hele schip wordt afgedekt, maar toch niet erg nauwkeurig omdat de zone-indeling de werkelijke compartimentering maar grof benadert. Per berekeningsmethode kunnen verder de volgende observaties worden gemaakt:

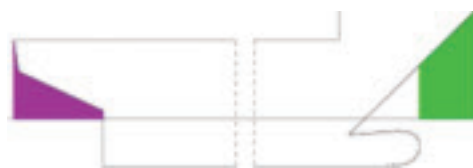
- Berekeningen volgens de zone-methode hebben een conventi-



Figuur 3: Computeruitvoer van een zonegebaseerd schadegeval, inclusief kansdriehoek

onele uitvoer en vorm, zie figuur 3 voor een voorbeeld. Het is ons in het verleden wel eens gevraagd of de zogenaamde kansdriehoek ook niet meegetekend kon worden bij elk schadegeval en dat is in het nieuwe programma gerealiseerd, hoewel wij het zelf volkomen zinloos achten. Als gevolg van een gebrek aan ervaring met de zone-methode zijn we niet in staat om voor deze methode typische waarden voor totaal kans te indiceren, maar verwacht mag worden dat ten gevolge van de regelmatige indeling bij de zone-methode deze som wel ongeveer op 1 uit zal komen.

- De resultaten van de compartimentmethode zijn in essentie gelijk aan die van de oude PIAS module. Voor berekeningen volgens SOLAS 1992 ligt totaal kans gewoonlijk in het gebied van 0.90 tot 1.20. Voor conventionele vrachtschepen wordt typisch een paar honderd schadegevallen gebruikt.
- De subcompartimentmethode is een verfijning van de compartimen-



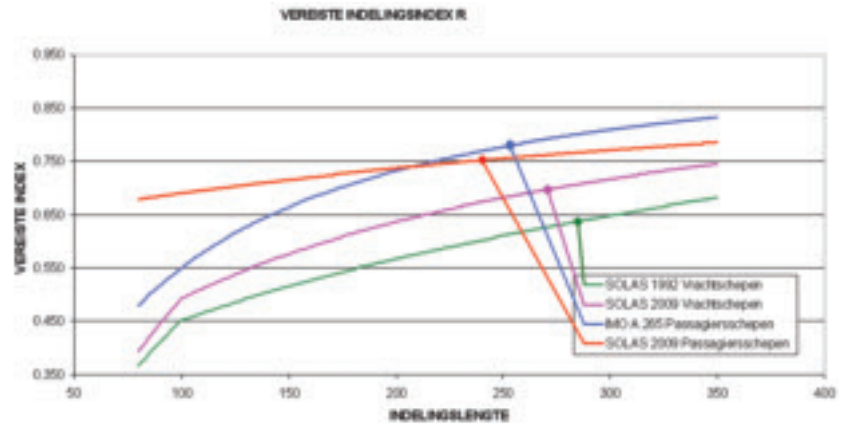
Figuur 4: De gemarkeerde gebieden kunnen ook 'beschadigd' raken en dragen dus ook bij aan de kans van optreden.

tenmethode, en als zodanig zijn de uitkomsten en het overige gedrag vergelijkbaar. Als gevolg van de hogere mate van detail kan wel een toegenomen nauwkeurigheid verwacht worden.

- De numerieke integratiemethode werkt zoals verwacht. De uitkomsten met de gereconstrueerde SOLAS 1992 'regels' zijn min of meer gelijk aan die van de compartimentenmethode en dat is maar goed ook, want deze regels zijn ontworpen om het conventionele gedrag van SOLAS 1992 na te bootsen. Voor SOLAS 1992 en SOLAS 2009 ligt totaalans zo ongeveer tussen de 0,998 en 1,000. Een ander fenomeen is het optreden van nulcompartimentsschades. Dit zijn schades die volgens de systematiek van de regels kunnen ontstaan maar welke buiten het eigenlijke schip liggen bijvoorbeeld de geschaduwde gebieden in figuur 4. Aannemende dat het schip in intacte toestand voldoet aan de stabiliteitscriteria voor lekke toestand (wat normaliter het geval zal zijn) dragen deze gevallen bij aan de behaalde indelingsindex.

Voorlopige bevindingen

We hebben nu uitgebreid de verschillende berekeningsmethodes besproken, maar ook de voorschriften verschillen onderling aanmerkelijk. De verschillen tussen de twee meest relevante voorschriften, SOLAS 1992 en SOLAS 2009, zijn niet eenvoudig kwantitatief te duiden, ze verschillen namelijk zo'n beetje in alles, behalve in de basisprincipes en terminologie, een overzichtje vindt u in tabel 1.



Figuur 5: Vereiste indelingsindex bij de verschillende voorschriften. (Voor passagiersschepen is de vereiste indelingsindex ook nog afhankelijk van het aantal passagiers, wat ten bate van deze grafiek geschat is als functie van de scheeps lengte.)

Nu slaat de schrik de scheepsontwerpers misschien om het hart, want we zien in figuur 5 dat de vereiste indelingsindex volgens SOLAS 2009 aanmerkelijk hoger ligt dan volgens SOLAS 1992. Daarbij komt dat ten gevolge van de andere formuleringen voor aanvarings- en overlevingskansen de behaalde indelingsindex volgens SOLAS 2009 ook anders uit zal vallen. Het heeft dus niet zoveel zin om SOLAS 1992 en SOLAS 2009 te vergelijken op basis van de behaalde of vereiste index apart, het ligt meer voor de hand om het indexoverschot (wat gedefinieerd is als behaalde index minus vereiste index) als maatstaf te nemen. Het moge dan duidelijk zijn dat het schip bij een positief indexoverschot voldoet en bij een negatieve niet. Voor een algemene lading/containerschip zijn berekeningen gemaakt met alle berekeningsmethodes, voor zowel SOLAS 1992 als

SOLAS 2009. In tabel 2 is het resultaat daarvan weergegeven. Hieruit kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De som van alle schadekans, totaalans, ligt bij de zone- en de numerieke integratiemethode om en nabij de theoretisch verwachte waarde van 1, bij de andere methodes schommelt het daar wat omheen.
- Bij gebruik met de 1992 regels is de behaalde index proportioneel met de nauwkeurigheid van de toegepaste methode. De zonemethode scoort laag, de (sub)compartimentenmethode gemiddeld en de numerieke integratiemethode hoger. Met de 2009 regels geeft de zonemethode de laagste behaalde index en de andere drie methodes min of meer dezelfde resultaten, waarbij de (sub)compartimentenmethodes iets hoger scoren dan numerieke integratie.
- Voor dit specifieke schip is SOLAS

Onderwerp	SOLAS 1992	SOLAS 2009
Toepassing	Vrachtschepen vanaf 80 m	Vrachtschepen vanaf 80 m en passagiersschepen
Aantal berekeningsdiepgangen	2 (indelingsdiepgang en partiële diepgang)	3 (indelingsdiepgang, partiële diepgang en ballast diepgang)
Permeabiliteiten	Verschilt per type compartiment (MK, laadruim, ballastwatertank enz.)	Verschilt per type ladingssoort of type compartiment en per diepgang
Bepaling aanvaringskansfactoren	Op basis van compartimentsgrenzen	Idem, maar met formules van een geheel verschillend karakter
Bepaling overlevingskans	Op basis van de GZ-curve in lekke toestand	Idem, maar met een formule van een geheel verschillend karakter
Vereiste indelingsindex (zie fig. 5)	Functie van de lengte	Ook een functie van de lengte, maar een andere. Bij passagiersschepen ook afhankelijk van het aantal passagiers
Criterium	Behaalde gemiddelde indelingsindex groter dan de vereiste indelingsindex	Idem, maar daarnaast moet voor iedere individuele berekeningsdiepgang de indelingsindex ook groter zijn dan 50% van de vereiste indelingsindex (voor passagiersschepen zelfs groter dan 90% van de vereiste indelingsindex)

Tabel 1: Belangrijkste kwalitatieve verschillen tussen SOLAS 1992 en SOLAS 2009.

Berekeningsvoorschrift	SOLAS 2009	SOLAS 1992	Gereconstrueerde SOLAS 1992
Zonemethode	P = 0,9999 N = 303 I = -0,1391	P = 0,9999 N = 303 I = -0,0573	
Compartimentenmethode	P = 1,0387 N = 578 I = -0,0636	P = 0,9915 N = 547 I = 0,0061	
Subcompartimenten-methode	P = 0,9034 N = 1328 I = -0,0733	P = 0,9500 N = 1131 I = -0,0081	
Numerieke integratiemethode	P = 0,9990 N = 500 I = -0,0895	P = 0,9988 N = 435 I = +0,0330	P = 0,9989 N = 491 I = -0,0312

Tabel 2: Verschillen in uitkomsten tussen SOLAS 1992 en SOLAS 2009 (I = indexoverschot = behaalde - vereiste indelingsindex, P = totaal kans = som van alle kansen van optreden, N = aantal schadegevallen).

2009 zwaarder dan SOLAS 1992, of met andere woorden, ligt het veiligheidsniveau hoger.

- De weergegeven waarden zijn 'ruw', dat wil zeggen dat geen optimalisatie is toegepast die de behaalde index zou kunnen doen toenemen. Het is onze ervaring dat met de (sub)compartimentenmethode het resultaat een paar procentpunten kan worden opgekrikt door bijvoorbeeld het verwijderen van schadegevallen met een negatieve kans van optreden.
- Het aantal schadegevallen bij de numerieke integratiemethode is tamelijk laag, vergeleken met dat van de (sub)compartimentenmethode. Inderdaad rapporteert het programma missende schadegevallen met een totale kans van optreden van ongeveer 0,04. Een groter aantal schadegevallen zou het indexoverschot iets kunnen doen toenemen.

Tenslotte zouden we graag de vraag beantwoorden of de nieuwe SOLAS voorschriften in het algemeen zwaarder of lichter zijn dan de bestaande. Dat zal helaas moeilijk gaan; hoewel de methodes de onderliggende gedachte delen, is hun uitwerking dermate verschillend dat een eenduidig antwoord niet gegeven kan worden. Wij hebben een beperkt aantal vrachtschepen berekend en die tonen ongeveer hetzelfde beeld als tabel 2: 2009 is zwaarder dan 1992. Maar de zaak wordt gecompliceerder als we een aantal praktische verschillen tussen de twee methodes, zoals al aangeeft in tabel 1, ook in beschouwing zouden nemen:

- De extra berekeningsdiepgang onder de nieuwe regels geeft meer variatiemogelijkheden in de keuzen van de te gebruiken zwaartepuntsliggingen in

hoogte.

- Onder SOLAS 1992 was het criterium dat de behaalde indelingsindex groter moet zijn dan de vereiste indelingsindex waarbij die behaalde index het gemiddelde was van die op de partiële en grootste diepgangen. Aan de behaalde indices voor die individuele diepgangen werden geen eisen gesteld en dat bood de gelegenheid om daar zeer uiteenlopende waarden voor te gebruiken. Voor een schip met een vereiste index van iets minder dan $\frac{1}{2}$ hebben we wel eens een berekening uitgevoerd waarbij de behaalde index op de grootste diepgang op ongeveer 0 uitkwam en die op de partiële diepgang op ongeveer 1, wat resulteerde in een gemiddelde behaalde indelingsindex van ongeveer $\frac{1}{2}$, zodat het schip voldeed. Onder de 2009 regels zou dit niet meer kunnen omdat de behaalde indelingsindex voor iedere individuele diepgang groter moet zijn dan de helft van de vereiste.
- Onder SOLAS 1992 werd aangenomen dat het laadruim een constante permeabiliteit van 0,70 zou hebben. Bij de nieuwe regels wordt de permeabiliteit realistischer behandeld, er wordt namelijk aangenomen dat deze zowel afhankelijk is van de diepgang als van de vervoerde ladingssoort. Zo is de permeabiliteit bijvoorbeeld 0,95 voor RoRo-ruimtes op de partiële diepgang en 0,35 voor houtlading op de grootste diepgang. Deze variatie kan de uitkomsten voor de diverse ladingssoorten sterk doen wisselen.

Conclusie

In dit artikel is een overzicht gegeven van vier verschillende methodes voor het berekenen van de kans van optreden

bij schade, en is een computerprogramma gepresenteerd waarin die methodes opgenomen zijn. Bij wijze van voorbeeld is voor één schip een berekening gemaakt waarbij de som van alle schadekansen bij berekeningen volgens de zonemethode en de numerieke integratiemethode heel dicht in de buurt van de theoretisch verwachte waarde van 1 kwamen. Wel gaf de laatste een duidelijk hogere behaalde indelingsindex te zien, wat ook wel te verwachten was. De indelingsindices van de (sub)compartimentenmethodes lagen er hetzelfde tussenin (SOLAS 1992 voorschriften) of waren fractioneel hoger dan die van de numerieke integratiemethode (SOLAS 2009). De testberekening suggereert dat SOLAS 2009 zwaarder uit zal pakken voor de ontwerper c.q. een hogere veiligheid biedt dan de bestaande 1992 regels. In algemene zin kan geen conclusie getrokken worden in de vergelijking 1992 vs. 2009, de regels verschillen zo sterk dat voor ieder individueel geval toch weer een concrete berekening gemaakt moet worden.