

Stabiliteit voor ontwerpers

Stabiliteit voor ontwerpers

D. Dicke

© VSSD

Eerste druk 1991

Tweede druk 1994 - 2005

Uitgegeven door

VSSD

Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 82124, telefax +31 15 27 87585, e-mail: hlf@vssd.nl

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL over deze publicatie: **<http://www.vssd.nl/hlf/f005.htm>**

Voor docenten die dit boek in cursusverband gebruiken zijn de illustraties in dit boek in elektronische vorm gratis beschikbaar. Ook kan de docent de beschikking krijgen over een elektronische versie van het boek. Een verzoek tot levering kan men richten aan hlf@vssd.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photo-copying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Gedrukte editie

ISBN-10 90-71301-52-4

ISBN-13 978-90-71301-52-0

Elektronische versie

ISBN-10 90-6562-122-9

ISBN-13 978-90-6562-122-1

NUR 956

Trefw: constructiemechanica, bouwtechniek

Voorwoord

Dit boek heeft zijn eerste voorloper in een in 1970 uitgegeven collegedictaat over stabiliteit ten behoeve van tweedejaars studenten Bouwkunde.

Daar deze studenten in vergelijking tot studenten Civiele Techniek beduidend minder wiskunde en toegepaste mechanica in hun curriculum hadden moest de op zich vrij lastige theorie van de stabiliteit van constructies in een vorm worden gegoten die studenten Bouwkunde voldoende inzicht gaf om in hun ontwerpen rekening te houden met het ‘fenomeen’ stabiliteit.

De vraag naar het collegedictaat, niet alleen van andere onderwijsinstellingen, maar ook vanuit de praktijk leidde tot de uitgave ‘Knik en Stabiliteit’ van het Professor Bakkerfonds, inmiddels al vele jaren uitverkocht.

Mijn overgang in 1979 naar de afdeling der Civiele Techniek vroeg om een nieuwe aanpak van het college ‘stabiliteit’.

In de colleges Toegepaste Mechanica van Civiele Techniek wordt de stabiliteit ‘fundamenteel’ behandeld.

Om echter tijdens het ontwerpen snel te kunnen onderkennen of men te maken heeft met een stabiliteitsgeval en zo ja om snel de mate van stabiliteit in orde van grootte te kunnen vaststellen en, niet in de laatste plaats, om inzicht in de stabiliteitsproblematiek te bevorderen is een benaderingsmethode ontwikkeld en in het kader van het college Algemene Constructie leer (ACL) is het dictaat daarvoor in voortdurende ontwikkeling geweest tot het boek dat nu voor u ligt.

De laatste wijzigingen betroffen de verwijdering en toepassingen van de voorschriften. Het zou de idee van eenvoudige ontwerpberoeeningen geweld aandoen om de voorschriften voor de diverse constructiematerialen in dit boek in te voeren.

Hierover zal voldoende literatuur verschijnen en er worden ook reeds cursussen gegeven.

Bovendien betekent het begrip kniklengte voor mij een reacentruc, die in sommige gevallen wel handig kan zijn, maar voor het inzicht niet zo bevorderlijk is.

De kniklengte is in de nieuwe voorschriften nog niet verdwenen.

Om dit begrip te omzeilen zijn los van voorschriften hier en daar fysische en geometrische imperfecties ingevoerd om het werkelijke elastische gedrag van een constructie duidelijk te laten uitkomen. Elastisch gedrag, want in het elasto-plastische gebied wordt de stijfheid en dus de stabiliteit snel minder en gelden andere regels. Voor de ontwerpberoeening in eerste instantie niet zo belangrijk.

Veel dank ben ik verschuldigd aan ir. C. Hartsuijker voor de vele inspirerende gesprekken over onderwijs in toegepaste mechanica en constructie leer.

Voor de kwaliteit van het dictaat 'stabiliteit', en dus ook van dit boek ben ik veel dank verschuldigd aan ing. R.W. van Eede die al die jaren de lay-out en het tekenwerk voor de dictaten op voortreffelijke wijze heeft verzorgd en daarbij indirect ook heeft bijgedragen aan de inhoud van dit boek.

Baarn, november 1990

D. Dicke

Bij de tweede druk

Na de eerste druk zijn de nieuwe voorschriften officieel in gebruik genomen.

In een enkel geval is afgeweken van het principe om geen beschouwingen te wijden aan toepassingen van voorschriften. Wel zijn (met uitzondering van de overdruk over 'Vallen en opstaan bij kruipen en knikken') notaties en benamingen aangepast. Bovendien konden een aantal typfouten en eigen ingeslopen slordigheden worden gecorrigeerd. De veranderingen betreffen vooral de rekenvoorbeelden.

De redactie van deze wijzigingen was in handen van ir. F. Vink, die veel heeft bijgedragen aan het up-to-date houden van dit boek. J.C. Siers en P. den Boer zorgden voor enige nieuwe tekeningen.

Hen allen ben ik veel dank verschuldigd.

Baarn, oktober 1993

D. Dicke

Inhoud

1. INLEIDING	9
2. VOORBEELDEN IN DE PRAKTIJK	14
2.1. Voorbeelden van translatieveren in de praktijk	14
2.2. Voorbeelden van rotatieveren in de praktijk	18
3. INGEKLEMDE STAVEN	25
3.1. De verend ingeklemde staaf (ongeschoord)	25
3.2. Oneindig stijve staven, verend ingeklemd	27
3.3. Schijnbare stijfheid	29
3.4. Veel voorkomende gevallen	29
3.5. Enkele toepassingen	30
3.6. De buigzame staaf oneindig stijf ingeklemd	36
3.7. De buigzame staaf verend ingeklemd	38
4. VERDEELDE DRUKBELASTING OP DE INGEKLEMDE STAAF	49
4.1. Gelijkmatic verdelde drukbelasting op staaf	49
4.2. Andere verdelingen van drukbelasting op de staaf	52
5. STAVEN	56
5.1. Staven met twee rotatieveren	56
5.2. Staven met twee stijfheden	61
6. GESCHOORDE STAVEN	70
6.1. Geschoorde staven	70
6.2. Verend ingeklemde staven, volledig gesteund	79
7. FICTIEVE STIJFHEID	83
8. PENDELSTAAF VEREND GESTEUND	86
9. ONDERLINGE STEUN VAN VEREND INGEKLEMDE STAVEN	98
10. PARTIËLE STABILITEIT	108
11. ROTATIESTABILITEIT	112

BIJLAGE A	115
BIJLAGE B	118
BIJLAGE C	126
C.1. Buigslappe staven	126
C.2. Stalen staven	129
C.3. Dwarsbelasting	136
BIJLAGE D	141
OVERDRUKKEN VAN ARTIKELEN UIT TIJDSCHRIFTEN	181
Toelichting op het artikel ‘Hoe oud is de kapitein?’	183
Hoe oud is de kapitein?	184
Vallen en opstaan bij kruipen en knikken	187
INDEX	206

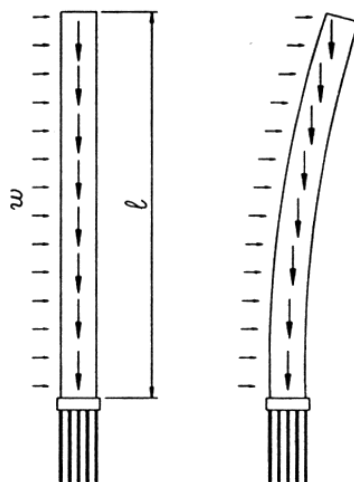
1

Inleiding

Op een bouwwerk werken uitwendige krachten zoals zwaartekracht, wind, gronddruk, waterdruk. Maar ook opgelegde vervormingen door temperatuur, zettingen, krimp en kruip. De draagconstructie van het bouwwerk moet dit alles opvangen en ervoor zorgen dat het bouwwerk gedurende z'n levensduur voldoende veilig, stijf en stabiel is. Het stabiliteitsverschijnsel kennen we al vanaf onze jeugd. Je kan niet alsmaar blokken op elkaar stapelen. De toren gaat bij het hoger stapelen steeds wankeler worden en wordt steeds gevoeliger voor stoten en trillingen. Onder invloed van belastingen vervormt een constructie. In tal van gevallen is de grootte van deze vervormingen van invloed op de grootte van de inwendige krachten in de constructie.

Enige voorbeelden

Op een wolkenkrabber werkt de zwaartekracht als een verticale belasting en de wind als een horizontale belasting. Zie figuur 1.1.



Figuur 1.1.

Door de wind buigt de wolkenkrabber. Door de uitbuiging verplaatst het zwaartepunt van de verticale belasting. Deze verplaatsing veroorzaakt extra buigende momenten, die op hun beurt de uitbuiging en dus de verplaatsing van het zwaartepunt van de verticale belasting vergroten, enzovoorts.

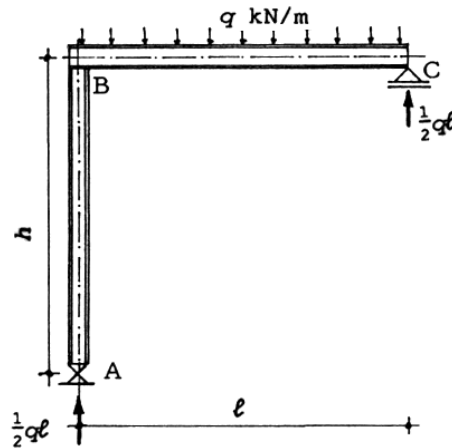
We moeten nu twee gevallen nagaan.

Ten eerste moet dit proces tot rust komen, er moet een toestand van evenwicht ontstaan,

waarbij in de bruikbaarheidsgrenstoestand de totale uitbuiging binnen een vooraf bepaalde limiet blijft.

Ten tweede moet voor de sterkte rekening worden gehouden met die extra buigende momenten.

Het in figuur 1.2 getekende spant is belast door een gelijkmatig verdeelde verticale belasting groot q kN/m. Door de rol bij C zal bij A horizontale reactie optreden en zullen dus geen dwarskrachten en momenten in de kolom ontstaan, althans, indien we vergeten om te letten op de vervorming van dit spant.



Figuur 1.2.

Doen we dit niet dan zien we dat de ligger doorbuigt en, als we uitgaan van een stijve hoek bij B, dat de rechte hoek bij B niet vervormt en dus de ligger horizontaal verplaatst. De oplegreactie bij A zal afnemen en bij C toenemen, maar dat kunnen we wel verwaarlozen.

Wat we niet kunnen verwaarlozen is de door de scheefstand van de kolom ontstane dwarskracht in de kolom, zie figuur 1.3. We kunnen de oplegreactie ontbinden in een dwarskracht en een normaalkracht. Er ontstaan nu momenten in de kolom die daardoor zal buigen waardoor de horizontale verplaatsing van de ligger groter wordt en dus ook de dwarskracht en de buiging, enzovoorts.

Ook hier een proces waarvan moet worden aangetoond dat het tot een evenwicht komt en waarvan de invloed op de grootte van de buigende momenten moet worden vastgesteld.

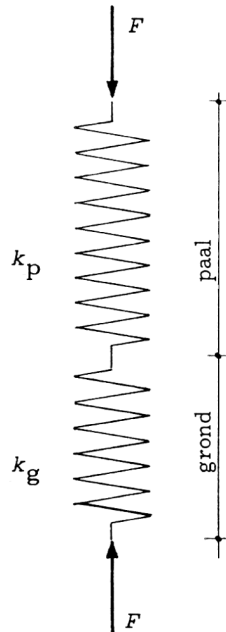
In figuur 1.4 is een ligger getekend met een gelijkmatig verdeelde belasting q die tevens een drukkracht moet opnemen door de wijze van ophanging van een belasting F . Deze drukkracht N vergroot de doorbuiging u_0 ,

2

Voorbeelden in de praktijk

2.1. Voorbeelden van translatieveren in de praktijk

Een veel voorkomende translatiebeer is de *funderingspaal*. Dit is een nogal gecompliceerde translatiebeer omdat ze uit twee delen is samengesteld, de paal zelf en de grond. In het in figuur 2.1 getekende schema is aangenomen dat de paalbelasting slechts door de paalpunt wordt overgedragen op de grond en dus niet door wrijving langs de paalschacht.



Figuur 2.1.

Paal en grond worden verder lineair elastisch gedrag toegeschreven.

Veerconstante voor de paal k_p .

Veerconstante voor de grond k_g .

De totale indrukking van de beide veren is

$$\frac{F}{k_p} + \frac{F}{k_g} = \frac{F}{k}$$

Hierin is k de veerconstante van de combinatie paal + grond.