

ing. J.P. Straman, Technische Universiteit, Delft

ir. E.H. Geldof, Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau bv, Rijswijk

Over de mogelijkheid om met een zeer slanke stabiliteitskern aan alle constructieve eisen te voldoen door het aanbrengen van een overdrachtsconstructie, is eerder in *Cement* gepubliceerd [1, 2]. Hierbij is ook ingegaan op de invloed van het tijdsafhankelijke materiaalgedrag op het mechanisch gedrag van de verstijfde kernconstructie [2]. Aan de hand van vijf alternatieve constructies zijn hiervan de resultaten gepubliceerd. Vervolgens is met één van de alternatieven een paramateronderzoek verricht, waarover in deze publicatie wordt gerapporteerd.

# VERSTIJFDE KERNCONSTRUCTIES

## EEN PARAMETERSTUDIE NAAR DE INVLOED VAN TIJDSAFHANKELIJK GEDRAG

De parameterstudies zijn verricht om inzicht te verkrijgen in het gedrag van de verstijfde kernconstructie onder graviteitsbelasting. De belangrijkste kentallen van de onderzochte constructie zijn weergegeven in tabel 1.

De overdrachtsconstructie bestaat uit tien uitkragende liggers (fig. 1).

### Berekeningen

#### Schematisering

De kern is ingeklemd in de fundering, terwijl de overdrachtsconstructie is ingeklemd in de kern en scharnierend is verbonden met de gevelkolommen.

Ter vereenvoudiging is aangenomen dat de buigstijfheid van de vloeren verwaarloosd kan worden, dat er geen interactie is tussen 'gewone' en overdrachtsgevelkolommen en dat van een oneindig stijve ondergrond kan worden uitgegaan. De doorsnede grootheden zijn over de hoogte constant verondersteld.

#### Belastingen

Voor het totale onderzoek zijn twee belastingen gedefinieerd:

- verticale belasting.

Dit is een langeduurbelasting en geeft zowel elastische als tijdsafhankelijke vervormingen;

- windbelasting.

Dit is een korteduurbelasting en levert in principe alleen elastische vervormingen op.

#### Rekenprogramma

De berekeningen zijn uitgevoerd met een lineair-elastisch raamwerkprogramma en met behulp van een spreadsheet. Als de scheurbelasting in een element werd overschreden, is de stijfheid van dat element aangepast.

#### Uitgangspunten

Als uitbuigingseis is aangehouden:

$$u \leq 1/800 H$$

De bruikbaarheidseis is maatgevend.

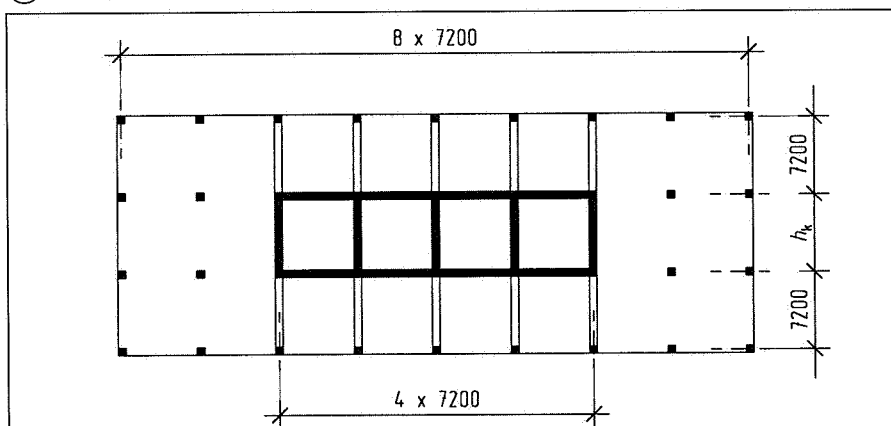
De invloed van de fundering is verwaarloosd.

Tabel 1

Onderzochte constructie

aantal verdiepingen		40
hoogte kern $H$	(m)	136
hoogte horizontale doorsnede kern $h_k$ (fig. 1)	(m)	10,8
slankheid kern		1 : 13
buigstijfheid kern $EI_k$	( $10^6 \text{ MNm}^2$ )	17,28
rekstijfheid kern $EA_k$	( $10^9 \text{ MN}$ )	10,07
rekstijfheid overdrachtskolom $EA_g$	( $10^4 \text{ MN}$ )	8,18
buigstijfheid overdrachtsconstructie $EI_o$	( $10^5 \text{ MNm}^2$ )	9,20
overdrachtsconstructies: aantal		1
verdieping		26

① Plattegrond; kern met tien uitkragende liggers



### Invloed parameters

Om de invloed van de afzonderlijke parameters te kunnen nagaan, is telkens één parameter gevarieerd ten opzichte van de standaardwaarde van de verschillende parameters. De afzonderlijk gevarieerde parameters zijn:

- wapeningspercentage van de gevelkolommen;
- bouwsnelheid;
- voorlopen van de kern;
- moment van aanbrengen van de overdrachtsconstructie;
- verouderingscoëfficiënt voor aangroeien-de belastingen;
- aandeel krimp en kruip;
- verhouding krimp- en kruipwaarden kern en kolommen.

Hiervan is alleen het moment van aanbrengen van de overdrachtsconstructie reeds in [2] behandeld.

### Wapeningspercentage gevelkolommen

In tabel 2 zijn in de eerste kolom de ingevoerde waarden voor het wapeningspercentage gegeven en in de overige kolommen de relevante resultaten. Een in de praktijk gebruikelijk wapeningspercentage voor gewapend-betonkolommen bedraagt 4 tot 8%. Het wapeningspercentage van 22% komt overeen met dat van een staal-betonkolom. In dit geval bestaat deze uit een HEM 800 staalprofiel, waarbij de ruimte tussen de flenzen door beton wordt opgevuld, met 1,5% bijlegwapening. Het wapeningspercentage van 100% komt vanzelfsprekend overeen met een volledig stalen kolom. Het wapeningspercentage van de kern is 1%.

Bij het toenemend wapeningspercentage in de kolommen kan onder meer worden geconstateerd dat:

- de elastische herverdeling niet verandert omdat de elastische rekstijfheid van de kolommen constant is gehouden;
- de tijdsafhankelijke herverdeling toeneemt door een stijver gedrag van de kolommen: krimp en kruip worden sterker verhinderd.

### Bouwsnelheid

In tabel 3 is in de eerste kolom de bouwsnelheid aangegeven, uitgedrukt in bouwtijd in dagen per verdieping.

Daar de elastische rekstijfheid van de kolommen niet wordt beïnvloed door de bouwsnelheid, is de elastische herverdeling constant voor de verschillende waarden van  $t$ .

Tabel 2

Wapeningspercentage

wapeningspercentage gevelkolom	dwarskracht in overdrachtsconstructie (kN · 10 <sup>3</sup> )			normaalkrachten (kN · 10 <sup>3</sup> )	
	elastisch	tijdsafh.	totaal	kern	kolommen
4	-5,6	0,9	-4,7	-225,5	-39,3
8	-5,6	2,3	-3,3	-222,6	-40,7
22	-5,6	4,8	-0,9	-217,8	-43,1
100	-5,6	8,3	2,7	-210,6	-46,7

Tabel 3

Bouwsnelheid

bouwtijd $t$ (dagen)	normaalkrachten in kolommen door herverdeling (kN · 10 <sup>3</sup> )		
	elastisch	tijdsafh.	totaal
3,5	-5,6	2,5	-3,1
7	-5,6	2,3	-3,3
14	-5,6	2,1	-3,5

Tabel 4

Voorlopen kern

aantal verdiepingen	normaalkrachten door herverdeling (kN · 10 <sup>3</sup> )			totaal normaalkrachten (kN · 10 <sup>3</sup> )	
	elastisch	tijdsafh.	totaal	kolommen	kern
0	-5,6	3,1	-2,5	-41,5	-221,1
5	-5,6	2,3	-3,3	-40,7	-222,6
10	-5,6	1,8	-3,8	-40,2	-223,7

De tijdsafhankelijke herverdeling neemt af met een lagere bouwsnelheid vanwege de afhankelijkheid van de kruipvorming van de ouderdom bij belastingen. Daarnaast zal ook een groter deel van met name de krimp, maar ook van de kruipvormingen, vrij kunnen optreden.

De tijdsafhankelijke extra drukkracht op de kolommen is kleiner naarmate de bouwsnelheid lager ligt. Dit weegt echter niet op tegen de gunstiger krimp- en kruipomstandigheden. Hierdoor wordt de scheurkracht van de kolommen groter met een lagere bouwsnelheid.

Doordat de kern door de tijdsafhankelijke herverdeling minder wordt ontlast en door de gunstiger ouderdom bij belastingen, neemt het scheurmoment toe met een lagere bouwsnelheid.

### Voorlopen van de kern

Tabel 4 geeft in de eerste kolom het aantal verdiepingen dat de bouw van de kern voorloopt op de rest.

Daar de elastische rekstijfheid van de kolommen niet wordt beïnvloed, is de elastische herverdeling gelijk. De tijdsafhankelijke herverdeling neemt af naarmate de kern meer voorloopt. De ouderdom bij belastingen van de kern is dan immers groter. Daarnaast zal ook een groter deel van de krimpvorming van de kern vrij kunnen optreden.

De tijdsafhankelijke extra drukkracht op de kolommen is kleiner naarmate de kern meer voorloopt.

Tabel 5

Verouderingscoëfficiënt  $\rho_{tw}$

verouderings- coëfficiënt $\rho_{tw}$	normaalkrachten door herverdeling (kN · 10 <sup>3</sup> )			normaalkrachten (kN · 10 <sup>3</sup> )	
	elastisch	tijdsafh.	totaal	kolommen	kern
0,0	-5,6	2,7	-2,9	-41,1	-221,8
0,2	-5,6	2,6	-3,0	-40,9	-222,2
0,4	-5,6	2,4	-3,2	-40,8	-222,4
0,6	-5,6	2,3	-3,3	-40,7	-222,6
0,8	-5,6	2,2	-3,4	-40,6	-222,8

Tabel 6

Aandeel krimp en kruip

$\rho_{tw}$	normaalkrachten door herverdeling (kN · 10 <sup>3</sup> )			normaalkrachten (kN · 10 <sup>3</sup> )	
	elastisch	tijdsafh.	totaal	kolommen	kern
krimp	-5,6	2,5	-3,1	-40,8	-222,4
kruip	-5,6	0,3	-5,9	-38,6	-226,8
totaal	-5,6	2,7	-2,9	-41,1	-221,8

Tabel 7

Verhouding krimp- en kruipwaarden

$\varphi_{kern}/\varphi_{kol}$	$\varepsilon_{kern}/\varepsilon_{kol}$	normaalkrachten door herverdeling (kN · 10 <sup>3</sup> )			normaalkrachten (kN · 10 <sup>3</sup> )	
		elastisch	tijdsafh.	totaal	kolommen	kern
2,0	4,3	-5,6	4,6	-0,9	-43,0	-218,0
1,4	3,1	-5,6	2,5	-3,1	-40,9	-222,3
1,0	2,2	-5,6	0,5	-5,1	-38,9	-226,2

### Verouderingscoëfficiënt voor aangroeien- de belastingen

De elastische herverdeling wordt niet beïnvloed door de verouderingscoëfficiënt  $\rho_{tw}$  (tabel 5). De tijdsafhankelijke herverdeling neemt af naarmate  $\rho_{tw}$  hoger is. De tijdsafhankelijke herverdeling kruipt er namelijk meer uit met een hogere verouderingscoëfficiënt. Indien  $\rho_{tw} = 0$ , veroorzaakt de kracht uit de outriggers alleen elastische rekken. De tijdsafhankelijke extra drukkracht op de kolommen is kleiner naarmate  $\rho_{tw}$  groter is. Hierdoor wordt de scheurkracht van de kolommen eveneens kleiner. Omdat de herverdelingen het tegenovergestelde effect op de kern hebben, neemt het scheurmoment van de kern toe met oplopende  $\rho_{tw}$ .

### Aandeel krimp en kruip

In tabel 6 is een vergelijking gegeven van de

bijdrage aan de tijdsafhankelijke herverdeling door krimp- en kruipvervormingen. De waarden voor krimp en kruip samen zijn weergegeven in de onderste regel. Deze situatie is uitgevoerd met de randvoorwaarde dat  $\rho_{tw} = 0$ .

De elastische herverdeling wordt niet beïnvloed. De tijdsafhankelijke herverdeling wordt voor het overgrote deel (ongeveer 90%) door de krimpvervormingen veroorzaakt. De gemiddeld hoge ouderdom bij belastingen (voor de onderste verdieping is dit 140 dagen) zorgt voor lage kruipwaarden.

### Verhouding krimp en kruipwaarden kern en kolommen

In tabel 7 zijn in de eerste en tweede kolom respectievelijk de verhoudingen van kruip- en krimpwaarden van de kern en de kolommen weergegeven.

De elastische herverdeling wordt niet beïnvloed door de krimp- en kruipwaarden. De tijdsafhankelijke herverdeling neemt af naarmate de tijdsafhankelijke waarden minder verschillen.

De tijdsafhankelijke extra drukkracht op de kolommen is kleiner naarmate de tijdsafhankelijke waarden minder verschillen. Hierdoor wordt de scheurkracht van de kolommen eveneens kleiner. Omdat de herverdelingen het tegenovergestelde effect op de kern hebben, neemt het scheurmoment van de kern toe met een oplopend verschil in de tijdsafhankelijke waarden.

De uiteindelijk resulterende kracht in de outtrigger ligt dicht bij de elastische kracht naarmate de tijdsafhankelijke waarden minder verschillen.

### Conclusies

Kort samengevat blijkt uit deze parameterstudie van verstijfde kernconstructies het volgende:

- de invloed van het wapeningspercentage van de kolommen op de tijdsafhankelijke herverdeling is groot;
- een lage bouwsnelheid is gunstig voor de scheurbelasting van kern en kolommen;
- het voorlopen van de kern in het bouwproces is gunstig voor de scheurbelasting van de kern en ongunstig voor die van de kolommen;
- de verouderingscoëfficiënt  $\rho_{tw}$  heeft een geringe invloed op de scheurbelastingen. De invloed op de tijdsafhankelijke kracht in de overdrachtsconstructie is groot;
- de tijdsafhankelijke herverdeling wordt voor het grootste deel veroorzaakt door krimp;
- de verhouding van de krimp- en kruipwaarden van kern en kolommen heeft een grote invloed op de tijdsafhankelijke herverdeling en de scheurbelastingen.

### Literatuur

1. Kraus, J.G. en R.H.Wiltjer, Constructie van hoofdkantoor CLBN. *Cement* 1996, nr. 1.
2. Straman, J.P. en E.H.Geldof, Tijdsafhankelijk gedrag van verstijfde kernconstructies. *Cement* 1996, nr. 11.