

HET BREUKMOMENT

BIJ VOORGESPANNEN BETONLIGGERS

Voor een ligger, die op zuivere buiging wordt belast en die op het ogenblik van breuk aanzienlijke scheuren vertoont (die dóórlopen tot dicht bij de neutrale lijn) geldt:

$$M_b = T_y \cdot k = \sigma_y \cdot f_y \cdot k = \sigma_y \lambda bh'k \dots \dots \dots (1)$$

Bij een goed geïnjecteerde kabel en een normaal gedimensioneerde balk zal op het ogenblik van breuk de *grootste* staalspanning slechts weinig kleiner zijn dan de treksterkte van het staal.

In de voorlopige richtlijnen van de Stuvo (Studievereniging voor voorgespannen beton) wordt voor het breukmoment de volgende formule aangegeven: $M_b = \sigma_{yt} \lambda bh' (h' - 0,1 h)$

Deze formule kan men ontstaan denken uit formule (1) door voor de gemiddelde staalspanning σ_y de treksterkte σ_{yt} in te voeren en door de inwendige hefboom aan te nemen op $h' - 0,1 h$. Dit laatste houdt in, dat, als het trekmiddelpunt (dat wil zeggen het aangrijpingspunt van de resultante van de trekkrachten in het staal) gedacht wordt samen te vallen met het zwaartepunt van de wapening, het drukmiddelpunt op $0,1 h$ vanaf de bovenzijde van de balk wordt aangenomen.

Neemt men voor de inwendige hefboom niet $h' - 0,1 h$ maar $0,9 h'$ aan, dan zal de afwijking hierdoor t.o.v. de „Stuvo“-formule gering zijn.

Het breukmoment wordt dan

$$M_b = 0,9 \sigma_{yt} \lambda bh'^2 \dots \dots \dots (2a)$$

De door Prof. Ir. G. Magnel proefondervindelijk afgeleide formule luidt, voor waarden van σ_{yt} variërend tussen 144 en 172 kg/mm²,

$$M_b = 14800 \lambda bh'^2 \dots \dots \dots (3)$$

(zie „De Ingenieur“ 27 Februari 1953).

Vergelijking van de formule (2a) met de formule (3) leert ons, dat de „Stuvo“-formule vrijwel overeenstemt met de „Magnel“-formule, als

$$0,9 \sigma_{yt} = 14800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{of wel } \sigma_{yt} = 16500 \text{ kg/cm}^2.$$

De gemiddelde waarde van σ_{yt} van het staal van de acht balken, waaruit Prof. Magnel zijn formule heeft afgeleid bedraagt 16000 kg/cm².

Notaties:

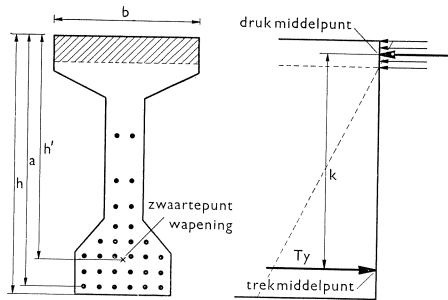
- l overspanning van de balk
- b breedte van de bovenflens
- h' afstand van het zwaartepunt van de hardstaal-wapening tot bovenzijdebalk
- h hoogte van de balk
- a afstand van de laagst gelegen draad tot bovenzijde van de balk
- f_y de totale doorsnede van de hardstaal-wapening
- 100λ wapeningspercentage ($\lambda = f_y : bh'$)
- σ_p prismadruksterkte van het beton
- σ_{yt} treksterkte van het staal
- M_b breukmoment
- k inwendige hefboom = afstand trekmiddelpunt tot drukmiddelpunt
- T_y de totale trekkracht in het staal op het ogenblik van breuk
- σ_y de *gemiddelde* staalspanning op het ogenblik van breuk

In de tabel is voor de acht (no. 1 t/m.8) door Prof. Magnel beschreven balken aangegeven de waarde van $M_b : \lambda b h'^2$, zowel volgend uit de proef, als bepaald volgens de „Stuvo“-formule ($0,9 \sigma_{yt}$) en de „Magnel“-formule (14800).

Zoals te verwachten was stemmen de resultaten, bepaald volgens de „Stuvo“-formule, redelijk overeen met de proefresultaten en de waarden, bepaald volgens de „Magnel“-formule. Toch dient m.i. voor voorschriften de voorkeur gegeven te worden aan de „Stuvo“-formule, omdat hierin de treksterkte van het staal is verwerkt. Deze treksterkte zal toch zeker invloed op de waarde van het breukmoment hebben. Dat dit niet uit proeven blijkt vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit, dat de variatie in de treksterkte van de gebruikte staal-soorten slechts klein is, zodat het verband tussen M_b en σ_{yt} , door de gebruikelijke spreiding in de proefresultaten, vervaagd wordt. (De „Stuvo“-formule kan echter ook toegepast worden bij staalsoorten met een lage treksterkte, zelfs voor gewoon gewapend beton, mits men bij staalsoorten met een uitgesproken vloeigrens σ_{yt} vervangt door de vloeispanning).

In de tabel is tevens aangegeven de in Nederland beproefde balk, bestemd voor de A.K.U. te Emmen (no. 9) (zie „De Ingenieur“ 25 Januari 1952 en 15 Februari 1952). Ook hierbij leiden beide formules tot redelijke resultaten.

Balk no. 10 is een normaal gedimensioneerde voorgespannen betonbalk met voorgerekt staal. Hiervoor blijken beide formules te hoge waarden te geven voor het breukmoment. Bij deze balk werd, zoals bij voorgespannen beton met voorgerekt staal gebruikelijk is, de wapening niet op één plaats geconcentreerd,



No	Aanduiding	l m	b cm	h' cm	f_y cm ²	100λ	σ_p kg/cm ²	σ_{yt} kg/mm ²	M_b tm	$M_b : \lambda b h'^2$ kg/cm ²			Verschil t.o.v. proef in %	
										proef	Magnel	Stuvo	Magnel	Stuvo
1	Laboratorium	3,0	40	73	4,71	0,161	400	150	48,0	13960	14800	13500	+ 6,0	- 3,3
2	Wavre	12,0	30	53	3,14	0,198	400	150	25,3	15200	14800	13500	- 2,6	- 11,2
3	Neptune	5,0	30	26,5	1,81	0,227	410	144	7,1	14800	14800	12960	0	- 12,4
4	Franki	34,3	147	149	65,1	0,298	523	154	1487,0	15330	14800	13860	- 3,5	- 9,6
5	Philadelphie	48,2	132	178	98,5	0,420	360	172	2630,0	15000	14800	15480	- 1,3	+ 3,2
6	Gand II	4,0	25	20	3,14	0,628	405	173	8,7	13850	14800	15570	+ 6,9	+ 12,4
7	Gand III	6,0	25	31	6,28	0,810	430	173	29,7	15250	14800	15570	- 3,0	+ 2,1
8	Guyon II	—	13,5	34,5	3,90	0,840	370	167	18,9	14050	14800	15030	+ 5,3	+ 7,0
9	Emmen	19,75	38,5	113	11,8	0,271	270	172	214,0	16050	14800	15480	- 7,8	- 3,6
10	Sloten	10,5	21	41,6	4,76	0,545	250	155	23,1	11675	14800	13950	+ 26,8	+ 19,5
11	Rotterdam	9,96	21	23,7	6,08	1,222	420	179	16,2	11240	14800	16110	+ 31,7	+ 43,3
12	Zaamslag	6,64	16	27	4,32	1,000	300	157	11,9	10200	14800	14130	+ 45,1	+ 38,5

zoals bij de systemen Magnel en Freyssinet, maar meer over de doorsnede verdeeld. In dat geval is de aanname, dat de *gemiddelde* staalspanning gelijk is aan de *uiterste* staalspanning, die gelegen is nabij de treksterkte, niet meer gerechtvaardigd. In de formule (2a) zou men dus i.p.v. σ_{yt} een kleinere waarde moeten invoeren, bv. $(h' : a) \sigma_{yt}$. Bij balk no. 10 is $h' : a = 0,77$, zodat $M_b : \lambda b h'^2$ dan wordt 10740 kg/cm². Een andere oplossing is, dat men niet de totale doorsnede van het staal in rekening brengt, maar alleen dat gedeelte, dat aan de onderzijde van de balk is geconcentreerd.

In afwachting van meer proefresultaten blijft voor beton met voorgerekt staal bij de toepassing van de „Stuvo“-formule in de huidige vorm, voorzichtigheid geboden.

In de tabel zijn tevens de resultaten aangegeven van de proefbelastingen, verricht op twee overgedimensioneerde balken met voorgerekt staal. (no. 11 en 12) (zie ook de „Ingenieur“ 25 Juli 1952). Beide balken waren bestemd om als „Verbundträger“ te worden uitgevoerd. Op het ogenblik van de proefbelasting was de afdeklaag, die als drukzone moest fungeren, nog niet aangebracht. Hoewel deze balken dus niet representatief zijn voor in de praktijk te gebruiken balken, zijn ze toch vermeld, omdat hier een aanzienlijk lagere waarde voor het breukmoment werd gemeten dan zou volgen uit de „Magnel“- of de „Stuvo“-formule. Behalve een vermindering van het breukmoment door het verspreid liggen van de draden, treedt hier bovendien nog een verlaging op door de omstandigheid, dat door de relatief grote hoeveelheid staal het beton vroegtijdig bezwijkt en de staalspanning niet kan oplopen tot nabij de treksterkte. Behalve uit een oogpunt van economie moeten overgedimensioneerde balken ook uit veiligheidsoverwegingen vermeden worden. Bij deze balken treedt nl. meestal een plotselinge breuk op. Men bedenke slechts dat 80% van de ongevallen, optredende bij het bezwijken van constructies, voorkomt bij die constructies, die geen voldoende waarschuwing geven tegen breuk (knik bv.).

Resumerend kan gezegd worden, dat de „Stuvo“-formule voor de bepaling van het breukmoment verantwoord is voor balken, die normaal gedimensioneerd zijn en waarbij het staal niet te veel over de doorsnede verspreid is. Is het staal over de doorsnede verdeeld, zoals meestal bij beton met voorgerekt staal het geval is, dan blijft voorzichtigheid bij de toepassing van de formule geboden. Voortgezette proeven zullen uitsluitsel moeten geven over de invloed van dit verspreid liggen op het breukmoment. Misschien blijkt dan een gewijzigde formule, bv: $M_b = \frac{h^3}{a} \cdot \sigma_{yt} \cdot f_y \cdot (h' - 0,1 h)$ tot betere resultaten te leiden.

Overgedimensioneerde balken moeten uit een oogpunt van economie en uit veiligheidsoverwegingen vermeden worden.

Hoewel de „Magnel“-formule tot vrijwel dezelfde resultaten leidt als de „Stuvo“-formule, moet de voorkeur gegeven worden aan de laatste, omdat deze ook geldig is bij het gebruik van staalsoorten met lage treksterkte.