

MASTER

Analyse moment-krommingsdiagrammen van gewapend beton

het bepalen van een fictieve elasticiteitsmodulus van een doorsnede van gewapend beton ten behoeve van de verdiscontering van krimp, kruip en wapening bij doorbuigingsberekeningen

van Halder, J.F.

Award date:
1989

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

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



Technische Universiteit Eindhoven

ANALYSE MOMENT- KROMMINGSDIAGRAMMEN VAN GEWAPEND BETON

J.F. van Halder

juni 1989

Het bepalen van een fictieve elasticiteitsmodulus van een doorsnede van gewapend beton ten behoeve van de verdiscontering van krimp, kruip en wapening bij doorbuigingsberekeningen.

afstudeerhoogleraar: prof.dr.ir. G. Scherpbier
begeleiding: prof.ir. W.R. de Sitter
ir. T.A.M. Salet

Voorwoord

In Cement verscheen een publikatie van ir. W.A. de Bruijn, waarin de buigstijfheid van gewapend beton geschematiseerd werd tot een tweetal formules voor de tijdstippen $t = 0$ en $t = \infty$ [De Bruijn 1988 : 50-56]. Deze formules zijn met behulp van lineaire regressie uit vele computerberekeningen ontwikkeld. Het nadeel van deze formules is, dat de invloed van vele variabelen, die de uiteindelijke doorbuiging bepalen, bij deze schematisatie verloren is gegaan.

Berekening van de doorbuiging is niet eenvoudig en zoals onderstaande tabel laat zien, levert de doorbuiging in de eindtoestand (exclusief toename door de krimp-kromming) van een standaard geval bij de bestaande rekenmethoden erg grote verschillen op (zie bijlagen voor de uitgewerkte berekeningen).

Monnier	34.7	mm
de Jong	29.3	mm
Vis en Sagel	28.4	mm
Cur 115	27.9	mm
V.B. '84	24.0	mm
Bruggeling	23.5	mm
de Bruijn	22.0	mm

tabel 1

Enerzijds het grote verschil in uitkomsten van doorbuiging en anderzijds de manier van aanpak van ir. de Bruijn om de buigstijfheid van gewapend beton te schematiseren tot een tweetal formules, inspireerde mij om mijn afstudeerwerk hieraan te wijden.

Dit verslag behandelt, na een korte inleiding over doorbuiging van gewapend beton in het algemeen, een viertal rekenmethode waarbij met een fictieve buigstijfheid van gewapend beton, de doorbuiging van plaatliggers ten gevolge van gelijkmatig verdeelde belastingen berekend kunnen worden.

Tijdens mijn afstudeerperiode heeft een begeleidingscommissie, bestaande uit prof. dr. ir. G. Scherpbier, prof. ir. W.R. de Sitter en ir. T.A.M Salet mij met raad en daad bijgestaan. Waarvoor hartelijk dank,

juni 1989,

John van Halder.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding.	blz.	1
Hoofdstuk 2	Doorbuiging van gewapend beton.		2
§ 2.1	algemeen		2
§ 2.2	het M-Kappa diagram van gewapend beton		3
§ 2.3	krimp en kruip van gewapend beton		6
§ 2.4	berekening van de doorbuiging		7
§ 2.5	statisch onbepaalde konstrukties		8
Hoofdstuk 3	Berekeningsmethode 1 Stelsels van lineaire vergelijkingen.		10
§ 3.1	inleiding		10
§ 3.2	afleiding vergelijkingen		13
§ 3.3	resultaten		20
Hoofdstuk 4	Berekeningsmethode 2 Afleiding fictieve E-modulus.		22
§ 4.1	het opstellen van een vergelijking		22
§ 4.2	invloed kruip		25
§ 4.3	materiaal-eigenschappen		28
§ 4.4	voorwaarden voor E'_{bt}		32
§ 4.4	berekening doorbuiging met E-fictief		43
§ 4.5	doorbuiging door krimp		44
§ 4.6	voorbeeld berekening		44
Hoofdstuk 5	Berekeningsmethode 3 Dobeko 1.		50
§ 5.1	inleiding		50
§ 5.2	principes Dobeko 1 voor $t = 0$		51
§ 5.3	principes Dobeko 1 voor $t = \infty$		55
§ 5.4	resultaten		56
Hoofdstuk 6	Berekeningsmethode 4 Dobeko 2.		60
§ 6.1	inleiding		60
§ 6.2	principes Dobeko 2 voor $t = \infty$		60
§ 6.3	resultaten		64
Samenvatting en conclusies			70
Bijlagen 1			74
Bijlagen 2			85
Bibliografie			111

Hoofdstuk 1 INLEIDING.

De laatste tijd wordt meer en meer geschreven over de vervormingen van gewapend betonkonstrukties. Ook de doorbuiging van deze konstrukties staat volop in de belangstelling. Deze belangstelling is te verklaren uit het feit dat het inzicht in het bezwijkgedrag van gewapend betonkonstrukties is toegenomen. Gevolg hiervan is dat steeds slanker gekonstrueerd kan worden.

De beoordeling van de grenstoestand van bruikbaarheid en doorbuiging gaat een grotere rol spelen. Immers een te grote doorbuiging kan de veiligheid van de konstruktie (ponding) in gevaar brengen en schade of ongerief aan het inbouwpakket veroorzaken.

De ontwikkeling van rekenmethoden om de vervormingen te bepalen is sterk achtergebleven bij de ontwikkeling van methoden om de draagkracht te bepalen in het bezwijkstadium. Deze achterstand is veroorzaakt door het grote aantal factoren dat van invloed is op de grootte van de vervormingen. Het zal dan ook altijd moeilijk blijven om de werkelijke doorbuiging door middel van een berekening realistisch te benaderen.

In de Voorschriften Beton zijn de eisen ten aanzien van doorbuiging dan ook beperkt tot een eenvoudige slankheidseis, die alleen gehanteerd mag worden indien de vervormingen geen ernstige schade of ongerief kunnen veroorzaken [Stichting CUR-VB 1984: 370-371].

Toch is het voor de konstrukteur van essentieel belang enig inzicht te hebben in de optredende vervormingen bij het ontwerpen van gewapend betonkonstrukties.

In dit verslag wordt geprobeerd een weg aan te wijzen die de konstrukteur kan volgen om op eenvoudige wijze tot bruikbare resultaten te komen. Daartoe wordt in dit verslag gebruik gemaakt van het begrip 'fictieve buigstijfheid van gewapende beton'. Dit begrip moet echter niet opgevat worden als de werkelijke stijfheid van het gewapend beton, maar als een rekengrootheid om de doorbuiging te berekenen.

Voordeel van het werken met het begrip buigstijfheid is, dat het aansluit op de manier van de klassieke toegepaste mechanica.

Hoofdstuk 2 DOORBUIGING VAN GEWAPEND BETON.

§ 2.1 Algemeen.

Doorbuiging van gewapend betonkonstrukties kan worden veroorzaakt door belasting (korte en lange duur), krimp en temperatuurverschil. Doorbuiging veroorzaakt door temperatuurverschil staat los van krimp en kruip en zal derhalve niet in dit verslag behandeld worden.

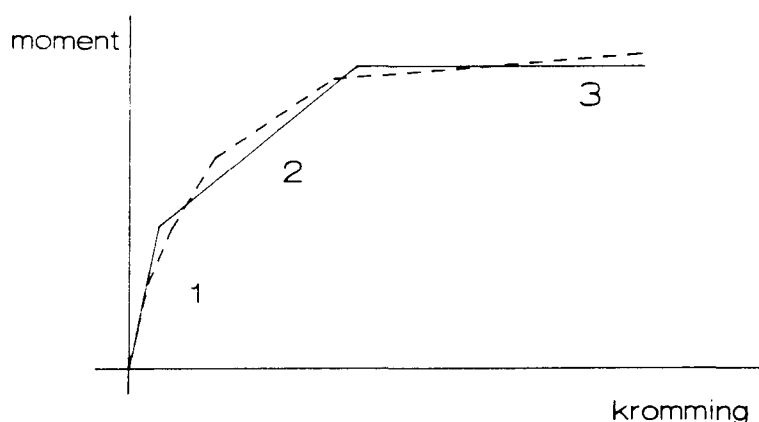
De vervorming is, zoals eerder al vermeld rekenkundig moeilijk te bepalen. Verschillende redenen zijn hiervoor te noemen, maar de belangrijkste is dat de stijfheid van beton niet konstant is als gevolg van scheurvorming.

Met het toenemen van het moment onder een gelijkmatig verdeelde belasting wordt de treksterkte van de beton overschreden en ontstaan er plaatselijk scheuren in de beton. De neutrale lijn schuift naar boven, de drukzone wordt kleiner en het traagheidsmoment neemt af. Bovendien is het sigma-epsilon diagram van beton gekromd, zodat eveneens met het toenemen van het moment de E-modulus afneemt. Het verloop van de buigstijfheid (traagheidsmoment * E-modulus) over de lengte van een gewapend betonkonstruktie is dus niet konstant.

Voor het bepalen van de krachtsverdeling in de grenstoestand met betrekking tot de bruikbaarheid komen in principe twee theorieën in aanmerking: de lineaire en de niet-lineaire elasticiteitstheorie. De lineaire elasticiteitstheorie gaat uit van niet-gescheurd beton en is als zodanig niet geschikt voor het berekenen van de doorbuiging. De enig toepasbare theorie is dan de niet-lineaire elasticiteitstheorie; hierop is ook de reeds genoemde slankheidseis van de Voorschriften Beton gebaseerd. Het nadeel van deze theorie, zoals gedefinieerd in de Voorschriften Beton, is, dat van volledig gescheurd beton over de gehele lengte wordt uitgegaan. In tegenstelling tot sterkteberekeningen is het echter bij de berekening van de stijfheid niet reëel om de bijdrage van de treksterkte volledig te negeren. De sterkte van een konstruktie wordt bepaald door de zwakste doorsneden (bij statisch onbepaalde konstrukties door slechts één doorsnede), terwijl de stijfheid wordt bepaald door de doorsnede-eigenschappen van de gehele konstruktie.

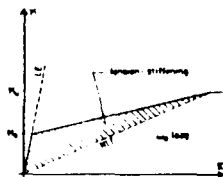
§ 2.2 Het M-Kappa diagram van gewapend beton.

Wanneer wordt uitgegaan van een zo reëel mogelijk verband tussen buigend moment en krommingen, wordt automatisch rekening gehouden met de invloed van het niet-gescheurde beton tussen twee scheuren. Uit verschillende proeven is gebleken dat het genoemde verband voor rechthoekige doorsneden in het algemeen voldoende nauwkeurig kan worden weergegeven door drietakkige M-Kappa diagrammen [Monnier 1977 : 330-337]. De in de werkelijkheid optredende overgangsbogen tussen de rechte lijnen worden verwaarloosd (zie figuur 1 blz. 3).

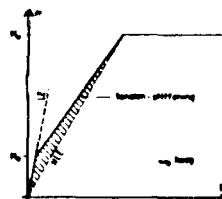


figuur 1 Geschematiseerd M-Kappa diagram voor gewapend beton.
De stippellijn geeft het werkelijke verloop aan.

In de figuren 2 en 3 (zie blz. 4) zijn schematisch twee M-Kappa diagrammen weergegeven voor respectievelijk een laag en een hoog wapeningspercentage.



figuur 2 M-Kappa diagram van gewapend beton voor een laag wapeningspercentage.



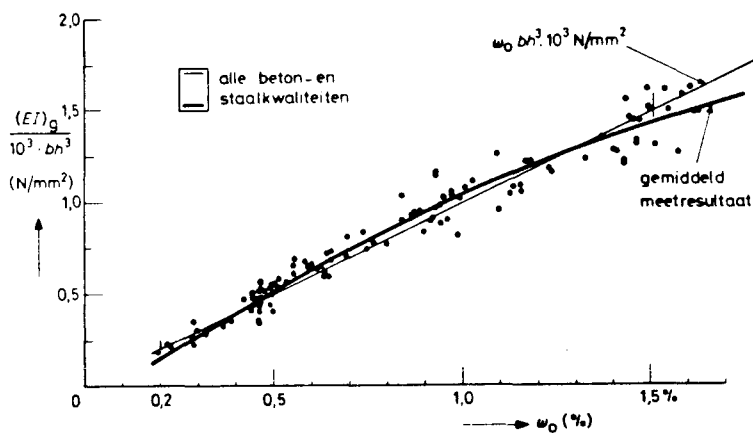
figuur 3 M-Kappa diagram van gewapend beton voor een hoog wapeningspercentage.

Het gearceerde deel in deze twee diagrammen kan worden aangeduid als gebied van de tension-stiffening (stijfheidsvergroting t.o.v. de niet-lineaire elasticiteitstheorie). Het is duidelijk dat de invloed van de tension-stiffening het grootst is bij de lage wapeningspercentages; met andere woorden: hoe groter het wapeningspercentage, hoe beter de niet-lineaire elasticiteitstheorie het werkelijke stijfheidsgedrag benadert.

De eerste rechte lijn van een M-Kappa diagram gaat door de oorsprong van het assenkruis en heeft betrekking op niet-gescheurd beton. De bijbehorende buigstijfheid (EI), is gelijk aan het product van de elasticiteitsmodulus van beton E_b en het traagheidsmoment van de niet-gescheurde betondoorsnede I_b . De invloed van de wapening op het traagheidsmoment van een niet-gescheurde doorsnede is gering en wordt daarom verwaarloosd. Bij het scheurmoment M_r wordt de invloed van de scheurvorming merkbaar. Daar ligt het snijpunt van de eerste en de tweede lijn uit het diagram. Deze laatste betreft het scheurende stadium. Dit scheurmoment kan goed worden benaderd volgens:

$$M_r = f_{b,m} * W_b \quad [\text{KNm}] \quad \{1\}.$$

Hiervoor geldt dat $f_{b,m}$ gelijk is aan de gemiddelde buigtreksterkte van het beton en W_b is het weerstandsmoment van de betondoorsnede. De tweede lijn in het M-Kappa diagram wordt aangegeven met de helling $(EI)_g$. Deze wordt bepaald door zowel gescheurde als niet-gescheurde doorsneden. De desbetreffende lijn gaat niet door de oorsprong en mag daarom géén buigstijfheid in het gescheurde stadium worden genoemd. Zoals later zal blijken, is het toepassen van $(EI)_g$ in de doorbuigingsberekening erg eenvoudig. Een tweede reden voor het hanteren van $(EI)_g$ is, dat een empirische regel voor de waarde kan worden vastgesteld. Ondanks het feit dat de theoretische bepaling van $(EI)_g$ gecompliceerd is, blijkt uit figuur 4 (zie blz. 5) een eenvoudig verband met het trekwapeningspercentage voor rechthoekige doorsneden.



figuur 4 Gemeten verband tussen $(EI)_g$ en het wapeningspercentage.

De bedoelde relatie luidt in formulevorm [Monnier 1977: 330-337]:

$$(EI)_g = w_o * b * h^3 * 1000 \quad [Nmm^2] \quad [2].$$

Hiervoor geldt dat w_0 het wapeningspercentage, b de breedte en h de nuttige hoogte van de konstruktie is (de faktor 1000 heeft hier een dimensie van N/mm^2). Indien voor de elasticiteitsmodulus van staal een waarde van $200000 N/mm^2$ wordt gekozen, kan formule {2} omgewerkt worden naar:

$$(EI)_g = 0.5 * E_s * A_s * h^2 \quad [Nmm^2] \quad \{3\}.$$

De genoemde uitdrukking voor $(EI)_g$ geeft voor normale gevallen, waarbij w_0 kleiner blijft dan 1.5%, goede overeenstemming met de meetresultaten (zie eveneens figuur 4 blz. 5).

De derde horizontale lijn in het M-Kappa diagram heeft betrekking op het stadium waarin de trekwapening vloeit. Als goede benadering geldt voor de ligging van deze lijn het breukmoment van de doorsnede (M_u). Het snijpunt van de tweede en de derde lijn van het M-Kappa diagram wordt bepaald door het punt van moment en kromming van de gescheurde doorsnede, wanneer de wapening juist de vloeispanning of rekgrens heeft bereikt. Een berekening hiervan levert goede resultaten, indien het spanningsstuik diagram van beton wordt toegepast.

§ 2.3 Kruip en krimp van gewapend beton.

Het voorgaande heeft alleen betrekking op de direkt optredende vervormingen. Voor een juiste indruk van de uiteindelijke te verwachten vervormingen van de konstruktie, kunnen de vertraagd optredende vervormingen niet worden verwaarloosd. Laatstgenoemde worden gewoonlijk in hoofdzaak veroorzaakt door kruip en krimp van het beton. Het is gebruikelijk de invloed van de kruip in stijfheidsberekeningen te verwerken door het invoeren van een zogenaamde schijnbare elasticiteitsmodulus voor beton (E'_{bt}). De buigstijfheid van beton in de tijd kan dan berekend worden door substitutie van E'_b door E'_{bt} . De invloed van krimp wordt meestal bij de door kruip ontstane doorbuiging gesuperponeerd. Hoofdstuk 6 behandelt een rekenmethode waarbij de invloed van de krimp direkt in de berekening wordt meegenomen en niet zoals bij de andere drie methoden er later bij gesuperponeerd wordt.

§ 2.4 Berekening van de doorbuiging.

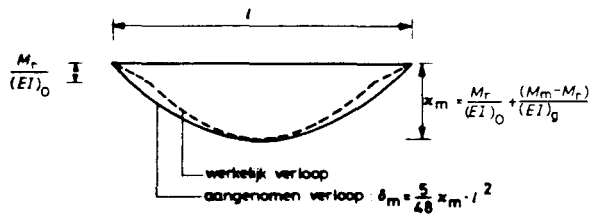
Uitgaande van het drietakkige M-Kappa diagram en van een gegeven momentenverdeling, is de berekening van de doorbuiging betrekkelijk eenvoudig. In feite moeten de krommingen, die langs de konstruktie in de lengterichting optreden, twee maal geïntegreerd worden. Uit de mechanica is daarvoor de analogie bekend met de berekening van de buigende momenten uit de belastingen. De doorbuigingen kunnen op dezelfde wijze uit de krommingen worden berekend. In de eerste plaats moet dus het krommingenvlak uit de gegeven momenten worden vastgesteld:

$$K = \frac{M_x}{(EI)_o} \quad [\text{mm}^{-1}] \quad (\text{als } M_x < M_r) \quad \{4\}.$$

$$K = \frac{M_r}{(EI)_o} + \frac{(M_x - M_r)}{(EI)_g} \quad [\text{mm}^{-1}] \quad (\text{als } M_x > M_r) \quad \{5\}.$$

Hierbij is M_x het moment waarbij de doorbuiging bepaald wordt, wat meestal overeenkomt met het gebruiksmoment $0.6 * M_u$.

In figuur 5 (zie blz. 8) is voor een statisch bepaalde ligger met een gelijkmatig verdeelde belasting het krommingenvlak getekend. Daarin kan worden gezien, dat de lijn die het verloop van de krommingen en de lijn die het verloop van de momenten aangeeft, in het algemeen maar weinig van elkaar zullen afwijken. Hiervan kan gebruik gemaakt worden om de berekening van de doorbuiging sterk te vereenvoudigen, zonder dat de uitkomsten veel onnauwkeuriger worden. Voor het krommingenvlak wordt daarbij een vlak aangehouden gelijkvormig aan het momentenvlak, waarbij de grootste waarde van de kromming wordt bepaald volgens de formules {4} of {5}.



figuur 5 Het krommingenvlak bij gelijkmatig verdeelde belasting.

Bij een konstruktie met een rechthoekige doorsnede, op twee steunpunten vrij opgelegd en gelijkmatig verdeeld belast, bedraagt de direct optredende doorbuiging in het midden van de overspanning aldus:

$$\delta = \frac{5}{48} * K * L^2 \quad [\text{mm}] \quad \{6\}.$$

§ 2.5 Statisch onbepaalde konstrukties.

De berekening van de doorbuiging voor gevallen waarbij ook inklemningsmomenten optreden, is in beginsel dezelfde. Zou bij een gegeven wapening het bijbehorende momentenvlak nauwkeurig bekend zijn, dan wordt ook de doorbuiging redelijk nauwkeurig gevonden. Hierbij kan in overeenstemming met het voorgaande aan de krommingenvlakken dezelfde vorm worden gegeven als aan de bijbehorende momentenvlakken. Bij gelijkmatig verdeelde belastingen is de desbetreffende vorm dus een parabool. De in de berekening toe te passen krommingen K_v in het veld en K_s bij de steunpunten moeten op de eerder be-

schreven wijze uit de M-Kappa diagrammen worden berekend.

De doorbuiging wordt bij gegeven omstandigheden bepaald door een gemiddeld aanwezige wapening in alle maatgevende sneden die de draagkracht van een veld bepalen. De precieze momentenverdeling en dus ook de wapeningverdeling maakt niet zo veel uit. Ook het toepassen van herverdeling van momenten heeft geen of nauwelijks invloed op de doorbuiging. Het maakt met andere woorden nauwelijks uit of de wapening wordt gebaseerd op de elastische momenten of op een hiervan afwijkende momentenverdeling.

Doorbuiging wordt bepaald door de randvoorwaarden en de gemiddelde stijfheid van de ligger; de verdeling van deze stijfheid over de ligger is van minder belang.

Daarom is gekozen voor een benaderende berekening van de doorbuiging voor konstrukties met inklemmingsmomenten. In overeenstemming met de praktijk wordt daarbij uitgegaan van de momentenverdeling die volgens de lineaire elasticiteitstheorie optreedt. De uitdrukking die de doorbuiging weergeeft als functie van de krommingen luidt:

$$\delta = \frac{5 - k}{1 + k} * \frac{1}{48} * (K_v + K_s) * L^2 \quad [\text{mm}] \quad \{7\}.$$

De coëfficiënt k geeft verhouding tussen het gemiddelde van de lineair-elastische steunpuntsmomenten en het lineair-elastische veldmoment weer. K_v en K_s geven de kromming van respectievelijk het veld en het steunpunt weer, behorende bij het lineair-elastische moment en het gemiddelde van de aanwezige wapening. De doorbuiging wordt bepaald in het midden van de overspanning L , de afwijking die optreedt bij asymmetrische momentenverhoudingen, is verwaarloosbaar klein.

§ 3.1 Inleiding.

Dit hoofdstuk behandelt de afleiding van stelsels van vergelijkingen van spannings-rek diagrammen, waarmee voor het tijdstip $t = 0$ de moment-krommingsdiagrammen van gewapend beton berekend kunnen worden. Deze methode gaat uit van een gescheurde doorsnede tot aan de neutrale lijn over de volle lengte, zodat de invloed van de tension-stiffening achterwege wordt gelaten.

Ook hier gaat het, zoals in het hele verslag, om een doorsnede-berekening waarbij de hoogte (h_t), de wapening (A_s) en de dekking (d) bekend verondersteld worden. Het verband tussen de overspanning en de hoogte van de betondoorsnede is volgens de slankheidsformules van artikel E 507.1 uit de Voorschriften Beton:

$$h \geq \frac{500 * c}{7000} * L_{min} \quad [mm] \quad \{8\}.$$

$$h \geq \frac{1}{35} * L_{min} \quad [mm] \quad \{9\}.$$

Indien voor de veiligheidscoëfficiënt c geen lagere waarde als 0.4 gekozen wordt (wat in dit verslag gedaan wordt), blijkt formule {8} steeds maatgevend te zijn.

Uitgaande van de minimale eis (slank konstrueren), dan volgt uit {8}:

$$h_t = \frac{500 * c}{7000} * L_{min} + \text{dekking} \quad [mm] \quad \{10\}.$$

waarin:

$L_{min} = 1.00 * L$, bij een aan twee zijden vrij opgelegde plaat
 $= 0.85 * L$, bij een plaat, die aan de ene zijde vrij is opgelegd en aan de andere zijde is ingeklemd, of over de ondersteuning doorgaat
 $= 0.75 * L$, bij een plaat, die aan beide zijde is ingeklemd of over de ondersteuning doorgaat

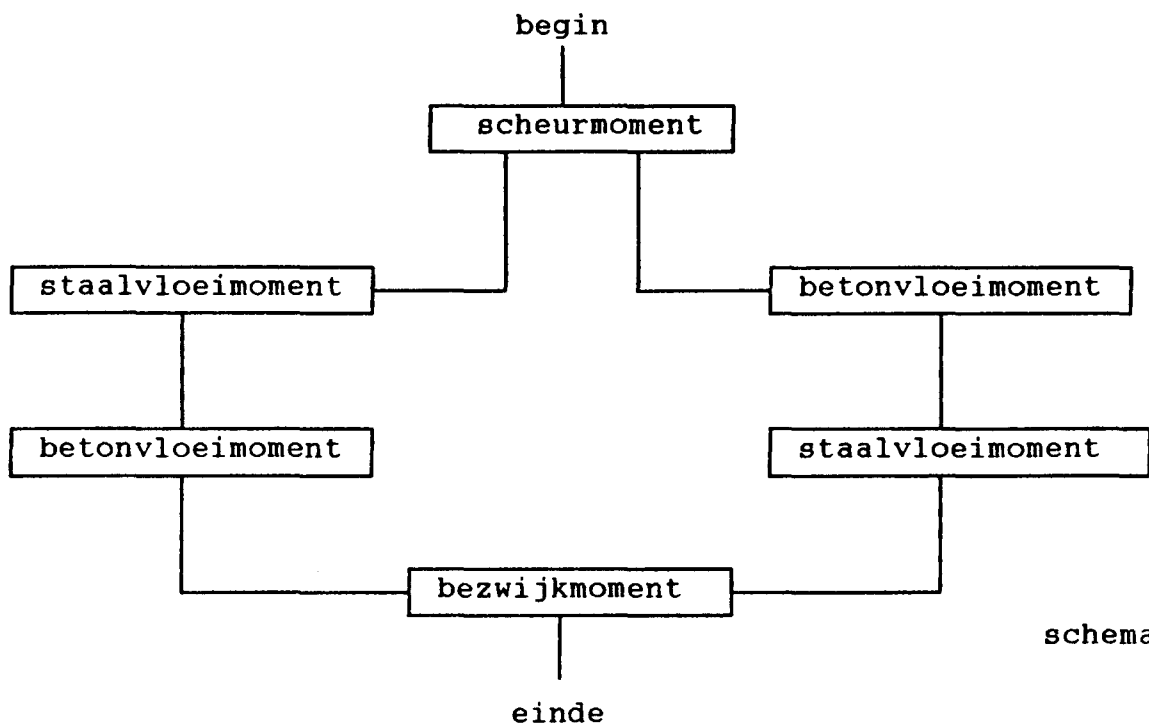
Verder wordt in dit verslag gewerkt met betonkwaliteit B 25 en staalkwaliteit FeB 500, waardoor de volgende gegevens bekend zijn:

B 25 -----> $E'_b = 29000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$,
 $f'_b = 20 \text{ [N/mm}^2\text{]}$,
 $f_{b\sigma} = 1.2 * (1 + 0.05 * 25) = 2.7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.

FeB 500 -----> $E_s = 206000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$,
 $f_s = 500 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.

De verhouding n van de elasticiteitsmoduli komt hiermee op 7.1 (206000 / 29000) en de breedte b is standaard 1000 mm.

Omdat de wapening en de hoogte bekend zijn, is er een tweesplitsing gemaakt nadat het scheurmoment bereikt is. Immers afhankelijk van de gekozen waarden wordt of eerst het staalvloeimoment bereikt of eerst het betonvloeimoment. In schema:



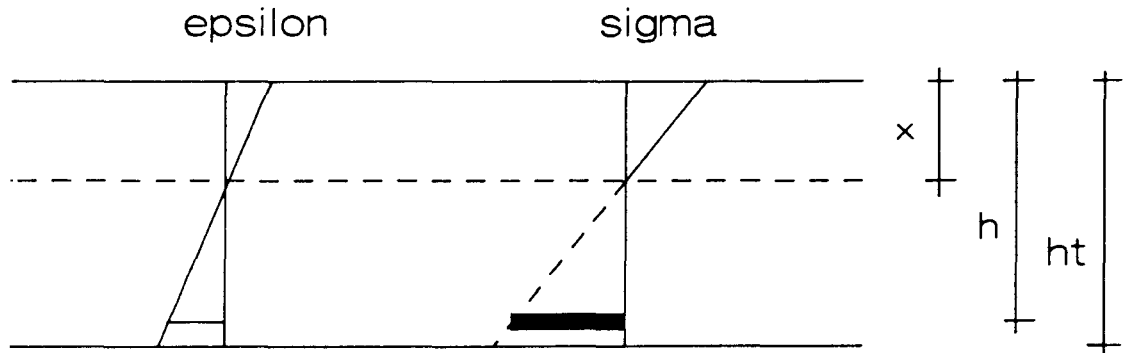
schema 1

In elk van deze vier verschillende stadia kunnen drie vergelijkingen opgesteld worden:

- 1) momentenvergelijking
- 2) krachtenvergelijking
- 3) vervormingenvergelijking

§ 3.2 Afleiding vergelijkingen.

Stadium 1 Het scheurmoment M_r .



figuur 6 $\sigma_b = f_b = 2.7 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_b = 9.31\text{E-}05$

De vergelijkingen luiden:

$$1) M_r = A_a * \sigma_a * (h - x) + \sigma_b * (h_t - x) * 0.5 * b * 0.66 * (h_t - x) + \sigma'_b * x * 0.5 * b * 0.66 * x$$

$$2) A_a * \sigma_a + \sigma_b * (h_t - x) * 0.5 * b = \sigma'_b * x * 0.5 * b$$

$$3) \frac{\epsilon_a}{h - x} = \frac{\epsilon'_b}{x}$$

$$\text{uit (2): } \sigma_a = \frac{\sigma'_b * x * 500 - \sigma_b * (h_t - x) * 500}{A_a}$$

$$\text{uit (3): } \sigma_a = \frac{7.1 * \sigma'_b * (h - x)}{x}$$

$$(2) = (3) \text{ -----> } x = \frac{500 * h_t^2 + 7.1 * A_a * h}{1000 * h_t + 7.1 * A_a}$$

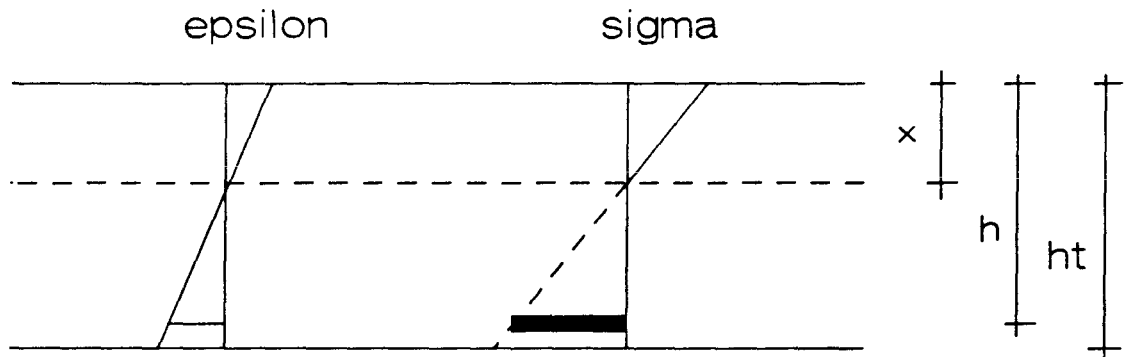
$$\sigma'_b = \frac{x}{h_t - x} * 2.7 , \quad \sigma_a = \frac{h - x}{h_t - x} * 19.17$$

$$K = \frac{2.7}{(h_t - x) * 29000}$$

$$M_r = \frac{x^3}{h_t - x} * 900 + \frac{(h - x)^2}{h_t - x} * 19.17 + 900 * (h_t - x)^2$$

Stel wapening vloeit eerder dan het beton.

Stadium 2a Het staalvloeimoment M_s .



figuur 7 $\sigma_a = f_a = 500 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_a = 2.42\text{E-}03$

De vergelijkingen luiden:

$$1) M_s = A_a * 500 * (h - 0.33 * x)$$

$$2) A_a * 500 = \sigma'_b * x * 0.5 * b$$

$$3) \frac{2.42E-03}{h - x} = \frac{\varepsilon'_b}{x}$$

$$\text{uit (2): } \sigma'_b = \frac{A_a}{x}$$

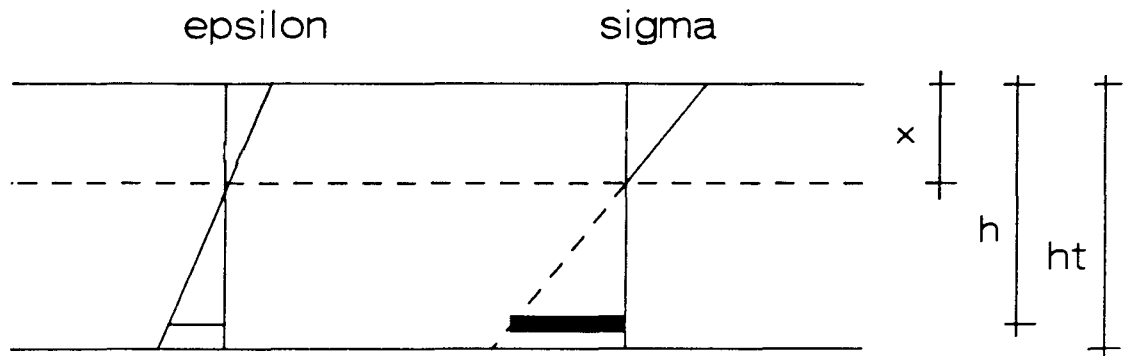
$$\text{uit (3): } \sigma'_b = \frac{2.42 * 29 * x}{h - x}$$

$$(2) = (3) \text{ -----> } x = \frac{-A_a + \sqrt{(A_a^2 + 282 * A_a * h)}}{2 * 70.4}$$

$$\sigma'_b = \frac{A_a}{x}, \quad \sigma_a = 500$$

$$K = \frac{\sigma'_b}{x * 29000}, \quad M_s = A_a * 500 * (h - 0.33 * x)$$

Stadium 3a Het betonvloeimoment M_b .



figuur 8 $\sigma'_b = f'_b = 20 \text{ N/mm}^2$
 $\varepsilon'_b = 6.89\text{E-}04$

De vergelijkingen luiden:

$$1) M_b = A_a * 500 * (h - 0.33 * x)$$

$$2) A_a * 500 = 20 * x * 0.5 * b$$

$$3) \frac{\varepsilon_a}{h - x} = \frac{6.89\text{E-}04}{x}$$

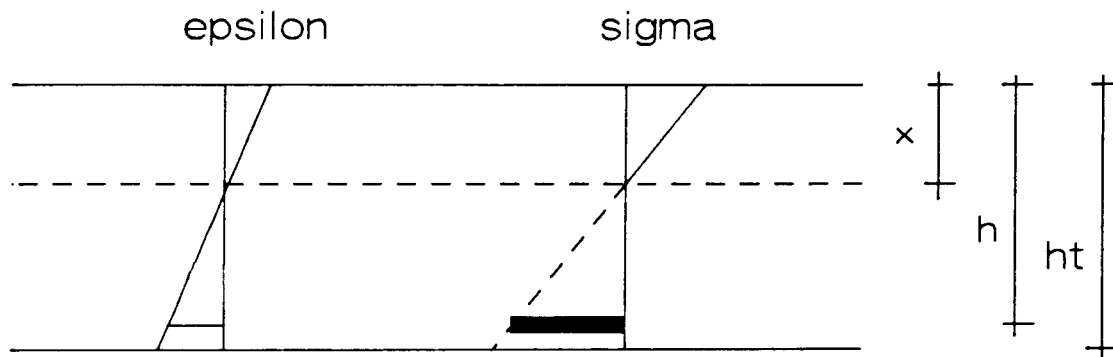
$$\text{uit (2): } x = \frac{A_a}{20}$$

$$\sigma'_b = 20, \quad \sigma_a = 500$$

$$K = \frac{6.89\text{E-}04}{x}, \quad M_b = A_a * 500 * (h - 0.33 * x)$$

Stel beton vloeit eerder dan het staal.

Stadium 2b Het betonvloeimoment M_b .



figuur 9 $\sigma'_b = f'_b = 20 \text{ N/mm}^2$
 $\varepsilon'_b = 6.89\text{E-}04$

De vergelijkingen luiden:

$$1) M_b = A_a * \sigma_a * (h - 0.33 * x)$$

$$2) A_a * \sigma_a = 20 * x * 0.5 * b$$

$$3) \frac{\varepsilon_a}{h - x} = \frac{6.89\text{E-}04}{x}$$

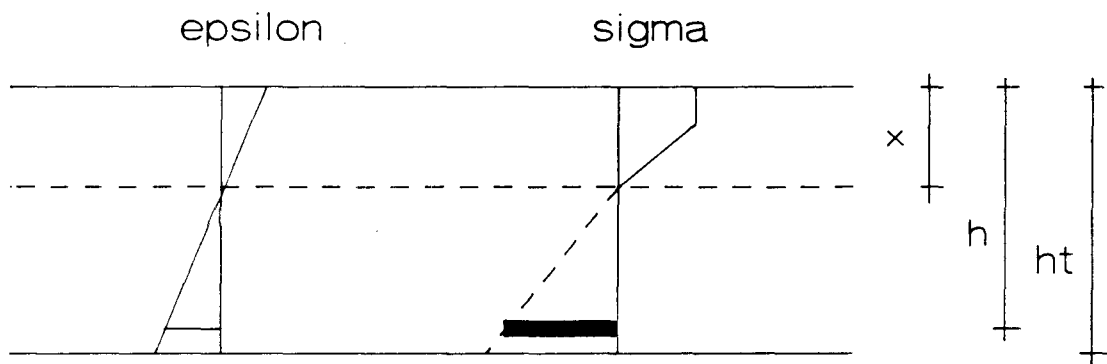
x is hetzelfde als situatie 2a:

$$x = \frac{-A_a + \sqrt{(A_a^2 + 282 * A_a * h)}}{2 * 70.4}$$

$$\sigma_a = \frac{10000 * x}{A_a}, \quad \sigma'_b = 20$$

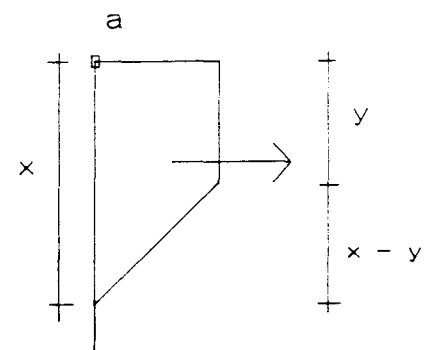
$$K = \frac{6.896E-04}{x}, \quad M_b = 10000 * x * (h - 0.33 * x)$$

Stadium 3b Het staalvloeimoment M_s .



figuur 10a $\sigma_a = f_a = 500 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_a = 2.42E-03$

$$z_{wp_a} = \frac{\frac{10}{3} * x^2 + \frac{10}{3} * y^2 + \frac{10}{3} * x * y}{10 * x + 10 * y}$$



De vergelijkingen luiden:

$$1) M_s = A_s * 500 * (h - z_{wp_a})$$

$$2) A_s = 20 * x + 20 * y$$

$$3) \frac{6.896E-04}{x - y} = \frac{2.42E-03}{h - x}$$

figuur 10b

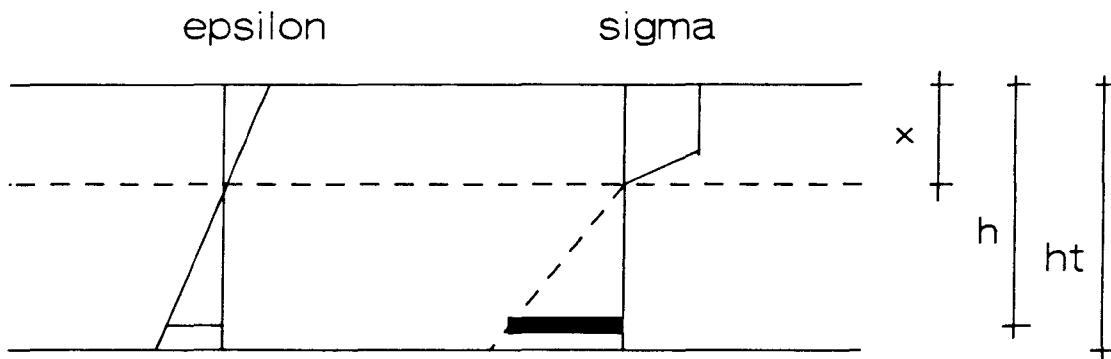
uit (3): $20 * x - 15.6 * y - 4.42 * h = 0$

(2) en (3): $\rightarrow y = \frac{A_a - 4.42 * h}{35.58}$

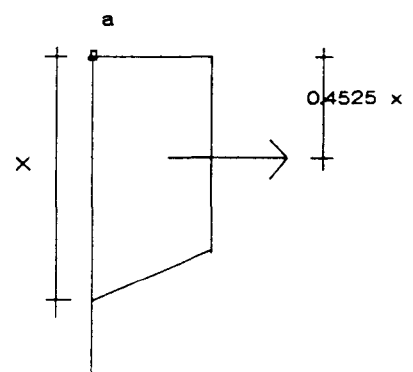
$x = \frac{0.778 * A_a + 4.42 * h}{35.58}$, $\sigma'_b = 20$, $\sigma_a = 500$

$K = \frac{2.24E-03}{h - x}$, $M_s = A_a * 500 * (h - z_{wp_a})$

Stadium 4 Het bezwijkmoment M_u .



figuur 11a $\sigma'_b = 20 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_a = 500 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon'_b = 3.5E-03$



$z_{wp_a} = 0.4525 * x$

figuur 11b

De vergelijkingen luiden:

$$1) M_u = A_s * 500 * (h - 0.4525 * x)$$

$$2) A_s * 500 = 18000 * x$$

$$3) \frac{3.5E-03}{x} = \frac{\epsilon_s}{h - x}$$

$$\text{uit (2): } x = \frac{A_s}{36}, \quad \sigma'_b = 20, \quad \sigma_s = 500$$

$$K = \frac{3.5E-03}{x}, \quad M_u = A_s * 500 * (h - 0.4525 * x)$$

§ 3.3 Resultaten.

Ondanks een handmatige uitvoering van de berekening, kan op een snelle en eenvoudige wijze een goed resultaat bereikt worden voor de situatie $t = 0$.

Door aanpassing van het sigma-epsilon diagram van het gewapend beton kan ook voor de situatie $t = \infty$ het moment-krommings diagram bepaald worden. Een handmatige uitvoering van deze methode wordt een stuk lastiger, omdat steeds bij een verschillende tijdsafhankelijke elasticiteitsmodulus de vergelijkingen opnieuw afgeleid moeten worden. Hoofdstuk 5 behandelt een rekenmethode die vergelijkbaar is met deze methode, maar het voordeel biedt om op een eenvoudige wijze het moment-krommingsdiagram voor de situatie $t = \infty$ te bepalen. Tevens kan deze methode ook de invloed van de tension-stiffening zichtbaar maken.

In figuur 12 (zie blz. 21) zijn twee moment-krommings diagrammen getekend volgens bovenstaande methode, voor respectievelijk een laag en een hoog wapeningspercentage. De hoogte en de dekking van de

doorsnede zijn gelijk gehouden, zodat het verschil in het optredende momentenverloop duidelijk naar voren komt.

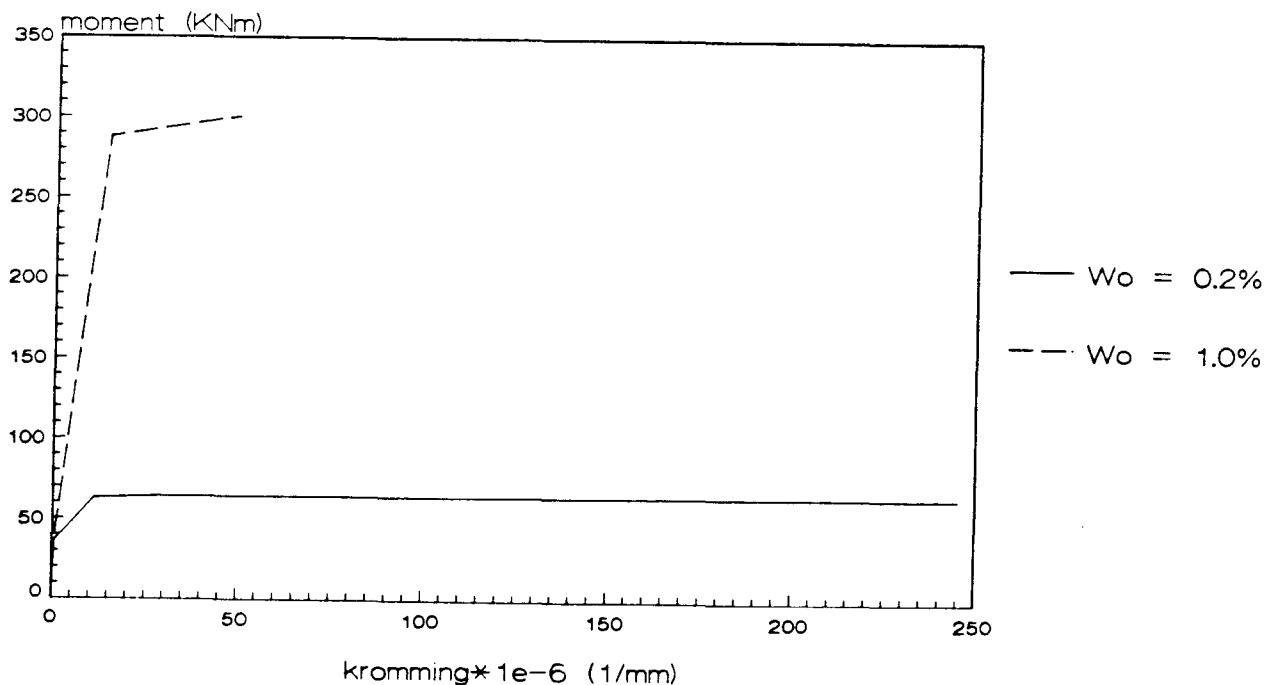
Voor allebei de doorsneden geldt:

lengte = 6000 mm, dekking = 20 mm, veiligheidscoëfficiënt $c = 0.6$

$$h_t = \frac{500 * 0.6}{7000} * 6000 + 20 = 277 \text{ mm}$$

t = 0		moment [KNm]	x [mm]	σ'_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]	K * 1E-06 [1/mm]
$w_0 = 0.2 \%$	M_r	35.9	140.1	2.8	16.4	0.6
	M_s	62.7	39.8	12.9	500.0	11.1
	M_b	63.9	25.7	20.0	500.0	26.8
	M_u	64.9	14.3	20.0	500.0	245.0
$w_0 = 1.0 \%$	M_r	40.2	142.8	3.0	17.2	0.7
	M_b	185.1	80.3	20.0	312.5	8.6
	M_s	287.4	88.3	20.0	500.0	14.4
	M_u	300.0	71.4	20.0	500.0	49.0

Figuur 12 M-K diagram, $t = 0$
geen tension-stiffening, $h_t = 277 \text{ mm}$



Hoofdstuk 4 BEREKENINGSMETHODE 2
AFLEIDING VAN EEN FICTIEVE E-MODULUS.

§ 4.1 Het opstellen van een vergelijking.

Indien gewapend beton een homogeen, isotroop en lineair elastisch materiaal zou zijn, dan kan de doorbuiging van een statisch bepaalde konstruktie op eenvoudige wijze bepaald worden met de formule:

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{q_x * L^4}{E_b * I_b} \quad [\text{mm}] \quad \{11\}.$$

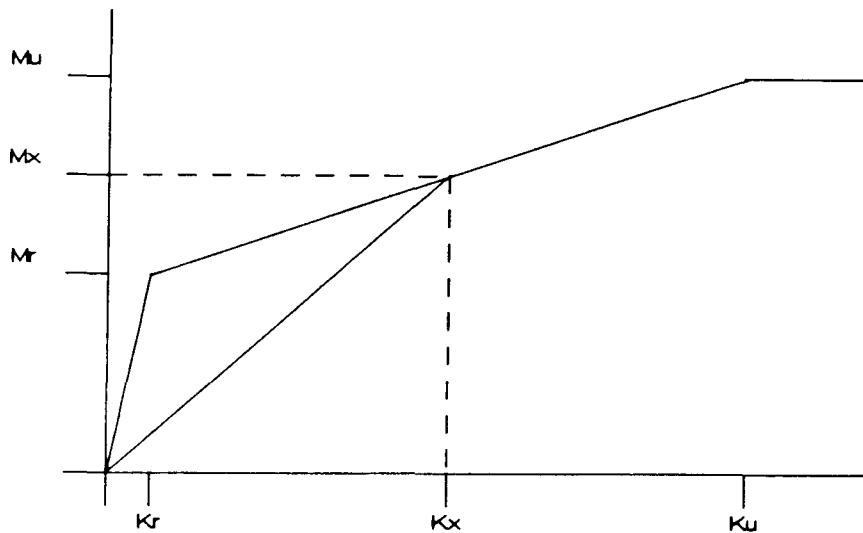
De gelijkmatig verdeelde belasting q_x is de gebruiksbelasting waarbij de doorbuiging bepaald kan worden.

Bovengenoemde 'ideale' eigenschappen bezit beton niet, zodat een andere methode gebruikt zal moeten worden om tot enig resultaat te komen.

Eén van die methoden, welke gebruik maakt van een zogenaamde fictieve E-modulus, zal nu behandeld worden.

Uitgangspunten zijn het drietakkige M-Kappa diagram van gewapend beton en de aanwezigheid van een gebruiksmoment M_x , dat groter is dan het scheurmoment M_r en kleiner dan het bezwijkmoment M_u . Er ontstaat een kromming K_x (zie figuur 13 blz. 23) die gelijk is aan:

$$K_x = \frac{M_r}{(EI)_o} + \frac{M_x - M_r}{(EI)_g} \quad [\text{mm}^{-1}] \quad \{12\}.$$



figuur 13 Het M-Kappa diagram voor gewapend beton.

De berekende kromming K_x bij dit moment M_x kan ook bereikt worden door het moment M_x te delen door een fictieve buigstijfheid $(EI)_f$. Deze buigstijfheid $(EI)_f$ bestaat uit een fictieve E-modulus en het traagheidsmoment I_b van de ongescheurde betondoorsnede. In formulevorm:

$$(EI)_f = E'_{bf} * I_b \quad [Nmm^2] \quad \{13\}.$$

Uit het bovenstaande volgt:

$$\frac{M_x}{(EI)_f} = \frac{M_r}{(EI)_o} + \frac{M_x - M_r}{(EI)_g} \quad \{14\},$$

anders geschreven:

$$\frac{M_x}{(EI)_f} = \frac{M_r}{(EI)_o} + \frac{M_x - M_r}{(EI)_o * \frac{(EI)_g}{(EI)_o}} \quad \{15\},$$

stel nu dat $\alpha = \frac{(EI)_o}{(EI)_g}$ {16},

invullen van {16} in {15} geeft:

$$\frac{M_x}{(EI)_f} = \frac{M_r + \alpha * M_x - \alpha * M_r}{(EI)_o} \quad \{17\},$$

anders geschreven:

$$E'_{bf} = \frac{M_x}{(1 - \alpha) * M_r + \alpha * M_x} * E'_b \quad [N/mm^2] \quad \{18\},$$

stel nu $\beta = \frac{M_x}{M_r}$ {19},

invullen van {19} in {18} geeft:

$$E'_{bf} = \frac{\beta}{\alpha * \beta - \alpha + 1} * E'_b \quad [N/mm^2] \quad \{20\},$$

stel nu $\mu = \frac{\beta}{\alpha * \beta - \alpha + 1}$ {21},

invullen van {21} in {20} geeft:

$$E'_{bf} = \mu * E'_b \quad [N/mm^2] \quad \{22\}.$$

Uit formule {22} blijkt dat de fictieve E-modulus gelijk is aan een faktor μ maal de oorspronkelijke elasticiteitsmodulus E'_b . De faktor μ is afhankelijk van α (de verhouding tussen de buigstijf-

heden van scheurend en niet-gescheurd beton) en van β (de verhouding tussen het gebruiksmoment waarbij de doorbuiging bepaald wordt en het scheurmoment).

Vervolgens wordt formule [16] nog verder ontleed, waarbij de ingevoerde faktor n de verhouding tussen de elasticiteitsmoduli van staal en beton weergeeft:

$$n = \frac{E_s}{E'_b} \quad \{23\}.$$

$$\{16\}: \alpha = \frac{(EI)_o}{(EI)_g} = \frac{1/12 * b * h_t^3 * E'_b}{1000 * w_o * b * h^3} ,$$

$$\alpha = \frac{100 * h_t^3}{6 * w_o * n * h^3} \quad \{24\}.$$

§ 4.2 Invloed van de kruip.

Tot zover gelden deze afleidingen om de direkte doorbuigingen te berekenen. Op heel eenvoudige wijze zijn deze formules te veranderen, zodat ze ook bruikbaar zijn om de invloed van de kruip ermee te bepalen.

Voor de bepaling van een lange duur M-Kappa diagram is gekozen voor een vereenvoudigde werkwijze met behulp van een kruipkrommingscoëfficiënt C_s volgens figuur 14 op blz. [Monnier 1977: 330-337]. Deze coëfficiënt C_s is een faktor die de reducerende invloed van wape-ning op de toename van de kruipvervorming weergeeft en waarin ook het vergrotende effect van het afnemen van het scheurmoment moet worden verdiskonteerd.

Volgens artikel A 201.3.4 van de Voorschriften Beton moet de schijnbare elasticiteitsmodulus E'_b berekend worden met de formule:

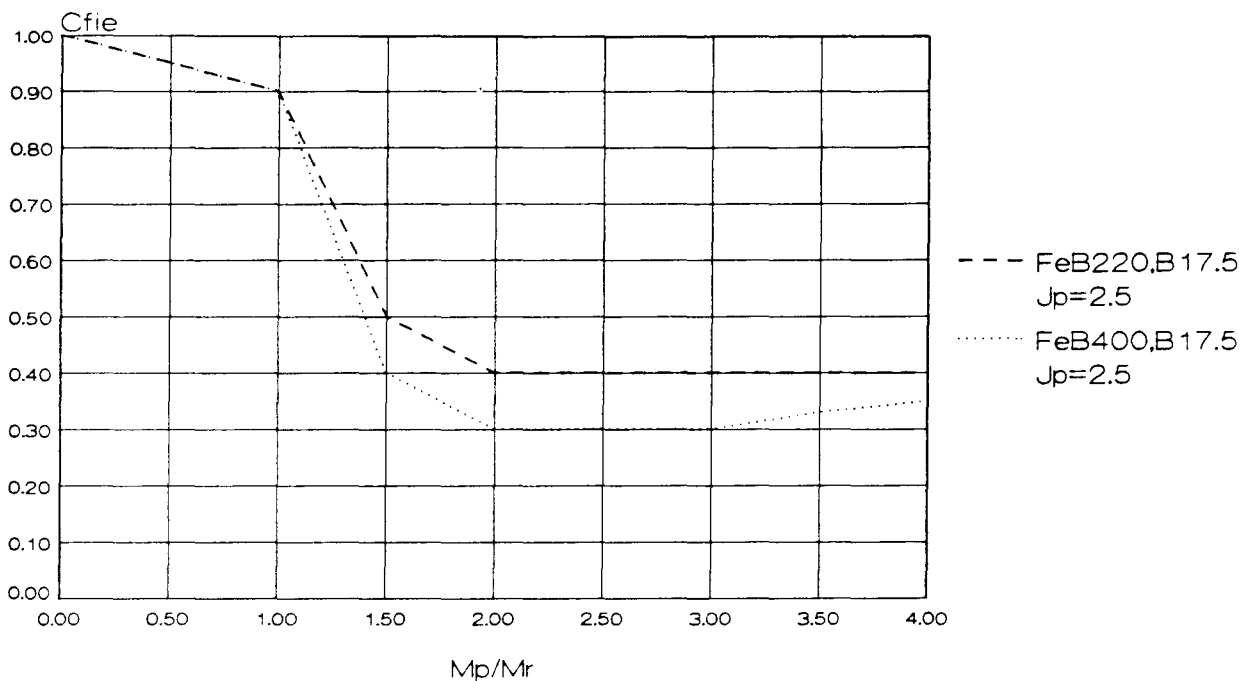
$$E'_{bt} = \frac{E'_b}{(1 + \phi_t)} \quad [N/mm^2] \quad \{25\}.$$

De elasticiteitsmodulus E'_b kan afgelezen worden uit tabel A-1 en de kruipcoëfficiënt ϕ_t uit artikel A 201.3.4 van de Voorschriften Beton. Daar hiermede een zeer veilige bovengrens voor de coëfficiënt ϕ - bepaald wordt, kan deze waarde voor berekening van de doorbuiging gereduceerd worden [Kamerling 1984: 5.3-5.4]. Mede met het oog op de reducerende invloed van de vertraagd optredende krommingscoëfficiënt C_s , wordt in dit verslag de schijnbare elasticiteitsmodulus E'_{bt} bepaald met de formule:

$$E'_{bt} = \frac{E'_b}{(1 + C_s * \phi_t)} \quad [N/mm^2] \quad \{26\}.$$

De waarde C_s kan in figuur 14 (zie blz. 27) afgelezen worden. In dit verslag wordt de lijn van FeB 400, B 17.5 en $J_p = 2.5$ aangehouden, omdat weliswaar de lijn nog iets lager had moeten lopen vanwege FeB 500 waar steeds mee gerekend wordt, maar aan de andere kant zou die fictieve FeB 500-lijn weer iets omhoog moeten vanwege een hogere betonkwaliteit van B 25.

In figuur 14 is M_p het moment van de permanent aanwezige belasting, bestaande uit het eigen gewicht, de rustende belasting en een deel van de veranderlijke belasting. In dit verslag zal steeds een waarde van eenderde van de veranderlijke belasting meedoen aan de bijdrage van M_p .



figuur 14 De factor C_{fie} voor de bepaling van de vertraagd optredende kromming door de kruip.

Afgeleid is dat:

$E'_{bt} = \mu * E'_b$; de fictieve E-modulus ($t = 0$) is gelijk aan een factor maal de oorspronkelijke E-modulus van het beton. Voor de hand ligt het nu om de fictieve E-modulus ($t = \infty$) ook gelijk te maken aan een factor maal de gereduceerde E-modulus. In formule-vorm:

$E'_{bft} = \mu_t * E'_{bt}$ met:

$$\{26\}: E'_{bft} = \frac{E'_b}{(1 + C_{fie} * \phi_t)} \quad [N/mm^2].$$

De factor μ is afhankelijk van α en β ; met betrekking tot de kruip

is de faktor μ_t alleen afhankelijk van α (de verhouding tussen scheurend en niet-scheurend beton). Het scheurmoment M_r is immers tijdsafhankelijk in dit verslag, omdat deze invloed al verwerkt zit in de krommingscoëfficiënt C_s .

Om nu E'_{bft} te bepalen moet het volgende gedaan worden:
bepaal E'_{bt} en reken de nieuwe n_t uit volgens:

$$n_t = \frac{E_s}{E'_{bt}} \quad \{27\},$$

reken α_t uit met:

$$\alpha_t = \frac{100 * h_t^3}{6 * w_o * n_t * h^3} \quad \{28\},$$

bepaal met de formules {19} en {28} μ_t volgens:

$$\mu_t = \frac{\beta}{\alpha_t * \beta - \alpha_t + 1} \quad \{29\},$$

$$E'_{bft} = \mu_t * E'_{bt} \quad [N/mm^2] \quad \{30\}.$$

§ 4.3 Materiaal-eigenschappen.

Door nu gangbare materiaalgegevens en verhoudingen in te vullen zijn deze formules sterk te vereenvoudigen.

Gewapend betonvloeren op het werk gestort, worden tegenwoordig in de meeste gevallen gemaakt van betonkwaliteit B 25 en staalkwaliteit FeB 500. Voor de hoogte-verhouding h_t/h is na enig rekenwerk gekozen 1.085; is de nuttige hoogte h gelijk aan 230 mm dan wordt de totale hoogte h_t $1.085 * 230 = 250$ mm. Dit is in overeenstemming met de benodigde dekking van 15 mm en met een wapeningsstaaf met

een diameter van 10 mm ($15 + 0.5 * 10 = 20$ mm). Is de nuttige hoogte h groter dan 230 mm dan stijgt h_t ook, terwijl de voorgeschreven dekking 15 mm blijft. Dit verschil is dan op te vangen door een grotere wapeningsdiameter te kiezen, welke in de meeste gevallen ook nodig blijkt te zijn om een groter moment op te nemen. Uiteraard geldt ook het omgekeerde indien h kleiner is dan 230 mm. Voor de breedte b die in de formules voorkomt, kan voor betonvloeren steeds een waarde van 1000 mm ingevuld worden.

$$h_t = 1.085 * h \quad [\text{mm}] \quad \{31\}.$$

$$\begin{aligned} \text{B 25} \text{ -----} &\rightarrow E'_b = 29000 \quad [\text{N/mm}^2], \\ &f'_b = 20 \quad [\text{N/mm}^2], \\ &f_{b_m} = 1.2 * (1 + 0.05 * 25) = 2.7 \quad [\text{N/mm}^2]. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FeB 500} \text{ -----} &\rightarrow E_s = 206000 \quad [\text{N/mm}^2], \\ &f_s = 500 \quad [\text{N/mm}^2]. \end{aligned}$$

$$\{23\}: n = \frac{206000}{29000} = 7.1$$

De wapening wordt bepaald met de formule:

$$A_s = \frac{W_o}{100} * 1000 * h \quad [\text{mm}^2] \quad \{32\}.$$

$$\{1\}: M_r = 2.7 * \frac{1}{6} * 1000 * h_t^2 = 450 * h_t^2 \quad [\text{Nmm}] \quad \{33\}.$$

De hoogte x van de betondrukzone wordt bepaald met:

$$x = \frac{A_s * f_s}{0.9 * b * f'_b} \quad [\text{mm}] \quad \{34\}$$

$$\{34\}: x = \frac{A_a * 500}{0.9 * 1000 * 20} = 0.028 * A_a \quad [\text{mm}] \quad \{35\}.$$

$$\{24\}: \alpha = \frac{100 * 1.085^3}{6 * 7.1 * w_o} = \frac{3}{w_o} \quad \{36\}.$$

Het bezwijkmoment M_u wordt bepaald met de formule:

$$M_u = A_a * f_a * (h - 0.4525 * x) \quad \{37\}.$$

Invullen van {32} en {35} in {37} geeft:

$$M_u = \frac{w_o}{100} * 1000 * h * 500 * \left[h - 0.4525 * 0.028 * \frac{w_o}{100} * 1000 * h \right],$$

$$M_u = 5000 * h^2 * w_o - 628.5 * h^2 * w_o^2 \quad [\text{Nmm}] \quad \{38\}.$$

Eerder is al afgeleid dat $\beta = \frac{M_x}{M_r}$ (zie {19}), waarin M_x = het

gebruiksmoment voorstelt waarbij de doorbuiging bepaald wordt. In feite is M_x een faktor maal M_u ; $M_x = c * M_u$. In veel gevallen stelt de faktor c voor:

$$c = \frac{1}{\text{belastingsfactor}} \quad \{39\}.$$

$$M_x = c * M_u \quad [\text{KNm}] \quad \{40\},$$

en hieruit volgt dat:

$$\{19\}: \beta = \frac{c * M_u}{M_r} = \frac{c * (5000 * h^2 * w_0 - 628.5 * h^2 * w_0)}{450 * h^2}$$

$$\beta = c * (9.44 * w_0 - 1.4 * w_0^2) \quad \{41\}.$$

$$\{21\}: \mu = \frac{\beta}{\alpha * \beta - \alpha + 1} \quad \text{ofwel:}$$

$$\mu = \frac{c * (9.44 * w_0 - 1.4 * w_0^2)}{\frac{3}{w_0} * c * (9.44 * w_0 - 1.4 * w_0^2) - \frac{3}{w_0} + 1} \quad , \text{ofwel}$$

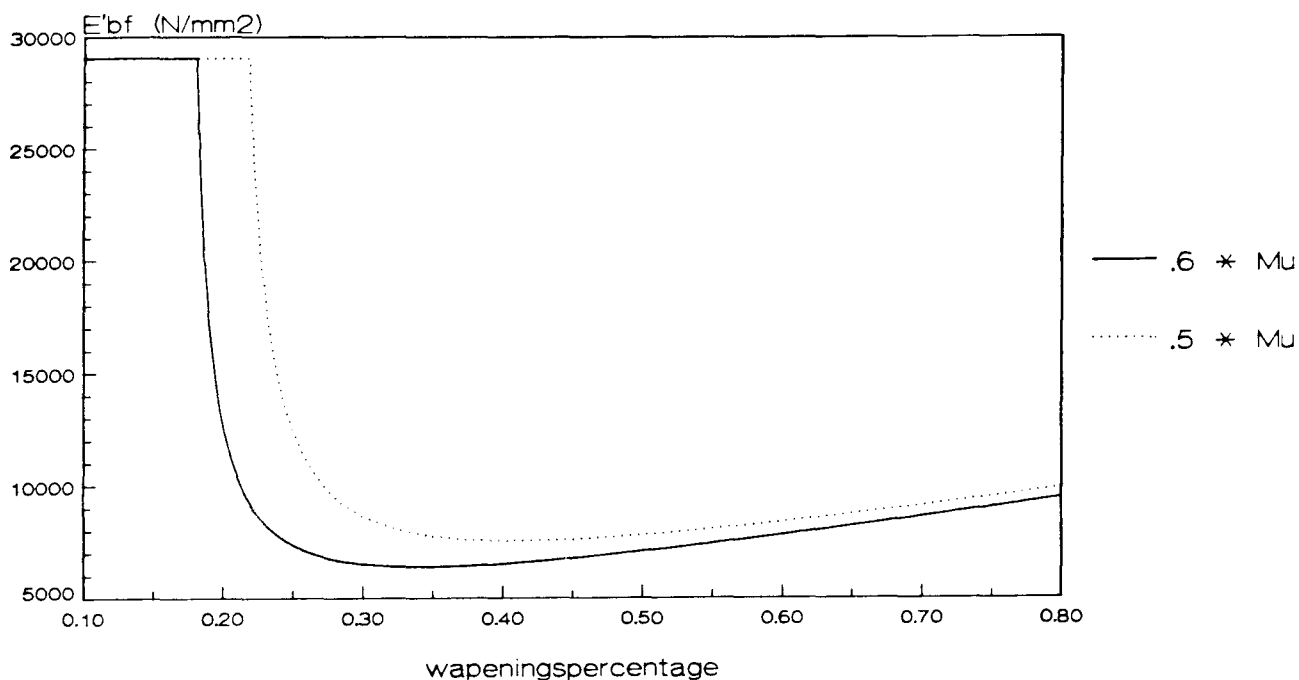
$$\mu = \frac{9.44 * w_0 - 1.4 * w_0^2}{28.32 - 4.2 * w_0 - \frac{3}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad \{42\}.$$

In formule {42} is te zien dat, bij een gekozen belastingssituatie van bijvoorbeeld $0.6 * M_u$ (c is dan 0.6), μ een functie is van het wapeningspercentage w_0 . Als nu formule {42} nog met 29000 vermenigvuldigd wordt, dan kan de fictieve elasticiteitsmodulus E'_{bf} berekend worden.

$$E'_{bf} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.4 * w_0^2) * 29000}{28.32 - 4.2 * w_0 - \frac{3}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{43\}.$$

Voor E'_{bf} is voor de belastingssituaties $0.6 * M_u$ en $0.5 * M_u$ een grafiek gemaakt (zie figuur 15 op blz. 32).

Figuur 15 bepaling E'_{bf}
 $E_b = 29000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



§ 4.4 Voorwaarden voor E'_{bt} .

Tot zover geldt weer de situatie $t = 0$ en de direkte doorbuiging is te berekenen. Gaat de tijdsfactor lopen van $t = 0$ naar $t = \infty$, dan komt het verschijnsel kruip weer om de hoek kijken en wordt de fictieve elasticiteitsmodulus met de volgende formule bepaald:

$$\{30\}: E'_{bft} = \mu_t * E'_{bt} \text{ [N/mm}^2\text{]}.$$

De E-modulus (E'_{bt}) is afhankelijk van de krommingscoëfficiënt C_s en de kruipcoëfficiënt ϕ_t .

Uit artikel A 201.3.4 van Voorschriften Beton is op te merken dat bij betonvloeren B 25 met normale dikten en bij een relatieve vochtigheid van 40 à 50%, de coëfficiënt ϕ_t schommelt rond de waarde van 3. Zonder veel afbreuk te doen aan de nauwkeurigheid van de berekening, kan voor de coëfficiënt ϕ_t een vaste waarde van 3 worden aangehouden. De formule voor de tijdsafhankelijke E-modulus wordt dan:

$$\{26\}: E'_{bt} = \frac{29000}{(1 + 3 * C_s)} \quad [N/mm^2]$$

Indien, afhankelijk van de verhouding permanent moment gedeeld door scheurmoment, de coëfficiënt C_s bekend is, kan de tijdsafhankelijke E-modulus berekend worden. Dan kan, net als bij de tijdsafhankelijke E-modulus, een formule opgesteld worden voor E'_{bt} , met w_0 en c als variabelen.

In dit verslag is een keuze mogelijk uit de volgende veel voorkomende waarden van E'_{bt} : 8000, 9000, 10000, 11000 of 12000 N/mm². Deze concretisering scheidt voor elke keuze van E'_{bt} een voorwaarde waaraan C_s moet voldoen. Omdat volgens figuur 14 (zie blz. 27) de faktor C_s gerelateerd is aan M_p/M_r , betekent dit ook dat bij een bepaalde keuze van E'_{bt} de verhouding M_p/M_r aan een bepaalde voorwaarde moet voldoen. Stel:

$$\frac{M_p}{M_r} = z \quad \{44\},$$

dan volgt uit de concretisering van E'_{bt} :

E'_{bt}	C_s	z
12000	0.47	1.43
11000	0.55	1.35
10000	0.63	1.27
9000	0.74	1.16
8000	0.86	1.04

tabel 2

M_p is het moment van de permanent aanwezige belasting, bestaande uit het eigen gewicht q_0 , de rustende belasting q_r en een derde van de veranderlijke belasting q_v . Met andere woorden: het permanente moment M_p is een faktor maal de permanente belasting q_p maal L^2 .

Stel deze faktor is gelijk aan a, dan krijgen we: $M_p = a * q_p * L^2$.
 Uitgaande van een gelijkmatig verdeelde belasting, zodat de momentenlijnen parabolen zijn, volgt met {33} uit {44}:

$$\frac{a * (q_g + q_r + 0.33 * q_q) * L^2}{450 * h_t^2} = z \quad \{45\}.$$

Uitgaande van de minimale eis (slank konstrueren), volgt met {31} uit {8}:

$$h_t = \frac{1.085 * 500 * c}{7000} * L_{min} \quad [mm] \quad \{46\}.$$

Invullen van {46} in {45} levert de volgende vergelijking op:

$$z = \frac{a * (q_g + q_r + 0.33 * q_q) * L^2}{2.7 * c^2 * L_{min}^2} \quad \{47\}.$$

Voor de faktor c zijn in dit verslag twee variaties mogelijk, te weten 0.5 of 0.6, en voor de faktor a vier variaties, te weten 1/8, 1/12, 1/16 of 1/24. Nu is voor elke variatie van L_{min} een grafiek gemaakt, waarbij afhankelijk van a en c de voorwaarde af te lezen is om een gekozen E'_{bt} te mogen gebruiken (zie voor $L_{min} = L$, $0.85 * L$ of $0.75 * L$ respectievelijk figuur 16, 17, 18 zie blz. 35 + 36).

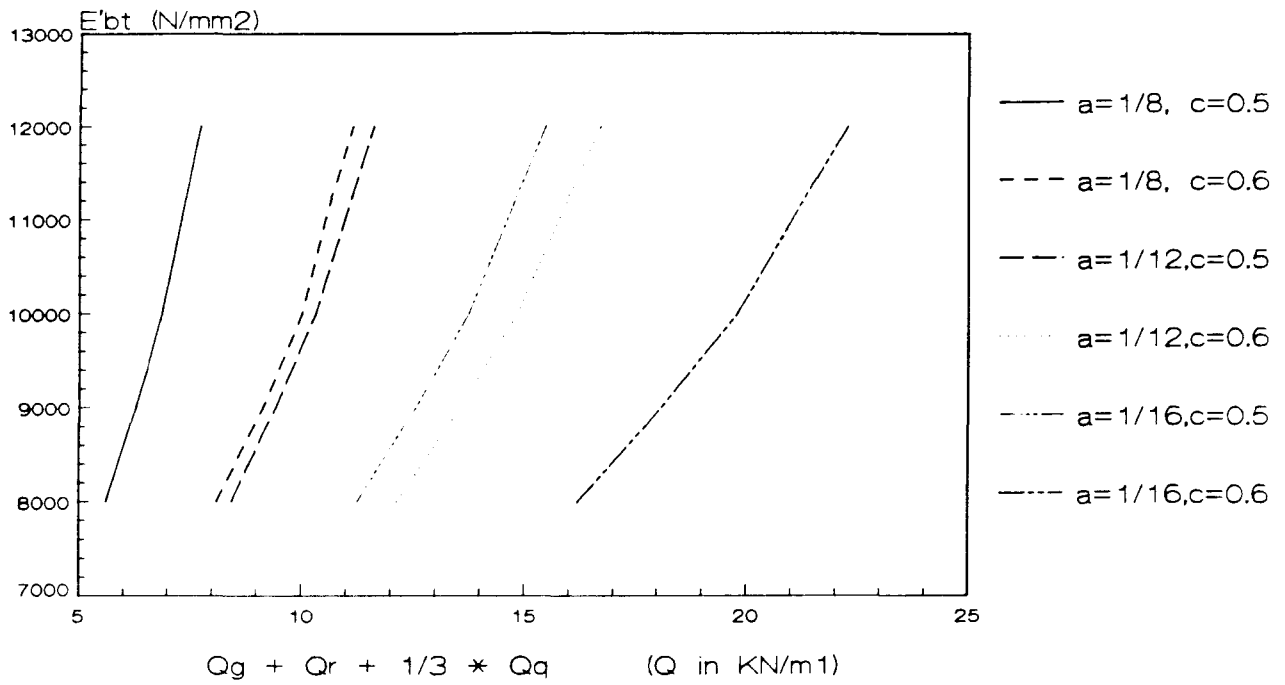
Voorbeeld; kies $a = 1/8$, $c = 0.5$, $L_{min} = 0.85 * L$ en $E'_{bt} = 9000$ N/mm². Invullen van deze gegevens in {47} geeft:

$$1.16 = \frac{(q_g + q_r + 0.33 * q_q) * L^2}{21.62 * 0.5^2 * 0.85^2 * L^2} \quad \{48\} ,$$

$$\{48\}: q_g + q_r + 0.33 * q_q = 4.53 \quad [KN/m^1] \quad \{49\}.$$

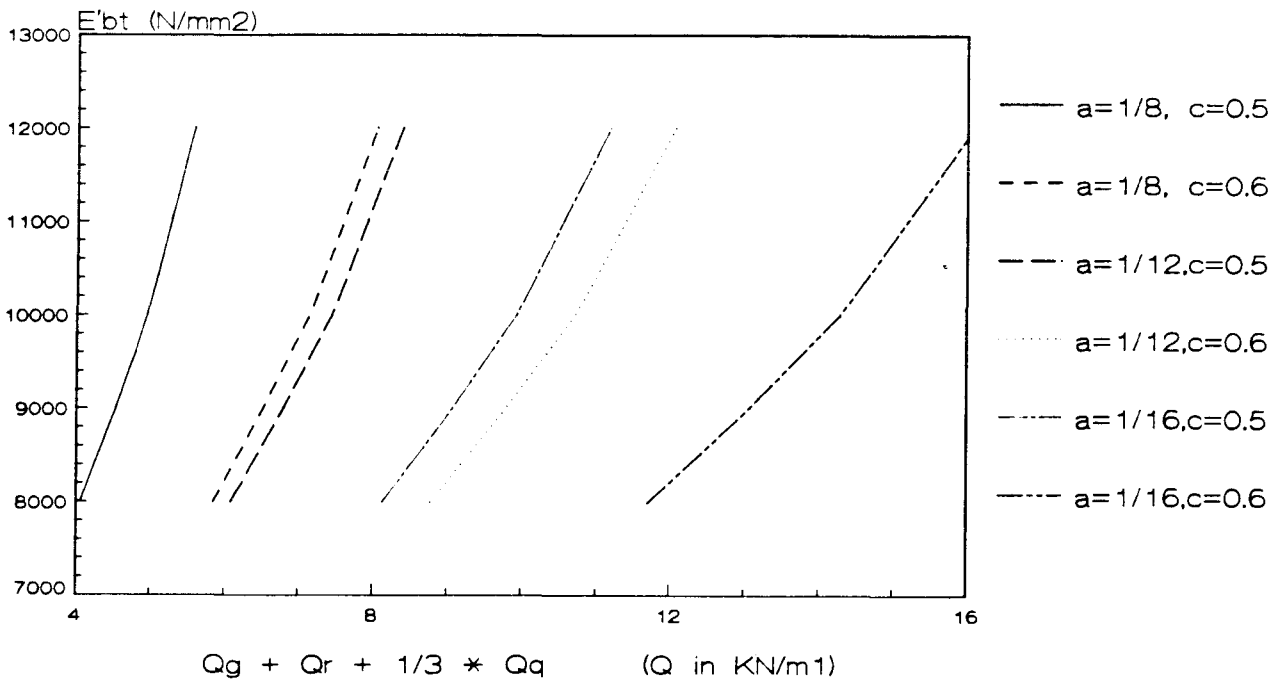
Figuur 16 bepaling E'bt

$$L_{min} = L$$



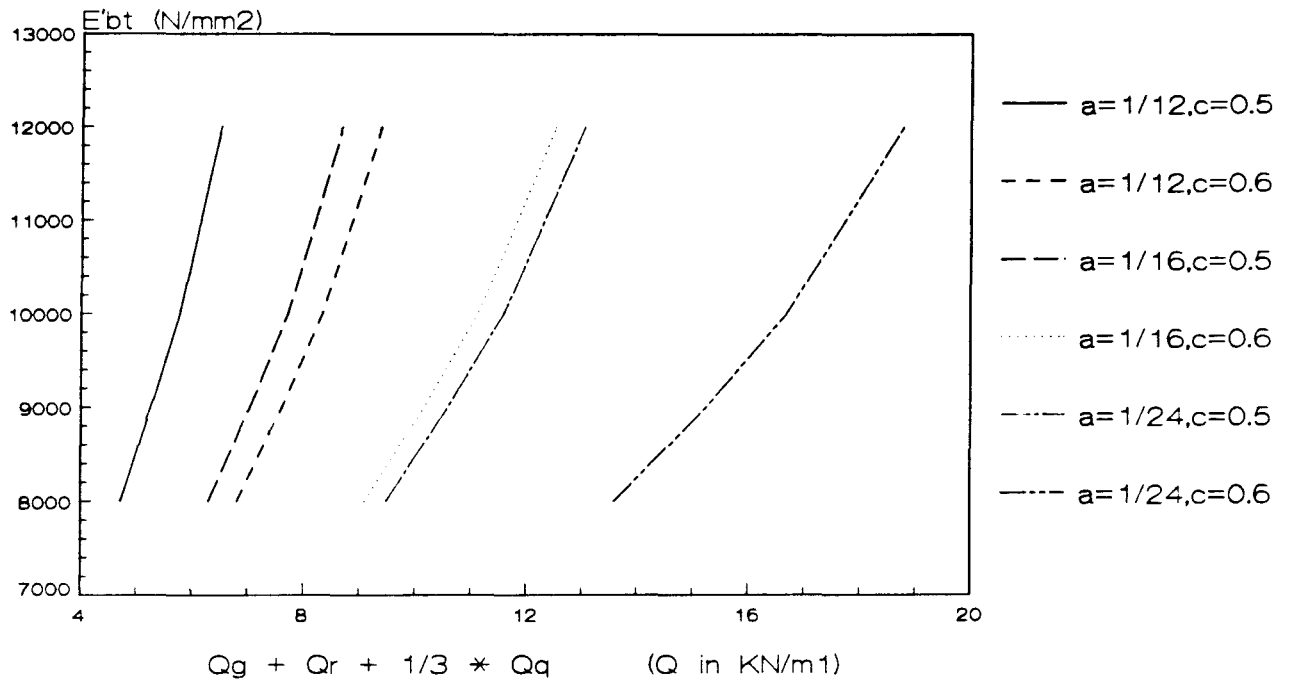
Figuur 17 bepaling E'bt

$$L_{min} = 0.85 * L$$



Figuur 18 bepaling E'bt

$$L_{min} = 0.75 * L$$



Uit dit specifieke voorbeeld blijkt, dat de permanente belasting gelijk moet zijn aan 4.53 KN/m¹ om een E'_bt te mogen gebruiken van 9000 N/mm².

Bereikt is nu dat, rekening houdend met de voorwaarden van figuur 16, 17 of 18, op eenvoudige wijze een tijdsafhankelijke E-modulus gekozen kan worden, waardoor een formule voor E'_bt op te stellen is.

Als nu voor E'_bt een waarde van 8000 N/mm² gekozen wordt (onafhankelijk van a, c en L_{min}), dan volgt uit {27} dat n_t gelijk wordt aan:

$$n_t = \frac{206000}{8000} = 25.75 \longrightarrow \{28\}: \alpha_t = \frac{(1.085)^3 * 100}{w_o * 6 * 25.75} = \frac{0.827}{w_o}$$

$$\{34\} x = \frac{A_a * f_a}{(9/14) * b * f'_b} \quad [\text{mm}]$$

$$\{34\}: x = \frac{A_a * 500}{(9/14) * 1000 * 20} = 0.0389 * A_a \quad [\text{mm}]$$

Het bezwijkmoment M_u wordt bepaald met de formule:

$$\{38\}: M_u = A_a * f_a * (h - 0.36 * x)$$

Invullen van {32} en {34} in {38} geeft:

$$M_u = \frac{w_o}{100} * 1000 * h * 500 * \left[h - 0.36 * 0.0389 * \frac{w_o}{100} * 1000 * h \right],$$

$$M_u = 5000 * h^2 * w_o - 700 * h^2 * w_o^2 \quad [\text{Nmm}]$$

β wordt gelijk aan c * (9.44 * w_o - 1.32 * w_o²), zodat μ_t gelijk wordt aan:

$$\mu_t = \frac{9.44 * w_0 - 1.32 * w_0^2}{7.81 - 1.09 * w_0 - \frac{0.827}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad \{50\}$$

$$E'_{bft} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.32 * w_0^2) * 8000}{7.81 - 1.09 * w_0 - \frac{0.827}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{51\}.$$

Op dezelfde wijze zijn voor respectievelijk $E'_{bt} = 9000, 10000, 11000$ en 12000 N/mm² ook formules op te stellen (zie {52}, {53}, {54} en {55}):

$$E'_{bft} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.3 * w_0^2) * 9000}{8.8 - 1.21 * w_0 - \frac{0.93}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{52\}.$$

$$E'_{bft} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.28 * w_0^2) * 10000}{9.76 - 1.32 * w_0 - \frac{1.03}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{53\}.$$

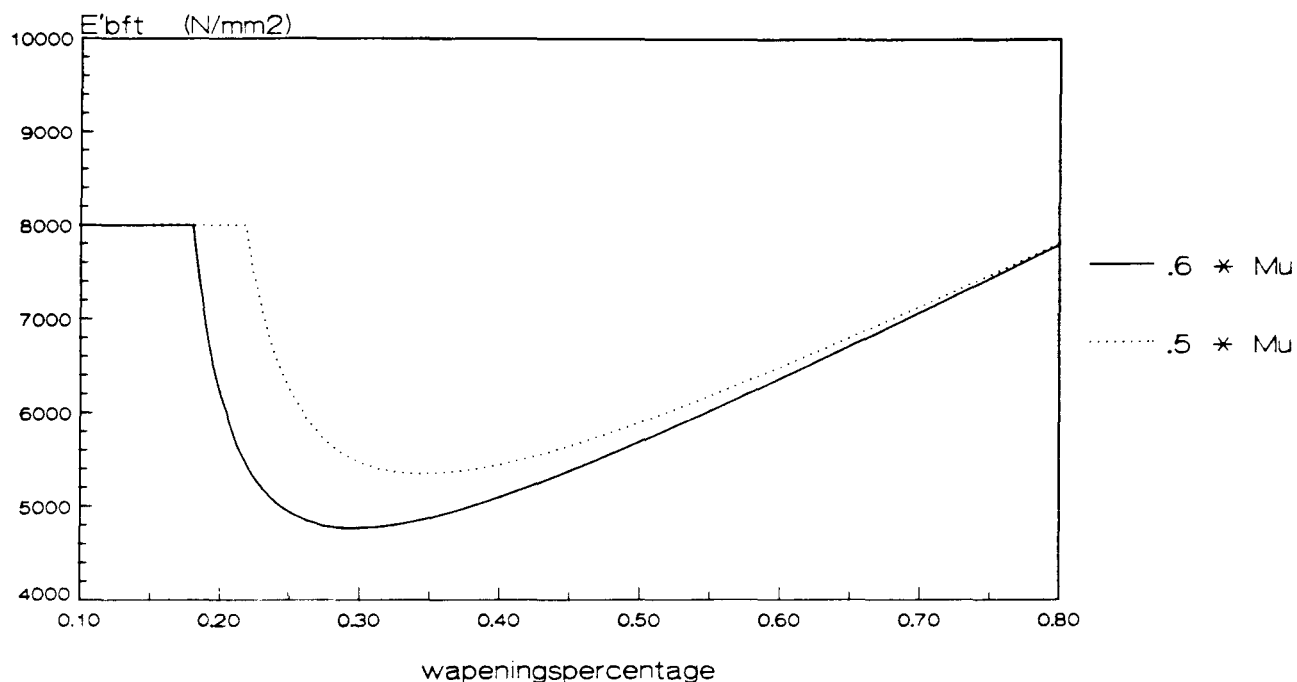
$$E'_{bft} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.26 * w_0^2) * 11000}{10.74 - 1.43 * w_0 - \frac{1.14}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{54\}.$$

$$E'_{bft} = \frac{(9.44 * w_0 - 1.22 * w_0^2) * 12000}{11.71 - 1.51 * w_0 - \frac{1.24}{c * w_0} + \frac{1}{c}} \quad [N/mm^2] \quad \{55\}.$$

De formules van {51}, {52}, {53}, {54} en {55} zijn afzonderlijk grafisch weergegeven, waarbij E'_{bft} een functie is van w_0 (zie respectievelijk figuur 19, 20, 21, 22 en 23 vanaf blz. 39). Elke grafiek geeft de belastingscombinaties $0.4 * M_u$, $0.5 * M_u$ en $0.6 * M_u$.

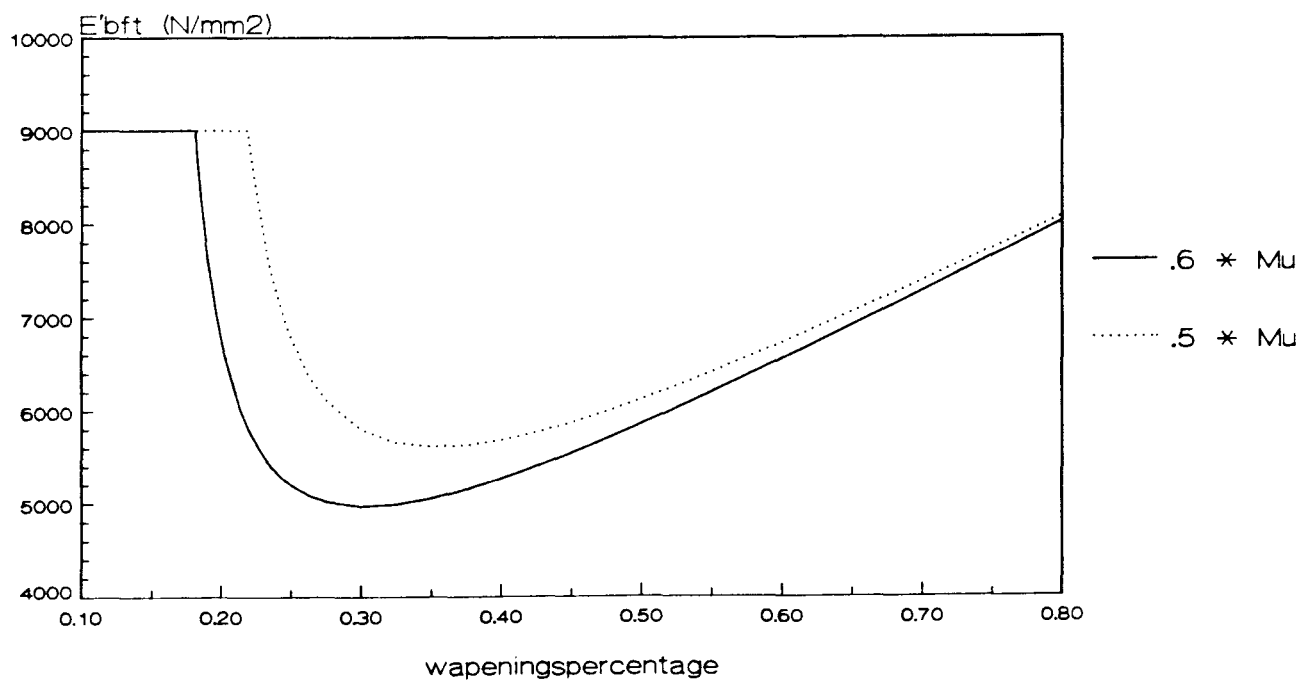
Figuur 19 bepaling E' bft

$E'_{bt} = 8000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

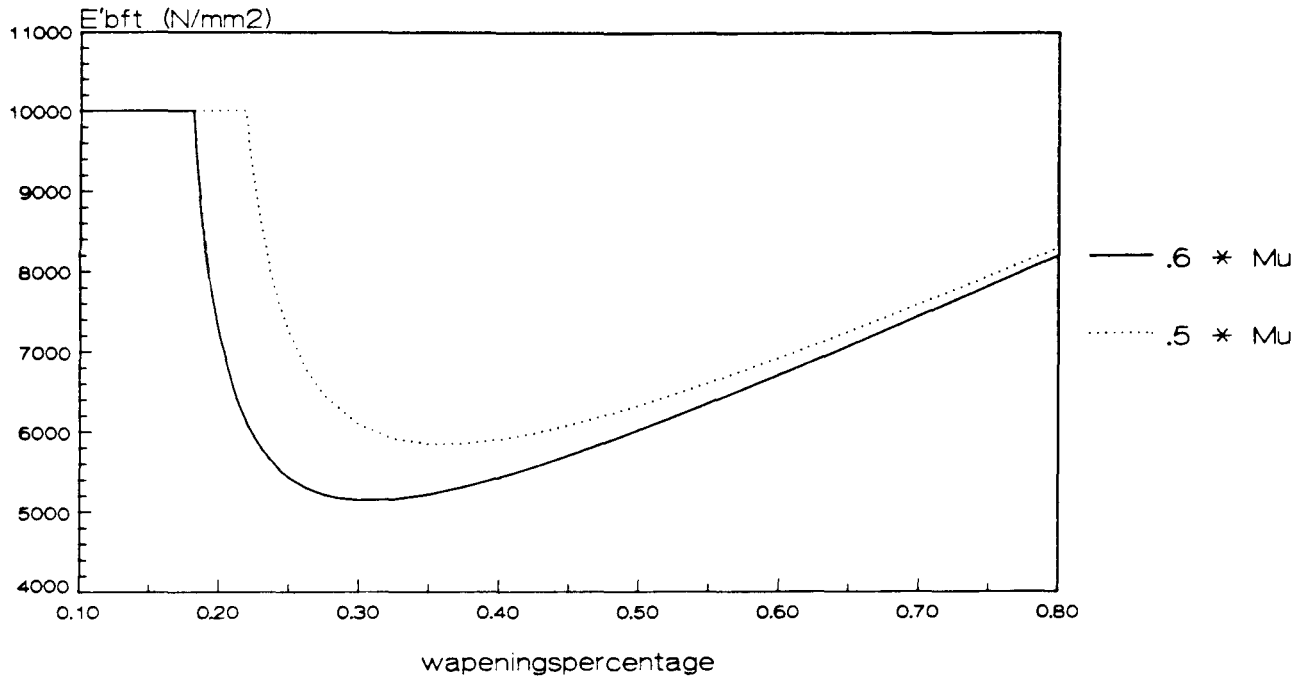


Figuur 20 bepaling E' bft

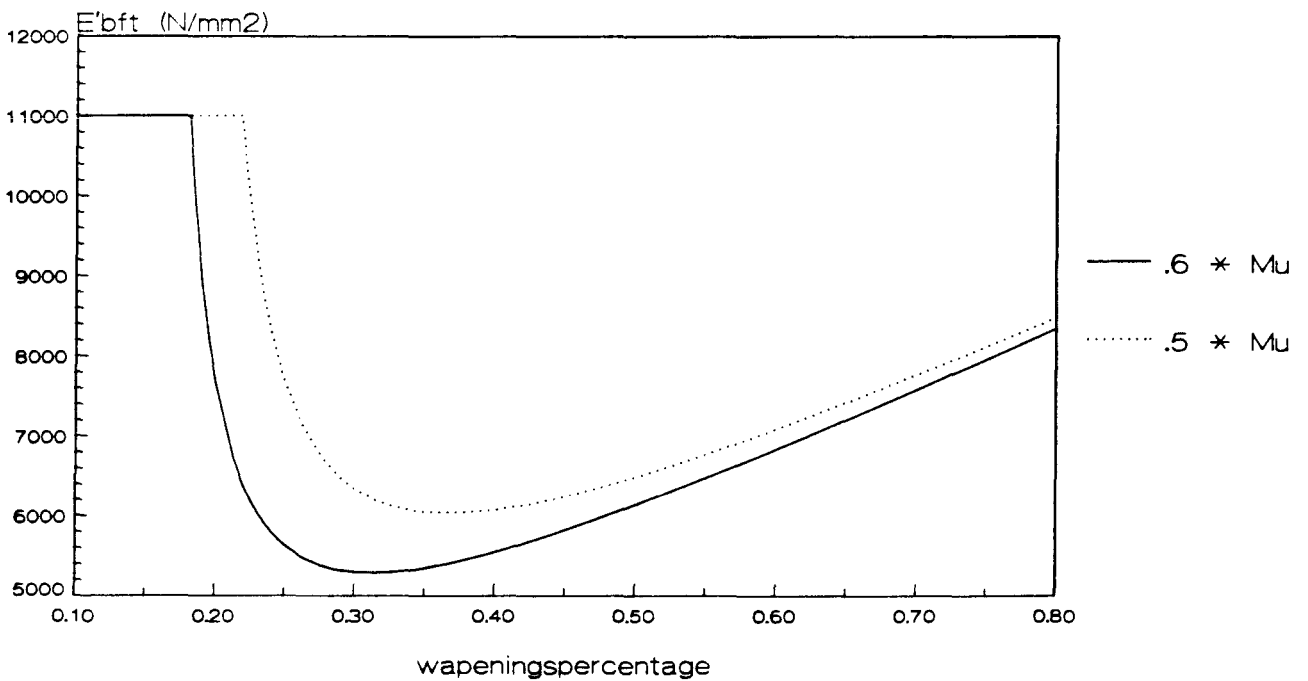
$E'_{bt} = 9000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



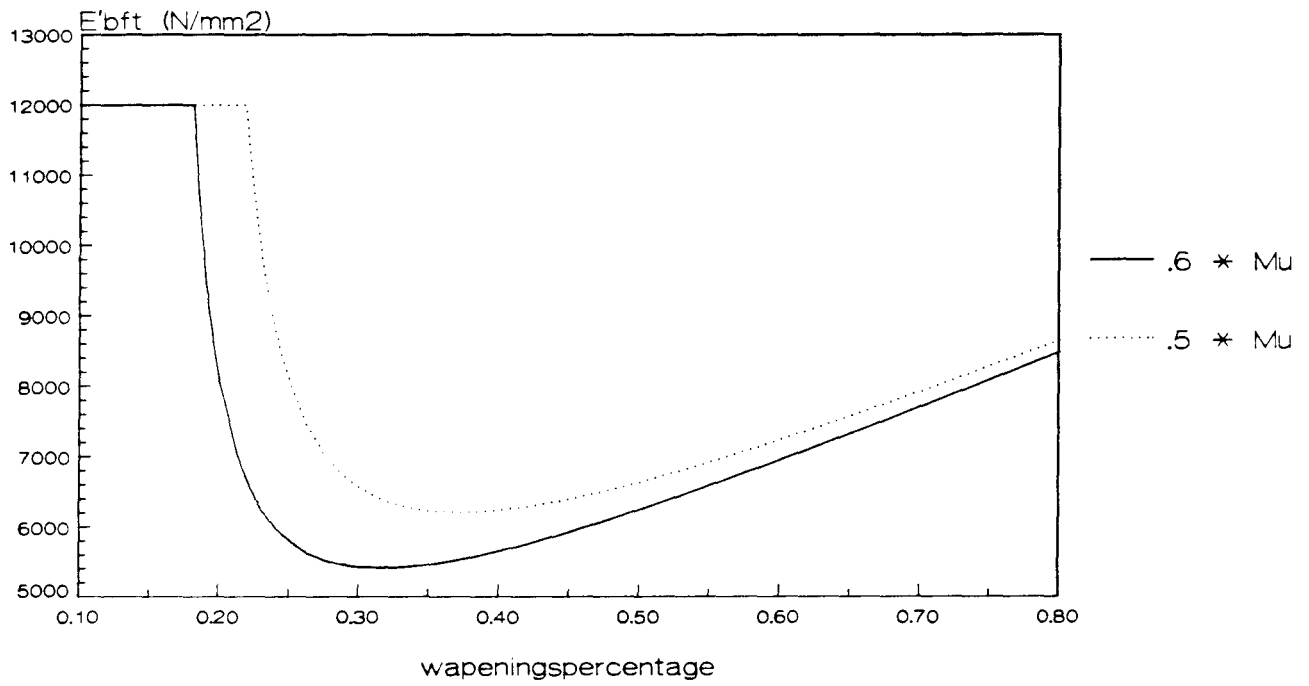
Figuur 21 bepaling E'bf
 $E_{bt} = 10000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



Figuur 22 bepaling E'bf
 $E_{bt} = 11000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

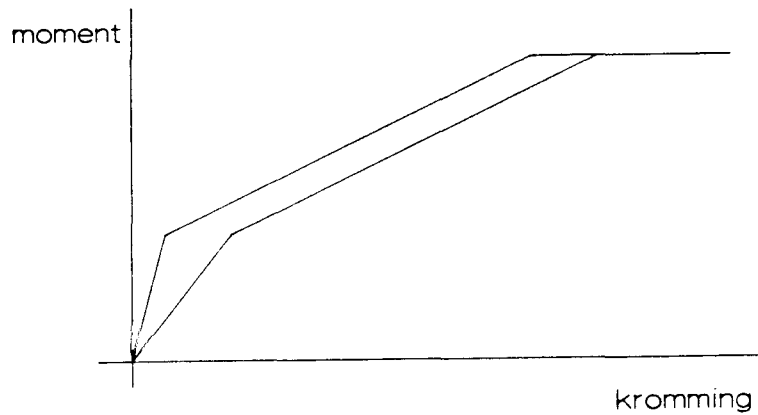


Figuur 23 bepaling E'bft
 $E_{bt} = 12000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



M_u weer.

Wordt een willekeurig M-K diagram, bepaald volgens bovenstaande rekenmethode, in een grafiek uitgezet, dan heeft dit M-K diagram een algemene vorm volgens figuur 24 op blz. 42.



figuur 24 Algemene vorm M-K diagram volgens
rekenmethode 2.

§ 4.5 Berekening doorbuiging met fictieve E-modulus.

Het uiteindelijke resultaat van alle bovenstaande formules en berekeningen is, dat bij een bepaalde keuze van de belastingssituatie (bijvoorbeeld $c = 0.6 * M_u$) en een keuze van de tijdsafhankelijke E-modulus (afhankelijk van $q_g + q_r + (1/3) * q_q$), de fictieve elasticiteitsmoduli E'_{bf} en E'_{bft} een functie zijn van het wapeningspercentage w_o . Is dus de wapening bekend, dan kan de doorbuiging bepaald worden met de volgende twee formules:

$$\delta_o = \frac{5 - k}{1 + k} * \frac{1}{48} * \frac{L^4}{I_b} * \frac{d * (q_g + q_r + 0.33 * q_q)}{E'_{bf}} \quad [\text{mm}] \quad \{56\}.$$

$$\delta_o = \frac{5 - k}{1 + k} * \frac{1}{48} * \frac{L^4}{I_b} * \left[\frac{d * (q_g + q_r + 0.33 * q_q)}{E'_{bft}} + \right.$$

$$\left. \frac{d * (0.66 * q_q)}{E'_{bf}} \right] \quad [\text{mm}] \quad \{57\}.$$

hierin is:

- k: een coëfficiënt die de verhouding tussen het gemiddelde van de lineair-elastische steunpuntsmomenten en het lineair-elastische veldmoment weergeeft
- d: een coëfficiënt die de momentenfaktor aangeeft ($d * Q * L^2$)
- L: de overspanning van de konstruktie in mm
- I_b : het traagheidsmoment van de ongescheurde betondoorsnede in mm^4
- q_g : het eigen gewicht van beton in KN/m^1
- q_r : de rustende belasting in KN/m^1
- q_q : de veranderlijke belasting in KN/m^1
- E'_{bf} : de fictieve elasticiteitsmodulus van de gemiddeld aanwezige wapening volgens {43}
- E'_{bft} : de fictieve elasticiteitsmodulus van de gemiddeld aanwezige wapening volgens {51}, {52}, {53}, {54} of {55}

§ 4.6 Doorbuiging door krimp.

Tot zover is voor de situatie $t = \infty$ alleen nog met het verschijnsel kruip gerekend, terwijl voor de uiteindelijk te verwachten doorbuiging het verschijnsel krimp niet vergeten mag worden. Zoals reeds eerder gezegd mag de doorbuiging door krimp bij de doorbuiging van belasting en kruip gesuperponeerd worden.

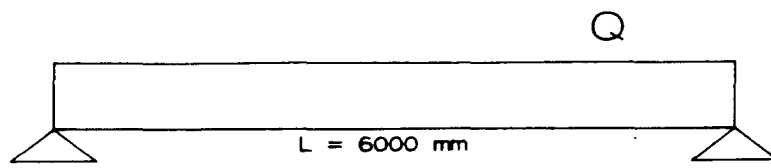
De toename van de doorbuiging door de krimp-kromming K_r , volgt bij benadering uit [Monnier 1977: 330-337]:

$$\delta_r = \frac{5 - k}{48} * \frac{\varepsilon'_r}{h} * L^2 \quad [\text{mm}] \quad \{58\}.$$

Hierin is ε'_r de onbelemmerde krimp-verkorting volgens artikel A 201.3.5 van de Voorschriften Beton.

§ 4.7 Voorbeeld berekening.

- 1) statisch bepaald (ligger op twee steunpunten met gelijkmatig verdeelde Q-belasting)



kies: $w_o = 0.3\%$ en $c = 0.6 M_u$

$L_{min} = L$ [mm]

elastische momentenverdeling -----> $M_{max_v} = 0.125 * Q * L^2$ [KNm]

$$\{46\}: h_t = \frac{1.085 * 500 * 0.6 * 6000}{7000} = 279 \text{ mm}$$

$$h = \frac{279}{1.085} = 257 \text{ mm}$$

$$I_b = \frac{1}{12} * 1000 * 279^3 = 18.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\{38\}: M_u = 5000 * 257^2 * 0.3 - 700 * 257^2 * 0.3^2 = 95 \text{ KNm}$$

situatie $0.6 M_u$ -----> $M_x = 57 \text{ KNm}$

$$0.125 * Q * 6^2 = 57 \text{ -----> } Q = 12.7 \text{ KN/m}^1$$

belastingverdeling:

$$\begin{array}{rcl} q_g & = & 0.279 * 24 = 6.70 \text{ KN/m}^1 \\ q_r & = & = 1.00 \text{ ,,} \\ q_q & = & = 5.00 \text{ ,,} \\ & & + \frac{\quad}{12.70 \text{ KN/m}^1} \end{array}$$

$$q_g + q_r + 0.33 * q_q = 6.7 + 1 + 0.33 * 5 = 9.35 \text{ KN/m}^1$$

figuur 16 -----> $E'_{bt} = 9000 \text{ N/mm}^2$

figuur 15: $w_o = 0.3$ -----> $E'_{bf} = 6475 \text{ N/mm}^2$

figuur 20: $w_o = 0.3$ -----> $E'_{bft} = 4950 \text{ N/mm}^2$

$$\delta_o = \frac{5}{48} * \frac{6000^4}{18.1 * 10^8} * \frac{0.125 * (6.7 + 1 + 0.33 * 5)}{6475} = 13.5 \text{ mm.}$$

$$\delta_w = \frac{5}{48} * \frac{6000^4}{18.1 * 10^9} * \left[\frac{0.125 * (6.7 + 1 + 0.33 * 5)}{4950} + \frac{0.125 * (0.66 * 5)}{6475} \right] = 22.4 \text{ mm}$$

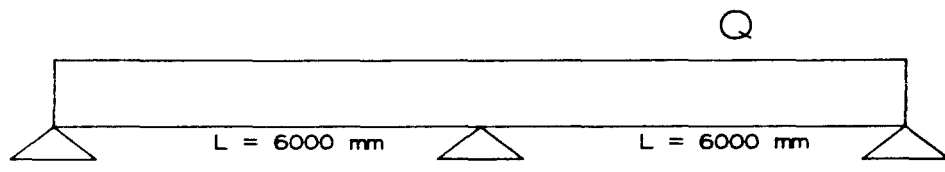
Doorbuiging door krimp:

droog milieu -----> $\epsilon_r = 44E-05$

$$\delta_r = \frac{5}{48} * \frac{44E-05}{257} * 6000^2 = 6.4 \text{ mm}$$

Totale doorbuiging $t = \infty$: $22.4 + 6.4 = 28.8 \text{ mm}$

2) statisch onbepaald (ligger op drie steunpunten met gelijkmatig verdeelde Q-belasting)



kies $c = 0.6 M_u$ en w_0 middensteunpunt = 0.3%

$$L_{min} = 0.85 * L \text{ [mm]}$$

elastische momentenverdeling: ---> $M_{max_s} = 0.125 * Q * L^2$ [KNm]
 $M_{max_v} = 0.07 * Q * L^2$ [KNm]

$$\{46\}: h_t = \frac{1.085 * 500 * 0.6 * 0.85 * 6000}{7000} = 237 \text{ mm}$$

$$h = \frac{237}{1.085} = 218 \text{ mm}$$

$$I_b = \frac{1}{12} * 1000 * 237^3 = 11.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\{38\}: M_{u_s} = 5000 * 218^2 * 0.3 - 700 * 218^2 * 0.3^2 = 68.6 \text{ KNm}$$

$$M_{x_s} = 0.6 * 68.6 = 41.2 \text{ KNm}$$

$$Q_s = 8 * 41.2 / 36 = 9.1 \text{ KN/m}^1$$

belastingverdeling: $q_g = 0.237 * 24 = 5.7 \text{ KN/m}^1$
 $q_r = \quad \quad \quad = 2.4 \quad , ,$
 $q_q = \quad \quad \quad = 1.0 \quad , ,$
 $\quad \quad \quad + \frac{\quad \quad \quad}{9.1 \text{ KN/m}^1}$

$$Q_v = 9.1 \text{ KN/m}^1 \text{ -----> } M_{x_v} = 0.07 * 9.1 * 36 = 23 \text{ KNm}$$

$$M_{u_v} = (1/0.6) * 23 = 38.3 \text{ KNm}$$

$$\{38\}: 38.3 * 10^6 = 5000 * 218^2 * w_{o_v} - 700 * 218^2 * w_{o_v}^2 \quad ,$$

$$w_{o_v} = 0.164\%$$

$$q_g + q_r + 0.33 * q_q = 5.7 + 2.4 + 0.33 * 1 = 8.4 \text{ KN/m}^1$$

voor het middensteunpunt volgens figuur 17: $E'_{b_t} = 12000 \text{ N/mm}^2$

voor het veld ($a = \pm 1/12$) volgens figuur 17: $E'_{b_t} = 8000 \text{ N/mm}^2$

voor de steunpunten geldt een gemiddeld wapeningspercentage van:
 $0.5 * (0.3 + 0) = 0.15\%$, het wapeningspercentage van het veld
blijft 0.164%

figuur 15: $E'_{b_{fs}} = 29000 \text{ N/mm}^2$

figuur 15: $E'_{b_{fv}} = 29000 \quad , ,$

figuur 23: $E'_{b_{ft_s}} = 12000 \quad , ,$

figuur 19: $E'_{b_{ft_v}} = 8000 \quad , ,$

de permanente belasting is: $5.7 + 2.4 + 0.33 * 1 = 8.4 \text{ KN/m}^2$
 (2/3) van de veranderlijke belasting = $0.66 * 1 = 0.66 \text{ KN/m}^2$

de coëfficiënt k geeft de verhouding weer tussen het gemiddelde steunpuntsmoment en het veldmoment:

$$k = \frac{0.5 * (0 + 41.2)}{23} = 0.9$$

$$\delta_o = \frac{5 - 0.9}{1 + 0.9} * \frac{1}{48} * \frac{6000^4}{11.1 * 10^8} * \left[\frac{0.125 * 8.4}{29000} + \frac{0.07 * 8.4}{29000} \right] = 3 \text{ mm}$$

$$\delta_o = \frac{5 - 0.9}{1 + 0.9} * \frac{1}{48} * \frac{6000^4}{11.1 * 10^8} * \left[\frac{0.125 * 8.4}{12000} + \frac{0.125 * 0.66}{29000} + \right.$$

$$\left. \frac{0.07 * 8.4}{8000} + \frac{0.07 * 0.66}{29000} \right] = 8.7 \text{ mm.}$$

Doorbuiging door krimp:

droog milieu -----> $\epsilon'_r = 44E-05$

$$\delta_r = \frac{5 - 0.9}{48} * \frac{44E-05}{218} * 6000^2 = 6.2 \text{ mm}$$

Totale doorbuiging t = ∞: $8.7 + 6.2 = 14.9 \text{ mm}$

§ 4.7 Resultaten methode E-fictief.

Wordt de uitkomst van voorbeeld berekening 1 (§ 4.6) in het rijtje gezet van de uitkomsten van bijlage 1, dan blijkt dat deze waarde in de onderste regionen uit te komen.

Monnier	34.7	mm
de Jong	29.3	mm
Vis en Sagel	28.4	mm
Cur 115	27.9	mm
V.B. '84	24.0	mm
Bruggeling	23.5	mm
* E-fictief	22.4	mm *
de Bruijn	22.0	mm

tabel 3

In vergelijking met de andere rekenmethode blijkt de E-fictief methode erg snel en eenvoudig te werken, met uitzondering van methode de Bruijn. Het voordeel echter ten opzichte van de Bruijn is, dat met een kleine inspanning meer een veel beter resultaat verkregen wordt. Immers, methode de Bruijn schematiseert de hele doorbuigings-problematiek tot een tweetal formules. Een ander voordeel van de E-fictief methode t.o.v. de Bruijn is, dat met meerdere belastingsfactoren gewerkt kan worden.

§ 5.1 Inleiding.

DOBEKO 1 (Doorbuiging Beton Konstrukties 1) is een computerprogramma, geschreven in de taal Turbo Pascal 4, dat van een gegeven betondoorsnede met wapening het M-K diagram en de fictieve elasticiteitsmodulus in het gebruiksstadium bepaalt voor zowel $t = 0$ als $t = \infty$. Dit programma gaat uit van de spannings-rek diagrammen voor staal en beton zoals gedefiniëerd in de Voorschriften Beton. De invloed van krimp-vervorming wordt in dit programma niet meegenomen. Is men geïnteresseerd in de totale doorbuiging op tijdstip $t = \infty$, dan moet de krimp-vervorming (volgens § 4.6) bij de reeds berekende vervorming gesuperponeerd worden.

De werking van dit programma berust op de laagjes-methode. De gegeven betondoorsnede wordt opgedeeld in laagjes en krijgt een kromming opgelegd. Deze kromming veroorzaakt in elk laagje een rek die te vertalen is naar een spanning en zo ook naar een kracht. Het programma itereert naar een 'zwaartepunt' zodat er een krachten-evenwicht is voor de betondrukkracht en de staal- en betontrekkracht. Bij dit evenwicht is voor elke stap het moment te bepalen volgens kracht maal afstand 'zwaartepunt'. Wordt nu een van tevoren bekende grens overschreden, bijvoorbeeld de vloeigrens van het staal, dan is het staalvloeimoment bekend en het programma print dit gegeven uit.

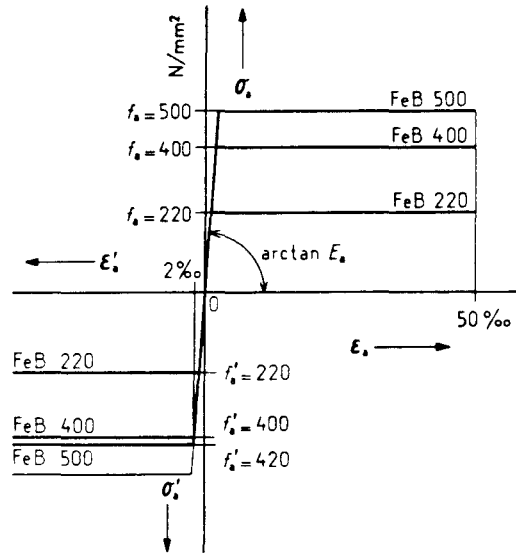
Indien de berekening klaar is, dan tekent het programma het M-K diagram op het beeldscherm voor de situatie $t = 0$ en $t = \infty$.

Ook is het mogelijk om dit M-K diagram op papier uit te plotten.

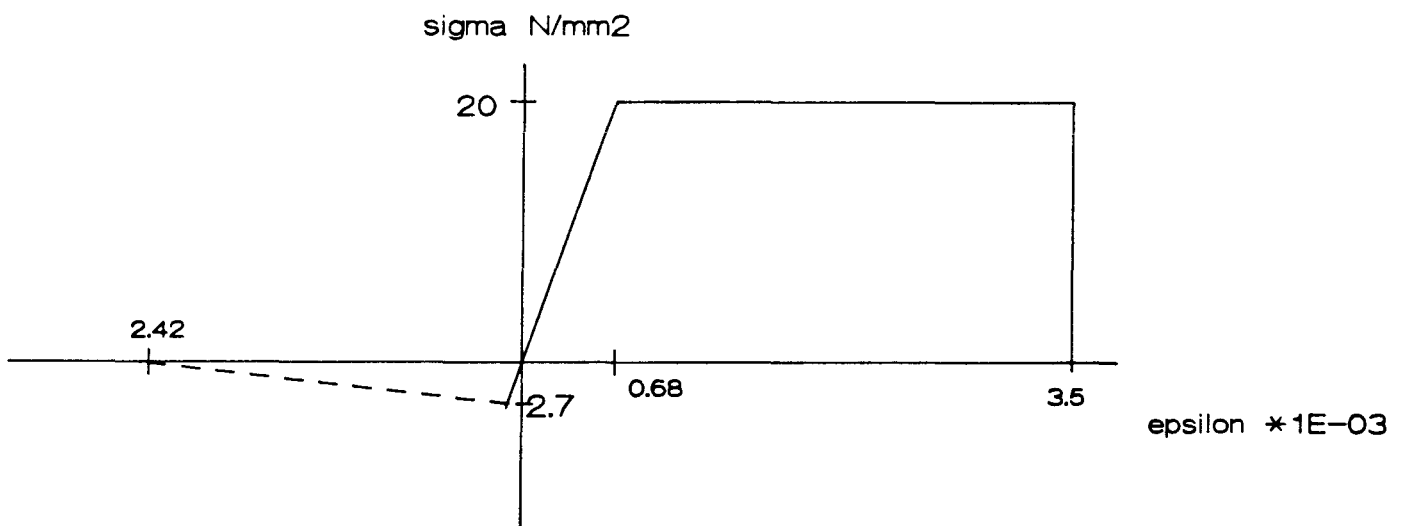
De fictieve E-modulus ($t = 0$ en $t = \infty$) wordt bepaald door het gebruiksmoment (keuze uit $0.6 * M_u$ of $0.5 * M_u$) te delen door de hierbij horende kromming en traagheidsmoment.

§ 5.2 Principes DOBEKO 1 voor $t = 0$.

Zoals reeds eerder bekend, rekt DOBEKO 1 met betonkwaliteit B 25 en staalkwaliteit FeB 500. De volgende sigma-epsilon diagrammen zijn, zoals gedefiniëerd in de Voorschriften Beton, uitgangspunt voor de berekeningen (zie figuur 25 en 26 op blz. 51).



figuur 25 Sigma-epsilon diagram van FeB 500.



figuur 26 Sigma-epsilon diagram voor B 25, $t = 0$. De stippellijn geeft de invloed van de tension-stiffening aan.

Het programma heeft de keuze om de invloed van de tension-stiffening wel of niet mee te nemen in de berekening. De tension-stiffening (zie figuur 26 op blz. 51) wordt geschematiseerd tot een rechte lijn die loopt van het punt, waar de treksterkte van het beton bereikt is (2.7 N/mm² en 0.0931 pro mille), tot nul waar de staalvloeiervorming van 2.427 pro mille bereikt is.

De volgende gegevens zijn nu bekend:

$$\begin{aligned}
 \text{B 25} \quad \text{-----} \rightarrow E'_b &= 29000 \quad [\text{N/mm}^2], \\
 f'_b &= 20 \quad [\text{N/mm}^2], \\
 f_{b,m} &= 1.2 * (1 + 0.05 * 25) = 2.7 \quad [\text{N/mm}^2], \\
 \epsilon'_b &= 20 / 29000 = 6.896\text{E-}04, \\
 \epsilon'_u &= 3.5\text{E-}03, \\
 \epsilon_b &= 2.7 / 29000 = 9.31\text{E-}05, \\
 \epsilon_u &= 2.427\text{E-}03 \text{ (staalvloeirek)}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FeB 500} \quad \text{-----} \rightarrow E_s &= 206000 \quad [\text{N/mm}^2], \\
 f_a &= 500 \quad [\text{N/mm}^2], \\
 \epsilon_a &= 500 / 206000 = 2.427\text{E-}03
 \end{aligned}$$

Nu zijn voor $t = 0$, voor de verschillende stadia, de volgende grenzen bekend:

- 1) scheurmoment: het beton heeft aan de onderzijde een rek bereikt van 9.31E-05.
- 2) betonvloeioment: het beton heeft aan de bovenzijde een rek bereikt van 6.896E-04.
- 3) staalvloeioment: het staal heeft een rek bereikt van 2.427E-03.
- 4) bezwijkmoment: het beton heeft aan de bovenzijde een rek bereikt van 3.5E-03.

Als vijfde grens is arbitrair een stadium vastgelegd, waarbij de betonvervorming aan de bovenzijde een waarde bereikt heeft van 3.75E-03. Dit om enigzins de val van het moment in beeld te brengen. Immers, als een laagje een grotere rek opgelegd krijgt dan 3.5E-03, dan zakt de spanning en kracht naar nul en het moment neemt af.

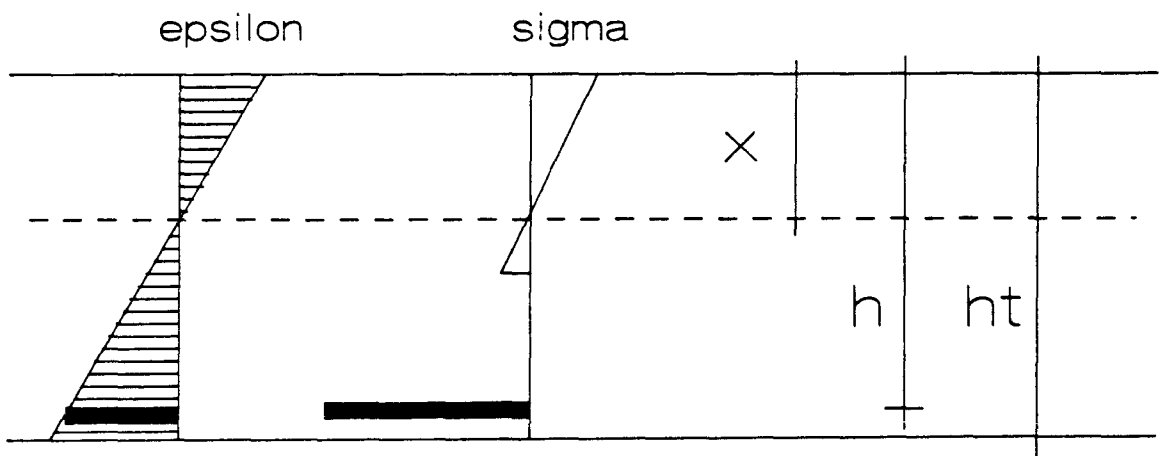
Het programma vraagt om een overspanning (in mm) in te voeren, en bepaalt zelf de hoogte van de betondoorsnede op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 3.1:

$$\{8\}: h = \frac{500 * c}{7000} * L_{min} \text{ [mm]}.$$

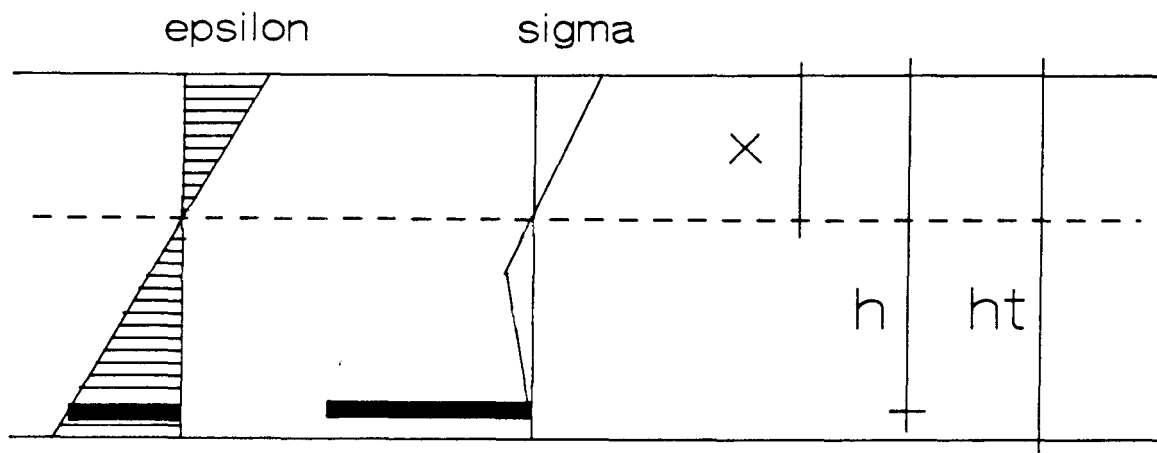
Voor c kan een keuze gemaakt worden uit 0.6 en 0.5.

Door invoering van de dekking en het wapeningspercentage is de plaats en de hoeveelheid wapening bekend volgens $A_s = 10 * W_o * h$. De totale hoogte h_t komt hiermee op: $h_t = h + \text{dekking}$.

Na invoer van deze gegevens begint het programma met het reken-gedeelte, waarvan de werking wordt uitgelegd aan de hand van figuur 27a en 27b op blz. 53 en 54.



figuur 27a Spannings-rek plaatje zonder tension-stiffening; als in een (trek)laagje de rek groter wordt dan $9.31E-05$, dan wordt de spanning nul.



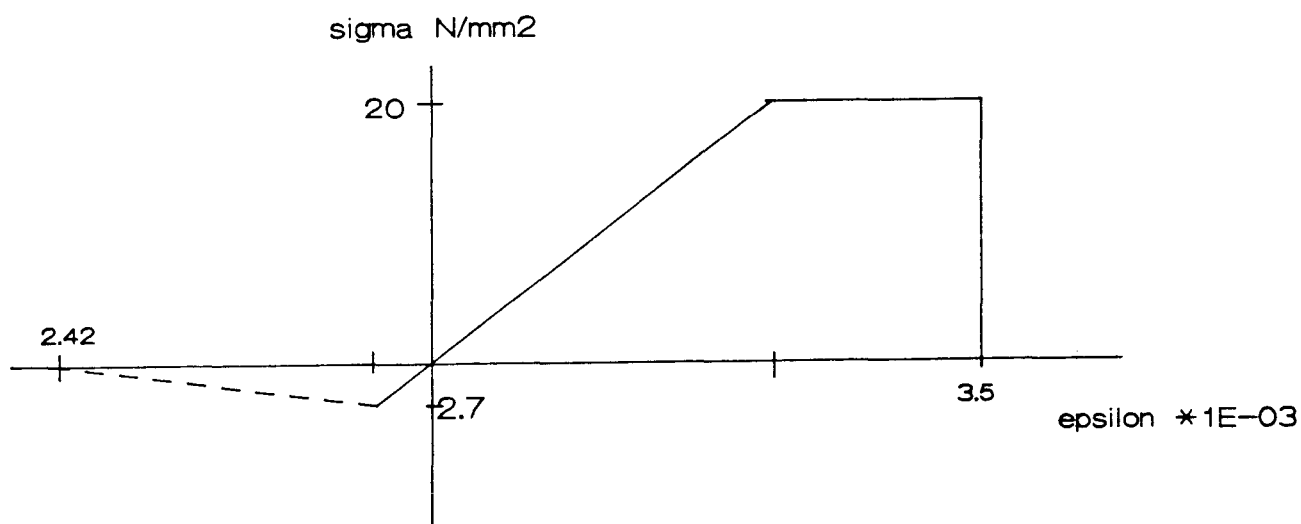
figuur 27b Spannings-rek plaatje met tension-stiffening; het staal heeft hier net de vloeirek bereikt zodat de invloed van de tension-stiffening in dit laagje nul is geworden.

Het rekengedeelte start met het uitrekenen van het zwaartepunt van de EI-zware doorsnede, en legt vervolgens een kromming door dit zwaartepunt op van $1E-07$ [1/mm]. De hoogte wordt verdeeld in laagjes van 1mm en in elk laagje wordt de rek uitgerekend. Boven het zwaartepunt (drukzone) wordt de rek vertaald naar een spanning volgens het duk sigma-epsilon diagram en onder het zwaartepunt naar het trek sigma-epsilon diagram van gewapend beton. Door nu deze trek- of drukspanning te vermenigvuldigen met 1000 ($h = 1\text{mm}$ en $b = 1000\text{mm}$) ontstaat er van dit specifieke laagje een trek- of drukkracht. Deze krachten worden afzonderlijk gesommeerd voor de trek- en drukzone, waarbij in de trekzone nog de staalkracht ($A_s * (h-x) * \text{kromming}$) gesommeerd wordt. Indien trek- en drukkracht ongelijk zijn aan elkaar, dan verschuift het 'zwaartepunt' 1 mm naar boven of onder en het proces herhaalt zich totdat er evenwicht is. Nu het 'zwaartepunt' bekend is, kan het moment bepaald worden volgens kracht maal afstand tot het 'zwaartepunt'. Na deze stap vindt toetsing plaats aan de grenzen zoals hierboven omschreven. De eerste stap van de lus is klaar; de kromming wordt opgehoogd met

een waarde van $1E-07$ [1/mm] en het proces herhaalt zich. Het rekengedeelte stopt als de betonvervorming in de drukzone een waarde van $3.75E-03$ bereikt heeft. (Indien het scheurmoment bereikt is, wordt de kromming in elke stap met $2E-06$ [1/mm] extra opgehoogd; ditzelfde geldt nog een keer indien het staal en het beton allebei de vloeigrens bereikt hebben.)

§ 5.3 Principes DOBEKO 1 voor $t = \infty$.

Het enige wat verandert voor de situatie $t = \infty$, is het sigma-epsilon diagram van het gewapend beton (zie figuur 28 op blz. 55).



figuur 28 Sigma-epsilon diagram van gewapend beton voor de situatie $t = \infty$. De stippellijn geeft de invloed van de tension-stiffening weer.

Het programma DOBEKO 1 vraagt als invoergegeven om een (schijnbare) elasticiteitsmodulus voor $t = \infty$. Hoe deze waarde bepaalt wordt, is overgelaten aan de gebruiker. Men kan deze waarde bepalen volgens de formule uit artikel A 201.3.4 van de Voorschriften Beton.

Aan de hand van de ingevoerde waarde (bijvoorbeeld $E'_{bt} = 8000$ N/mm²), bepaalt het programma de ontbrekende gegevens van het sigma-epsilon diagram (de beton(druk)vloei- en beton(trek)vloei-ervorming). Op precies dezelfde wijze als voor situatie $t = 0$, rekent het programma de vijf verschillende stadia uit van het M-K diagram en de fictieve elasticiteitsmodulus voor $t = \infty$.

§ 5.4 Resultaten DOBEKO 1.

De uitvoer van Dobeko 1 laat aardige plaatjes zien van het berekende M-Kappa diagram (zowel grafisch als met plotter, zie blz. 57, 58 en 59).

Vooraf bij lage wapeningspercentages en een berekening zonder tension-stiffening is duidelijk te zien, dat na het optreden van het scheurmoment een knik in het M-Kappa diagram optreedt. Dit is te verklaren uit het feit, dat de doorsnede vervormingsgestuurd belast wordt.

De momentenval, die optreedt na het bereiken van een betonvervorming groter dan $3.5E-3$ pro mille, is duidelijk te zien in de figuren voor zowel $t = 0$ als $t = \infty$.

Berekeningen (en plaatjes) met tension-stiffening laten een verschil zien met berekeningen zonder tension-stiffening; de maximale waarde van het moment (met tension-stiffening) is bij lage wapeningspercentages wel 1.5 maal hoger. Ook de kromming blijft kleiner zodat de buigstijfheid van de doorsnede sterk vergroot i.v.m. eenzelfde berekening zonder tension-stiffening.

Dobeko 1

ht=277 mm

Wo=0.20 %

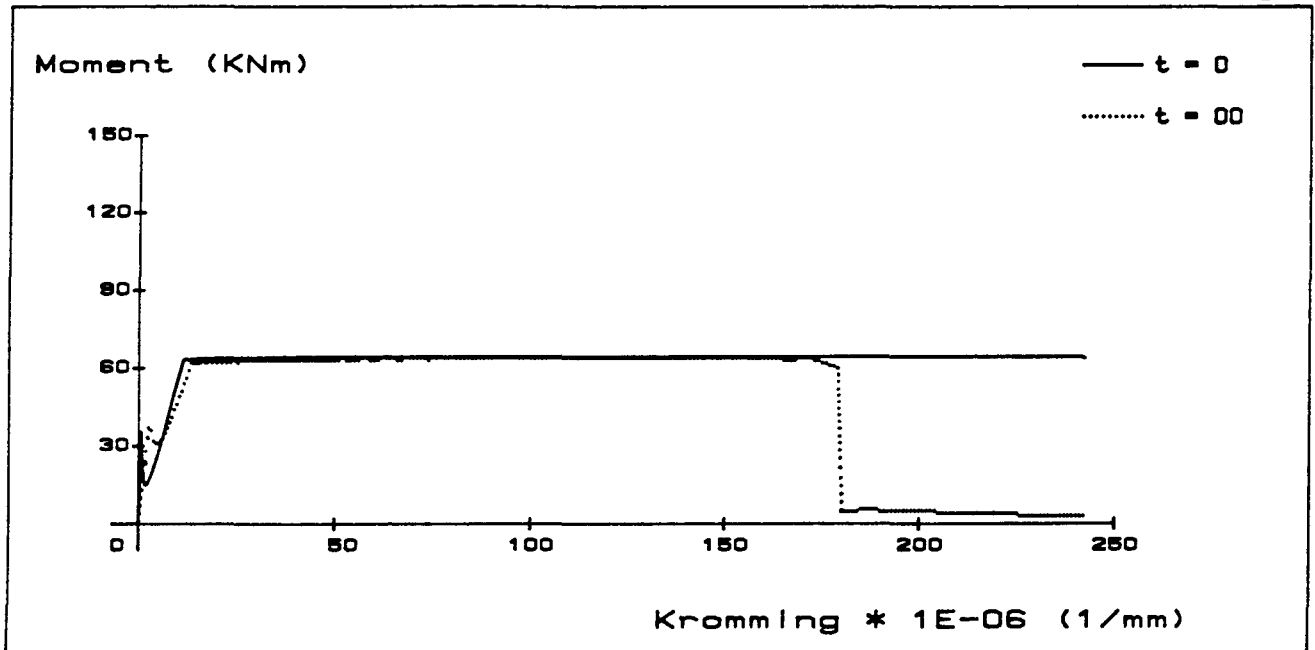
Et= 7486 N/mm²

Efo= 3197 N/mm²

Efoo= 8162N/mm²

0.6 * Mu

zonder tension stiffening



Dobeko 1

ht=277 mm

Wo=0.20 %

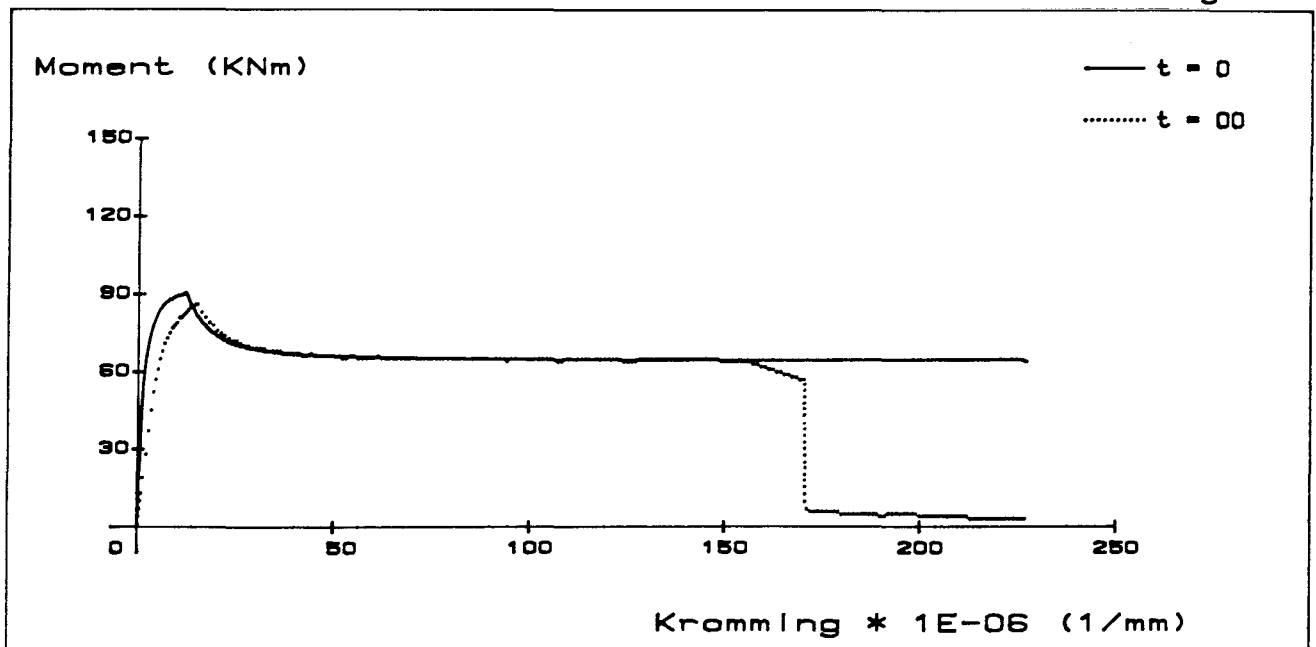
Et= 7486 N/mm²

Efo= 29637 N/mm²

Efoo= 8290N/mm²

0.6 * Mu

met tension stiffening



Dobeko 1

ht= 277 mm

Wo= 0.35 %

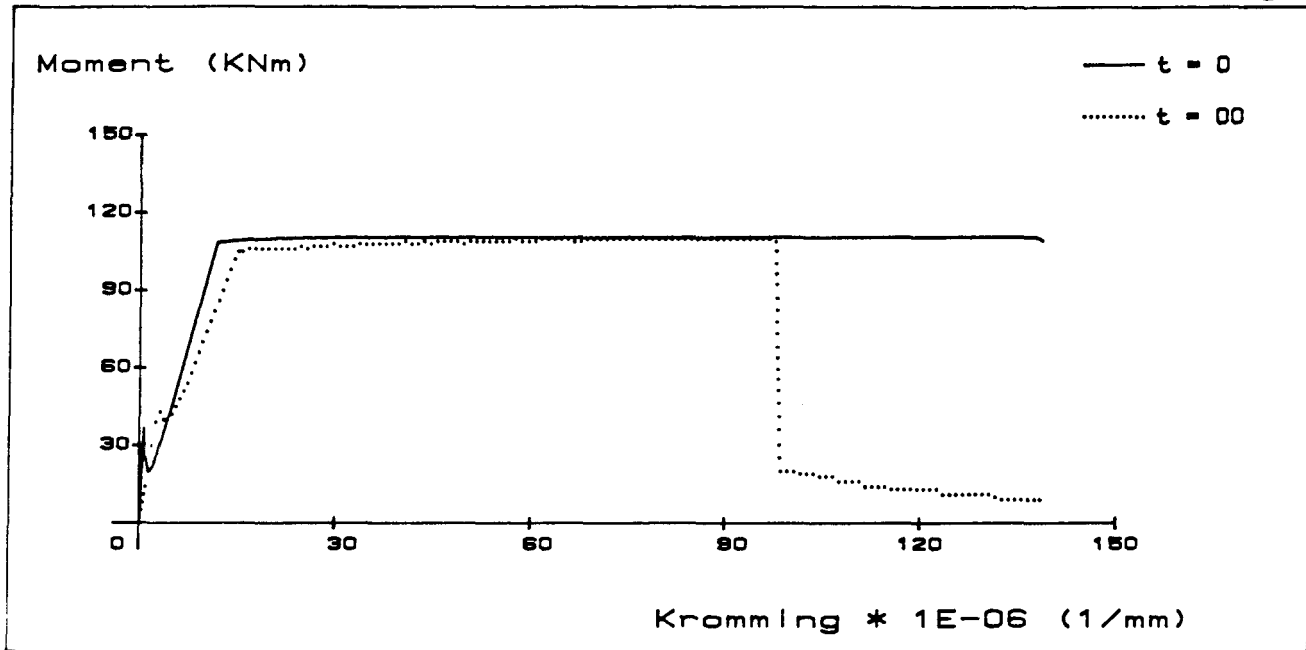
Et= 7486 N/mm²

Efo= 5200 N/mm²

Efoo= 4069 N/mm²

0.6 * Mu

zonder tension stiffening



Dobeko 1

ht= 277 mm

Wo= 2.00 %

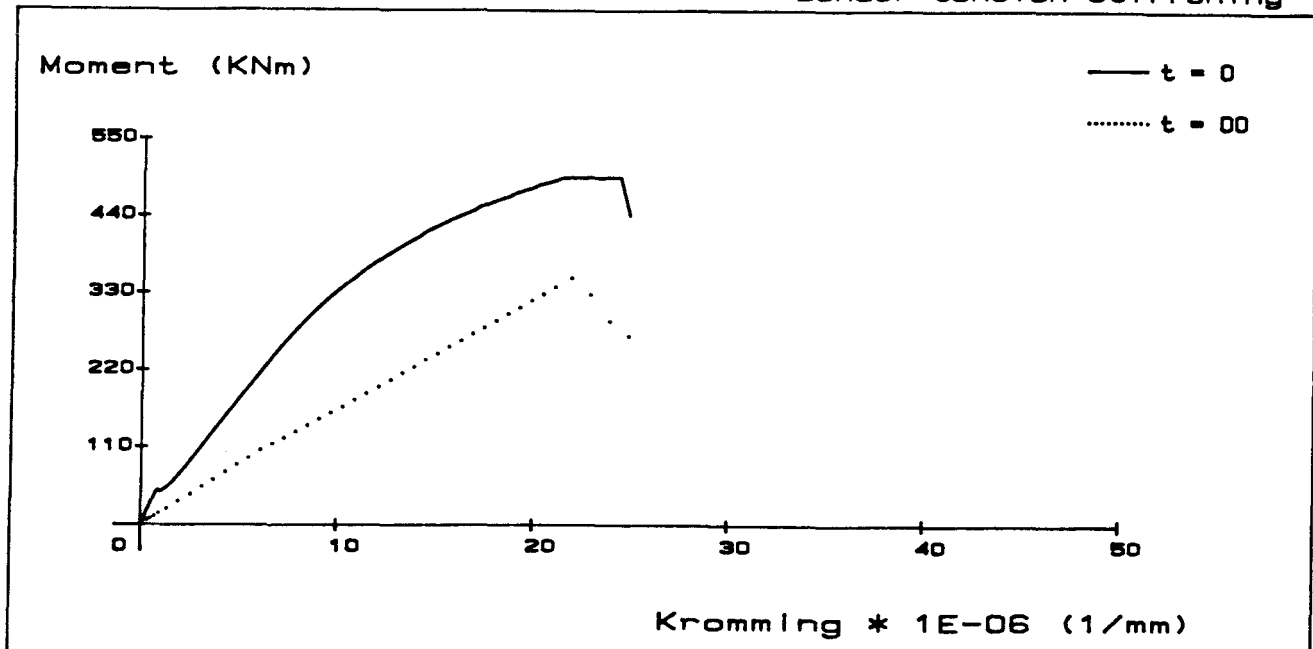
Et= 5000 N/mm²

Efo= 19649 N/mm²

Efoo= 9104 N/mm²

0.6 * Mu

zonder tension stiffening



Dobeko 1

ht=277 mm

Wo=2.00 %

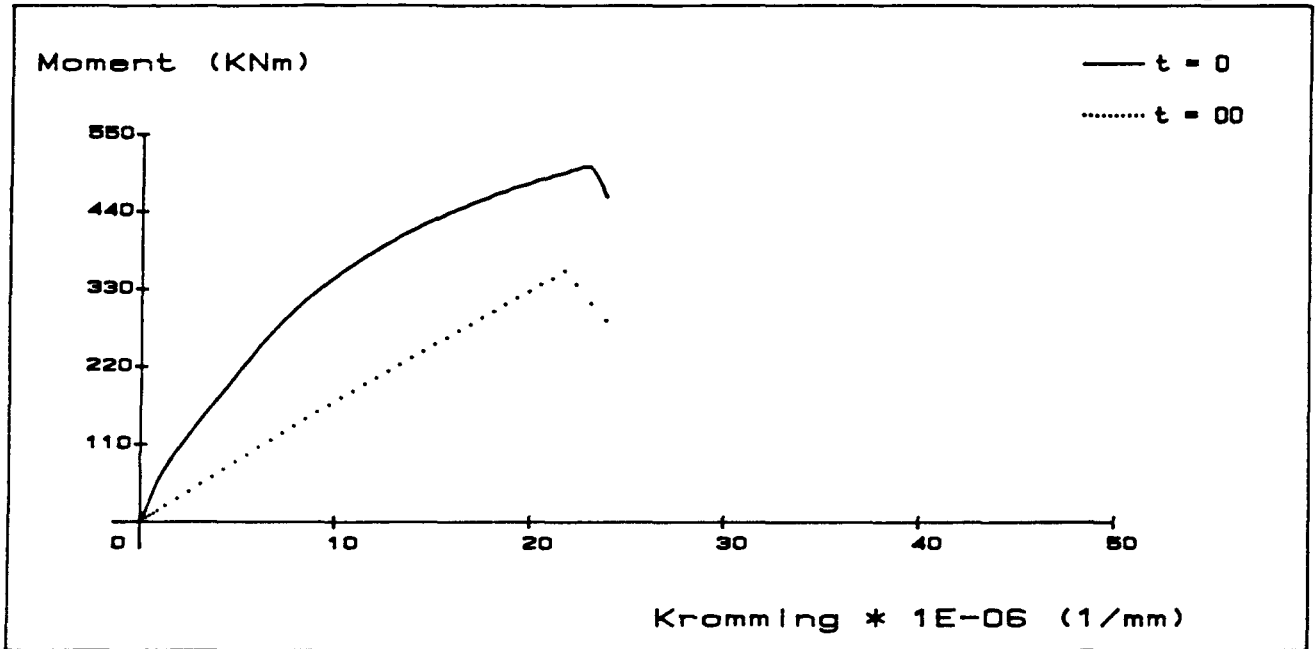
Et= 5000 N/mm²

Efo= 21538 N/mm²

Efoo= 9337N/mm²

0.6 * Mu

met tension stiffening



Dobeko 1

ht=277 mm

Wo=0.35 %

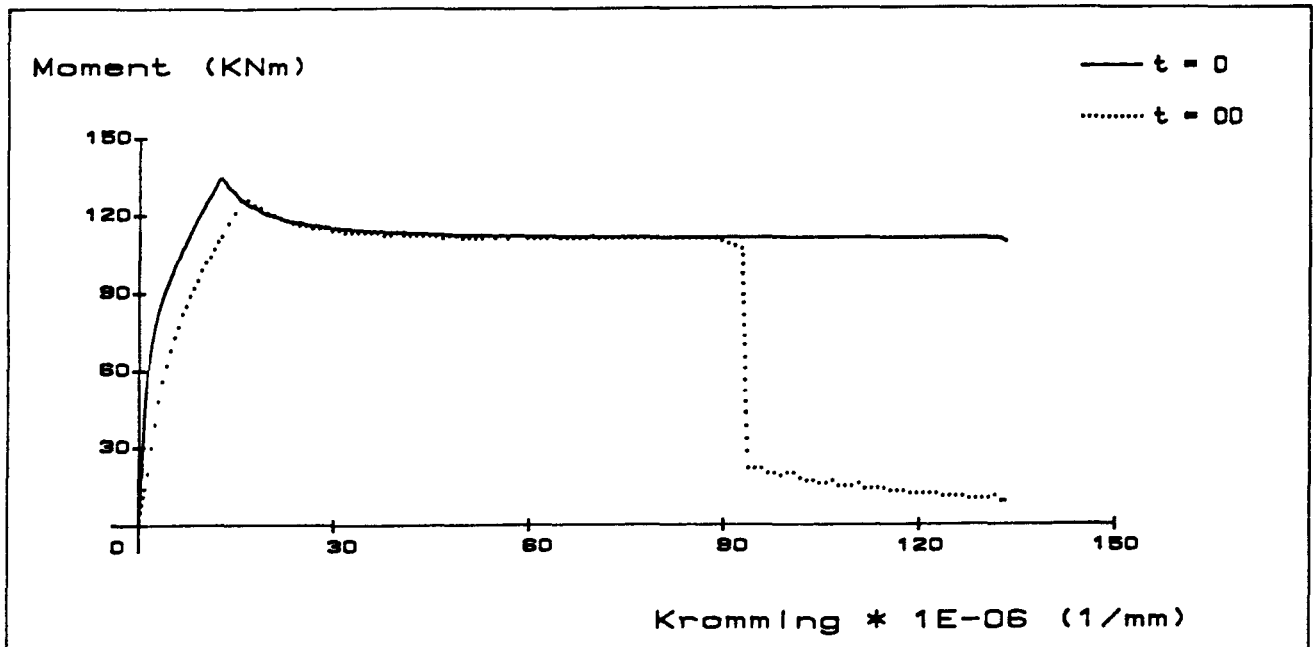
Et= 7486 N/mm²

Efo= 21978 N/mm²

Efoo= 7959N/mm²

0.6 * Mu

met tension stiffening



Hoofdstuk 6 BEREKENINGSMETHODE 4
DOBEKO 2.

§ 6.1 Inleiding.

DOBEKO 2 (Doorbuiging Beton Konstrukties 2) is een computerprogramma, geschreven in de taal Turbo Pascal 4, dat van een gegeven betondoorsnede met wapening het M-K diagram en de fictieve elasticiteitsmodulus in het gebruiksstadium bepaalt voor zowel $t = 0$ als $t = \infty$. Dit programma, gemaakt naar de ideeën van ir. T.A.M. Salet, benadert de werkelijke invloed van de krimp en kruip vervorming voor de situatie $t = \infty$. Eén duidelijk verschil met DOBEKO 1 is dus al, dat de invloed van de krimp meteen verwerkt zit in het programma.

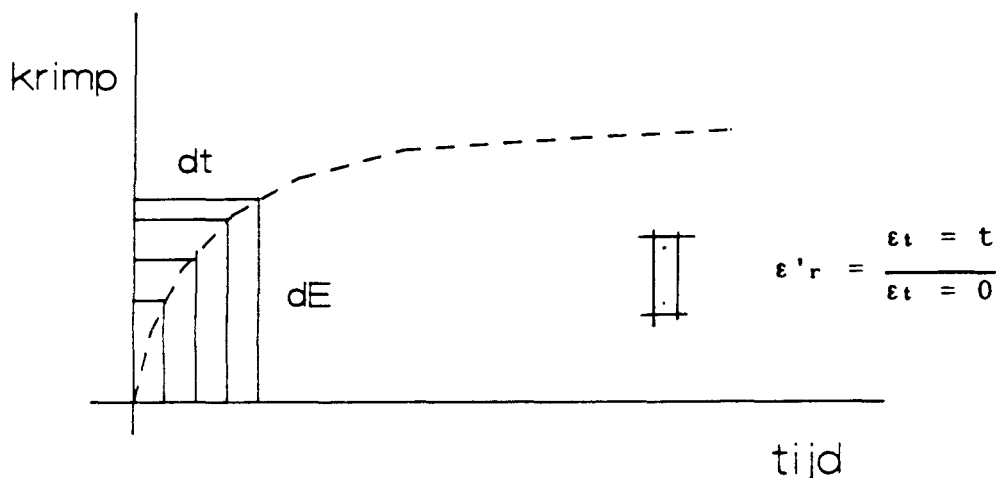
Voor de situatie $t = 0$ rekt dit programma, op precies dezelfde wijze als DOBEKO 1, het M-K diagram en de fictieve elasticiteitsmodulus uit met één uitzondering dat de belasting, voorgesteld door een opgelegde kromming, bij elke stap in de lus twintig maal groter is.

Voor de situatie $t = \infty$ gaat dit programma uit van een heel andere benadering om het M-K diagram te bepalen. In DOBEKO 1 wordt de invloed van (alleen) de kruip op een eenvoudige manier verdisconteerd door aanpassing van het sigma-epsilon diagram. In DOBEKO 2 wordt een werkelijke spanningsherverdeling nagebootst, die door krimp en kruip in de loop der tijd ontstaan en waardoor ook de totale vervorming groter zal worden.

§ 6.2 Principes DOBEKO 2 voor $t = \infty$.

De invloed van de krimp wordt bepaald volgens een krimpcoëfficiënt ε'_r uit artikel A 201.3.5 van de Voorschriften Beton: $\varepsilon'_r = \varepsilon'_c * k_b * k_h * k_j$. Voor ε'_c is een waarde genomen van $40E-05$, behorende bij een relatieve vochtigheid van 45%. k_b is gelijk aan 1.15 voor B 25 en k_h wordt, afhankelijk van de overspanning (en dus hoogte), in het programma steeds uitgerekend. De krimpvervorming wordt in stapjes uitgedrukt tot het proces een periode van 1 jaar doorlopen

heeft. Stel de krimpverkorting op $t = t$ is gelijk aan $d\varepsilon$ (zie figuur 29 op blz. 61). Indien deze stapjes voldoende klein (7 dagen) worden genomen, dan mag in dit hele tijdsinterval met de waarde van $d\varepsilon$ gerekend worden

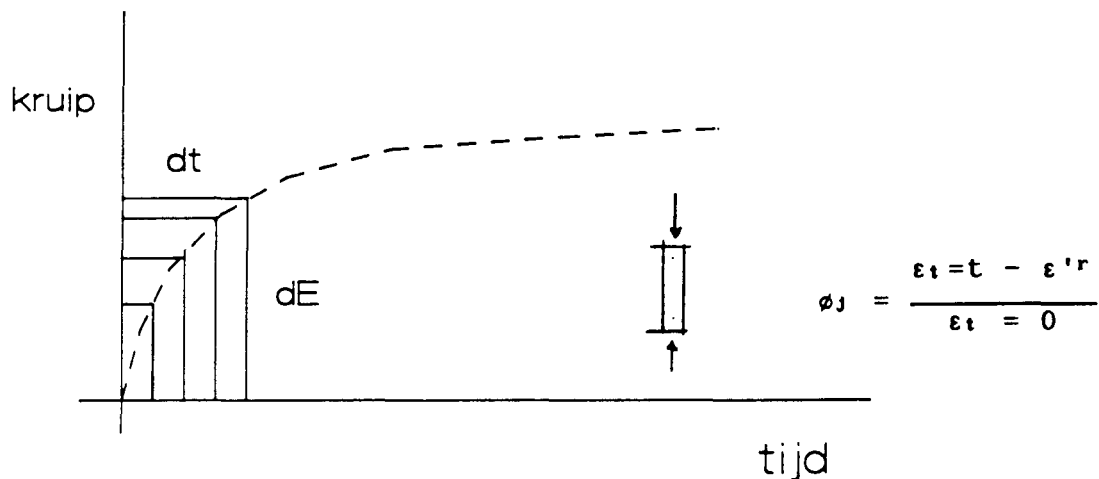


figuur 29 Krimpcurve volgens Voorschriften Beton.

Voor bepaling van de kruipvervormingen wordt niet geheel de weg volgens de Voorschriften Beton doorlopen. Met artikel A 201.3.4 uit de Voorschriften Beton wordt een kruipcoëfficiënt ϕ_s bepaald (zie figuur 30 op blz. 62).

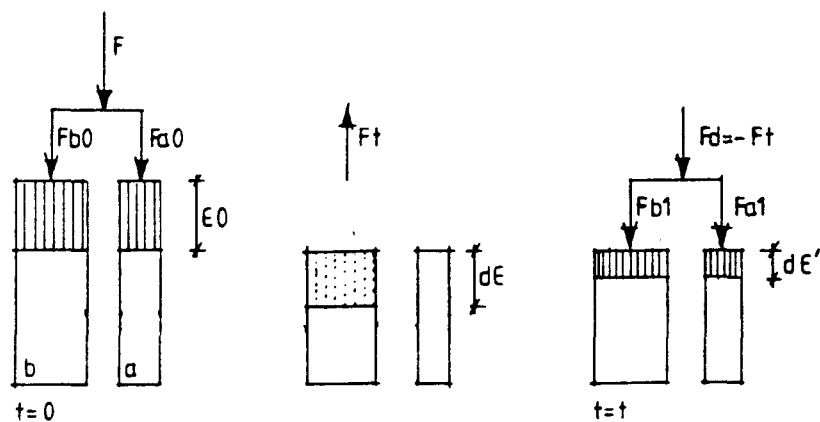
De toename van de rek $d\varepsilon$ over een tijdsinterval dt volgt uit formule [59]:

$$d\varepsilon = \frac{\sigma'_b}{E'_b} * d\phi_s \quad [59].$$



figuur 30 Kruipkromme volgens Voorschriften Beton.

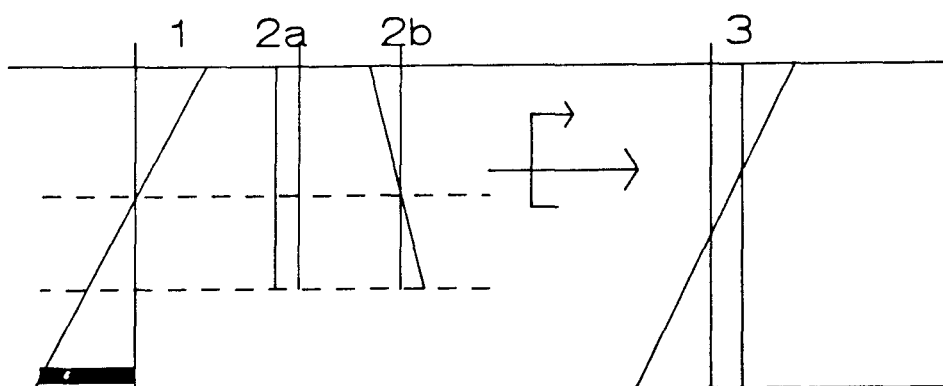
Indien in de betondoorsnede geen staal aanwezig is, dan kan krimp- en kruipverkorting vrij optreden en is er geen effect op de spanningsverdeling merkbaar. Is er wel staal in de doorsnede, dan zal deze de verkorting willen tegenhouden en onder druk komen staan, terwijl het beton ontlast wordt. De uiteindelijk werkelijk optredende krimp- en kruipvervorming zal kleiner zijn dan de opgelegde vervorming. Voor de berekening van dit proces wordt de volgende gedachtengang gevolgd (zie figuur 31 op blz. 62).



figuur 31 Schematisatie krimp- en kruipproces. [Feron 1986: 20-25]

Het beton ondergaat de volledige krimp- en kruipvervorming. Nu is er geen sprake meer van een vlakke doorsnede omdat het staal niet verkort is. Om nu toch aan deze voorwaarde te voldoen wordt een trekkracht F_1 geïntroduceerd, die alleen op het beton aangrijpt en de krimp- en kruipvervorming terugtrekt. Het krachterevenwicht voldoet niet meer en dus wordt er een kracht F_2 geïntroduceerd ter grootte van F_1 maar tegengesteld van richting, aangrijpend op zowel het beton als op het staal. Ten gevolge van deze kracht F_2 wordt de werkelijke vervorming van de hele doorsnede (staal en beton) berekend. Deze nieuwe vervorming zal kleiner zijn dan de opgelegde vervorming.

Figuur 32 op blz. 63 geeft van de gewapend betondoorsnede de ontstane vervormingen in een plaatje weer.



figuur 32 Vervormingen door krimp en kruip.

Vervorming 1 is de elastische vervorming ontstaan door belasting voor de situatie $t = 0$. De bovenste stippellijn geeft de neutrale lijn weer (de betondrukhoogte x), de onderste stippellijn geeft de hoogte van de ongescheurde beton weer welke meedoet voor het krimp- en kruipproces. De ongescheurde betonmassa krijgt een extra vervorming opgelegd van krimp (2a) en kruip (2b), als eerste stap in het totale proces van 52 (weken). Deze krimp- en kruipvervorming veroorzaakt in elk laagje een terugwerkkraft om deze vervorming

op te heffen. De kracht wordt voor elk laagje gesommeerd en meteen verplaatst naar het EI-zwaartepunt van de samenwerkende doorsnede, waardoor ook een moment ontstaat. Uiteindelijk wordt deze kracht en het moment van richting omgedraaid en op de samenwerkende doorsnede gezet, zodat de vervormingen van 3 ontstaan. De uiteindelijke (werkelijke) vervorming, na één stap van het proces, wordt gevonden door de vervormingen van 1 en 3 bijelkaar te sommeren (links van de neutrale vervormings-as is positief en rechts daarvan is negatief). De vervorming om de spanning te bepalen wordt gevonden door de vervorming van 1, 2a, 2b en 3 bijelkaar te sommeren. De eerste stap (van een week krimp- en kruip vervorming) is klaar, en deze spanningsvervorming is uitgangspunt voor de tweede stap in het proces. Als het hele proces (52 stappen) doorlopen heeft, dan worden de resultaten op het scherm uitgeprint. In vergelijking met de beginsituatie $t = 0$, zal de betonspanning afgenomen zijn en de staalspanning evenals de totale kromming toegenomen zijn.

Voor het volgende proces wordt de beginkromming ($t = 0$) met $2E-06$ [1/mm] opgehoogd en het programma herhaalt de gehele berekening totdat de betonvervorming in de drukzone de grens van $3.75E-03$ bereikt heeft.

Tension-stiffening wordt in dit proces buiten beschouwing gelaten (ook voor de situatie $t = 0$). Voor berekening van de krimp en kruip vervormingen doet alleen ongescheurd beton mee; indien de trekspanning groter wordt dan 2.7 N/mm^2 dan wordt het beton als gescheurd verondersteld.

§ 6.3 Resultaten DOBEKO 2.

Ook Dobeko2 laat mooie plaatjes van het berekende M-Kappa diagram zien (zie blz. 65 t/m 67).

De lijn van situatie $t = 0$ is, op één uitzondering na, precies hetzelfde als de lijn volgens programma Dobeko 1. De knik, na het optreden van het scheurmoment, is niet zichtbaar omdat Dobeko 2 stappen neemt die 20 maal groter zijn dan Dobeko 1 (het scheurmoment is al gepasseerd).

Bij hoge wapeningspercentages zijn er twee dingen die opvallen voor de $t = \infty$ lijn. Allereerst dat er een duidelijke knik in de lijn waar te nemen is, welke te verklaren is uit het feit dat daar de

wapening gaat vloeien en geen (grote) kracht meer kan opnemen. Immers, de toename van de staalspanning door krimp en kruip neemt excessief toe tot de vloeispanning. Ten tweede, dat de kromming bij breuk groter is dan de $t = 0$ lijn. Dit laatste komt doordat de betonspanningen erg laag blijven (zelfs bij breuk) en doordat de toename van de (grote) staalspanning welke na de vloeispanning niet meer opgenomen kan worden resulteert in een forse toename van de kromming.

Het aantal punten dat Dobeko 2 van het M-Kappa berekent is beduidend minder dan Dobeko 1, om zodoende de rekentijd van het programma enigzins binnen de perken te houden. Dobeko 2 neemt (krommings) stappen van $20E-07$ [1/mm] en na het bereiken van de beton- en staalvloeigrens voor situatie $t = 0$, (krommings) stappen van $40E-06$ [1/mm].

Dobeko 2

$W_0 = 1.20 \%$

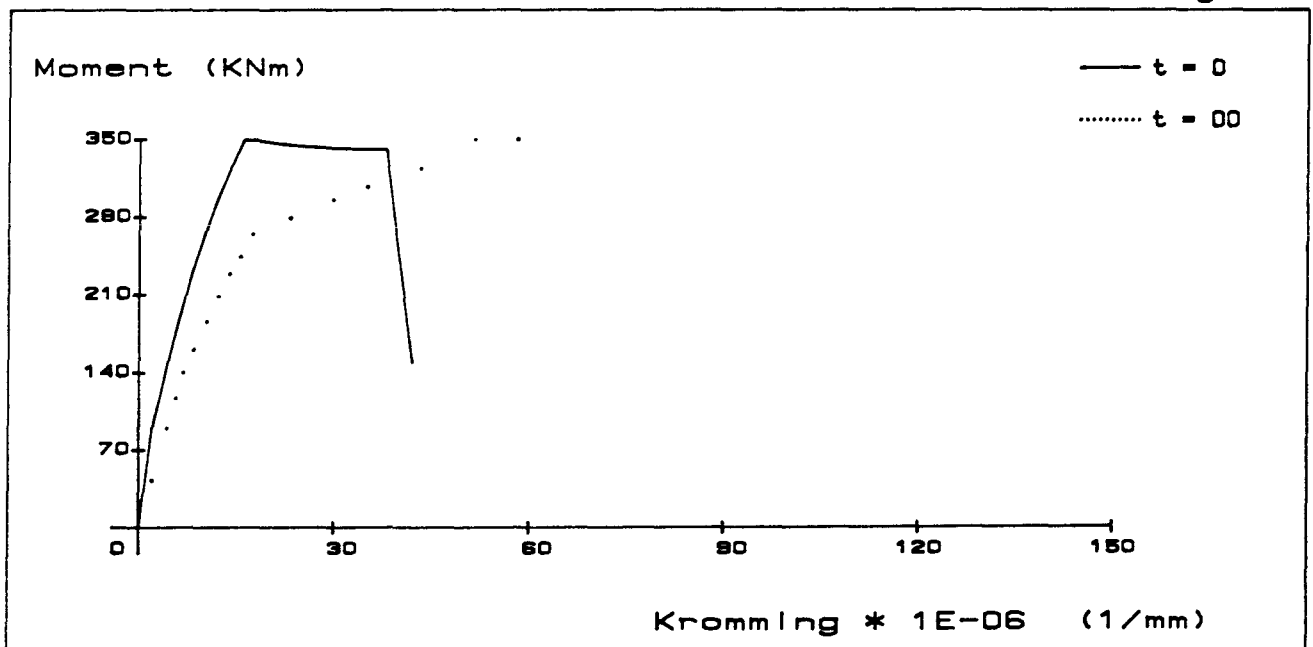
$h_t = 277 \text{ mm}$

$0.6 * \mu_u$

$E_{fc} = 16871 \text{ N/mm}^2$

$E_{f00} = 9755 \text{ N/mm}^2$

met tensielon stiffening



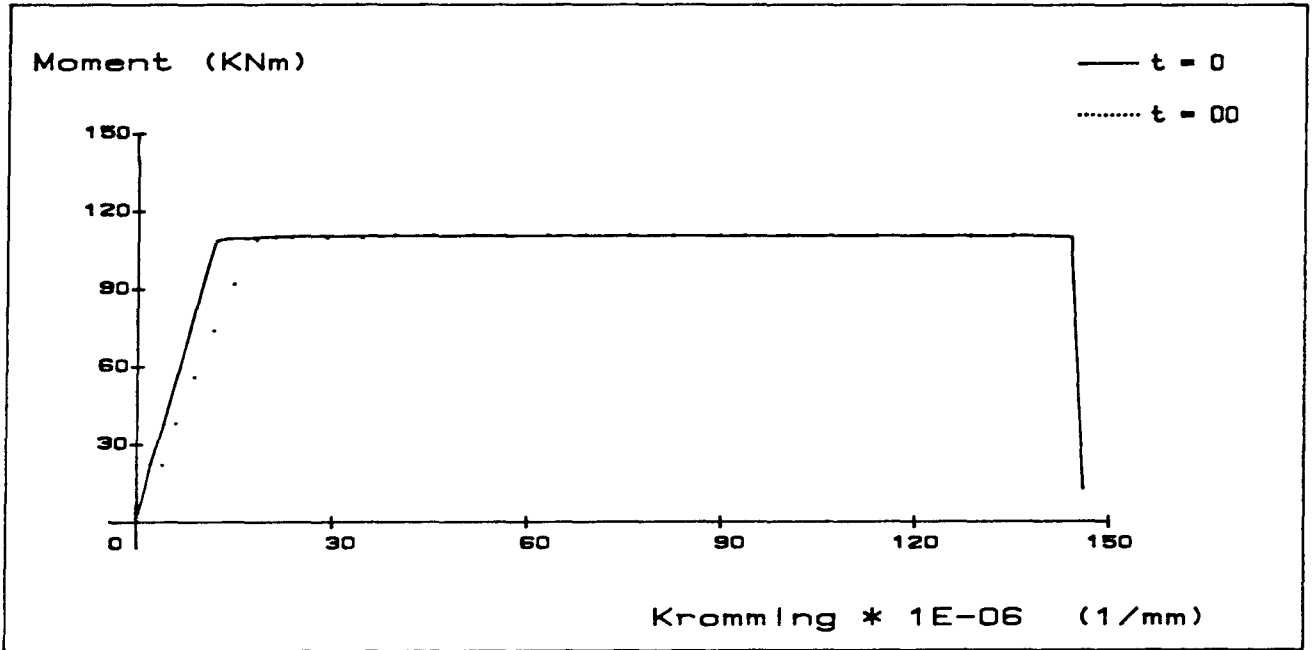
Dobeko 2

W₀ = 0.35 %
h_t = 277 mm
0.6 * Mu

E_{fo} = 5219 N/mm²

E_{foo} = 3558 N/mm²

zonder tension stiffening



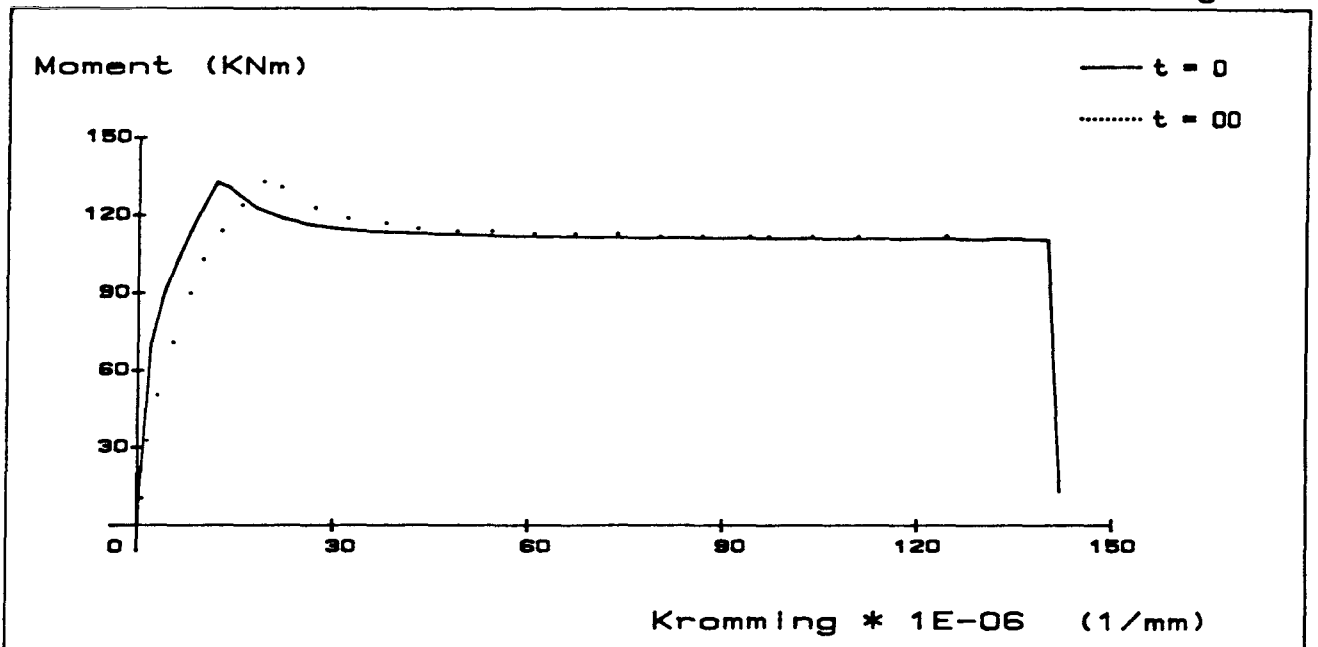
Dobeko 2

W₀ = 0.35 %
h_t = 277 mm
0.6 * Mu

E_{fo} = 20053 N/mm²

E_{foo} = 7480 N/mm²

met tension stiffening



Dobeko 2

$W_0 = 0.70 \%$

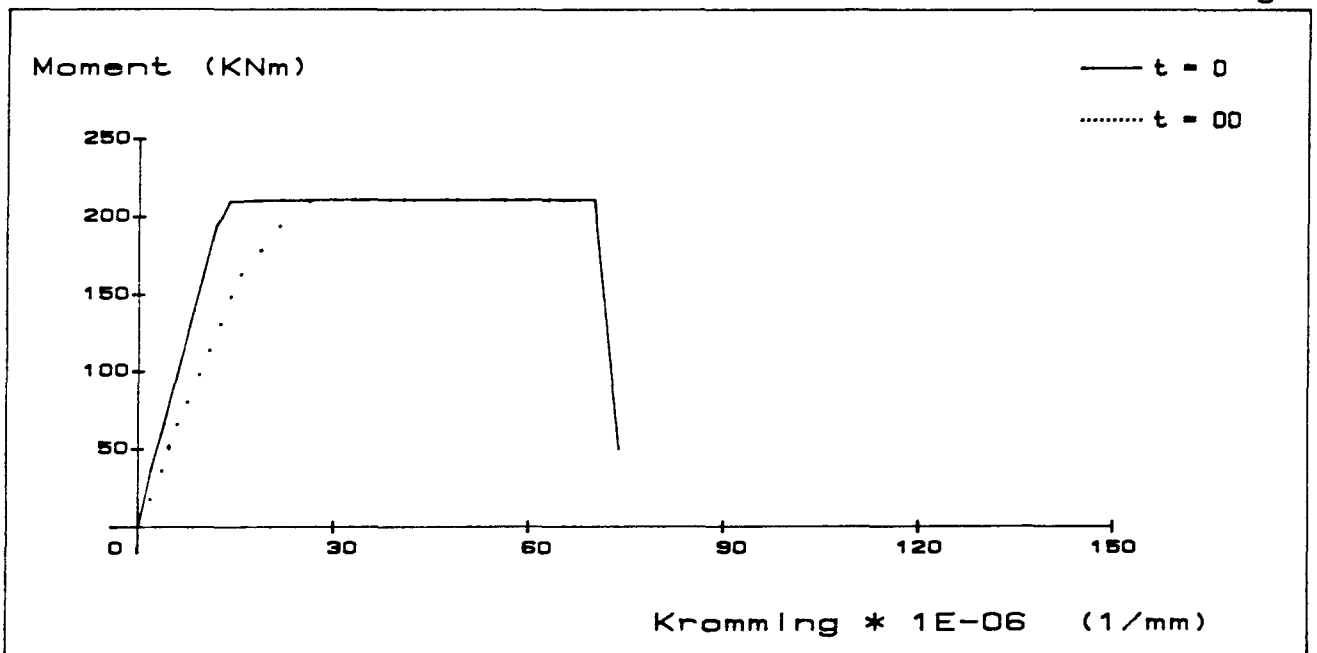
$h_t = 277 \text{ mm}$

$0.6 * \mu_u$

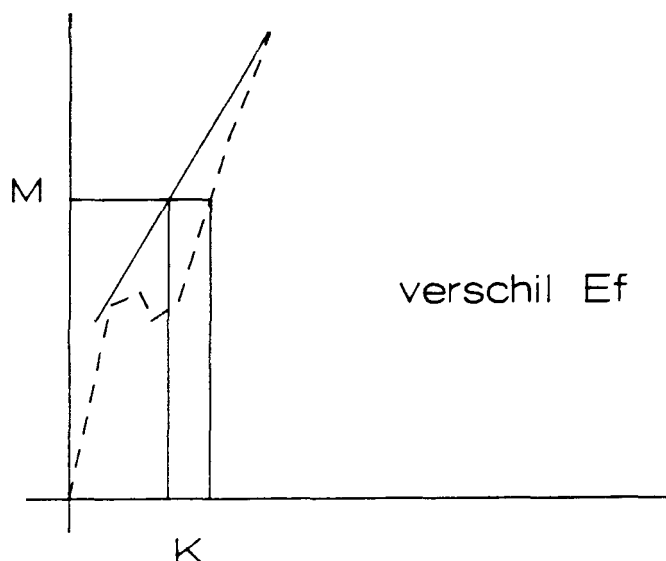
$E_{fo} = 9221 \text{ N/mm}^2$

$E_{foo} = 5839 \text{ N/mm}^2$

zonder tension stiffening



Rekenmethoden 1 en 3 verschillen nauwelijks qua uitkomsten, bij een berekening zonder tension-stiffening, op een uitzondering na. Bij berekening van de fictieve E-modulus ($t = 0$ en $t = \infty$) geeft rekenmethode 3 (Dobeko 1) een lagere waarde. Dit verschil wordt uiteengezet in figuur 34 op blz. 68.



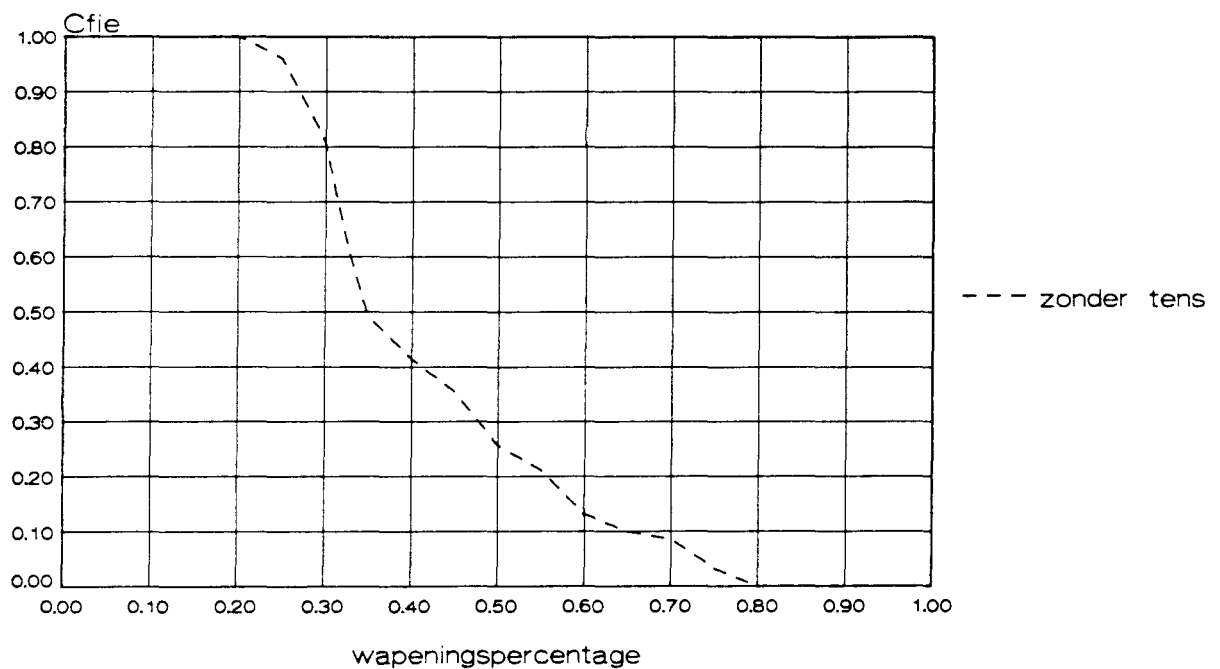
figuur 34 Verschil in E-fictief tussen rekenmethode 1 en 3 (zonder tension-stiffening).

Bij rekenmethode 1 wordt, voor bepaling van de kromming bij het gebruiksmoment, geïnterpoleerd tussen de kromming van het scheurmoment en de kromming van bijvoorbeeld het staalvloeimoment. Bij rekenmethode 3 wordt rechtstreeks bij het gebruiksmoment de kromming bepaald maar, deze is groter i.v.m. methode 1 vanwege het vervormingsgestuurd belasten van de doorsnede.

Maakt men berekeningen van de doorbuiging m.b.v. de resultaten van Dobeko 1 en Dobeko 2 dan verschillen deze uitkomsten. Dit is het uitgangspunt voor het opstellen van een grafiek, waarin de reducerende invloed van de wapening op de toename van de kruipvervorming naar voren komt. Het is dezelfde faktor $C\phi$ als in rekenmethode 2 gebruikt wordt.

Voer bij Dobeko 1, voor $t = \infty$, een elasticiteitsmodulus in volgens de Voorschriften Beton. Met de uitkomsten is een doorbuiging ($t = \infty$) te bepalen. Laat voor hetzelfde geval ook Dobeko 2 rekenen, en

bepaal de doorbuiging. Trek van deze laatste uitkomst de doorbuiging van krimp af; noem deze doorbuiging even x [mm]. Probeer nu met Dobeko 1, volgens de trial and error methode en het invoeren van een grotere E' , een zodanige fictieve elasticiteitsmodulus te krijgen dat een berekening hiervan de doorbuiging x [mm] oplevert. Het verschil tussen de ingevoerde E' modulus bepaalt coëfficiënt C_s op. Het resultaat is in onderstaande grafiek uitgezet.



figuur 35 Verschil tussen Dobeko 1 en 2 uitgedrukt in een faktor C_s .

Samenvatting en conclusies.

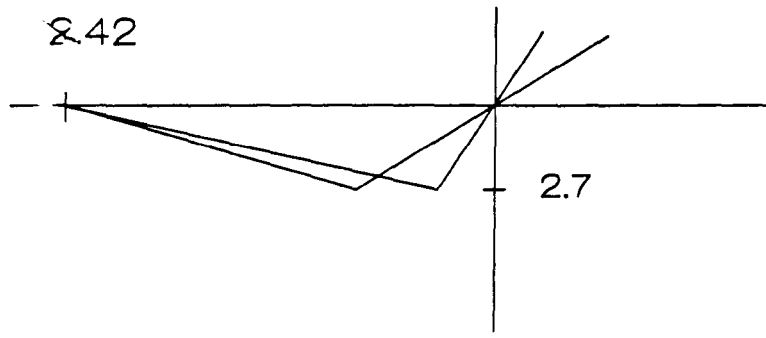
In dit verslag zijn vier rekenmodellen gepresenteerd, om een M-Kappa diagram van gewapend beton te bepalen zowel voor de situatie $t = 0$ als voor $t = \infty$.

Uit deze M-Kappa diagrammen is een fictieve E-modulus te bepalen, waarmee de doorbuiging bepaald kan worden.

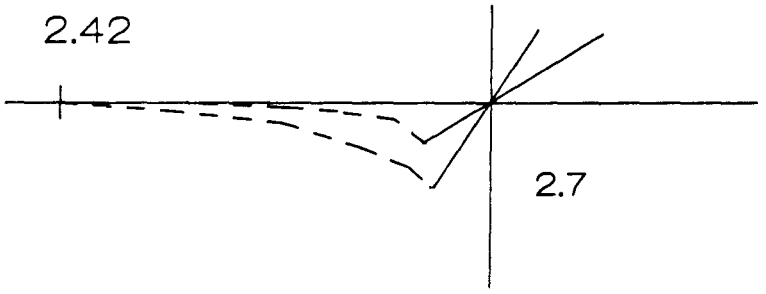
De vier methoden zijn achtereenvolgens:

methode 1	stelsels van lineaire vergelijkingen
methode 2	afleiding fictieve E-modulus
methode 3	computerprogramma Dobeko 1
methode 4	computerprogramma Dobeko 2

Tension-stiffening is in dit verslag uitsluitend geschematiseerd, met als gevolg dat aan de resultaten geen absolute betekenis gegeven mag worden. Figuur 33 (blz. 71) geeft aan hoe de tension-stiffening in dit verslag geschematiseerd is, met daaronder een mogelijke aanpassing om tot een beter resultaat te komen.



tension stiffening



figuur 33 Schematisatie tension-stiffening met daaronder een (betere) versie ervan.

Berekening doorbuiging.

Als laatste is voor alle vier de methoden (standaard geval met $L=6000$ mm, dekking= 20 mm en $W_0 = 0.3\%$) een berekening van de doorbuiging gemaakt. De resultaten volgen hieronder:

Methode 1	$\delta_o =$	12.8 mm
	$\delta_{oo} = 22.3 + 5.2 =$	27.5 mm
Methode 2	$\delta_o =$	13.5 mm
	$\delta_{oo} = 22.4 + 5.2 =$	27.6 mm
Methode 3 (zonder tens.)	$\delta_o =$	19.6 mm
	$\delta_{oo} = 31.4 + 5.2 =$	36.6 mm
(met tens.)	$\delta_o =$	3.5 mm
	$\delta_{oo} = 12.2 + 5.2 =$	17.4 mm
Methode 4 (zonder tens.)	$\delta_o =$	19.6 mm
	$\delta_{oo} =$	35.9 mm
(met tens.)	$\delta_o =$	4.6 mm
	$\delta_{oo} =$	14.0 mm

Methode 1 en 2 liggen op een lijn, methode 3 en 4 vallen erbuiten. Wordt zonder tension-stiffening gerekend (wat niet werkelijk is), dan krijgt men uiteraard te grote doorbuigingen. Rekent men met tension-stiffening dan krijgt men (met deze schematisatie van de tension-stiffening) veels te kleine doorbuigingen. Het volgende voorstel is nu arbitrair door mij vastgelegd: tel doorbuiging van 3 en 4 op, en deel deze uitkomst door 2. Men krijgt dan:

Methode 3*	$\delta_o =$	11.6 mm
	$\delta_{oo} =$	27.0 mm
Methode 4*	$\delta_o =$	12.1 mm
	$\delta_{oo} =$	25.0 mm

Berekening van de doorbuiging van betonvloeren blijft een moeilijke zaak, maar met dit verslag is geprobeerd enkele methoden naar voren te brengen waarmee de problematiek opgelost kan worden. De resultaten van deze rekenmethoden zijn alleen getoetst aan die van reeds bestaande rekenmethoden. Of deze resultaten in overeenstemming zijn met de werkelijkheid is geen uitgangspunt van dit verslag geweest.

De enige vooruitgang die dan nog geboekt kan worden ligt in de verdere vereenvoudiging van de berekening.

** BIJLAGEN 1 **

Berekeningen van de doorbuiging van een standaard plaatligger, statisch bepaald met scharnier- en roloplegging, volgens verschillende methoden (Monnier, de Jong, Cur 115, Vis en Sagel, V.B. '84, Bruggeling, en de Bruijn).

Uitgangspunten van de standaard plaatligger:

- 1) overspanning 6000 mm
- 2) wapeningspercentage 0.3%
- 3) het gebruiksmoment is 0.6 maal het breukmoment (M_u)
- 4) betonkwaliteit B 25
- 5) staalkwaliteit FeB 500
- 6) kruipcoëfficiënt $\phi_t = 3$
- 7) hoogteverhouding $h_t/h = 1.085$
- 8) gelijkmatig verdeelde belasting
- 9) $M_{maxv} = 0.125 * Q * L^2$ [KNm]

Door deze aannamen kunnen al enkele gegevens genoteerd worden die voor elke methode konstant blijven.

$$L_{min} = L = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{breedte } b = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{B 25: } \text{-----} \rightarrow E'_b = 29000 \text{ N/mm}^2$$

$$f'_b = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bm} = 1.2 * (1 + 0.05 * 25) = 2.7 \text{ N/mm}^2 \text{ of}$$

$$f_{bm} = 1.25 * (1 + 0.05 * 25) = 2.81 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{FeB 500 } \text{-----} \rightarrow E_a = 206000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_a = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$h \geq \frac{1}{35} * 6000 \geq 171 \text{ mm}$$

$$h \geq \frac{500 * 0.6 * 6000}{7000} \geq 257 \text{ mm} \quad \leftarrow \text{----- maatgevend}$$

$$h_t = 1.085 * 257 = 279 \text{ mm}$$

$$\text{wapening} = \frac{0.3}{100} * 1000 * 257 = 771 \text{ mm}^2$$

$$\text{betondrukzone } x = \frac{771 * 500}{(9/14) * 1000 * 20} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{weerstandsmoment} = (1/6) * 1000 * 279^2 = 13 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\text{traagheidsmoment} = (1/12) * 1000 * 279^3 = 18.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$E'_{bt} = \frac{29000}{1 + 3} = 7250 \text{ N/mm}^2$$

$$M_u = 771 * 500 * (257 - 0.36 * 30) = 95 \text{ KNm}$$

$$M_m = 0.6 * 95 = 57 \text{ KNm}$$

$$(1/8) * Q * 6^2 = 57 \quad \text{-----} \rightarrow Q = 12.7 \text{ KN/m}^1$$

$$\begin{aligned} \text{belastingverdeling:} \quad q_g &= 0.279 * 24 = 6.7 \text{ KN/m}^1 \\ q_r &= \quad \quad \quad = 1.0 \quad ,, \\ q_q &= \quad \quad \quad = 5.0 \quad ,, \\ &+ \frac{\quad \quad \quad}{12.7 \text{ KN/m}^1} \end{aligned}$$

$$M_{\text{permanent}} = 0.125 * (6.7 + 1 + 0.33 * 5) * 6^2 = 42 \text{ KNm}$$

METHODE 1 MONNIER

$$(EI)_o = 29000 * 18.1 * 10^8 = 5.25 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_g = 0.5 * 206000 * 771 * 257^2 = 5.25 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$M_r = 2.7 * 13 * 10^6 = 35.1 \text{ KNm}$$

$$\frac{M_p}{M_r} = \frac{42}{35.1} = 1.2 \quad \text{-----} \rightarrow C_g = 0.74$$

$$(1 + 3 * 0.74) = 3.22$$

$$K_r = \left[\frac{35.1 * 10^6}{5.25 * 10^{13}} + \frac{(42 - 35.1) * 10^6}{5.25 * 10^{12}} \right] * 3.22 + \frac{(57 - 42) * 10^6}{5.25 * 10^{12}}$$

$$K_r = 9.24 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$\delta_r = \frac{5}{48} * 9.24 * 10^{-6} * 6000^2 = 34.7 \text{ mm}$$

METHODE 2 de JONG

aanname bij deze methode voor: $k_d = k_t = k_r = 1.1$

$$n = \frac{206000}{1.1 * 29000} = 6.46$$

$$w = 0.003$$

$$I_b = 1.1 * 18.1 * 10^8 = 19.9 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$(EI)_0 = 29000 * 19.9 * 10^8 = 5.8 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$M_r = 1.1 * 2.81 * 13 * 10^6 = 40.2 \text{ KNm}$$

$$K_r = \frac{40.2 * 10^6}{5.8 * 10^{13}} = 6.9 * 10^{-7} \text{ mm}^{-1}$$

$$k_x = ((6.46 * 0.003)^2 + 2 * 6.46 * 0.003) * 500 - 6.46 * 0.003 = 0.178$$

$$M_u = 0.003 * 1000 * 257^2 * 500 * (1 - 0.33 * 0.178) = 93.2 \text{ KNm}$$

$$K_u = \frac{500}{206000 * 257 * (1 - 0.178)} = 1.15 * 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_g = \frac{(93.3 - 40.2) * 10^6}{(115 - 6.9) * 10^{-7}} = 4.91 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$n_t = 6.46 * (1 + 3) = 25.84$$

$$I_t = I_b = 19.9 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$(EI)_{ot} = 7250 * 19.9 * 10^8 = 1.44 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$M_{rt} = 40.2 * (1 - 25.84 * 0.003 * 3) = 30.9 \text{ KNm}$$

$$K_{rt} = \frac{30.9 * 10^6}{1.44 * 10^{13}} = 2.15 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$k_{xt} = ((25.84 * 0.003)^2 + 2 * 25.84 * 0.003) * - 25.84 * 0.003 ,$$

$$k_{xt} = 0.324$$

$$M_{ut} = 0.003 * 1000 * 257^2 * 500 * (1 - 0.33 * 0.324) = 88.4 \text{ KNm}$$

$$K_{ut} = \frac{500}{206000 * 257 * (1 - 0.324)} = 1.4 * 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_{gt} = \frac{(88.4 - 30.9) * 10^6}{(14 - 2.15) * 10^{-6}} = 4.2 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$K_{\infty} = \frac{30.9 * 10^6}{1.44 * 10^{13}} + \frac{(42 - 30.9) * 10^6}{4.2 * 10^{12}} + \frac{(57 - 42) * 10^6}{4.91 * 10^{12}} = 7.8 * 10^{-6}$$

$$\delta_{\infty} = \frac{5}{48} * 7.8 * 10^{-6} * 6000^2 = 29.3 \text{ mm}$$

METHODE 3 Cur 115

$$n = \frac{206000}{29000} = 7.1$$

$$n * w_0 = 7.1 * 0.3 = 2.13 \text{ -----> } k_0 = 1.05$$

$$k_r = 1.06$$

$$I_b = 18.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_s = (1/12) * 1000 * 257^3 = 14.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$(EI)_0 = 1.05 * 29000 * 18.1 * 10^8 = 5.5 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$M_r = 1.06 * 2.7 * 13 * 10^6 = 37.2 \text{ KNm}$$

$$(EI)_g = 0.5 * 206000 * 771 * 257^2 = 5.25 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$K_u = \frac{37.2 * 10^6}{5.51 * 10^{13}} + \frac{(95 - 37.2) * 10^6}{5.25 * 10^{12}} = 1.168 * 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_s = 29000 * (0.33 * 1000 * 30^3 + 7.1 * 771 * (257 - 30)^2) ,$$

$$(EI)_s = 8.44 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$K_u = \frac{95 * 10^6}{8.44 * 10^{12}} = 1.125 * 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_g = \frac{1.168}{1.125} * 5.25 * 10^{12} = 5.45 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$n_t = \frac{206000}{7250} = 28.4$$

$$n_t * w_o = 28.4 * 0.3 = 8.52 \text{ -----> } k_m = 0.73$$

$$k_o = 1.15$$

$$k_s = 0.62$$

$$M_{r t} = 0.73 * 37.2 = 27 \text{ KNm}$$

$$(EI)_{o t} = 1.15 * 7250 * 18.1 * 10^8 = 1.51 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$K_{r t} = \frac{27 * 10^6}{1.51 * 10^{13}} = 1.8 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_{s t} = 0.62 * 7250 * 14.1 * 10^8 = 6.4 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$K_{s t} = \frac{95 * 10^6}{6.4 * 10^{12}} = 14.8 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_{g t} = \frac{(95 - 27) * 10^6}{(14.8 - 1.8) * 10^{-6}} = 5.2 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$K_{-} = 1.8 * 10^{-6} + \frac{(42 - 27) * 10^6}{5.2 * 10^{12}} + \frac{(57 - 42) * 10^6}{5.45 * 10^{12}} = 7.44 * 10^{-6}$$

$$\delta_{-} = \frac{5}{48} * 7.44 * 10^{-6} * 6000^2 = 27.9 \text{ mm}$$

METHODE 4 VIS en SAGEL

$$M_r = 2.7 * 13 * 10^6 = 35.1 \text{ KNm}$$

$$(EI)_o = 29000 * 18.1 * 10^8 = 5.25 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$w_o = 0.3 \text{ -----} \rightarrow k_1 = 0.2$$

$$k_{kr} = 0.1$$

$$I_s = 0.2 * 18.1 * 10^8 = 3.6 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$(EI)_s = 29000 * 3.6 * 10^8 = 1.05 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$E'_{bt} = \frac{29000}{(1 + 0.1 * 3)} = 22308 \text{ N/mm}^2$$

$$(EI)_{ot} = 22308 * 18.1 * 10^8 = 4 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{st} = 22308 * 3.6 * 10^8 = 8 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\text{doorbuiging bepalen met: } \delta = \frac{c * Q * L^4 * 10^{-3}}{(EI)_s} \text{ mm}$$

voor een tweezijdig vrij opgelegde plaat geldt: $c = 13$

$$\delta_1 = \frac{13 * 7.7 * 6000^4}{1000 * 1.05 * 10^{13}} = 12.4 \text{ mm}$$

$$\delta_v = \frac{5}{7.7} * \delta_1 = \frac{5}{7.7} * 12.4 = 8.1 \text{ mm}$$

$$\delta_p = \frac{13 * 9.36 * 6000^4}{1000 * 8 * 10^{12}} = 19.7 \text{ mm}$$

$$\text{toename t.g.v. kruip: } 19.7 - (12.4 + 0.33 * 8.1) = 4.6 \text{ mm}$$

$$\delta_{b1j} = 1.26 * (8.1 + 4.6) = 16 \text{ mm}$$

$$\delta_w = 12.4 + 16 = 28.4 \text{ mm}$$

METHODE 5 V.B. '84

$$\text{staalspanning} = 0.6 * 500 = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$K_s = \frac{300}{(257 - 30) * 206000} = 6.42 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$\delta_s = \frac{5}{48} * 6.42 * 10^{-6} * 6000^2 = 24 \text{ mm}$$

METHODE 6 BRUGGELING

$$t = 0 \text{ -----} \rightarrow E'_{bt} = 29000 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_{cr} = 1.8 \text{ N/mm}^2$$

$$t = \infty \text{ -----} \rightarrow E'_{bt} = \frac{26}{2.5 * 10^{-3}} = 10400 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr} = 1.45 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 257 \text{ mm}$$

$$w^d = 0.003$$

$$w = \frac{771}{1000 * 279} = 0.0028$$

$$A_c = 1000 * 279 = 279000 \text{ mm}^2$$

$$I_c = 18.1 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$e_s = 257 - 0.5 * 279 = 118 \text{ mm}$$

$$\theta = 1 + \frac{279000}{18.1 * 10^8} * 118^2 = 3.15$$

$$I_{cs} = 18.1 * 10^8 * \frac{1 + 7.1 * 0.0028 * 3.15}{1 + 7.1 * 0.0028} = 18.9 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{cs2} = \frac{18.1 * 10^8 * (1 + 7.1 * 0.0028 * 3.15)}{7.1 * 0.0028 * 22 + 139} = 13.8 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = (0.8 + 0.4 * 0.279^{0.6}) * 1.8 * 13.8 * 10^6 = 41.2 \text{ KNm}$$

$$A_c^* = \frac{41.2 * 10^6}{0.9 * 257 * 1.8} = 99064 \text{ mm}^2$$

$$w = \frac{771}{99064} = 0.0078 \quad , \quad \sigma_{cr2} = 2.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s cr2} = 2.18 * \left[\frac{1}{0.0078} + 7.1 \right] = 296 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = (35 + 2.7 * 296) * 10^{-6} = 0.83 * 10^{-3}$$

$$\alpha_{ts} = \frac{296}{206000 * 0.83 * 10^{-3}} = 1.73$$

$$M_{cr2} = 1.2 * 41 = 49.5 \text{ KNm}$$

$$h_x = 257 * (-7.1 * 1.73 * 0.003 + ((7.1 * 1.73 * 0.003)^2 + 2 * 7.1 * 1.73 * 0.003)^{0.5}) = 61 \text{ mm}$$

$$K_{cr2} = \frac{2 * 49.5 * 10^6}{29000 * 1000 * 61^2 * (257 - 0.33 * 61)} = 3.8 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$h_x = 257 * (-7.1 * 0.003 + ((7.1 * 0.003)^2 + 2 * 7.1 * 0.003)^{0.5}) ,$$

$$h_x = 48 \text{ mm}$$

berekening gedrag -----> $\sigma_{sy} = 530 \text{ N/mm}^2$

$$M_{sy} = 771 * 530 * (257 - 0.33 * 48) = 99 \text{ KNm}$$

$$K_{sy} = \frac{2 * 99 * 10^6}{29000 * 1000 * 48^2 * (257 - 0.33 * 48)} = 12.2 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$t = \infty \text{ -----} \rightarrow n_s = 19.8$$

$$\sigma_{cr} = 1.45 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{cs} = 18.1 * 10^8 * \frac{1 + 19.8 * 0.0028 * 3.15}{1 + 19.8 * 0.0028} = 20.2 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{csz} = \frac{18.1 * 10^8 * (1 + 19.8 * 0.0028 * 3.15)}{19.8 * 0.0028 * 22 + 140} = 15.2 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{cr} = (0.8 + 0.4 * 0.279^{-0.6}) * 1.45 * 15.2 * 10^6 = 36.6 \text{ KNm}$$

$$A_c^* = \frac{36.6 * 10^6}{0.9 * 257 * 1.45} = 109128 \text{ mm}^2$$

$$w = \frac{771}{109128} = 0.007 \quad , \quad \sigma_{cr2} = 1.74 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s cr2} = 1.74 * \left[\frac{1}{0.0072} + 19.7 \right] = 281 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon = (35 + 2.7 * 281) * 10^{-6} = 0.79 * 10^{-3}$$

$$\alpha_{ts} = \frac{281}{206000 * 0.79 * 10^{-3}} = 1.72$$

$$M_{cr2} = 1.2 * 36.6 = 44 \text{ KNm}$$

$$h_x = 257 * (-19.8 * 1.72 * 0.003 + ((19.8 * 1.72 * 0.003)^2 + 2 * 19.8 * 1.72 * 0.003)^{0.5}) = 93 \text{ mm}$$

$$K_{cr2} = \frac{2 * 44 * 10^6}{10400 * 1000 * 93^2 * (257 - 0.33 * 93)} = 4.3 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$h_x = 257 * (-19.8 * 0.003 + ((19.8 * 0.003)^2 + 2 * 19.8 * 0.003)^{0.5}) ,$$

$$h_x = 75 \text{ mm}$$

$$\text{berekening gedrag -----} \rightarrow \sigma_{sy} = 530 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{sy} = 771 * 530 * (257 - 0.33 * 75) = 95 \text{ KNm}$$

$$K_{sy} = \frac{2 * 95 * 10^6}{10400 * 1000 * 75^2 * (257 - 0.33 * 75)} = 14 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

bepaling buigstijfheid:

$$\alpha = 0.643 \text{ en } \beta = 0.354$$

$$M_u = 771 * 500 * 257 * \left[1 - \frac{0.354 * 500}{0.643 * 20} * 0.003 \right] = 95 \text{ KNm}$$

$$M_m = 0.6 * 95 = 57 \text{ KNm}$$

$$K = 3.8 * 10^{-6} + \frac{(57 - 49.5)}{(99 - 49.5)} * (12.2 - 3.8) * 10^{-6} = 5.1 * 10^{-6} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$(EI)_{csr} = \frac{57 * 10^6}{5.1 * 10^{-6}} = 1.12 * 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

$$E_{f0} = \frac{1.12 * 10^{13}}{18.1 * 10^8} = 6200 \text{ N/mm}^2$$

$$K = 4.3 * 10^{-6} + \frac{(57 - 44)}{(95 - 44)} * (14 - 4.3) * 10^{-6} = 6.7 * 10^{-6} \text{ mm}^{-1}$$

$$(EI)_{csr} = \frac{57 * 10^6}{6.7 * 10^{-6}} = 8.5 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$E_{f0} = \frac{8.5 * 10^{12}}{18.1 * 10^8} = 4700 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta_{00} = \frac{5}{384} * \frac{6000^4}{18.1 * 10^8} * \left[\frac{7.7 + 0.33 * 5}{4700} + \frac{0.66 * 5}{6200} \right] = 23.5 \text{ mm}$$

METHODE 7 de BRUIJN

$$E_{f_0} = 4100 + 7800 * 0.3 = 6440 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{f_{-}} = 3500 + 5200 * 0.3 = 5060 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta_{-} = \frac{5}{384} * \frac{6000^4}{18.1 * 10^8} * \left[\frac{7.7 + 0.33 * 5}{5060} + \frac{0.66 * 5}{6440} \right] = 22 \text{ mm}$$

```

*****
**  BIJLAGEN  2  **
*****

```

```

program dobekol (input, output);

```

```

uses crt, graph;

```

```

var tens, i, j, aantal, emod, kmax, mmax           : integer;
    lengte, h, ht, dekking, wapperc, aa, zwpp,
    x, k, ftotb, ftoto, mtotb, mtoto, epb,
    epo, sigb, sigo, sigs, a, b, d, xE,
    zwppE, ftotEb, ftotEo, mtotEb, mtotEo, epEb,
    epEo, sigEb, sigEo, sigEs, Mu, xu,
    veilig, kdobu, kEdobu, m1, m2, mE1, mE2,
    efic, etfic, schaalx, schaalx, k1, k2,
    kE1, kE2, momentmax                           : real;
    xco, yco, yEco                                 : array [1..3000]
of real;
    stuk, breuk, betrek, btrek1, stvloei,
    bevloei, bevloei1, bevloei2, bevloei3,
    fbisfo, tension, fEbisfEo, btrekE1, betreke,
    stvloeiE, bvloeiE, bvloei2E, bvloei3E,
    stuikE, M, M0, ME, ME0                         : boolean;
    p, q, r                                         : byte;
    ch, cha                                         : char;
    aux                                             : text;
    u, v                                            : array [1..10] of
string;

```

```

{$I plotter4.inc}

```

```

procedure fEboven (var ftotEbp, mtotEbp, epEbp, sigEbp: real);
var i                               : integer;
    epEbp1, sigEbp1, fEb, mEb       : array [0..500] of real;
begin
    xE:= xE + 0.5; ftotEbp:= 0; mtotEbp:= 0; i:= 1;
    while i <> (xE + 0.5) do
    begin
        epEbp1[i]:= k * (xE - i);
        if epEbp1[i] <= (20/Emod)
            then sigEbp1[i]:= (epEbp1[i] / (20/Emod)) * 20
            else if epEbp1[i] <= 3.5E-03
                then sigEbp1[i]:= 20
                else sigEbp1[i]:= 0;
        fEb[i]:= sigEbp1[i] * 1000;
        mEb[i]:= fEb[i] * (xE - i);
        ftotEbp:= ftotEbp + fEb[i];
        mtotEbp:= mtotEbp + mEb[i];
        inc (i)
    end;
    epEbp:= epEbp1[1]; sigEbp:= sigEbp1[1]
end;

```

```

procedure fboven (var ftotbp, mtotbp, epbp, sigbp: real);
var i
    : integer;
    epbp1, sigbp1, fb, mb    : array [0..500] of real;
begin
    x:= x + 0.5; ftotbp:= 0; mtotbp:= 0; i:= 1;
    while i <> (x + 0.5) do
    begin
        epbp1[i]:= k * (x - i);
        if epbp1[i] <= 0.689E-03
            then sigbp1[i]:= (epbp1[i] / 0.689E-03) * 20
            else if epbp1[i] <= 3.5E-03
                then sigbp1[i]:= 20
                else sigbp1[i]:= 0;
        fb[i]:= sigbp1[i] * 1000;
        mb[i]:= fb[i] * (x - i);
        ftotbp:= ftotbp + fb[i];
        mtotbp:= mtotbp + mb[i];
        inc (i)
    end;
    epbp:= epbp1[1]; sigbp:= sigbp1[1]
end;

```

```

procedure fEonder (var ftotEop, mtotEop, epEop, sigEop, sigEps:
real;
                    var btrekElp: boolean);
var i
    : integer;
    epEs, fEs, mEs
    : real;
    epEop1, sigEop1, fEo, mEo
    : array [0..500] of real;
begin
    btrekElp:= false;
    zwpe:= zwpe + 0.5; ftotEop:= 0; mtotEop:= 0; i:= 1;
    while i <> (zwpe + 0.5) do
    begin
        epEop1[i]:= k * (zwpe - i);
        if epEop1[i] <= 2.7 / Emod
            then sigEop1[i]:= (epEop1[i] / (2.7/Emod)) * 2.7
            else if tension
                then
                begin
                    btrekElp:= true;
                    if epEop1[i] <= 2.427E-03
                        then begin
                            sigEop1[i]:= 2.7 * (2.427E-03 - epEop1[i]);
                            sigEop1[i]:= sigEop1[i] / (2.427E-03 -
(2.7/Emod))
                        end
                    else sigEop1[i]:= 0
                end
                else
                begin
                    btrekElp:= true;
                    sigEop1[i]:= 0
                end
            end;
    end;

```

```

    fEo[i]:= sigEop1[i] * 1000;
    mEo[i]:= fEo[i] * (zwpE - i);
    ftotEop:= ftotEop + fEo[i];
    mtotEop:= mtotEop + mEo[i];
    inc (i)
end;
epEop:= epEop1[1]; sigEop:= sigEop1[1];
epEs:= (zwpE - dekking) * k;
if epEs <= 2.4271845E-03
    then sigEps:= (epEs / 2.427E-03) * 500
    else sigEps:= 500;
fEs:= aa * sigEps;
mEs:= fEs * (zwpE - dekking);
ftotEop:= ftotEop + fEs;
mtotEop:= mtotEop + mEs
end;

procedure fonder (var ftotop, mtotop, epop, sigop, sigps: real;
                  var btreklp: boolean);
var i
    eps, fs, ms                : integer;
    eps, fs, ms                : real;
    epop1, sigop1, fo, mo      : array [0..500] of real;
begin
    btreklp:= false;
    zwp:= zwp + 0.5; ftotop:= 0; mtotop:= 0; i:= 1;
    while i <> (zwp + 0.5) do
    begin
        epop1[i]:= k * (zwp - i);
        if epop1[i] <= 9.31E-05
            then sigop1[i]:= (epop1[i] / 9.31E-05) * 2.7
            else if tension
                then
                    begin
                        btreklp:= true;
                        if epop1[i] <= 2.427E-03
                            then begin
                                sigop1[i]:= 2.7 * (2.427E-03 - epop1[i]);
                                sigop1[i]:= sigop1[i] / (2.427E-03 -
9.31E-05)
                            end
                        else sigop1[i]:= 0
                    end
                else
                    begin
                        btreklp:= true;
                        sigop1[i]:= 0
                    end;
        fo[i]:= sigop1[i] * 1000;
        mo[i]:= fo[i] * (zwp - i);
        ftotop:= ftotop + fo[i];
        mtotop:= mtotop + mo[i];
        inc (i)
    end;
end;

```

```

epop:= epop1[1]; sigop:= sigop1[1];
eps:= (zwp - dekking) * k;
if eps <= 2.427E-03
  then sigps:= (eps / 2.427E-03) * 500
  else sigps:= 500;
fs:= aa * sigps;
ms:= fs * (zwp - dekking);
ftotop:= ftotop + fs;
mtotop:= mtotop + ms
end;

procedure teken (var schaalxp, schaalyp: real; var kmaxp, mmaxp:
integer);
var graphdriver, graphmode, errorcode, w,
    maxx, maxy, i
    s, t
    : integer;
    : array [1..10] of
string[250];
begin
  graphdriver:= detect;
  initgraph (graphdriver, graphmode, 'c:\turbo');
  errorcode:= graphresult;
  if errorcode <> grOk then
  begin
    writeln ('Graphics error: ',grapherrormsg (errorcode));
    writeln ('Program aborted...');
    halt (1)
  end;
  rectangle (0, 0, getmaxX, getmaxY);
  setttextstyle (defaultfont, horizdir, 1);
  maxx:= round (k * 1E+04);
  case maxx of
    0: kmaxp:= 50;
    1: kmaxp:= 150;
    2: kmaxp:= 250;
    3: kmaxp:= 350;
    4: kmaxp:= 450;
    5: kmaxp:= 550
  end;
  schaalxp:= 500 / kmaxp;
  i:= 1;
  while i<> 6 do
  begin
    str ((i * kmaxp / 5):3:0, s[i]);
    outtextXY ((102+100*i), 253,s[i]);
    moveto ((110+100*i), 248); lineto ((110+100*i), 252);
    i:= i + 1
  end;
  str (wapperc:3:2, s[6]); outtextXY (10, 320, 'Wo=      %');
  outtextXY (40, 320, s[6]);
  str (ht:3:0, s[7]); outtextXY (120, 320, 'ht=      mm');
  outtextXY (150, 320, s[7]);
  if tension
  then outtextXY (240, 320, 'met tension stiffening')
  else outtextXY (240, 320, 'zonder tension stiffening');
  str (veilig:2:1, s[8]); outtextXY (660, 320, '* Mu');
  outtextXY (630, 320, s[8]);
  str (emod:5, s[9]); outtextXY (480, 320, 'Et=      N/mm2');
  outtextXY (510, 320, s[9]);
  outtextXY (480, 290, 'kromming * 1E-06 (1/mm)');
  outtextXY (200, 339, 'Druk op <return> om door te gaan.');
```

```

outtextXY (100, 253, '0');
maxy:= round (momentmax / 100);
case maxy of
  0: mmaxp:= 50;
  1: mmaxp:= 150;
  2: mmaxp:= 250;
  3: mmaxp:= 350;
  4: mmaxp:= 450;
  5: mmaxp:= 550
end;
schaalyp:= 200 / mmaxp;
i:= 1;
while i<> 6 do
begin
  str ((i * mmaxp / 5):3:0, t[i]);
  outtextXY (80, (247-40*i),t[i]);
  moveto (108, (250-40*i)); lineto (112, (250-40*i));
  i:= i + 1
end;
outtextXY (10, 30, 'moment (knm)');
moveto (110, 260); lineto (110, 50);
moveto (100, 250); lineto (610, 250);
setviewport (110, 50, 610, 250, true);
moveto (0, 200);
setlinestyle (solidln, 0, thickwidth);
for w:= 1 to aantal do
begin
  lineto (round (schaalx * xco[w]), round (200 - schaalyp *
yco[w]))
end;
moveto (0, 200);
setlinestyle (dashedln, 0, normwidth);
for w:= 1 to aantal do
begin
  lineto (round (schaalx * xco[w]), round (200 - schaalyp *
yEco[w]))
end;
readln;
closegraph
end;

procedure procent (kp, bp: real; var dp: real);
var c: real;
begin
  c:= kp * 1E+07;
  case round (c/b) of
    0: dp:= 5;
    1: dp:= 10;
    2: dp:= 20;
    3: dp:= 30;
    4: dp:= 40;
    5: dp:= 50;
    6: dp:= 60;
    7: dp:= 70;
    8: dp:= 80;
    9: dp:= 90;
  end
end;
end;

```



```

procedure print;
begin
  gotoXY (1, 1); write ('Wo =      %');
  gotoXY (6, 1); write (wapperc:3:2);
  gotoXY (1, 2); write ('ht =      mm');
  gotoXY (6, 2); write (ht:3:0);
  gotoXY (1, 3); write ('Et =      N/mm2');
  gotoXY (5, 3); write (emod:5);
  gotoXY (1, 4);
  if tension then write ('met tens. stiff.')
  else write ('zonder tens. stiff.');
```

```

  gotoXY (1, 5); write ('      * Mu');
  gotoXY (1, 5); write (veilig:2:1);
  gotoXY (4, 7); write ('scheurmoment t=0');
  gotoXY (17, 8); write ('t=00');
  gotoXY (7, 19); write ('M bezwijk t=0');
  gotoXY (17, 20); write ('t=00');
  gotoXY (4, 23); write ('M eps=.00375 t=0');
  gotoXY (17, 24); write ('t=00');
  gotoXY (17, 11); write ('t=0');
  gotoXY (17, 12); write ('t=00');
  gotoXY (17, 15); write ('t=0');
  gotoXY (17, 16); write ('t=00');
  gotoXY (25, 4); write ('x');
  gotoXY (25, 5); write ('(mm)');
  gotoXY (32, 4); write ('sigma b.');
```

```

  gotoXY (32, 5); write ('(N/mm2)');
  gotoXY (44, 4); write ('sigma s.');
```

```

  gotoXY (44, 5); write ('(N/mm2)');
  gotoXY (56, 4); write ('M');
  gotoXY (56, 5); write ('(KNm)');
  gotoXY (65, 4); write ('K * 1E-06');
  gotoXY (65, 5); write ('(1/mm)')
end;
```

```

procedure print1 (rp: byte);
begin
  gotoXY (25, rp); write (x:3:0);
  gotoXY (32, rp); write (sigb:3:1);
  gotoXY (44, rp); write (sigs:4:1);
  gotoXY (56, rp); write ((mtoto+mtotb)/1E+06:4:1);
  gotoXY (65, rp); write (k*1E+06:4:1)
end;
```

```

procedure print2 (rp: byte);
begin
  gotoXY (25, rp); write (xE:3:0);
  gotoXY (32, rp); write (sigEb:3:1);
  gotoXY (44, rp); write (sigEs:4:1);
  gotoXY (56, rp); write ((mtotEo+mtotEb)/1E+06:4:1);
  gotoXY (65, rp); write (k*1E+06:4:1)
end;
```

```

procedure plot;
begin
  assign (aux, 'plot.dat');
  rewrite (aux);
  initplot;
  defplotwindow (0, 0, 15200, 10800);
  defplotworld (0, 0, 15200, 10800);
  setplotcolor (1);
  plline (0, 0, 10000, 0); plline (10000, 0, 10000, 5000);
  plline (10000, 5000, 0, 5000); plline (0, 5000, 0, 0);
  plline (800, 1000, 8500, 1000); plline (1000, 800, 1000, 4000);
  plgotoXY (1000, 1000);
  for j:= 1 to aantal do
  begin
    pldraw (1000 + 15 * schaalx * xco[j], 1000 + 15 * schaaly *
yco[j])
  end;
  plline (8250, 4550, 8700, 4550);
  plgotoXY (8700, 4500); plottext (' t = 0');
  plgotoXY (1000, 1000);
  j:= 1;
  while j < aantal + 1 do
  begin
    plplot (1000 + 15 * schaalx * xco[j], 1000 + 15 * schaaly *
yEco[j]);
    j:= j + 2
  end;
  plplot (8250, 4150); plplot (8300, 4150); plplot (8350, 4150);
  plplot (8400, 4150); plplot (8450, 4150); plplot (8500, 4150);
  plplot (8550, 4150); plplot (8600, 4150); plplot (8650, 4150);
  plplot (8700, 4150); plgotoXY (8700, 4100); plottext (' t = 00');
  setcharsize (20, 20);
  i:= 1;
  while i <> 6 do
  begin
    str ((i * mmax / 5):3:0, u[i]);
    plgotoXY (595, (975+600*i)); plottext (u[i]);
    plline (960, (1000+600*i), 1040, (1000+600*i));
    inc (i)
  end;
  i:= 1;
  while i <> 6 do
  begin
    str ((i * kmax / 5):3:0, v[i]);
    plgotoXY ((850+1500*i), 800); plottext (v[i]);
    plline ((1000+1500*i), 960, (1000+1500*i), 1040);
    inc (i)
  end;
  plgotoXY (800, 800); plottext ('0');
  setcharsize (30, 30);
  plgotoXY (0, 7000); plottext ('Dobeko 1');
  plgotoXY (200, 4500); plottext ('Moment (KNm)');
  plgotoXY (5000, 200); plottext ('Kromming * 1E-06 (1/mm)');
  setcharsize (25, 25);
  plgotoXY (4000, 5800); plottext ('Efo=      N/mm2');
  str (efic:5:0, v[6]); plgotoXY (4700, 5800); plottext (v[6]);
  plgotoXY (7000, 5800); plottext ('Efoo=      N/mm2');
  str (etfic:5:0, v[7]); plgotoXY (7900, 5800); plottext (v[7]);
  plgotoXY (0, 6100); plottext ('Wo=      %');
  str (wapperc:3:2, u[6]); plgotoXY (500, 6100); plottext (u[6]);

```

```

plgotoXY (0, 6400); plottext ('ht=      mm');
str (ht:3:0, u[7]); plgotoXY (500, 6400); plottext (u[7]);
plgotoXY (6000, 5100);
if tension
  then plottext ('met tension stiffening')
  else plottext ('zonder tension stiffening');
plgotoXY (0, 5500); plottext ('      * Mu');
str (veilig:2:1, u[8]); plgotoXY (0, 5500); plottext (u[8]);
plgotoXY (0, 5800); plottext ('Et=      N/mm2 ');
str (emod:5, u[9]); plgotoXY (450, 5800); plottext (u[9]);
exitplot;
close (aux)
end;

```

```

procedure start;
begin
  clrscr;
  writeln; writeln;
  writeln ('Geef de overspanning in mm. '); readln (lengte);
  h:= 500 * 0.6 * lengte / 7000; h:= round (h);
  writeln;
  writeln ('Geef de betondekking in mm. '); readln (dekking);
  ht:= h + dekking;
  writeln;
  writeln ('Geef het wapeningspercentage. '); readln (wapperc);
  aa:= 10 * wapperc * h;
  writeln;
  writeln ('Geef de veiligheidscoefficient c (0.6 of 0.5). '); readln (veilig);
  writeln;
  writeln ('Met of zonder tension stiffening. Zonder = 0, met = 1. ');
  readln (tens);
  if tens = 0
    then tension:= false
    else tension:= true;
  writeln;
  writeln ('Geef de E-modulus voor t=00 '); readln (emod);
  a:= 0.027732 * aa;
  b:= 3.55E3 / a;
  xu:= aa / 36;
  Mu:= aa * 500 * (h - 0.4525 * xu);
  clrscr;
  p:= 1; q:= 1;
  window (p, q, p + 80, q + 25);
  gotoXY (25, 1);
  write ('Het programma heeft reeds berekend. ');
  print;
  zw:= (1000 * ht - aa) * 0.5 * ht + aa * 7.1 * dekking;
  zw:= round (zw / (1000 * ht - aa + 7.1 * aa)) + 1.5;
  x:= ht - zw + 1;
  xE:= x;
  zwE:= zw;
  k:= 0; ftotb:= 0; ftoto:= 1; j:= 1; ftotEb:= 0; ftotEo:= 1;
momentmax:= 0;
  M:= true; M0:= true; ME:= true; ME0:= true; breuk:= false;
betrekE:= true;
  stvloeiE:= true; bvloei2E:= false; bvloeiE:= true; bvloei3E:= false;

```

```

stuike:= true; betrek:= true; stvloei:= true; bevloei:= true;
bevloeil:= true; bevloei2:= false; bevloei3:= false; stuike:=
true;
while not breuk do
begin
k:= k + 1E-07;
fEbisfEo:= false;
fbisfo:= false;
while not fEbisfEo do
begin
if ftotEb < ftotEo
then begin xE:= xE + 0.5; zwpe:= zwpe - 1.5 end
else begin xE:= xE - 1.5; zwpe:= zwpe + 0.5 end;
fEboven (ftotEb, mtotEb, epEb, sigEb);
fEonder (ftotEo, mtotEo, epEo, sigEo,
sigEs, btrekE1);
if abs(ftotEb - ftotEo) < 21000 then fEbisfEo:= true
end;
yEco[j]:= round ((mtotEo + mtotEb) / 1E+06);
while not fbisfo do
begin
if ftotb < ftoto
then begin x:= x + 0.5; zwpe:= zwpe - 1.5 end
else begin x:= x - 1.5; zwpe:= zwpe + 0.5 end;
fboven (ftotb, mtotb, epb, sigb);
fonder (ftoto, mtoto, epo, sigo,
sigs, btrek1);
if abs (ftotb - ftoto) < 21000 then fbisfo:= true
end;
if (mtotb + mtoto) / 1E+06 > momentmax
then momentmax:= (mtotb + mtoto) / 1E+06;
if (mtotb + mtoto < veilig * Mu) and (M0)
then begin
m1:= mtotb + mtoto;
k1:= k
end;
if (mtotb + mtoto > veilig * Mu) and (M)
then begin
m2:= mtotb + mtoto;
k2:= k;
M:= false; M0:= false
end;
if (mtotEb + mtotEo < veilig * Mu) and (ME0)
then begin
mE1:= mtotEb + mtotEo;
kE1:= k
end;
if (mtotEb + mtotEo > veilig * Mu) and (ME)
then begin
mE2:= mtotEb + mtotEo;
kE2:= k;
ME:= false; ME0:= false
end;
xco[j]:= k * 1E+06;
yco[j]:= (mtoto + mtotb) / 1E+06;
aantal:= j;
j:= j + 1;
procent (k, b, d);
gotoXY (51, 1);
write (d:2:0, '%');

```

```

if (btrekE1) and (betrekE) then
begin
  r:= 8;
  print2 (r);
  betrekE:= false
end;
if sigEb < 20 then
begin
  if (sigEs = 500) and (stvloeiE) then
begin
  gotoXY (4, 12); write ('M staalvloei');
  r:= 12;
  print2 (r);
  stvloeiE:= false;
  bvloeiE:= false;
  bvloei2E:= true
end
end;
if sigEb = 20 then
begin
  if (sigEs < 500) and (bvloeiE) then
begin
  gotoXY (4, 12); write ('M betonvloei');
  r:= 12;
  print2 (r);
  bvloeiE:= false;
  stvloeiE:= false;
  bvloei3E:= true
end
end;
if sigEb = 20 then
begin
  if bvloei2E then
begin
  gotoXY (4, 16); write ('M betonvloei');
  r:= 16;
  print2 (r);
  bvloei2E:= false
end
end;
if sigEs = 500 then
begin
  if bvloei3E then
begin
  gotoXY (4, 16); write ('M staalvloei');
  r:= 16;
  print2 (r);
  gotoXY (32, 16); write ('20.0');
  bvloei3E:= false
end
end;
if (epEb > 0.003495) and (stuikE) then
begin
  r:= 20;
  print2 (r);
  gotoXY (32, 20); write ('20.0');
  stuikE:= false
end;
if (btrek1) and (betrek) then
begin

```

```

    r:= 7;
    print1 (r);
    betrek:= false
end;
if sigb < 20 then
begin
    if (sigs = 500) and (stvloei) then
    begin
        gotoXY (4, 11); write ('M staalvloei');
        r:= 11;
        print1 (r);
        stvloei:= false;
        bevloei:= false;
        bevloei2:= true
    end
end;
if sigb = 20 then
begin
    if (sigs < 500) and (bevloei) then
    begin
        gotoXY (4, 11); write ('M betonvloei');
        r:= 11;
        print1 (r);
        bevloei:= false;
        stvloei:= false;
        bevloei3:= true
    end
end;
if sigb = 20 then
begin
    if bevloei2 then
    begin
        gotoXY (4, 15); write ('M betonvloei');
        r:= 15;
        print1 (r);
        bevloei2:= false
    end
end;
if sigs = 500 then
begin
    if bevloei3 then
    begin
        gotoXY (4, 15); write ('M staalvloei');
        r:= 15;
        print1 (r);
        bevloei3:= false
    end
end;
if (epb > 0.003495) and (stuik) then
begin
    r:= 19;
    print1 (r);
    gotoXY (32, 19); write ('20.0');
    stuik:= false
end;
if k > 1E-06 then k:= k + 2E-07;
if (sigb = 20) and (sigs = 500) then k:= k + 2E-07;
if epb >= 3.75E-03 then breuk:= true
end;

```

```

r:= 23;
print1 (r);
r:= 24;
print2 (r);
gotoXY (51, 1); write ('100%');
gotoXY (30, 25);
write ('Druk op <spatiebalk> om door te gaan.');
```

$$k_{dobu} = \left(\frac{\mu \cdot m_1 - m_2}{m_2 - m_1} \right) \cdot (k_2 - k_1) + k_1$$

$$e_{fic} = \mu \cdot \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot h \cdot h \cdot h \cdot k_{dobu}$$

$$k_{Edobu} = \left(\frac{\mu \cdot E_1 - E_2}{E_2 - E_1} \right) \cdot (k_{E2} - k_{E1}) + k_{E1}$$

$$e_{tfic} = \mu \cdot \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot h \cdot h \cdot h \cdot k_{Edobu}$$

```

highvideo; writeln ('Situatie t = 0'); lowvideo;
writeln ('Mmax = ', Mu/1E+06:4:1, ' KNm');
writeln ('Het gebruiksmoment is ', veilig:2:1, ' * Mmax = ',
veilig*Mu/1E+06:4:1, ' KNm');
writeln ('De kromming = ', kdobu * 1E+06:4:1, ' * 1E-06 1/mm');
writeln ('De fictieve E modulus = ', etfic:6:1, ' N/mm2');
writeln; writeln;
highvideo; writeln ('Situatie t = 00'); lowvideo;
writeln ('Mmax = ', Mu/1E+06:4:1, ' KNm');
writeln ('Het gebruiksmoment is ', veilig:2:1, ' * Mmax = ',
veilig*Mu/1E+06:4:1, ' KNm');
writeln ('De kromming = ', kEdobu * 1E+06:4:1, ' * 1E-06 1/mm');
writeln ('De fictieve E modulus = ', etfic:6:1, ' N/mm2');
writeln; writeln; highvideo;
writeln ('Druk op <spatiebalk> om door te gaan'); lowvideo;
ch:= readkey;
teken (schaalx, schaalx, kmax, mmax);
plot;
clrscr;
repeat
writeln; writeln; highvideo;
writeln ('Stoppen met Dobeko 1      J/N'); lowvideo;
cha:= readkey;
cha:= upcase (cha);
until (cha = 'J') or (cha = 'N');
if cha = 'N' then start;
clrscr; writeln; writeln; highvideo;
writeln ('Druk op <spatiebalk> om Dobeko 1 te verlaten');
ch:= readkey
end;
```

```
begin
  clrscr; highvideo;
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln (' *****');
  writeln (' * DOBEKO 1 *');
  writeln (' *****'); lowvideo;
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln (' Een programma voor het bepalen van het M-K diagram
van gewapend beton,');
  writeln (' voor zowel t = 0 als t = 00 (exclusief krimp in-
vloed).');
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln (' Versie 1.0 juni 1989 T.U.E. ');
  writeln; writeln; writeln; highvideo;
  writeln (' Druk op <spatiebalk> om door te gaan. '); lowvideo;
  ch:= readkey;
  start
end.^Z
```



```

program dobeko2 (input, output);

uses crt, graph;

var tens, i, e, f, g, aantal, xp, xE, kmax, mmax      : integer;
    lengte, h, ht, dekking, wapperc, aa, zwf,
    k,ftotb, ftoto, mtotb, mtoto, epb, x,
    epo, sigb, sigo, sigs, a, b, d, epEb,
    epEs, sigEb, sigEs, hm, khr, khc, pr, ku,
    noemer, krimp, kruip, tkrimp, tkruip,
    momentmax, krom, krachtb, kracht, xu, Mu,
    efic, etfic, veilig, schaalx, schaal,
    m1, m2, k1, k2, kE1, kE2, kdobu, kEdobu          : real;
    xco, yco, xEco, yEco                             : array
[0..2400] of real;
    stuik, breuk, fbisfo, tension,
    fEbisfEo, btrek1, breukE, M, M0                  : boolean;
    p, q, r                                           : byte;
    ch, cha                                           : char;
    aux                                               : text;
    u, v                                              : array [1..9]
of string;

```

```

{$I plotter4.inc}

```

```

procedure fboven (var ftotbp, mtotbp, epbp, sigbp: real);
var i
    epbp1, sigbp1, fb, mb
begin
    x:= x + 0.5; ftotbp:= 0; mtotbp:= 0; i:= 1;
    while i <> round (x + 0.5) do
    begin
        epbp1[i]:= k * (x - i);
        if epbp1[i] <= 0.6894E-03
            then sigbp1[i]:= (epbp1[i] / 0.689E-03) * 20
            else if epbp1[i] <= 3.5E-03
                then sigbp1[i]:= 20
                else sigbp1[i]:= 0;
        fb[i]:= sigbp1[i] * 1000;
        mb[i]:= fb[i] * (x - i);
        ftotbp:= ftotbp + fb[i];
        mtotbp:= mtotbp + mb[i];
        inc (i)
    end;
    epbp:= epbp1[1]; sigbp:= sigbp1[1]
end;

```

```

procedure fonder (var ftotop, mtotop, epop, sigop, sigps: real;
                 var btrek1p: boolean);
var i
    eps, fs, ms
    epop1, sigop1, fo, mo
    : integer;
    : real;
    : array [0..500] of real;
begin
    btrek1p:= false;
    zw:= zw + 0.5; ftotop:= 0; mtotop:= 0; i:= 1;
    while i <> round (zw + 0.5) do
    begin
        epop1[i]:= k * (zw - i);
        if epop1[i] <= 9.31E-05
            then sigop1[i]:= (epop1[i] / 9.31E-05) * 2.7
            else if tension
                then
                begin
                    btrek1p:= true;
                    if epop1[i] <= 2.427E-03
                        then begin
                            sigop1[i]:= 2.7 * (2.427E-03 - epop1[i]);
                            sigop1[i]:= sigop1[i] / (2.427E-03 -
9.3103E-05)
                                end
                            else sigop1[i]:= 0
                                end
                        else
                        begin
                            btrek1p:= true;
                            sigop1[i]:= 0
                                end;
                    fo[i]:= sigop1[i] * 1000;
                    mo[i]:= fo[i] * (zw - i);
                    ftotop:= ftotop + fo[i];
                    mtotop:= mtotop + mo[i];
                    inc (i)
                end;
        epop:= epop1[1]; sigop:= sigop1[1];
        eps:= (zw - dekking) * k;
        if eps <= 2.4271845E-03
            then sigps:= (eps / 2.427E-03) * 500
            else sigps:= 500;
        fs:= aa * sigps;
        ms:= fs * (zw - dekking);
        ftotop:= ftotop + fs;
        mtotop:= mtotop + ms
    end;
end;

```

```

procedure tijd (var xEp                                : integer;
                var epEsp, epEbp, sigEsp, sigEbp, kromp : real;
                var breukEp                             : boolea-
n);
var krikru, i, nulpunt, xEsplan, xEsplano             : integer;
    fterug, mterug, toekruip, krachtbp, dag,
    krachtop, beton, nulp, eiai, eiii,
    kromspn, kromspno                                 : real;
    epEbkp, epEbsp, krachtb, krachto                 : array [0..500] of
real;
begin
    i:= 0;
    while i <> xp + 1 do
    begin
        epEbkp[i]:= -(xp - i) * k;
        epEbsp[i]:= epEbkp[i];
        inc (i)
    end;
    i:= xp + 1;
    while i < round (ht) + 1 do
    begin
        if (i - xp) * k <= 9.31E-05
        then begin
            epEbkp[i]:= (i - xp) * k;
            epEbsp[i]:= epEbkp[i]
        end
        else begin
            epEbkp[i]:= 0;
            epEbsp[i]:= 0
        end;
        inc (i)
    end;
    epEsp:= (h - xp) * k;
    kromspn:= k;
    xEsplan:= xp;
    krikru:= 0; dag:= 0;
    while krikru <> 51 do
    begin
        dag:= dag + 7;
        tkrimp:= krimp * ((dag * 1000) / (dag * 1000 + noemer) -
            ((dag - 7) * 1000) / ((dag - 7) * 1000 + noemer));
        tkruip:= kruip * ((dag * 1000) / (dag * 1000 + noemer) -
            ((dag - 7) * 1000) / ((dag - 7) * 1000 + noemer));
        beton:= xEsplan + 9.31E-05 / kromspn;
        if beton > ht then beton:= ht;
        nulp:= (beton * 500 * beton + aa * h * 7.1) / (1000 * beton +
aa * 7.1);
        eiai:= 29000 * 1000 * beton + 206000 * aa;
        eiii:= 29000 * ((1 / 12) * 1000 * exp (ln (beton) * 3) +
            1000 * beton * exp (ln (nulp - 0.5 * beton) * 2)) +
            206000 * ((1 / 12) * (aa / 10) * 1E+03 +
            aa * exp (ln (h - 0.5 * nulp) * 2));
        i:= 0; fterug:= 0; mterug:= 0;
        nulpunt:= round (nulp);
    end;
end;

```

```

repeat
  toekruip:= tkruip * -epEbsp[i];
  epEbsp[i]:= epEbsp[i] + tkrimp + toekruip;
  if nulpunt > xEspan
  then
    begin
      if (tkrimp + toekruip) > 6.896E-04
      then begin
          fterug:= fterug + 20000;
          mterug:= mterug + (nulpunt - i) * 20000
        end
      else begin
          fterug:= fterug + (tkrimp + toekruip) * 29E+06;
          mterug:= mterug + (nulpunt - i) *
            (tkrimp + toekruip) * 29E+06
        end
      end
    end
  else
    begin
      if ((tkrimp + toekruip) > 6.896E-04)
      then begin
          fterug:= fterug + 20000;
          if i < nulpunt
          then mterug:= mterug + (nulpunt - i) * 20000
          else mterug:= mterug - (i - nulpunt) * 20000
        end
      else begin
          fterug:= fterug + (tkrimp + toekruip) * 29E+06;
          if i < nulpunt
          then mterug:= mterug + (nulpunt - i) *
            (tkrimp + toekruip) * 29E+06
          else mterug:= mterug - (i - nulpunt) *
            (tkrimp + toekruip) * 29E+06
        end
      end
    end;
  inc (i)
until i = xEspan + 1;
i:= xEspan + 1;
repeat
  toekruip:= tkruip * epEbsp[i];
  epEbsp[i]:= epEbsp[i] + tkrimp - toekruip;
  if nulpunt <= xEspan
  then
    begin
      if (tkrimp - toekruip) > 6.896E-04
      then begin
          fterug:= fterug + 20000;
          mterug:= mterug - (i - nulpunt) * 20000
        end;
      if ((tkrimp - toekruip) > 0) and ((tkrimp - toekruip) <
6.896E-04)
      then begin
          fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) * 29E+06;
          mterug:= mterug - (i - nulpunt) *
            (tkrimp - toekruip) * 29E+06
        end;
    end;

```

```

        if ((tkrimp - toekruip) < 0) and ((tkrimp - toekruip) >
-9.31E-05)
            then begin
                fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) * 29E+06;
                mterug:= mterug - (i - nulpunt) *
                    (tkrimp - toekruip) * 29E+06
            end
        end
    else
        begin
            if i < nulpunt
                then
                    begin
                        if (tkrimp - toekruip) > 6.896E-04
                            then begin
                                fterug:= fterug + 20000;
                                mterug:= mterug + (nulpunt - i) * 20000
                            end;
                        if ((tkrimp - toekruip) > 0) and ((tkrimp - toekruip)
< 6.896E-04)
                            then begin
                                fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) *
29E+06;
                                mterug:= mterug + (nulpunt - i) *
                                    (tkrimp - toekruip) * 29E+06
                            end;
                        if ((tkrimp - toekruip) < 0) and ((tkrimp - toekruip)
> -9.31E-05)
                            then begin
                                fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) *
29E+06;
                                mterug:= mterug + (nulpunt - i) *
                                    (tkrimp - toekruip) * 29E+06
                            end
                    end
                else
                    begin
                        if (tkrimp - toekruip) > 6.896E-04
                            then begin
                                fterug:= fterug + 20000;
                                mterug:= mterug - (i - nulpunt) * 20000
                            end;
                        if ((tkrimp - toekruip) > 0) and ((tkrimp - toekruip)
< 6.896E-04)
                            then begin
                                fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) *
29E+06;
                                mterug:= mterug - (i - nulpunt) *
                                    (tkrimp - toekruip) * 29E+06
                            end;
                        if ((tkrimp - toekruip) < 0) and ((tkrimp - toekruip)
> -9.31E-05)
                            then begin
                                fterug:= fterug + (tkrimp - toekruip) *
29E+06;
                                mterug:= mterug - (i - nulpunt) *
                                    (tkrimp - toekruip) * 29E+06
                            end
                    end
            end
        end
    end;
end;

```

```

    inc (i)
until (i > round (ht)) or (i > round (xEspan + 9.31E-05 / k) +
1);
i:= 0;
repeat
    epEbkp[i]:= epEbkp[i] - fterug / eiai;
    epEbsp[i]:= epEbsp[i] - fterug / eiai;
    inc (i)
until (i > round (ht)) or (i > round (xEspan + 9.31E-05 / k) +
1);
i:= 0;
repeat
    epFbkp[i]:= epEbkp[i] - (mterug * (nulpunt - i) / eiii);
    epEbsp[i]:= epEbsp[i] - (mterug * (nulpunt - i) / eiii);
    inc (i)
until i > nulpunt;
i:= nulpunt + 1;
repeat
    epEbkp[i]:= epEbkp[i] + (mterug * (i - nulpunt) / eiii);
    epEbsp[i]:= epEbsp[i] + (mterug * (i - nulpunt) / eiii);
    inc (i)
until (i > round (ht)) or (i > round (xEspan + 9.31E-05 / k) +
1);
i:= 0;
while epEbkp[i] < 0 do
begin
    xEp:= i;
    inc (i)
end;
epEsp:= epEsp - fterug / eiai + (mterug * (h - nulpunt) / eiii);

kromp:= (-epEbkp[0] + epEsp) / h;
i:= 0;
while epEbsp[i] < 0 do
begin
    xEspan:= i;
    inc (i)
end;
kromspn:= -epEbsp[0] / xEspan;
xEspano:= round (h) - xEspan;
kromspno:= epEsp / xEspano;
fEbisfEo:= false; krachtbp:= 1; krachttop:= 0;
xEspan:= xEspan + 1;
xEspano:= xEspano - 1;
g:= 0;
while not fEbisfEo do
begin
    g:= g + 1;
    if krachtbp > krachttop
    then begin
        xEspan:= xEspan - 1;
        xEspano:= xEspano + 1
    end
    else begin
        xEspan:= xEspan + 1;
        xEspano:= xEspano - 1
    end;
    epEsp:= xEspano * kromspno;
    i:= 0; krachtbp:= 0;

```

```

while i < xEspan do
begin
  epEbsp[i]:= -(xEspan - i) * kromspn;
  if -epEbsp[i] <= 6.896E-04
  then krachtb[i]:= - epEbsp[i] * 29E+06;
  if (-epEbsp[i] > 6.896E-04) and (-epEbsp[i] < 3.5E-03)
  then krachtb[i]:= 20000;
  if -epEbsp[i] > 3.5E-03
  then krachtb[i]:= 0;
  krachtbp:= krachtbp + krachtb[i];
  inc (i)
end;
if (epEsp > 0) and (epEsp <= 2.4272E-03)
then krachttop:= epEsp * 206000 * aa
else krachttop:= 500 * aa;
if (abs (krachtbp - krachttop) < 21000) or (g > 10) then
fEbisfEo:= true
end;
krikru:= krikru + 1
end;
if epEsp >= 2.42E-03 then sigEsp:= 500
else sigEsp:= epEsp * 206000;
if -epEbsp[0] <= 6.89655E-04
then sigEbp:= (-epEbsp[0] / 6.896E-04) * 20;
if (-epEbsp[0] > 6.896E-04) and (-epEbsp[0] <= 3.5E-03)
then sigEbp:= 20;
if -epEbsp[0] > 3.5E-03 then sigEbp:= 0;
epEbp:= -epEbkp[0];
if epEbp > 3.5E-03 then breukEp:= false
end;

```

```

procedure teken (var schaalxp, schaalyp: real; var kmaxp, mmaxp:
integer);
var graphdriver, graphmode, errorcode,
    w, i, maxx, maxy : integer;
    s, t : array [1..10] of
string[250];
begin
  graphdriver:= detect;
  initgraph (graphdriver, graphmode, 'c:\turbo');
  errorcode:= graphresult;
  if errorcode <> grOk then
  begin
    writeln ('Graphics error: ',grapherrormsg (errorcode));
    writeln ('Program aborted....');
    halt (1)
  end;
  rectangle (0, 0, getmaxX, getmaxY);
  settextstyle (defaultfont, horizdir, 1);
  if k > krom
  then maxx:= round (k * 1E+04)
  else maxx:= round (krom * 1E+04);

```

```

case maxx of
  0: kmaxp:= 50;
  1: kmaxp:= 150;
  2: kmaxp:= 250;
  3: kmaxp:= 350;
  4: kmaxp:= 450;
  5: kmaxp:= 550
end;
schaalxp:= 500 / kmaxp;
i:= 1;
while i <> 6 do
begin
  str ((i * kmaxp / 5):3:0, s[i]);
  outtextXY ((102+100*i), 253, s[i]);
  moveto ((110+100*i), 248); lineto ((110+100*i), 252);
  i:= i +1;
end;
str (wapperc:3:2, s[6]); outtextXY (30, 320, 'Wo=      %');
outtextXY (60, 320, s[6]);
str (ht:3:0, s[7]); outtextXY (150, 320, 'ht=      mm');
outtextXY (180, 320, s[7]);
if tension
  then outtextXY (260, 320, 'met tension-stiffening')
  else outtextXY (260, 320, 'zonder tension-stiffening');
str (veilig:2:1, s[8]); outtextXY (510, 320, '* Mu');
outtextXY (480, 320, s[8]);
outtextXY (200, 339, 'Druk op <return> om door te gaan');
outtextXY (480, 290, 'kromming * 10E-06 (1/mm)');
outtextXY (100, 253, '0');
maxy:= round (momentmax / 100);
case maxy of
  0: mmaxp:= 50;
  1: mmaxp:= 150;
  2: mmaxp:= 250;
  3: mmaxp:= 350;
  4: mmaxp:= 450;
  5: mmaxp:= 550
end;
schaalyp:= 200 / mmaxp;
i:= 1;
while i <> 6 do
begin
  str ((i * mmaxp / 5):3:0, t[i]);
  outtextXY (80, (247-40*i), t[i]);
  moveto (108, (250-40*i)); lineto (112, (250-40*i));
  i:= i +1;
end;
outtextXY (10, 30, 'moment (knm)');
moveto (110, 260); lineto (110, 50);
moveto (100, 250); lineto (610, 250);
setviewport (110, 50, 610, 250, true);
moveto (0, 200);
setlinestyle (solidln, 0, thickwidth);
for w:= 1 to aantal do
begin
  lineto (round (schaalx * xco[w]), round (200 - schaaly *
yco[w]))
end;

```



```

moveto (0, 200);
setlinestyle (dashedln, 0, normwidth);
for w:= 1 to aantal do
begin
  lineto (round (schaalx * xEco[w]), round (200 - schaaly *
yEco[w]))
end;
readln;
closegraph
end;

procedure plot;
begin
  assign (aux, 'plot.dat');
  rewrite (aux);
  initplot;
  defplotwindow (0, 0, 15200, 10800);
  defplotworld (0, 0, 15200, 10800);
  setplotcolor (1);
  plline (0, 0, 10000, 0); plline (10000, 0, 10000, 5000);
  plline (10000, 5000, 0, 5000); plline (0, 5000, 0, 0);
  plline (800, 1000, 8500, 1000); plline (1000, 800, 1000, 4000);
  plgotoXY (1000, 1000);
  for i:= 1 to aantal do
  begin
    pldraw (1000 + 15 * schaalx * xco[i], 1000 + 15 * schaaly *
yco[i])
  end;
  plline (8250, 4550, 8700, 4550);
  plgotoXY (8700, 4500); plottext (' t = 0');
  plgotoXY (1000, 1000);
  for i:= 1 to aantal do
  begin
    plplot (1000 + 15 * schaalx * xEco[i], 1000 + 15 * schaaly *
yEco[i])
  end;
  plplot (8250, 4150); plplot (8300, 4150); plplot (8350, 4150);
  plplot (8400, 4150); plplot (8450, 4150); plplot (8500, 4150);
  plplot (8550, 4150); plplot (8600, 4150); plplot (8650, 4150);
  plplot (8700, 4150); plgotoXY (8700, 4100); plottext (' t = 00');
  setcharsize (20, 20);
  i:= 1;
  while i <> 6 do
  begin
    str ((i * mmax / 5):3:0, u[i]);
    plgotoXY (595, (975+600*i)); plottext (u[i]);
    plline (960, (1000+600*i), 1040, (1000+600*i));
    inc (i)
  end;
  i:= 1;
  while i <> 6 do
  begin
    str ((i * kmax / 5):3:0, v[i]);
    plgotoXY ((850+1500*i), 800); plottext (v[i]);
    plline ((1000+1500*i), 960, (1000+1500*i), 1040);
    inc (i)
  end;
  plgotoXY (800, 800); plottext ('0');
  setcharsize (30, 30);
  plgotoXY (0, 7000); plottext ('Dobeko 2');

```

```

plgotoXY (200, 4500); plottext ('Moment (KNm)');
plgotoXY (5000, 200); plottext ('Kromming * 1E-06 (1/mm)');
setcharsize (25, 25);
plgotoXY (4000, 5800); plottext ('Efo=      N/mm2');
str (efic:5:0, v[6]); plgotoXY (4700, 5800); plottext (v[6]);
plgotoXY (7000, 5800); plottext ('Efoo=      N/mm2');
str (etfic:5:0, v[7]); plgotoXY (7900, 5800); plottext (v[7]);
plgotoXY (0, 6100); plottext ('Wo=      %');
str (wapperc:3:2, u[6]); plgotoXY (500, 6100); plottext (u[6]);
plgotoXY (0, 5800); plottext ('ht=      mm');
str (ht:3:0, u[7]); plgotoXY (500, 5800); plottext (u[7]);
plgotoXY (6000, 5100);
if tension
  then plottext ('met tension stiffening')
  else plottext ('zonder tension stiffening');
plgotoXY (0, 5500); plottext ('      * Mu');
str (veilig:2:1, u[8]); plgotoXY (0, 5500); plottext (u[8]);
exitplot;
close (aux)
end;

```

```

procedure start;
begin
  clrscr;
  writeln; writeln;
  writeln ('Geef de overspanning in mm. '); readln (lengte);
  h:= 500 * 0.6 * lengte / 7000; h:= round (h);
  writeln;
  writeln ('Geef de betondekking in mm. '); readln (dekking);
  ht:= h + dekking;
  writeln;
  writeln ('Geef het wapeningspercentage. '); readln (wapperc);
  aa:= 10 * wapperc * h;
  writeln;
  writeln ('Geef de veiligheidscoefficient (0.6 of
0.5). '); readln (veilig);
  writeln;
  writeln ('Met of zonder tension stiffening. Zonder = 0, met =
1. ');
  readln (tens);
  if tens = 0
    then tension:= false
    else tension:= true;
  xu:= aa / 36;
  ku:= 3.5E-03 / xu;
  Mu:= aa * 500 * (h - 0.4525 * xu);
  a:= 0.027732 * aa;
  b:= 3.55E3 / a;
  hm:= 2 * 1000 * ht / (2 * (1000 + ht));
  if hm <= 50 then khr:= 1.2;
  if (hm > 50) and (hm <= 100) then khr:= ((hm - 50) / 50) * - 0.17
+ 1.2;
  if (hm > 100) and (hm <= 200) then khr:= ((hm -100) / 100) * -
0.23 + 1.03;
  if (hm > 200) and (hm <= 300) then khr:= ((hm -200) / 100) * -
0.15 + 0.8;
  if (hm > 300) and (hm <= 400) then khr:= ((hm -300) / 100) * -
0.1 + 0.65;
  if hm > 400 then khr:= ((hm -400) / 100) * - 0.05 + 0.55;

```

```

if hm <= 50 then khc:= 1.2;
if (hm > 50) and (hm <= 100) then khc:= ((hm - 50) / 50) * - 0.18
+ 1.2;
if (hm > 100) and (hm <= 200) then khc:= ((hm -100) / 100) * -
0.17 + 1.02;
if (hm > 200) and (hm <= 300) then khc:= ((hm -200) / 100) * -
0.1 + 0.85;
if (hm > 300) and (hm <= 400) then khc:= ((hm -300) / 100) * -
0.03 + 0.75;
if hm > 400 then khc:= ((hm -400) / 100) * - 0.02 + 0.72;
noemer:= 40 * sqrt (hm * hm * hm);
krimp:= 4E-04 * 1.15 * khr;
kruip:= 3 * 1 * 1.15 * khc;
clrscr;
zwp:= (1000 * ht - aa) * 0.5 * ht + aa * 7.1 * dekking;
zwp:= zwp / (1000 * ht - aa + 7.1 * aa) + 1.5;
x:= round (ht - zwp + 1);
k:= 0; ftotb:= 0; ftoto:= 1; e:= 1; tkrimp:= 0; tkruip:= 0;
momentmax:= 0;
breuk:= false; breuke:= true; M0:= true; M:= true;
while not breuk do
begin
k:= k + 2E-06;
fbisfo:= false;
while not fbisfo do
begin
if ftotb < ftoto
then begin x:= x + 0.5; zwp:= zwp - 1.5 end
else begin x:= x - 1.5; zwp:= zwp + 0.5 end;
fboven (ftotb, mtotb, epb, sigb);
fonder (ftoto, mtoto, epo, sigo,
sigs, btrek1);
if abs(ftotb - ftoto) < 21000 then fbisfo:= true
end;
if (mtoto + mtotb) / 1E+06 > momentmax
then momentmax:= (mtoto + mtotb) / 1E+06;
xco[e]:= k * 1E+06;
yco[e]:= (mtoto + mtotb) / 1E+06;
aantal:= e;
writeln ('t=0 x= ',x:3:0,' sigb= ',sigb:3:1,' sigs= ',
sigs:4:1,' M= ',(mtotb+mtoto)/1E+06:4:1,' K=
',k*1E+06:4:1);
i:= 0;
while i <> round (x) + 1 do
begin
xp:= i;
inc (i)
end;
if breuke
then
begin
f:=e;
tijd (xE, epEs, epEb, sigEs, sigEb, krom, breuke);
xEco[e]:= krom *1E+06;
yEco[e]:= round ((mtotb+mtoto) / 1E+06);
pr:= krom * 100 / ku;
if pr > 95 then pr:= 97;
writeln ('t=00 x= ',xE:3,' sigb= ',sigEb:3:1,' sigs= ',
sigEs:4:1,' M= ',(mtotb+mtoto)/1E+06:4:1,' K= ',krom*-

```

```

1E+06:4:1,
    '      ',pr:3:1,'% berekend');
    writeln
end
else begin
    xEco[e]:= krom * 1E+06;
    yEco[e]:= yEco[f]
end;
if (k = 2E-06) and (mtotb + mtoto > veilig * Mu)
then begin
    m1:= 0;
    k1:= 0;
    kE1:= 0
end;
if (mtotb + mtoto < veilig * Mu) and (M0)
then begin
    m1:= mtotb + mtoto;
    k1:= k;
    kE1:= krom
end;
if (mtotb + mtoto > veilig * Mu) and (M)
then begin
    m2:= mtotb + mtoto;
    k2:= k;
    kE2:= krom;
    M:= false; M0:= false
end;
inc (e);
if (sigb = 20) and (sigs = 500) then k:= k + 2E-06;
if epb >= 3.75E-03 then breuk:= true
end;
writeln; writeln; writeln; highvideo;
writeln ('druk op <spatiebalk> om verder te gaan'); lowvideo;
ch:= readkey;
clrscr;
writeln; writeln;
kdobu:= ((veilig * Mu -m1)/(m2 -m1)) * (k2 -k1) + k1;
efic:= veilig * Mu / (kdobu * (1/12) * 1000 * ht * ht * ht);
kEdobu:= ((veilig * Mu -m1)/(m2 -m1)) * (kE2 -kE1) + kE1;
etfic:= veilig * Mu / (kEdobu * (1/12) * 1000 * ht * ht * ht);
highvideo; writeln ('Situatie t = 0'); lowvideo;
writeln ('Mmax= ',Mu/1E+06:4:1,' KNm');
writeln ('Het gebruiksmoment is ',veilig:2:1,' * Mmax = ',
veilig*Mu/1E+06:4:1,' KNm');
writeln ('De kromming = ',kdobu*1E+06:4:1,' * 1E-06 1/mm');
writeln ('De fictieve E-modulus = ',efic:6:1,' N/mm2');
writeln; writeln;
highvideo; writeln ('Situatie t = 00'); lowvideo;
writeln ('Mmax= ',Mu/1E+06:4:1,' KNm');
writeln ('Het gebruiksmoment is ',veilig:2:1,' * Mmax = ',
veilig*Mu/1E+06:4:1,' KNm');
writeln ('De kromming = ',kEdobu*1E+06:4:1,' * 1E-06 1/mm');
writeln ('De fictieve E-modulus = ',etfic:6:1,' N/mm2');
writeln; writeln; highvideo;
writeln ('Druk op <spatiebalk> om door te gaan'); lowvideo;
ch:= readkey;
teken (schaalx, schaalx, kmax, mmax);
plot;

```

```

repeat
  clrscr; writeln; writeln; highvideo;
  writeln ('Stoppen met Dobeko 2          J/N'); lowvideo;
  cha:= readkey;
  cha:= upcase (cha);
  until (cha = 'J') or (cha = 'N');
  if cha = 'N' then start;
  clrscr; writeln; writeln; highvideo;
  writeln ('Druk op <spatiebalk> om Dobeko 2 te verlaten'); low-
video;
  ch:= readkey
end;

begin
  clrscr; highvideo;
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln ('      *****');
  writeln ('      * DOBEKO 2 *');
  writeln ('      *****'); lowvideo;
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln ('      Een programma voor het  bepalen van  het M-K diagram
van gewapend beton,');
  writeln ('      voor zowel  t =  0 als t = 00 (inclusief krimp in-
vloed).');
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln ('      Versie 1.0          juni 1989          T.U.E. ');
  writeln; writeln; writeln; writeln;
  writeln ('      Druk op <spatiebalk> om door te gaan. ');
  ch:= readkey;
  start
end.^Z

```

** BIBLIOGRAFIE **

- [1] Beranek, W.J., Boom, G.H. van, Dragosavic, M., Faas, W.M., Gantvoort, G.J., Groot, A.K. de, Haar, P.W. van de, Leeuwen, J. van, Monnier, Th. Construeren in gewapend beton. Deel 2 Ontwerp en berekening.
Amsterdam/Brussel: Agon Elsevier, 1978.
- [2] Bruggeling, A.S.G. Theorie en praktijk van het gewapend beton. Deel 1.
Delft: Stichting Professor Bakkerfonds, 1986.
- [3] Bruggeling, A.S.G. & Bruijn, W.A. de. De vervorming van gewapend-betonconstructies.
Delft: Stichting Professor Bakkerfonds, 1980.
- [4] Bruijn, W.A. de. 'Bepaling van 'de buigstijfheid' van gewapend beton.'
In: Cement 33 (1981), pp. 638-643.
- [5] Bruijn, W.A. de. Gewapend beton; een nieuwe aanpak. Scheurwijdte en stijfheid.
Delft: Technische Hogeschool Delft, Afdeling der civiele techniek, 1985.
- [6] Bruijn, W.A. de & Nijse, R. 'Vervormingen van betonconstructies.'
In: Cement 40 (1988), pp. 50-56.
- [7] Feron, M. 'Tijdsafhankelijke effecten op samengestelde betonconstructies'
Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven, Afdeling Bouwkunde, 1986.
- [8] Jong, P. de. 'Doorbuigingsberekeningen voor betonconstructies.'
In: Cement 34 (1982), pp. 632-640.

- [9] Kamerling, J.W. 'Doorbuiging in de bocht.'
In: Cement 37 (1985), pp. 805-811.
- [10] Kamerling, J.W. Vervormingen van gebouwen.
Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven, Afdeling Bouwkunde
Vakgroep Konstruktie, 1984.
- [11] Monnier, Th. & Haar, P.W. van de. 'De doorbuiging van gewa-
pend-betonconstructies (1)*.'
- In: Cement 29 (1977), pp. 330-337.
- [12] Monnier, Th. & Haar, P.W. van de. 'De doorbuiging van gewa-
pend-betonconstructies (2)*.'
- In: Cement 29 (1977), pp. 413-418.
- [13] Rapport nr.: BI-77-51/62.4.1150. De doorbuiging van liggers
van gewapend beton in het gebruiksstadium.
Delft/Rijswijk: Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwcon-
structies.
- [14] Rapport nr.: BI-77-51/62.4.1150. De doorbuiging van liggers
van gewapend beton in het gebruiksstadium. Tabellen, Figuren,
bijlagen.
Delft/Rijswijk: Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwcon-
structies.
- [15] Stichting CUR-VB. Rapport 115. Doorbuiging van betonconstruc-
ties.
Zoetermeer: Betonvereniging, 1984.
- [16] Stichting CUR-VB. Voorschriften Beton VB 1974/1984.
Delft: Nederlands Normalisatie-Instituut, 1984.
- [17] Swart, R., Brak, L., Bruijn, W.A. de, Nijse, R. Beton-
constructies in de woningbouw en utiliteitsbouw. Vervor-
mingen. STUVO rapport 81.
Augustus 1987.

[18] Vis, W.C. & Sagel, R. Cement en Beton. Praktische betonbere-
keningen. (derde druk).

's-Hertogenbosch: Vereniging Nederlandse Cementindustrie,

