



VOORGESPANNEN BETON BRUGGEN



FOTO: MINISTERIE VAN VERKEER & WATERMAAT, NEDERLANDSE BRUGGEN STICHTING, AERTELING, INVALISCHE TECHNIEKEN, DELFT

Gebogen SKK-liggers met een boogstraal van 400 m, project VARI Ridderkerk



Boogviaduct metro ringlijn Amsterdam, bekroond met de Betonprijs 1995 en de BIBM-Award 1996



Brug te Dalfsen



Inhoud

Blz.

Inleiding

3

Op buiging belaste balken

4

De gewapende betonbalk

7

Geprefabriceerde beton

10

Zeelandbrug

12

Foto's prefab bruggen in aanbouw

14

Bronvermelding

16

Voorgespannen Beton Bruggen

Inleiding.

Beton is samengesteld uit de grondstoffen cement, zand en een toeslagmateriaal (b.v. grind, steenslag, bims, enz.), die in bepaalde verhoudingen onder toevoeging van water innig met elkaar worden vermengd, welk mengsel daarna tot een steenachtige massa verhardt.

Het cement is het bindmiddel, dat met het zand en het water de mortel vormt, die de holle ruimten tussen de toeslag opvult en deze aan elkander hecht.

Beton blijkt uitstekend drukspanningen te kunnen opnemen, doch nagenoeg geen trekspanningen.

Brengt men in een betonconstructie, op de plaatsen, waar bij belasting trekspanningen optreden, een wapening aan van b.v. rondstaal, zodanig dat beide materialen stevig verbonden zijn en gemeenschappelijk weerstand bieden aan de op de constructiewerkende krachten, dan spreekt men van **gewapend beton**.

Het beton en het gewapend beton hebben naast de andere bouwmaterialen een belangrijke plaats ingenomen, zelfs voor sommige onderdelen zijn ze “het aangewezen materiaal” geworden. We zien het gewapend beton in de Burgelijke Bouwkunde b.v. toegepast voor funderingen, kelders, vloeren, kolommen, trappen, zelfs voor wanden en daken; in de Waterbouwkunde b.v. voor sluizen, bruggen, wegen. Welke zijn nu de oorzaken, dat dit materiaal zo’n grote toepassing heeft gevonden?

Reeds de Romeinen pasten bij hun grote werken beton toe als constructiemateriaal of als vulling.

Een bekend voorbeeld is het 90 km lange overwelfde waterkanaal van de Eifel naar Keulen, dat 70 j n. Chr. Van stampbeton gemaakt is. Hoewel deze leiding vele honderden jaren in gebruik is geweest, is het beton van de gedeelten, die thans nog bestaan, van uitstekende vastheid en waterdichtheid. De samenstelling van het beton in die dagen bestond uit steenslag en Roman-cement. Dit laatste werd verkregen door branding van uit kalksteengroeven gegraven mergel. Met puzzolaanaarde, afkomstig van vulkanische uitbarstingen, werd dit cement hydraulisch gemaakt, waardoor ook onder water verharding mogelijk was.

De vervaardiging van beton is na de val van het Romeinse Rijk verloren gegaan.

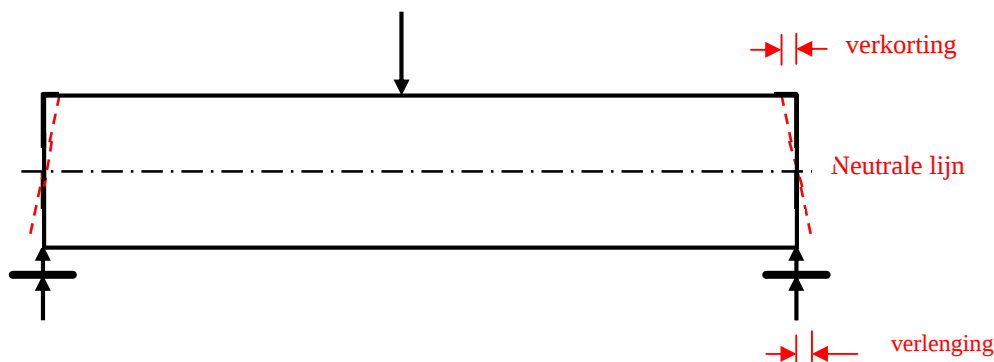
Eerst na de uitvinding van portlandcement door Joseph Aspdin in 1824 is het beton weer in toepassing gekomen. In 1861 werd door de tuinman Joseph Monier te Parijs bij toeval ontdekt, dat bloembakken, die van beton waren vervaardigd, veel sterker bleken te zijn, indien in het beton netwerken van ijzerdraad werden aangebracht, terwijl de wandjes dan veel dunner gemaakt konden worden. Hoewel in 1850 reeds door Lambot een roeibootje van beton gemaakt was, versterkt door een netwerk van ijzer, beschouwt men Monier als de uitvinder van het gewapend beton, zodat men dit materiaal nog wel naar hem noemt “Monierwerk”. In 1867 werd voor zijn uitvinding patent verleend. Kort na hierna verwierf hij patenten voor de vervaardiging van gewapend-betonvloeren, buizen, reservoirs, bruggen en trappen. De wapening bracht hij uit ervaring aan, zowel aan trek- als aan de drukzijde, zodat hem vermoedelijk de functie van het ijzer in gewapend-betonconstructies niet bekend was. Daar de afmetingen geschat werden, kwamen in de aanvang veel mislukkingen met het nieuwe materiaal voor, waardoor men er dan ook niet veel vertrouwen in had. Het patent van Monier werd in 1884 door de firma Freytag en Heidschuch voor Zuid-Duitsland aangekocht, terwijl in 1885 Ing. Waysz de patenten voor Duitsland en Oostenrijk overnam. Door Waysz en prof. Bauschinger te München werden uitvoerige proeven met gewapend beton genomen, waardoor een juist inzicht in het nieuwe materiaal werd verkregen. De functie van de wapening werd vastgesteld nl. dat bij belasting op buiging het ijzer hoofdzakelijk de trekspanningen opneemt en het beton de drukspanningen. Daarbij kwam men tot het inzicht, dat de samenwerking tussen het beton en het ijzer, twee zo verschillende materialen, ontstaat door de volgende drie eigenschappen :

- a. Beton en ijzer hechten goed aan elkaar.
- b. De uitzettingscoëfficiënten van beide materialen zijn nagenoeg aan elkaar gelijk, zodat bij temperatuursveranderingen het ijzer niet loskrimpt van het beton.
- c. Het ijzer roest niet in het beton, indien de grondstoffen van goede kwaliteit zijn, en het beton dicht en volgens alle eisen vervaardigd wordt.

De Duitser Koenen gelukte het in 1886 een berekeningsmethode aan te geven voor verschillende constructies, waardoor het vertrouwen in de toepassing van gewapend beton sterk toenam.

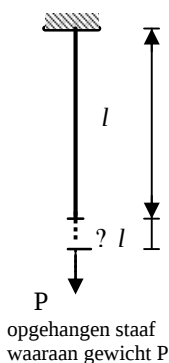
Onderwijl werden in Frankrijk door Hennebique belangrijke gewapendbetonwerken uitgevoerd. Aan hem danken we de toepassing van beugels in balken en het opbuigen van staven (1892).

OP BUIGING BELASTE BALKEN.



Wanneer een balk belast wordt dan zal deze doorbuigen.

Aan de bovenkant van de balk wordt deze korter door de doorbuiging, aan de onderkant langer.



Uit vele proeven is gebleken dat de verlenging (ingeval van trek) of verkorting (ingeval van druk) evenredig is met de belasting.

Dus P evenredig met Δl .

Bij een gegeven doorsnede A van de belaste staaf en lengte l geldt :

De spanning in de staaf $\sigma = \frac{P}{A}$

De rek $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$

A en l zijn constante waarden dus geldt : spanning $\propto$ rek ϵ .

In formule vorm $\sigma = E \times \epsilon$. (dit noemen we de Wet van Hooke)

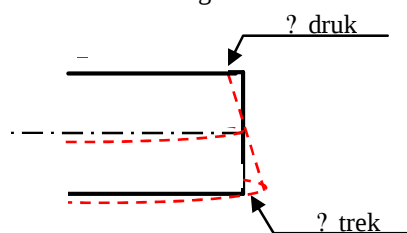
De waarde E is voor vele materialen bepaald in laboratoria, men noemt E de elasticiteitsmodulus van het materiaal.

Bij op buiging belaste balken blijkt dat de verkorting aan de bovenkant van de balk en de verlenging aan de onderkant evenredig zijn met de belasting op de balk.

Ook hier geldt de zelfde evenredigheids factor E .

Doordat de verkorting en de verlenging dezelfde evenredigheid hebben met de belasting betekent dit dat de doorsnede van de balk vlak blijft.

De neutrale lijn van de balk is de verbinding van de zwaartepunten van de doorsneden van de balk.

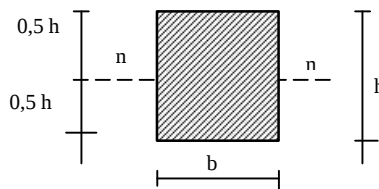


Rechthoekige doorsnede

h = hoogte van de balk

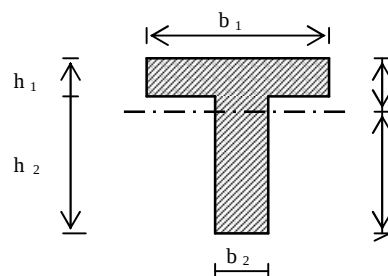
b = breedte van de balk

$n - n$ = neutrale lijn

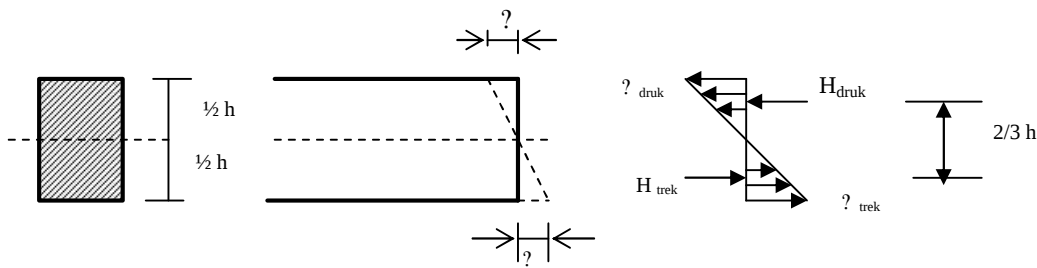


Bij een niet symmetrische doorsnede, bijvoorbeeld een T – balk

De neutrale lijn ligt nu niet op de halve hoogte van de balk maar hoger



Wanneer de balk op buiging belast wordt ontstaan drukspanningen en trekspanningen. Deze spanningen zijn het grootst, daar waar de verlenging of verkorting het grootst is.



Bij de balk met rechthoekige doorsnede geldt dat de resulterende drukkracht in de doorsnede door de verkorting gelijk is aan

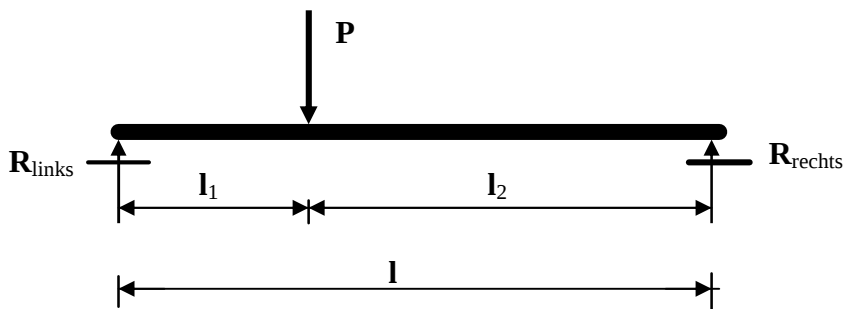
$$H_{\text{druk}} = \epsilon_{\text{druk}} \cdot b \cdot \frac{0,5h}{2} = \frac{1}{4} b \cdot h \cdot \epsilon_{\text{druk}}$$

Op dezelfde wijze $H_{\text{trek}} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h \cdot \epsilon_{\text{trek}}$

H_{druk} en H_{trek} geven een koppel of moment.

Dit moment $M = H \cdot \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} h \cdot \frac{1}{4} b \cdot h \cdot \epsilon_{\text{(trek of druk)}}$

$$M = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot \epsilon_{\text{(trek of druk)}}$$



Stel we hebben een balk die belast wordt door een puntlast P :

Om te voorkomen dat de balk valt moeten twee steunpunten worden aangebracht R_{links} en R_{rechts} .

Stel dat steunpunt links er niet is, dan ontstaat een draaimoment om het steunpunt rechts.

Dit draaimoment is $P \times l_2$.

Brengen we het steunpunt links aan dan geeft dit steunpunt een evenwicht makend moment om steunpunt rechts gelijk aan

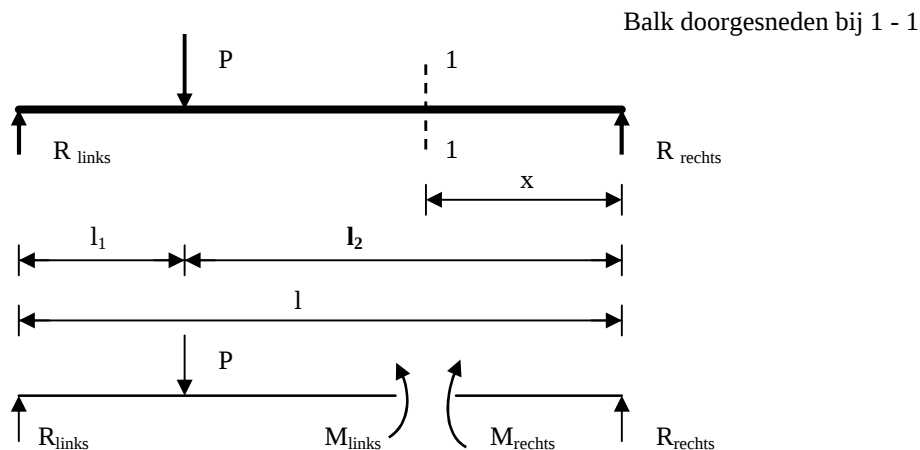
$$R_{\text{links}} \times l$$

Uit dit evenwicht makend moment volgt dat $R_{\text{links}} \times l = P \times l_2$ of $R_{\text{links}} = P \times \frac{l_2}{l}$.

De reactie rechts is

$$R_{\text{rechts}} = P - P \times \frac{l_2}{l} = P \times \frac{l - l_2}{l} = P \times \frac{l_1}{l}$$

Snijden we de balk ergens door, dan werkt op de doorsnede van de balk een moment die er voor zorgdraagt dat de balk niet “instort”.



Evenwicht van het rechterdeel is mogelijk als het moment M_{rechts} gelijk is aan

$$M_{rechts} = R_{rechts} * x = P * \frac{l_1}{l_2} * x.$$

Evenwicht van het linkerdeel is mogelijk als het moment M_{links} gelijk is aan

$$M_{links} = R_{links} * (l - x) - P * (l - x - l_1).$$

$$M_{links} = P * \frac{l_2}{l} * (l - x) - P * (l - x - l_1).$$

$l_2 = l - l_1$ ingevuld geeft $M_{links} = P * \frac{l - l_1}{l} * (l - x) - P * \frac{l - x - l_1}{l} * l.$

Uitgewerkt $M_{links} = \frac{P}{l} * l_1 * x.$ dit is gelijk aan $M_{rechts}.$

Nu moet x zodanig gekozen worden dat het grootste moment in de balk wordt gevonden.

In het voorbeeld : M is maximaal voor $x = l_2.$

$$M = P * \frac{l_1}{l} * l_2.$$

Door het moment ontstaan de spanningen in de balk.

$$M = P * \frac{l_1 l_2}{l} = 1/6 * b h^2 * \sigma.$$

$$\sigma = \frac{M}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{M}{W}$$

W is het z.g. weerstandsmoment van de balk.

DE GEWAPEND BETON BALK.

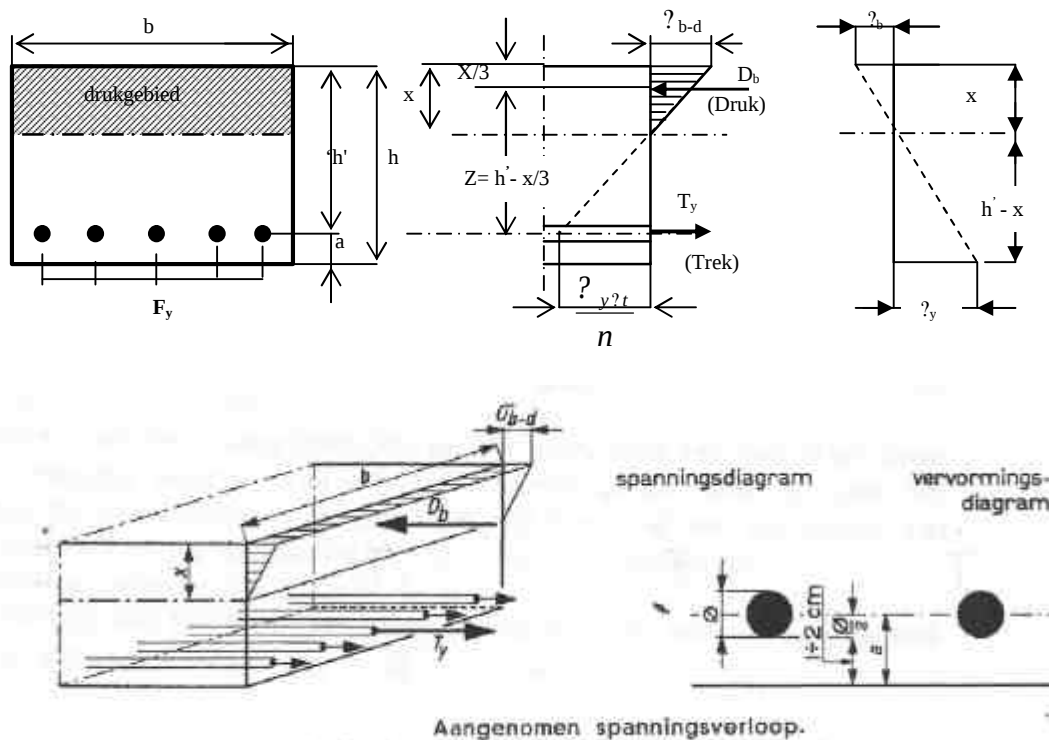
Zoals in de inleiding al is geschreven, is beton een zeer goed materiaal voor het opnemen van drukkrachten, echter aanzienlijk slechter voor het opnemen van trekkrachten.

Voor het opnemen van de trekkrachten wordt de betonnen balk voorzien van een wapening.

Berekening van de gewapend beton balk.

Gegeven zijn de toelaatbare σ_{y-t} en σ_{b-d} en de breedte b van de balk, zomede het maximum-moment M , dat moet worden opgenomen. In de af te leiden formules komen deze grootheden als bekenden voor.

Denken we ons een normaaldoorsnede aangebracht in het punt, waar het grootste uitwendige buigend moment werkt. In deze doorsnede treden spanningen op, waarvan in de figuur het verloop is aangegeven.



Aangenomen spanningsverloop.

De drukspanningen worden door een rechte lijn begrensd, terwijl men de trekspanningen in het beton verwaarloost. De totale trekkracht wordt door de wapening opgenomen.

De resultante van de drukspanningen is de gemiddelde spanning maal oppervlak, zodat : $D_b = \frac{1}{2} \sigma_b b x^1$.

De resultante van de trekspanningen is : $T_y = F_y \sigma_y$.

In horizontale zin moet de som van de inwendige spanningen in evenwicht zijn, dus : $D_b = T_y$ of : $\frac{1}{2} \sigma_b b x = F_y \sigma_y$.

Waaruit volgt : $\sigma_b = \frac{2F_y}{bx} \sigma_y$, of : $F_y = \frac{\sigma_b}{2} \frac{bx}{\sigma_y}$

Uit het vlak blijven van de doorsnede volgt $\sigma_b : \sigma_y = x : (h' - x)$.

Dus de vervormingen zijn recht evenredig met de afstanden tot de neutrale lijn. Voor beide materialen geldt de wet van

Hooke, dus : $\frac{\sigma_b}{E_b} : \frac{\sigma_y}{E_y} = x : (h' - x)$, nl. $\sigma_b = E_b \cdot \epsilon_b$ en $\sigma_y = E_y \cdot \epsilon_y$

¹ Bij de afleiding van de grondformules is ter vereenvoudiging de drukspanning in het beton door σ_b aangeduid, en de trekspanning in het staal door σ_y .

Waaruit volgt : $\epsilon_y x = \frac{E_y}{E_b} \epsilon_b (h' - x) = n \epsilon_b (h' - x)$.

Uit deze vergelijking x oplossen, geeft :

$$x = \frac{n \epsilon_b}{\epsilon_y \epsilon_b} h' . \text{ (Hierin is n de verhouding tussen de elasticiteits moduli).}$$

Stellen we $\frac{n \epsilon_b}{\epsilon_y \epsilon_b} = \epsilon$, dan is $x = \epsilon h'$.

De coëfficiënt ϵ blijkt alleen afhankelijk te zijn van de spanningen. Voor een bepaalde spanningsverhouding is deze vooraf te berekenen; b.v. voor $\epsilon_{y-t} / \epsilon_{b-d} = 1200 / 60 \text{ kg / cm}^2$ wordt $\epsilon = 3 / 7$.

De resultante van de drukspanningen en de trekkracht van het staal leveren een inwendig koppel, waarvan het moment gelijk moet zijn aan het uitwendige buigend moment M, dat werkt op het deel van de ligger, dat links of rechts van de aangebrachte doorsnede is gelegen.

Het inwendige moment is : $D_b z$ of $T_y z$.

Z is de afstand van het trek- tot drukmiddenpunt, ook wel inwendige hefboomsarm genoemd, deze is $z = h' - 1 / 3 x$.

Dus $M = D_b \cdot z$ of $M = T_y \cdot z$.

Resumerend een overzicht van de gebruikte symbolen.

b = breedte van de balk

h = totale balkhoogte

h' = nuttige balkhoogte = h – a .

a = afstand zwaartepunt wapening tot onderrand balk (afhankelijk van de vereiste betondekking tegen corrosie).

ϵ_{b-d} = uiterste beton drukspanning.

ϵ_{y-t} = gemiddelde trekspanning in wapening.

E_b en E_y = elasticiteitsmodulus beton resp. staal.

F_y = totale doorsnede trekwapening.

x = afstand neutrale lijn tot uiterste gedrukte vezel.

$$\epsilon_b = \frac{E_b}{\epsilon_{b-d}} = \text{relatieve indrukking beton in uiterste vezel.}$$

$$\epsilon_y = \frac{E_y}{\epsilon_{y-t}} = \text{relatieve uitrekking van het staal in zwaartepunt van de wapening.}$$

M = buigend moment veroorzaakt door de uitwendige krachten in de beschouwde doorsnede.

$$n = \frac{E_y}{E_b} .$$

Voorbeeld $E_y = 210.000 \text{ Newton / m}^2$.

$$E_b = 15.000 \text{ Newton / mm}^2 .$$

Dit betekent dat 14 x de doorsnede van de wapening een vergelijkbare beton doorsnede is.

Voorgespannen beton balk.

In het midden van de vorige eeuw is het voorspannen van de beton constructie meer en meer van toepassing geworden. Het principe hierbij is dat de op trek belaste betondoorsnede zodanig wordt voorgespannen (onder druk gezet) dat ook bij de grootste uitwendige belasting nog steeds een drukspanning in de doorsnede aanwezig is.

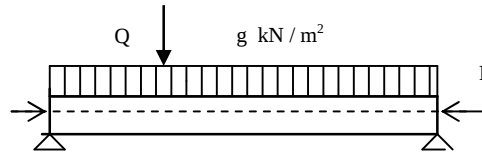
Bij een voorgespannen betonconstructie wordt het staal al bij de vervaardiging van de constructie uitgerekt. Door het staal uit te rekken ontstaat een trekkracht in het voorspanstaal. Het uitgerekte staal wil verkorten maar deze verkorting wordt grotendeels verhinderd door het beton. Op het beton werkt een drukkracht die even groot is als de trekkracht in het voorspanstaal.

Stel balk is centrishc voorgespannen.

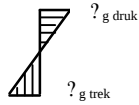
g = eigen gewichts belasting.

Q = uitwendige belasting

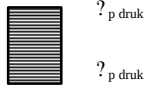
P = voorspanning.



Centrische voorspanning

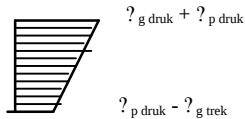


Door het eigengewicht ontstaan de spanningen σ_g druk en σ_g trek

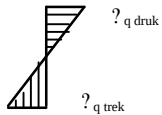


Door het centrishc voorgespannen ontstaan de spanningen

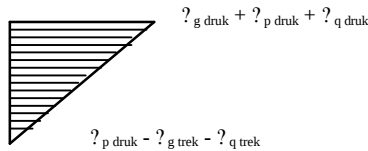
$$\sigma_{p \text{ druk}} = \frac{P}{b \cdot h}$$



In onbelaste toestand, dit is geen uitwendige belastingen is de spanningstoestand in de voorgespannen balk als getekend.

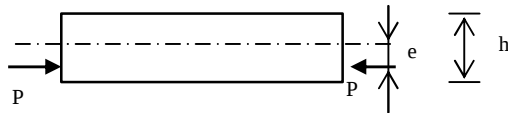


Door de uitwendige belasting ontstaan de spanningen σ_q druk en σ_q trek



Resultierend de spanningen als getekend.

Het is gunstiger de voorspanning excentrisch aan te brengen.



excentrische voorspanning

Balk afmeting $b \times h$ excentrisch belast met P . Normaalkracht P en Moment $P \times e$.

Spanning door normaalkracht $\sigma = \frac{P}{bh}$

Spanning door moment $\sigma = \frac{M}{W} = \frac{Pxe}{\frac{1}{6}bh^2}$

Resultierend $\sigma_{\text{boven}} = -\frac{P}{bh} + \frac{Pxe}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{P}{bh} \left(-1 + \frac{6e}{h} \right)$

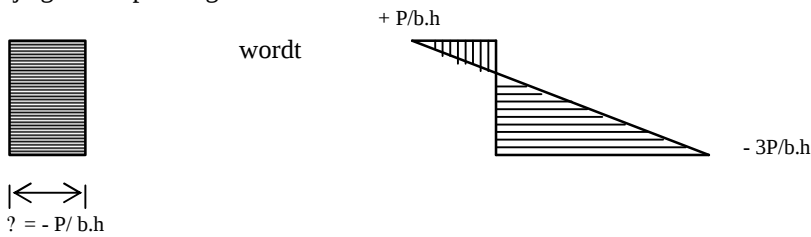
$\sigma_{\text{onder}} = -\frac{P}{bh} - \frac{Pxe}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{P}{bh} \left(-1 - \frac{6e}{h} \right)$

Voorbeeld : Stel excentriciteit $e = 1/3 h$

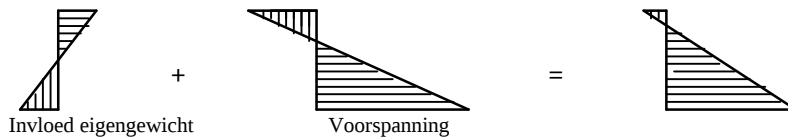
$\sigma_{\text{boven}} = \frac{P}{bh} \left(-1 + 6 \cdot \frac{1}{3} \right) = + \frac{P}{bh}$ (trek)

$\sigma_{\text{onder}} = \frac{P}{bh} \left(-1 - 6 \cdot \frac{1}{3} \right) = - \frac{3P}{bh}$ (druk).

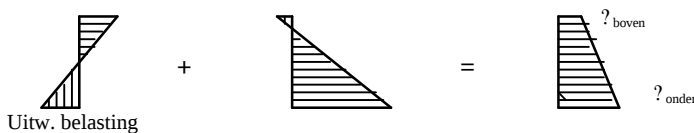
Gewijzigd voorspannings effect :



Resultierend door eigen gewicht + voorspanning :



Resultierend inclusief uitwendige belasting :



Het voorspannen wordt zodanig gedaan, dat in alle belastings gevallen geen trekspanning in de beton balk voorkomt.

In het voorbeeld is eigenlijk de voorspanning iets te laag aangebracht waardoor in het bovendee van de balk na het voorspannen een te grote trekspanning optreedt.

Door de ligging van de voorspankracht iets te wijzigen, in dit geval dichterbij de neutrale lijn van de balk, wordt het optreden van trekspanning vermeden.

Door het voorspannen van de beton balk wordt het beton veel beter benut, waardoor in vergelijking met het gewapend beton de betonddoorsnede kleiner kan zijn. De ligger wordt daardoor lichter en goedkoper.

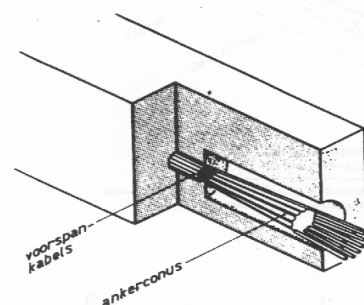
Teneinde de betonnen balk of betonnen plaat te kunnen voorspannen worden in de bekisting(waar in de beton wordt gestort) eerst pijpen geplaatst.

Na het storten van de beton en het voldoende verhardn van de beton kunnen door de pijpen de voorspankabels of staven worden geschoven.

Deze worden daarna aan de uiteinden uitgerekt. De uitgerekte staaf of kabel wordt dan in die toestand gefixeerd, bijvoorbeeld door toepassing van anker conussen.

Door de conussen wordt de diameter van de kabel veel groter waardoor deze niet meer door de pijp kan en dus in uitgerekte toestand blijft.

De aangebrachte voorspanning werkt dan als drukkracht op de betonconstructie



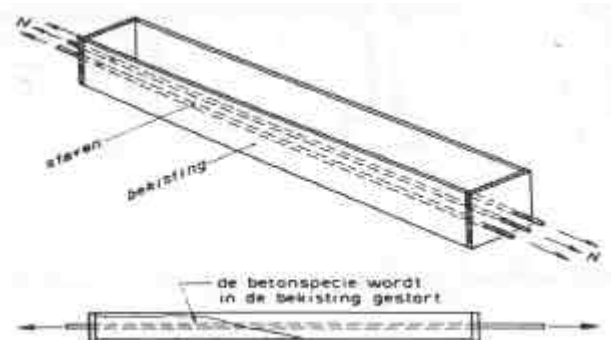
Geprefabriceerd beton.

Geprefabriceerd beton onderscheidt zich van in het werk gestort beton, doordat het beton niet ter plaatse maar in de fabriek wordt vervaardigd. De arbeidsomstandigheden en de condities bij het verhardn zijn in de fabriek beter dan op de bouwplaats waar de brug, of het viaduct moet komen. Hierdoor kan de kwaliteit van de betonbalk of beton plaat aanzienlijk beter worden. De elementen worden zoveel mogelijk met dezelfde bekisting gemaakt. Omdat debekisting veelvuldig gebruikt wordt, mag deze ook duurder zijn. Een ingewikkelde bekisting is bij een geprefabriceerde constructie eerder mogelijk dan bij een in het werk gestorte constructie. Voorwaarde voor prefabricage is dat de constructie uit gelijke elementen kan worden samengesteld, zodat de betonelementen met een gering aantal bekistingen kunnen worden gemaakt.

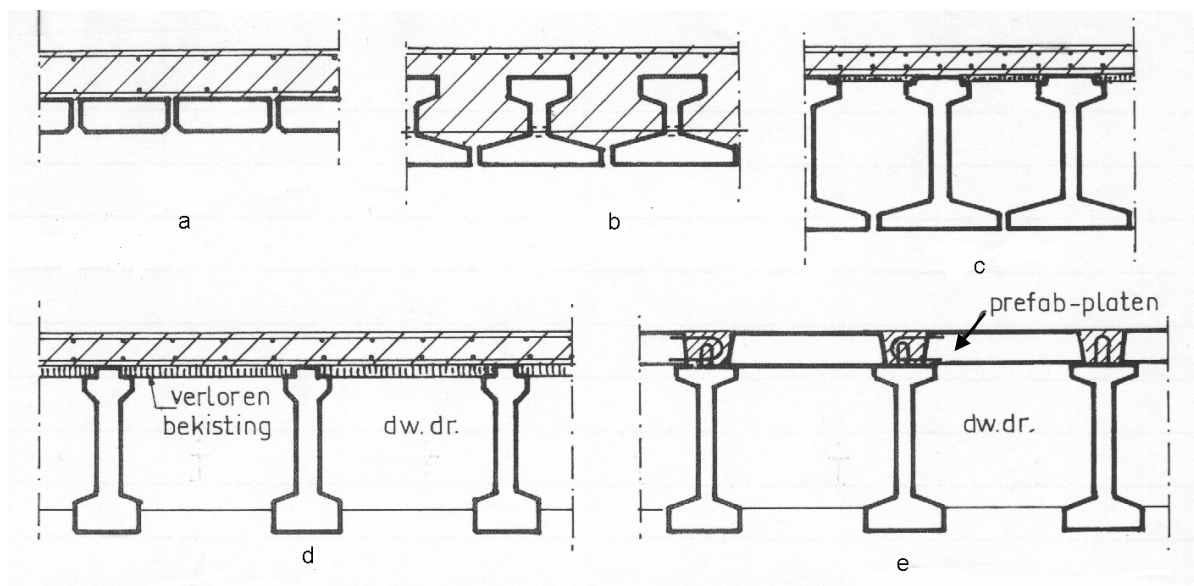
Bij de fabricage van de betonelementen worden de voorspanstaven eerst in de bekisting geplaatst en voorgespannen.

Vervolgens wordt de beton in de bekisting gestort.

Na voldoende verharding van de beton, kan de blokkering van de voorspanstaven in de bekisting worden losgemaakt en werkt de voorspanning tengevolge van de hechting van de beton aan de voorspanstaven op de beton.



Vele vormen van geprefabriceerde balken zijn mogelijk :



- Fig. a - Eenvoudige betonbalken worden naast elkaar gelegd en een dunne betonlaag (afwerklaag) wordt op de balken gestort.
- Fig. b - Voor iets grotere overspanningen worden sterkere balken toegepast en werkt de ter plaatse gestorte beton als extra druklaag van de constructie.
- Fig. c - Nog weer hogere en dus sterkere balken voor nog grotere overspanningen, met een afwerklaag. De afwerklaag diend ter afwerking van de bovenkant en extra bescherming tegen verkeersinvloeden (beschadigingen).
- Fig. d - Betonbalken verder uit elkaar geplaatst met daartussen dwarskoppelingen (dwarsdragers). Een verloren bekisting ondersteunt het ter plaatse (bouwplaats) gestorte betondek.
- Fig. e - Als d maar in plaats van ter plaatse gestorte beton de toepassing van prefab-platen met grote naden ter plaatse de liggers. Deze naden worden op de bouwplaats volgestort.

Voor zeer grote overspanningen worden vaak geprefabriceerde koker balken toegepast. Een voorbeeld is bijvoorbeeld de "Zeelandbrug" over de Oosterschelde.

De geprefabriceerde kokerelementen worden door toepassing van een hulpbrug op hoogte gehesen.

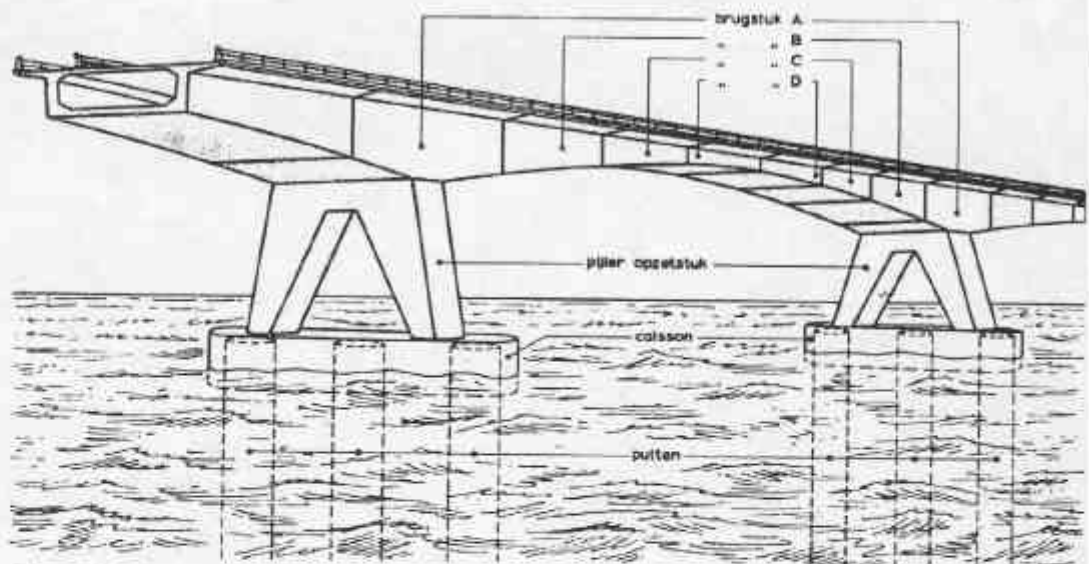
Bij deze brug werden eerst de elementen op een pijler geplaatst met behulp van een drijvende hijskraan.

Vervolgens werd een hulpbrug op deze elementen geplaatst waarna de kokerelementen vanaf een schip opgehesen konden worden. Wanneer twee elementen waren opgehesen, ieder aan weerszijden van de pijler, konden deze worden voorgespannen aan de reeds eerder geplaatste elementen.

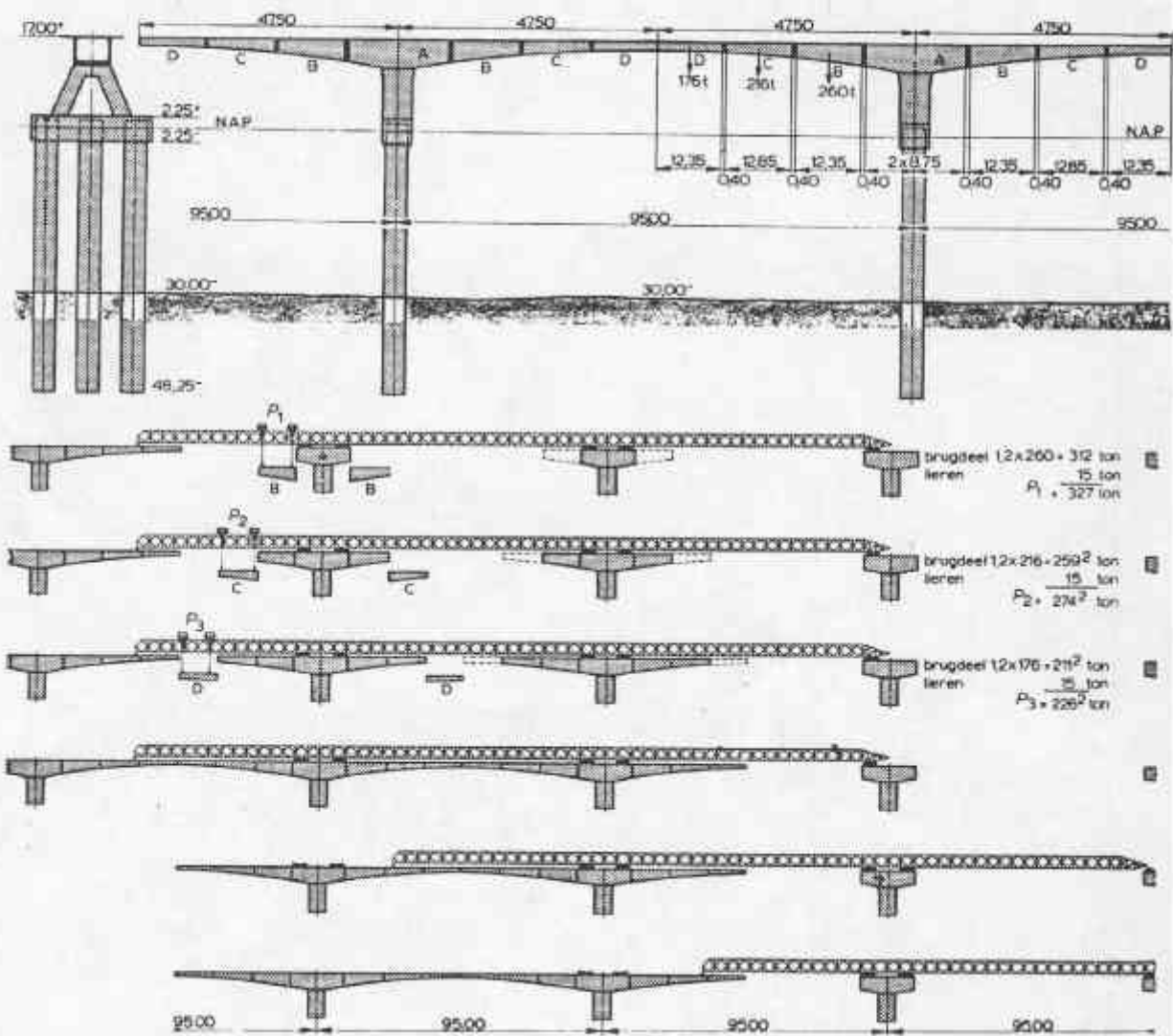
Op deze wijze werden de kokerelementen in een overspanning respectievelijk de halve overspanning aan de andere zijde van de pijlers aangebracht en voorgespannen.

Na gereedkomen hiervan kan de hulpbrug worden verplaatst naar de volgende overspanning en kan de bouwwijze worden herhaald.

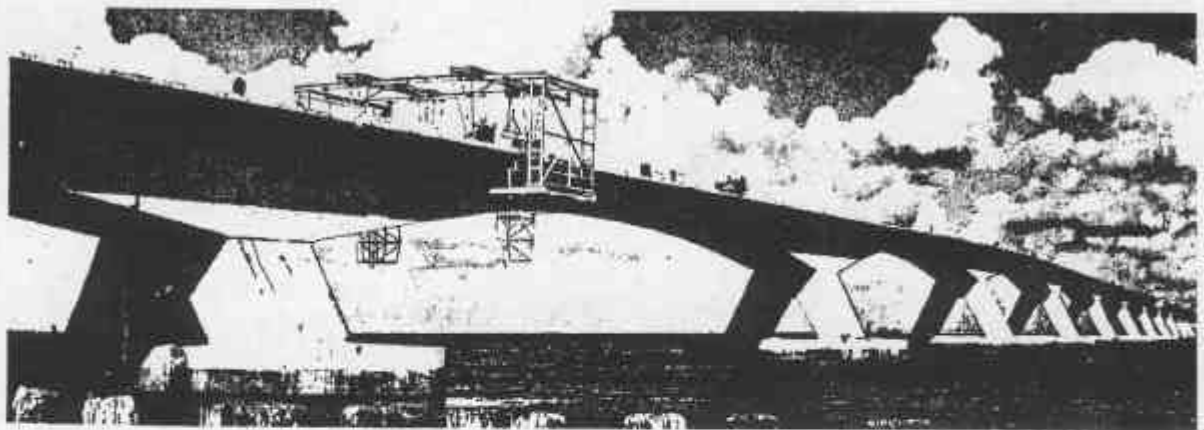
Uiteraard is het voorspannen van een dergelijke brug erg gecompliceerd en zijn veel voorspankabels nodig.



Constructiedelen van de brug.

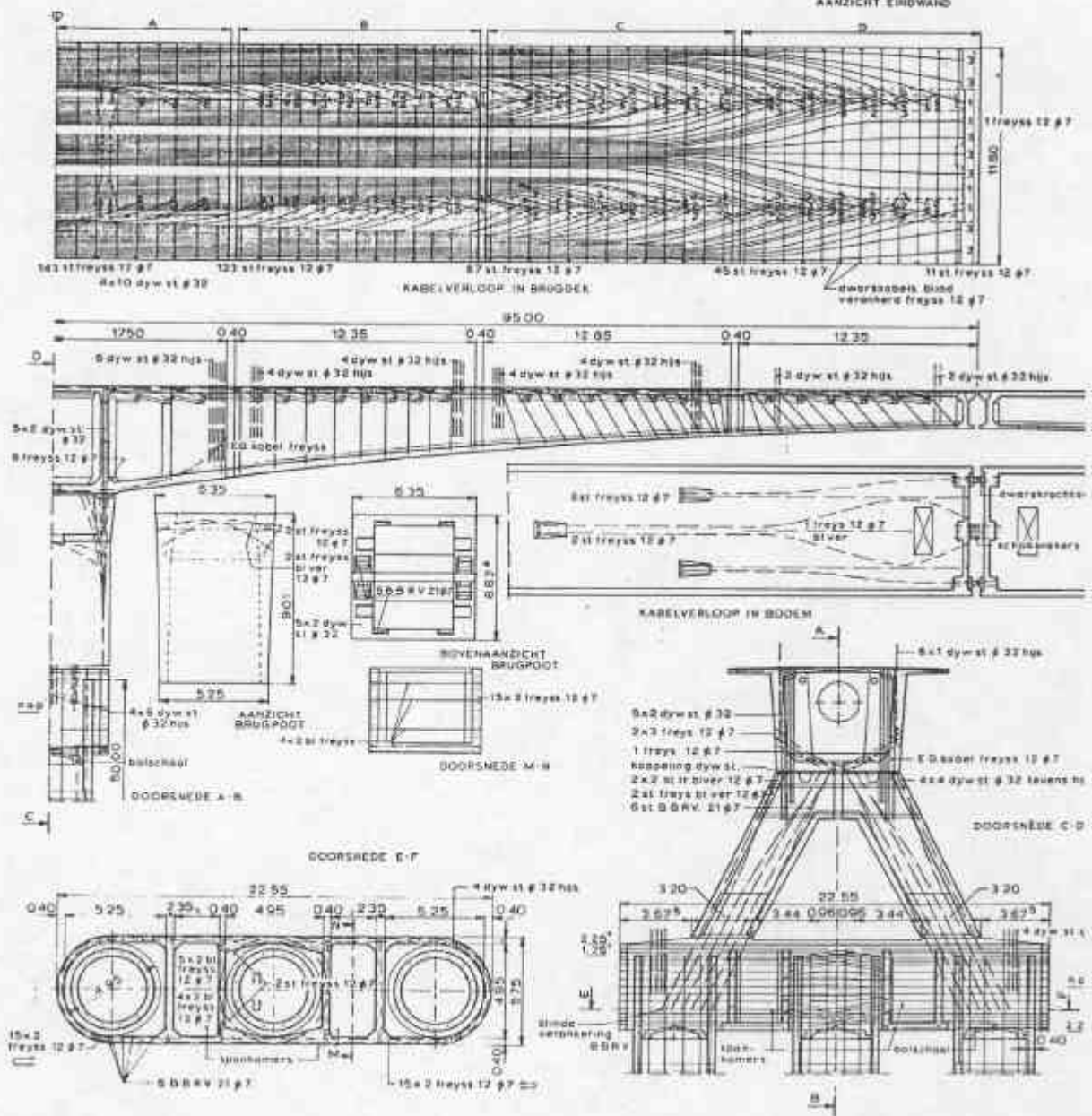


Zeelandbrug. Montage brugdelen (P.T. 30-9-'64).



Zeelandbrug.

- model A-stuk te spannen voor plaatsen montage-ligger.
- 1 krimp-kabels te spannen na storten voeg (i 24 uur)
 - 2 kabels te spannen als $R_k + 150 \text{ kg/cm}^2$ moet hangt nog aan montage-ligger
 - 3 kabels te spannen na lossen mool (moet hangt vrij van montage-ligger)





Metro Byneluxlijn te Rotterdam



Ridderster te Ridderkerk



Brug Oranje Nassauwingsel te Alphen aan den Rijn



Rijksweg 15 bij Barendrecht



Rijksweg 15 bij Barendrecht



Boogviaduct metro ringlijn Amsterdam, bekroond met de Betonprijs 1995 en de BiBM-Award 1996

Literatuur :

- ? Bouwen in Gewapend Beton door ir. W. van der Schrier
- ? Voorgespannen Beton door prof. ir. A.S.P. Bruggeling e.a.
- ? Constructieve details en foto's : o.a. Spanbeton B.V. in Koudekerk a/d Rijn