

Staal-beton constructies in de utiliteitsbouw

door ing. A. Reijenga, projectleider en ir C. J. M. Schiebroek, directeur, Ingenieursburo Schiebroek-Struik bv



Inleiding

Tot op heden wordt in de utiliteitsbouw bijna uitsluitend gebruik gemaakt van gewapend beton-constructies, met in het algemeen vlakke plaatvoeren in vele variaties. In feite zijn de huidige gewapend beton-constructies ook staal-beton constructies. Immers, in samenwerking worden de trek- en drukspanningen in het beton opgenomen. Waar het hier echter om gaat is de eigenschappen van de materialen beter te gebruiken en bovendien de toepassing zodanig plaats te laten vinden, zodat hieruit voordelen in het bouwproces ontstaan. Hierbij handelt het om drie hoofdgroepen, die samen het skelet van een bouwconstructie vormen:

- kolommen;
- balken;
- vloeren.

Waarom worden deze elementen in Nederland nog steeds zo weinig als staal-beton constructies uitgevoerd? Is dat de onbekendheid met de materie of zijn dit soort constructies in Nederland te duur? Nu hebben wij door het ontbreken van ijzererts in onze bodem een traditie in beton opgebouwd en natuurlijk doorbreekt je die niet in enkele jaren. Maar onbekend is het zeker niet, gezien de ervaringen die er vooral in Engeland en Amerika zijn. Er is voldoende literatuur, uitwisseling van ervaringen is mogelijk; er zijn geen barrières. En wat het economisch aspect betreft, daar zal in het verloop van dit artikel duidelijkheid over komen. De uitkomst is in elk geval dat bij de keuze van het systeem andere dan de economische factoren van doorslaggevende aard zijn.

Constructieve overwegingen

Om het inzicht enigszins te verhelderen een kleine 'exercitie', bij eenieder al lang gemeengoed, maar misschien goed om even te herhalen. Overigens wordt er alleen op de hoofdzaken ingegaan en worden alle details, die voor dit moment niet van belang zijn, achterwege gelaten.

Er is sprake van twee soorten constructies,

gewapend beton-constructies en staalconstructies, elk met hun eigen specifieke eigenschappen ten aanzien van gebruik en materiaal.

Gewapend beton

Hierbij moeten de volgende handelingen worden verricht, met onderstaand inwendig systeem:

- bekisten;
- wapening vlechten + plaatsen;
- beton storten + verdichten;
- wachten;
- ontkisten + kist schoonmaken.

Zeventig procent van het beton is overbodig en dient alleen voor het overbrengen van de schuifkrachten. Dit kost veel materiaal en betekent extra belasting op kolommen en fundatie (afbeelding 1).

Staal

Hierbij moeten de volgende handelingen worden verricht met onderstaand inwendig krachten spel:

- fabrieksmatig voorbereiden;
- monteren (kranen).

Er is sprake van weinig massa in de bouw. De buiging is vaak maatgevend.

Hierbij wordt $\pm 20\%$ van het staal niet gebruikt. De drukkracht wordt opgenomen door staal, een relatief duur materiaal (afbeelding 2).

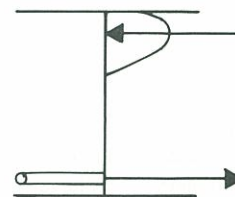
Indien bij een profiel de doorbuiging maatgevend is – hetgeen regelmatig voorkomt – wordt het profiel ook qua sterkte niet volledig gebruikt.

Staal-beton

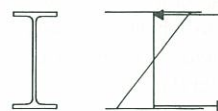
Hierbij ontstaat het volgende beeld (afbeelding 3).

STUDIEDAG STAAL-BETON

Van de studiedag staal-beton constructies, gehouden op 17 mei jl. in het Auditorium van de TU-Eindhoven, worden in dit nummer twee van de aldaar uitgesproken voordrachten gepubliceerd, te weten 'Staal-beton constructies in de utiliteitsbouw' door ir C. J. M. Schiebroek van Ingenieursburo Schiebroek-Struik bv en 'Systeem AF voor staal-beton constructies' door ir J. B. Schleich van Arbed Recherches S.A., Luxemburg (pag. 31 t/m pag. 36). De overige voordrachten, inclusief de twee hierboven genoemde voordrachten, zijn gepubliceerd in de gemeenschappelijke publikatie 'Staal-beton constructies' van de Betonvereniging en het Staalbouwkundig Genootschap. Een samenvatting van de studiedag en een bestelbon voor de publikatie 'Staal-beton constructies' staan op pag. 61.



Afbeelding 1. Inwendig krachten spel bij een ligger van gewapend beton



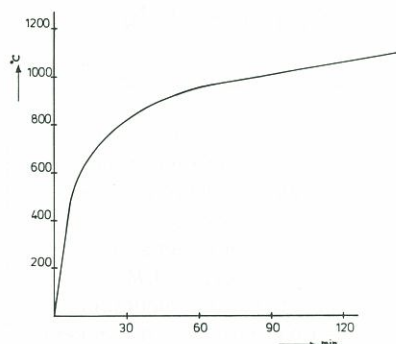
Afbeelding 2. Inwendig krachten spel bij een staal ligger

- wapening = bekisting;
- beton vormt drukgebied;
- beton geeft stijfheid (monoliet);
- eenvoudige en lichte montage.

Beton en staal worden hier al veel efficiënter gebruikt.



Afbeelding 3. Inwendig krachten spel bij een staalbetonconstructie



Afbeelding 4. De al uit 1917 daterende standaardbrandkromme

Voorschriften en richtlijnen

In het **BOUWBESLUIT** vindt men voorwaarden ten aanzien van de volgende punten.

- Veiligheid:**
- constructieve
 - gebruiks-
 - brand-

De veiligheid tegen *krachten*, zoals wind en nuttige belasting is de *constructieve veiligheid*. In feite is dit de *breukveiligheid*. (De vormverandering bij breuk is niet belangrijk). Voor de verschillende materialen zijn de veiligheidscoëfficiënten:

beton = 1,7

staal = 1,5

Aangezien bij staal-beton constructies het gedrag van het staal bepalend is in het breukstadium, lijkt $\gamma = 1,5$ hiervoor de toepasbare coëfficiënt. In de TGB zullen meer gedifferentieerde belastingscoëfficiënten worden gehanteerd.

Het eigen gewicht van de constructie zal bijvoorbeeld in de toekomst minder invloed krijgen.

De standaardbrandkromme is nog steeds de basis voor de bepaling van de veiligheid tegen *temperatuur* (brand). Deze is in 1917 in Amerika tot stand gekomen met de toen bestaande inzichten over gebouwen, interieurs en materiaalgebruik. Het zou goed zijn na te gaan in hoeverre de standaard-brandkromme nog realistisch is voor de huidige gebouwen (afbeelding 4).

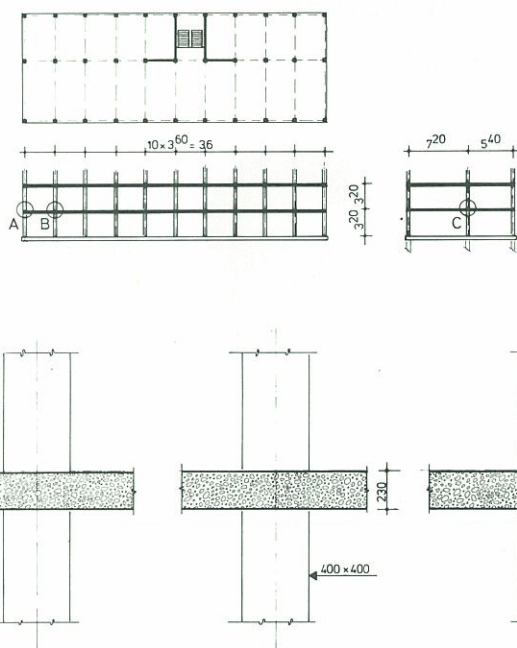
- Gezondheid:**
- geluid;
 - vocht;
 - stoffen;
 - straling.

- Bruikbaarheid:**
- vormverandering;
 - toegankelijkheid.

Energiezuinigheid

Duurzaamheid:

- of staal is volledig omgeven door beton
 - of staal(plaat) is verzinkt
- Volgens ir E. J. F. Delsing van het Centrum Staal is sendzimir verzinkt staal van voldoende duurzaamheid. In het algemeen ook bij toepassing aan de onderzijde van begane grondvloeren (zie Bouwstenen nr. 11, TUE).



Afbeelding 5. Systeem: beton traditioneel

Onderhoud

Binnen: verzinkt staal heeft geen onderhoud nodig.

Buiten: ook verzinkt staal vraagt onderhoud, een bekend voorbeeld is de auto.

Kostenopbouw

Bij de inleiding is reeds gezegd dat het kostenaspect bij de keuze van het systeem niet doorslaggevend is. Om dit duidelijk te maken zijn van vier systemen de ruwbouwkosten voor het skelet van een kantoorgebouw bepaald en zijn zonodig alleen de meerkosten van bijvoorbeeld de fundering meegenomen.

De vier systemen zijn:

1. Betonconstructie met vlakke plaatvloeren, op dit moment het meest gangbaar;
2. Staalconstructie met staalplaat-betonvloeren;
3. Staalconstructie met systeemvloeren in de vorm van holle plaatvloeren;
4. Geïntegreerd staal/beton systeem.

De uitgangspunten voor het kantoorgebouw zijn als volgt:

- Een gemiddelde van vier verdiepingen. Eventueel hogere gebouwen zijn altijd gunstiger.
- Stramien in dwarsrichting 5,40 m resp. 7,20 m; in langsrichting 3,60 m.
- Stabiliteit door middel van wanden (beton, metselwerk) of windverbanden. Voor de kostenopbouw zijn deze alle in gevallen buiten beschouwing gelaten.
- Gevels naar keuze. Geheel afhankelijk van het ontwerp is hierin een grote variatie in materiaalgebruik en prijs. Het karakter van de constructie speelt hierbij overigens wel een rol. Ook de gevels zijn hier buiten beschouwing gelaten.
- Grindbeton. (lichtbeton is in alle gevallen in het voordeel).

Traditionele betonconstructie

(afbeelding 5)

a. Vloer

- dikte 230 mm
- grindbeton $f 125, \text{—}/\text{m}^3 + 0,5 \text{ m.u.}/\text{m}^3$
- wapening $15 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{ à } f 1,60/\text{kg}$
- bekisting $f 49, \text{—}/\text{m}^2$ inclusief randen
- overhead 15%
- totaalprijs vloer: $f 123, \text{—}/\text{m}^2$

b. Kolommen

- afmeting 400×400
- grindbeton $f 130, \text{—}/\text{m}^3 + 2 \text{ m.u.}/\text{m}^3$
- wapening $f 1,80/\text{kg}$
- bekisting $f 10, \text{—}/\text{m}^2 + 1 \text{ m.u.}/\text{m}^2$
- overhead 15%
- omgerekend per m^2 vloeroppervlak $f 31, \text{—}/\text{m}^2$

c. Fundering

- extra funderingskosten vanwege een zwaarder gebouw: o.m. meer palen en grotere funderingsdimensies: $f 7,27/\text{m}^2$ vloer

d. Bouwtijd

- deze is gemiddeld 1 week per vloer langer dan van de andere systemen, dus totaal een vijf weken langere bouwtijd: $f 3,50/\text{m}^2$ vloeroppervlak.

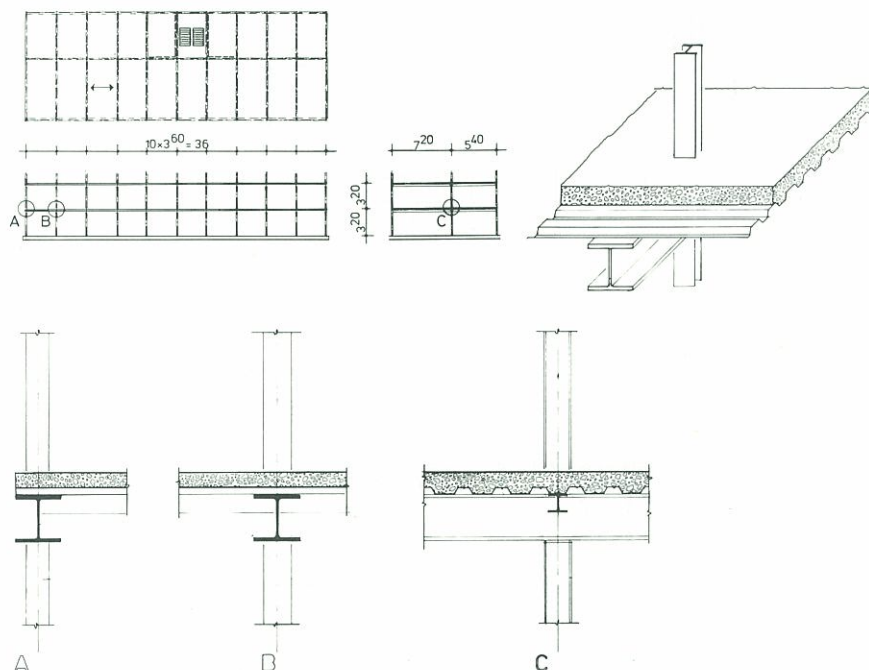
Het gebouw kost dan $f 373.000$.

Voordelen:

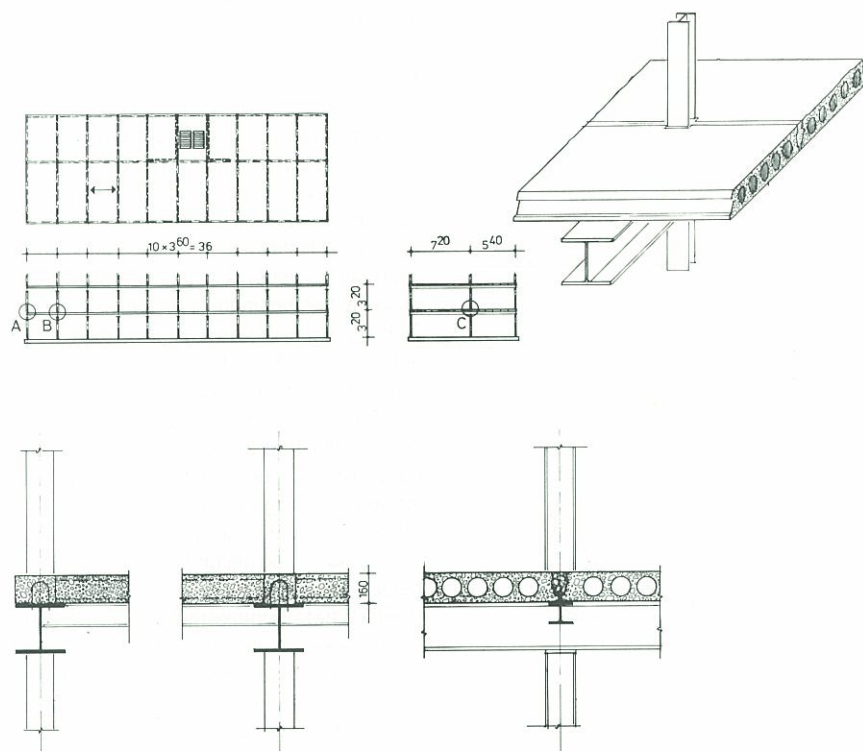
- massa groter, dus minder gevoelig voor trillingen;
- kleinere constructiehoogte;
- korte voorbereidingstijd.

Nadelen:

- zwaarder, meer materiaalgebruik en zwaardere funderingen;
- uitvoering weersgevoelig;
- langere bouwtijd.



Afbeelding 6. Systeem: staalconstructie met staalplaat-betonvloeren



Afbeelding 8. Systeem: staalconstructie met prefab beton systeemvloeren

HE160 A	HE160A	
HE160 A	HE180 A	
HE160 A	HE180 A	
HE160 A	HE200 A	
HE180 A	HE220 A	

Afbeelding 7. Skelet met staalplaat-betonvloeren

Staalconstructie + staalplaat-betonvloer (afbeeldingen 6 en 7)

De staalconstructie:

- aankoop staal f 1,09/kg
- verwerken/monteren f 1,78/kg
- totaal f 210.000

De staalplaat-betonvloer

Prijsopbouw:

- levering staalplaat f 21,50/m²
- engineering, montage en winst f 7,25
- verticaal transport f 0,75
- hulpstukken f 1,00
- f 30,50/m²**

- beton gemiddeld 120 mm dik, betonstaal f 4,50/m²
- beton: f 130,—/m³ + 0,5 m.u./m³ f 14,10
- kraan f 0,90
- winst en risico f 2,00
- f 21,50/m²**

Totaal voor de vloer: f 52,—/m²

Het gebouw kost dan:

- de staalconstructie f 210.000,—
- brandvrije bekleding kolommen f 41.600,—
- vloeren f 117.000,—
- f 369.000,—**

Voordelen:

- snellere bouwtijd (1 week/verdieping);
- minder materiaalverbruik;
- lichter transport;
- eenvoudiger bouwlogistiek;
- minder klimaat-gevoelig.

Nadelen:

- grotere verdiepingshoogte (150 mm/verdieping);
- trillingsgevoeliger;
- langere voorbereidingstijd.

Staalconstructie met betonnen systeemvloer (afbeelding 8)

- staalconstructie en fundatie, zwaarder dan het vorige geval f 242.000
- systeemvloer incl. randkist en vulbeton f 124.000
- Verankeren vloer/staalconstructie f 5.000
- f 371.000**

Nadelen:

- (ten opzichte van de staalplaat-betonvloer);
- structureel niet passende materialen;
 - grotere verdiepingshoogte;
 - groter gewicht;
 - niet monolithisch;
 - problemen met sparingsen.

Geïntegreerd staal-beton systeem

(afbeelding 9)

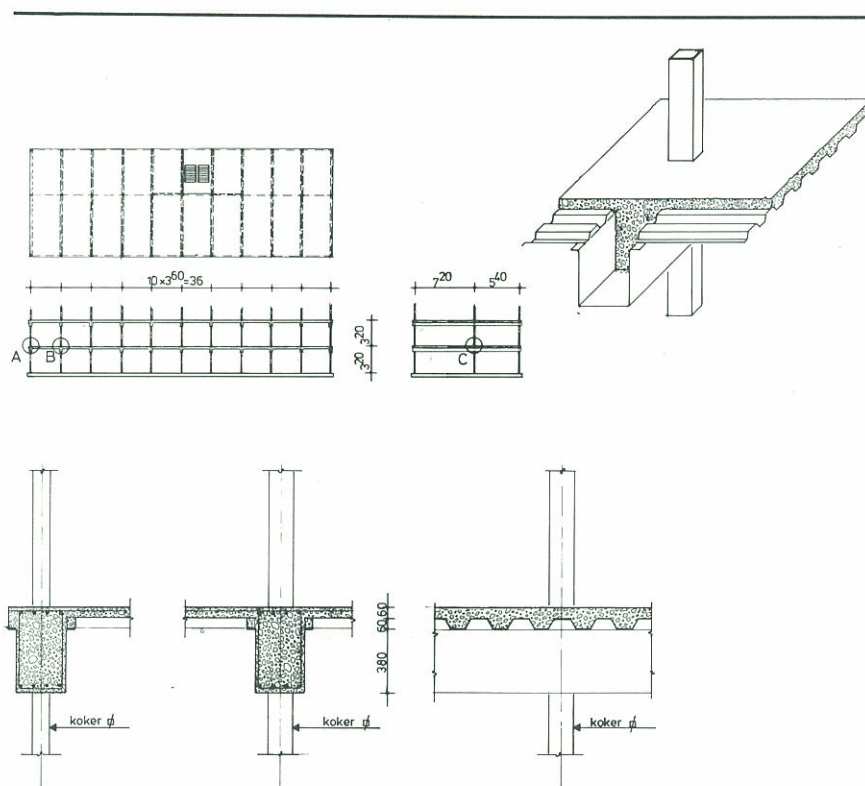
- Levering en montage skelet en staalconstructie	f 212.000
- Leveren en verwerken beton en betonstaal	f 50.000
- Staalplaat-betonvloer	f 117.000
	f 379.000

Voordelen:

- snelle en lichte bouwwijze;
- monolithisch karakter;
- relatief licht gebouw (weinig zwaarder dan staalconstructie).

Nadelen:

- tijdelijke ondersteuning noodzakelijk;
- grotere verdiepingshoogte;
- langere voorbereidingstijd.



Tabel 1. Samenvatting van de resultaten

	beton	staal staalplaat	staal systeemvloer	staal/beton geïntegreerd
Prijs (f)	373.000	369.000	371.000	379.000
Extra's	stijver gebouw		minder materiaalgebruik	
	kleinere verdiepings- hoogte		lichtere constructie	
	flexibeler indeling		eenvoudiger bouwlogistiek	
	korte voorberei- dingstijd		snelle bouwtijd	
			minder weersgevoelig	

Afbeelding 9. Systeem: geïntegreerd staal-beton

Algemene conclusies

De resultaten van het voorgaande zijn samengevat in tabel 1.

Voor alle gevallen geldt: hoe hoger hoe economischer én uitvoering in lichtbeton is altijd goedkoper.

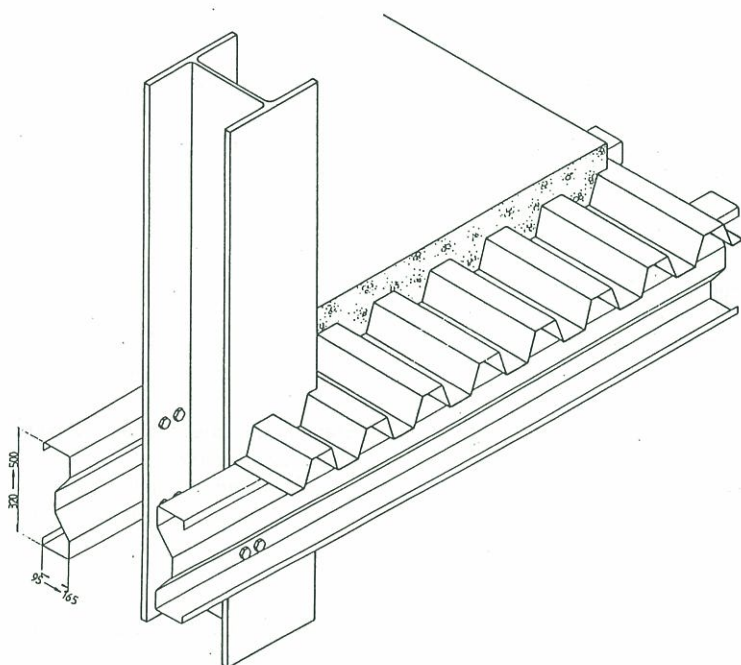
Als belangrijkste conclusie kan worden gesteld dat de ruwbouw voor alle systemen op hetzelfde prijsniveau ligt. Er zijn dus andere factoren die de uiteindelijke keuze moeten bepalen, waarvan er een aantal al in het overzicht is genoemd.

De belangrijkste factor is het afwerkingsniveau van het gebouw, waarin de keuze van de gevel een belangrijke rol speelt.

Ook de technische installaties vormen een niet weg te cijferen factor.

Normaal gesproken is de ruwbouw dus geen prijsbepalende factor voor een kantoorgebouw, of het moet een extreem hoog gebouw zijn, zodat de fundatie eveneens extreme vormen aan gaat nemen, dan is een lichtere staal-betonconstructie de beste keuze, eventueel nog gecombineerd met lichtbeton.

Verder is het alternatief met systeemvloeren niet te verkiezen, daar deze qua karakter niet bij een staalconstructie passen. Het geïntegreerde staal/beton systeem dient nog verder ontwikkeld te worden. Hiervan zijn overigens uit Duitsland, België en Frankrijk goede voorbeelden voorhanden (afbeelding 10).



Afbeelding 10. Staalplaat-betonvloer ondersteunt door koudgevormde liggertjes