# ECONOMISCH ONTWERPEN

## STRATEGIEËN VOOR STAALSKELET GEBOUWEN IN EUROPA (MET BEHULP VAN HET KOSTEN GEREEDSCHAP – ACE)

Report To RFCS contract RFSR-ct-2007-00037
Document: RT1336
Versie: 6
Datum: Oktober 2010

# VOORWOORD

Dit document maakt deel uit van het project 'Economics of Steel Framed Buildings in Europe (ESE)', gesteund door de 'Research Fund for Coal and Steel' via subsidienummer RFSR-CT-2007-0037. Het document is als hulpmiddel bedoeld voor ontwerpers en opdrachtgevers van staalskelet gebouwen om constructies voor te schrijven die op de meest efficiënt mogelijke wijze aan hun voorwaarden voldoen. Het document dient gebruikt te worden in combinatie met het webgebaseerd ontwerp gereedschap ACE, een programma ontwikkeld als onderdeel van het project ESE.

Dit document is samengesteld door Dr J W Rackham van 'the Steel Construction Institute' met bijdragen en commentaar van overige partners in het project, onder anderen:

| | |
|---|---|
| Dr Bassam Burgan (Coördinator) | The Steel Construction Institute |
| Professor Andrzej Garstecki | Poznan University of Technology |
| Dr Maciej Klósak | Poznan University of Technology |
| Ir Francoise Lecomte-Labory | Arcelor Mittal Global R & D (Esch) |
| Ir Bennie Potjes | Bouwen met Staal |
| Ir Jo Naessens | Staalinfocentrum |

Het project is onder toezicht van 'RFCS Technical Group TGS8' goedgekeurd en voorbereid.

# INHOUD Pagina


VOORWOORD iii

SAMENVATTING vi

1 INLEIDING 1

2 DE VOORDELEN VAN STAALSKELET CONSTRUCTIES 3
- 2.1 Duurzaamheid 3
- 2.2 Prefabricage in een beheersbare omgeving 3
- 2.3 Tijdwinst bij uitvoering 3
- 2.4 Flexibiliteit in gebruik 3
- 2.5 Specifieke voordelen van staalskeletbouw in woongebouwen 4
- 2.6 Specifieke voordelen van staalskeletbouw in kantoorgebouwen 4
- 2.7 Specifieke voordelen van staalskeletbouw bij bedrijfshallen 5

3 STAALSKELET GESTAPELDE WOONGEBOUWEN 6
- 3.1 Staalskelet opties 6
- 3.2 Vloersystemen en belasting 10
  - 3.2.1 Belasting 10
  - 3.2.2 Samengestelde liggers met staalplaat-betonvloer 11
  - 3.2.3 Stalen liggers met kanaalplaatvloer 14
  - 3.2.4 Geïntegreerde liggers met lage staalplaat-betonvloer of kanaalplaatvloer 15
  - 3.2.5 Slanke vloerligger met lage staalplaat-betonvloer of kanaalplaatvloer 17
- 3.3 Akoestiek 18
- 3.4 Dak 19
- 3.5 Brandveiligheid 20

4 STAALSKELET GESTAPELDE KANTOORGEBOUWEN 21
- 4.1 Staalskelet opties 21
  - 4.1.1 Kolommen 21
- 4.2 Vloerconstructie en belasting 22
  - 4.2.1 Vloerbelasting 22
  - 4.2.2 Integreren van installaties 23
  - 4.2.3 Korte overspanning met samengestelde liggers en staalplaat-betonvloer 23
  - 4.2.4 Grote overspanning met samengestelde liggers met lijfopeningen en staalplaat-betonvloer 26
  - 4.2.5 Cellular beams met staalplaat-betonvloer 28
  - 4.2.6 Stalen liggers met kanaalplaatvloer 31
  - 4.2.7 Geïntegreerde liggers of slanke vloerliggers met lage staalplaat-betonvloer of kanaalplaatvloer 32
- 4.3 Dak 33
- 4.4 Brandveiligheid 33

5 STAALSKELET BEDRIJFSHALLEN 35
- 5.1 Conceptontwerpen en vormen van bedrijfshallen 35
- 5.2 Schuin- en gebogen dak portaalconstructies 39
  - 5.2.1 Overzicht portaalconstructie types 39
  - 5.2.2 Schuin dak portaalconstructie 42
  - 5.2.3 Verbindingen 45
- 5.3 Kolom en ligger constructies 46
- 5.4 Brandveiligheid 48

REFERENTIES 50

# SAMENVATTING

Dit document is als hulpmiddel bedoeld voor ontwerpers en opdrachtgevers van staalskelet gebouwen in Europa bij het maken van efficiënte en concurrerende ontwerpen. Eénlaagse bedrijfshallen en gestapelde woon- en kantoorgebouwen worden hierin behandeld.

Het document beschrijft de algemene en specifieke voordelen van staalskeletbouw voor de behandelde gebouwtypes. Er wordt een samenvatting gegeven van het weggemasseerd kosten gereedschap voor de bouw (ACE) en de parameters die van invloed zijn op de bouwkosten worden toegelicht. De opties in de software voor het ontwerpen van de verschillende onderdelen van de constructies –bijvoorbeeld funderingen, skelet en vloertype, enz.– worden toegelicht. Hierdoor kunnen kostenvergelijkingen worden gemaakt.

De hoofdgebouw types worden in detail behandeld. Voor gestapelde woon- en kantoorgebouwen worden algemene constructieve adviezen gegeven en vervolgens gegevens over het optimaal ontwerpen van alternatieve bruikbare vloertypes. De hoofdaspecten van de vloerconstructies worden toegelicht. Advies wordt gegeven over de maatvoering van de constructieve elementen en overige hoofdcomponenten. Aanbevolen wordt een optimale ontwerpstrategie voor de draagconstructie van ieder vloertype te gebruiken met het kosten gereedschap ACE. Aanvullende adviezen worden gegeven met betrekking tot brandveiligheid, akoestische vloerafwerkingen voor woongebouwen en de opties voor het integreren van installaties in kantoorgebouwen.

Advies met betrekking tot het voorlopig ontwerpen van éénlaagse bedrijfshallen wordt gegeven en alternatieve draagconstructies worden inzichtelijk gemaakt. Het advies beperkt zich tot schuin- en plat dak portaalconstructies gezien dit het meest gangbare systeem is bij dit gebouwtype. Veel variaties van schuin dak portaalconstructies worden besproken en geadviseerd wordt hoe deze op de meest efficiënte manieren toegepast kunnen worden. De ontwerptabel voor éénlaagse portaalconstructies met enkele overspanning  helpt bij het inschatten van de constructies. Ten slotte wordt advies gegeven over praktische verbindingen en brandveiligheid.

# 1 INLEIDING

Het ontwerpen van staalskeletconstructies heeft zich in de afgelopen jaren aanzienlijk ontwikkeld. Ontwerpgegevens zijn verkrijgbaar in uitgaven zoals de Eurocodes en publicaties van diverse RFCS/ECSC projecten. Hoewel de Eurocodes een breed scala aan mogelijke ontwerpbenaderingen voor staalskelet constructies geven is er relatief weinig informatie beschikbaar over de bouwkosten van staalconstructies. Staal wordt vaak niet voorgeschreven door ontwerpers omdat:

- Ze staal niet als mogelijke oplossing overwegen vanwege de indruk dat staalconstructies complex zijn en gebrek hebben aan ervaring met het efficiënt ontwerpen daarvan, of
- Ze aanvankelijk een oplossing in staal opzetten maar deze in de voorlopige ontwerpfase achterwege laten vanwege een ongeschikte – en oneconomische – ontwerpbenadering.

Een marktonderzoek uitgevoerd in negen Europese landen[(1)] kaartte een algemene behoefte aan voor informatie over de kosten en economische aspecten van staalconstructies.

Er zijn directe en indirecte relaties tussen de efficiëntie van constructieve ontwerpen en de kosten. Het is niet noodzakelijkerwijs het geval dat een constructief efficiënt ontwerp ook kosteneffectief is (bijvoorbeeld een constructief efficiënt staalskelet zonder stabiliteitsverbanden met samengestelde kolom-ligger aansluitingen zou een dure oplossing kunnen zijn vanwege de complexiteit van de verbindingen).

Naast het herkennen van de factoren die van invloed zijn op de directe bouwkosten (bijvoorbeeld het gewicht van constructieve elementen, bouwhoogte, brandwering, enz.) is het van belang de invloed van de gekozen constructieve opzet op de overige kosten te overwegen. Bijvoorbeeld: hoewel er in het algemeen wordt aangenomen dat verkorte bouwtijd een voordeel van staal is, kan het zijn dat de invloed van snelheid op de kosten over het hoofd wordt gezien (minder kosten voor bouwmanagement en uitvoering, reductie in rentelasten op de geleende bouwkosten en het financiële voordeel van vroegtijdig verhuren van het gebouw).

De mate waarin staalconstructies kunnen concurreren is sterk afhankelijk van de globale marktomstandigheden. Recentelijk zijn deze onstabiel geweest. De toenemende vraag van China in de afgelopen jaren heeft globaal tot een ongekende toename in staalprijzen geleid en vanwege de recessie zijn de prijzen weer gedaald. Staalconstructie oplossingen worden vaak door architecten en opdrachtgevers als duur beschouwd in vergelijking met andere materialen maar er is geen simpele manier om dit te verifiëren. Dit project was opgezet om dit probleem aan te pakken en om een webgebaseerd kosten gereedschap (ACE) beschikbaar te stellen voor ontwerpers van staalskelet gebouwen in Europa.

ACE biedt de gebruiker de mogelijkheid kosteneffectieve staaloplossingen te ontwikkelen in de conceptfasen van een project. Het is ontwikkeld met gebruik van de nieuwste kostenmodel technieken voor het inschatten van de totale bouwkosten en bevat een simpele functie voor het hanteren van actuele eenheidskosten. Het omvat éénlaagse bedrijfshallen en gestapelde woon- en kantoorgebouwen. Door middel van vergelijkingen kunnen de algemene kostenoptimalisaties van deze gebouwtypes worden gemaakt. Hiermee kunnen ontwerpers worden ondersteund in het overtuigen van investeerders in deze sectoren met staal te werken. Het gereedschap is gevalideerd door kosten- en bouwdata van voorbeeldprojecten uit elke van de drie gebouwtypes die binnen het project worden behandeld.

Dit document geeft advies aan ontwerpers en strategieën in het ontwerpen van concurrerende constructies in de drie sectoren en gebouwtypes binnen de omvang van het gereedschap. Het document is bedoeld voor gebruik naast het webgebaseerd gereedschap ACE. Er wordt in het document praktisch advies gegeven over de ontwerpaspecten en draagconstructies van elk gebouwtype om tot de economisch meest voordelige keuzes van constructieve opzet en maatvoering van onderdelen te komen. Dit zou voor ontwerpers een verkorting kunnen betekenen in de tijd nodig om een efficiënte opzet te selecteren.

# 2 DE VOORDELEN VAN STAALSKELET GEBOUWEN

## 2.1 Duurzaamheid

Ten minste 50% van de huidige EU staalproductie bevat gerecycled materiaal; staal is 100% recyclebaar. De kleine hoeveelheid afval van de fabricage- en bouwprocessen wordt gerecycled. Alle staalcomponenten kunnen worden hergebruikt of gerecycled aan het einde van hun leven. Een staalskelet heeft minder gewicht dan vergelijkbare alternatieven waardoor kleinere funderingen toegepast kunnen worden. Naast het financiële voordeel betekent dit ook efficiënter gebruik van hergebruiklocaties waar grondvervuiling een rol spelt. Er zijn tal van dak- en gevelsystemen die gebruikt kunnen worden met staalskeletbouw. Deze kunnen hoge prestaties leveren ten aanzien van isolatie en luchtdichtheid. Hierdoor wordt het energieverbruik -en dus $CO_2$ emissies- tijdens de levensduur van een gebouw gereduceerd.

## 2.2 Prefabricage in een beheersbare omgeving

Stalen onderdelen en elementen worden fabrieksmatig geproduceerd met kleine toleranties. Het proces maakt gebruik van het uitwisselen van digitale gegevens tussen ontwerper en fabrikant waardoor kwaliteitscontrole verbeterd wordt en ontwerp wijzigingen makkelijker te verwerken zijn. Het resultaat is een product van hoge kwaliteit dat makkelijk te monteren is op de bouwplaats. Het proces is weersonafhankelijk en geeft meer zekerheid in de planning en minder risico voor de opdrachtgever. Stalen onderdelen kunnen tot kort voor montage op de bouwplaats worden afgeleverd. Hierdoor is minder opslagruimte op de bouwplaats nodig. Dit is van belang bij beperkte bouwlocaties in binnenstedelijke gebieden. Vergeleken met alternatieven is het verbruik van water op de bouw bij staalconstructies laag.

## 2.3 Tijdwinst in uitvoering

Staalconstructies kunnen veel sneller dan alternatieve constructies worden gebouwd. Bijvoorbeeld kunnen de vloeren en staalskelet van een typische 8-verdieping kantoorgebouw tot 40% sneller gemonteerd zijn dan het geval is bij een gewapend betonconstructie. Staalskelet onderdelen kunnen in de fabriek worden gemaakt terwijl de funderingen worden gelegd op de bouwplaats. Het snel monteren van het staalskelet betekent dat dak- en gevel systemen in een vroeg stadium kunnen worden aangebracht. Hierdoor ontstaat ook vroeg een droge omgeving voor de overige afbouwwerkzaamheden.

De financiële voordelen van snellere bouwtijd zijn:

- vermindering in bouwplaats voorzieningen en bouwmanagement kosten – het verhuren van gebouwen, personeel, kranen, enz. wordt gereduceerd
- inkomsten van het nieuwe gebouw worden eerder ingewonnen – hierdoor is minder cashflow nodig
- reductie van de rentelasten

## 2.4 Flexibiliteit in gebruik

Dankzij de inherente sterkte en stijfheid van staal is met grote overspanningen mogelijk om grote kolomvrije ruimtes te maken. De indeling van de ruimte is flexibel en kan naar

toekomstige wensen en eisen worden aangepast. Staalskelet gebouwen kunnen door het aanpassen van onderdelen vaak met relatief gemak worden uitgebreid met een nieuw skelet. Sparingen zijn gemakkelijk op te nemen in de vloersystemen die bij staalskeletbouw worden toegepast en sparingen voor installatiedoorvoeren kunnen in de fabricage worden meegenomen. Hierdoor ontstaat veel flexibiliteit bij het integreren van installaties.

## 2.5 Specifieke voordelen van staalskeletbouw in woongebouwen

De bouwproductie in Europa bestaat voor 25% uit woningbouw, waarvan 15 tot 50% van de woningen in appartementen of woongebouwen.

De woningbouwsector eist gebouwen die energiezuinig, flexibel en van hoge kwaliteit zijn. Belangrijke regionale en demografische tendensen eisen ook verschillende woningtypes, bijvoorbeeld éénpersoons huishoudens en woningen in hoge dichtheden.

Verdere belangrijke voordelen in relatie tot woongebouwen zijn onder andere:

- **Thermische isolatie** – De moderne isolatiematerialen die in warme skeletconstructies worden toegepast hebben lage U-waarden en hoge luchtdichtheid. Hierdoor ontstaat een warm tochtvrij binnenklimaat en zijn de energierekeningen voor bewoners lager.
- **Akoestische prestaties** – De aanwezigheid van een spouw en de gelaagdheid van de diverse gevel- en dakmaterialen in lichtgewicht staalconstructies geven uitstekende akoestische prestaties.
- **Duurzaamheid** – Droge constructie en het gebruiken van een skeletmateriaal, dat geen lange termijn kruip of krimp vertoont, vermindert de kans op scheuren en schade aan afwerkingen tijdens de uitdrogingsperiode van de constructie.

Een kortere bouwtijd is van bijzonder belang in het geval van grote woongebouwen, bijvoorbeeld studenthuisvesting, waar een beperkte periode beschikbaar is voor de uitvoering.

## 2.6 Specifieke voordelen van staalskeletbouw in kantoorgebouwen

Specifieke voordelen van staalskeletbouw in het geval van kantoorgebouwen zijn onder andere:

- De mogelijkheid grote kolomvrije vloeroppervlaktes te realiseren.
- Gemakkelijke integratie van installaties en minimaliseren van de ruimte in vloeren nodig voor leidingen en kanalen.
- Flexibiliteit over de lange termijn ten aanzien van aanpassingen in indeling en functie.
- Minimum aan opslagruimte op de bouw nodig vanwege de hoge mate van prefabricage.

## 2.7 Specifieke voordelen van staalskeletbouw bij bedrijfshallen

Specifieke voordelen van staalskeletbouw in het geval van bedrijfshallen zijn onder andere:

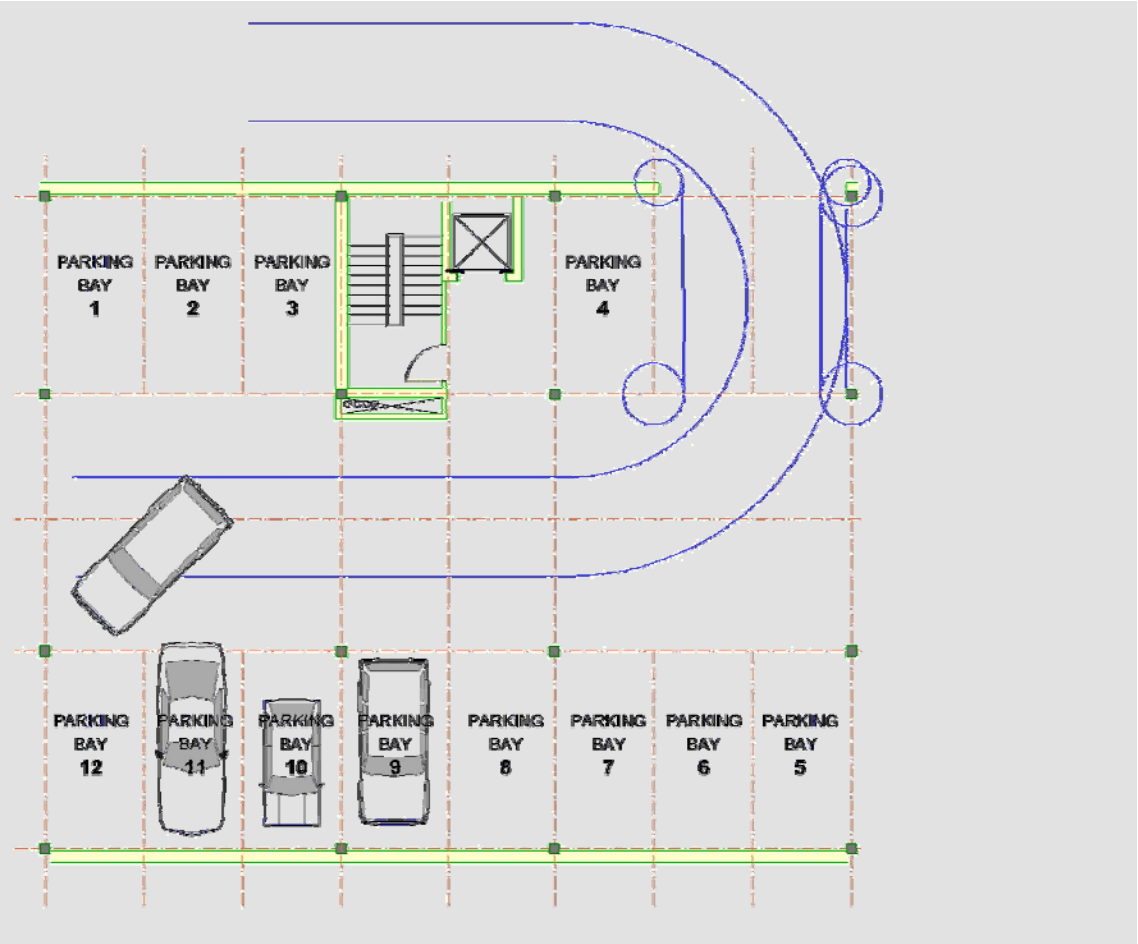
- De mogelijkheid relatief lichtgewicht grote overspanningen snel en voordelig te kunnen produceren.
- De vrijheid om aantrekkelijke constructies met architectonische expressie te bouwen.
- Het voorzien in een draagconstructie die gemakkelijk aan te passen en uit te breiden is bij wijzigingen in toekomstig gebruik.

# 3 STAALSKELET GESTAPELDE WOONGEBOUWEN

## 3.1 Staalskelet opties

Staalskeletbouw is een ideale oplossing voor gestapelde woongebouwen waar een open plattegrond vereist is. Ze kunnen toegepast worden in combinatie met verschillende vloerconstructies zoals staalplaat-betonvloeren, kanaalplaatvloeren, geïntegreerde (of slanke ligger) vloeren en omgekeerde liggers – zie paragraaf 3.2. Normaliter worden de liggers in woongebouwen in dezelfde richting als de woningscheidende wanden gelegd maar in het geval van vloersystemen met geïntegreerde liggers kunnen woningscheidende wanden overal worden geplaatst. Gebruikelijk zijn kolommen van HE-, UKC- of buisprofielen; deze worden waar mogelijk opgenomen in de dikte van de woningscheidende wanden. Het merendeel van de gestapelde staalskeletten bestaat uit driedimensionale constructies met orthogonale horizontale rasters, d.w.z.: met primaire en secundaire liggers in twee richtingen met een hoek van 90 graden ten opzichte van elkaar. Stabiliteitssystemen tegen uitbuiging en horizontale belastingen moeten onafhankelijk voor de twee hoofdrichtingen worden ontworpen. Eventueel zijn verschillende systemen geschikt voor de twee richtingen.

In woongebouwen waar een parkeergarage op begane grond of kelderniveau wordt opgenomen moet het kolommenraster toegespitst zijn op de maatvoering van de parkeerplaatsen en toegangen. Een alternatief is het parkeergebied met zware overgangsliggers te overspannen waardoor de indeling en kolomplaatsing op de bovenverdiepingen vrij is maar dit is een kostbare oplossing. De indeling van een parkeervoorziening wordt voor een deel door de wijze van toegang bepaald - of de ingangen aan de voor-, achter- of zijkant van een gebouw worden geplaatst, de nodige draaicirkels en zichtlijnen spelen hierin een rol. Keuze voor één- of tweerichtingsverkeer is ook van grote invloed op de indeling. Een gebruikelijke opzet is de parkeerplaatsen aan twee kanten van een centrale toegangsroute te leggen. Als de parkeerplaatsen haaks op de schijfwanden staan is de centrale toegangsroute normaliter 6100 mm breed en zijn de parkeervakken 2400-2800 mm breed en 4800-5800 mm lang. Een typische opzet voor een gestapeld gebouw is in afbeelding 3.1 te zien.



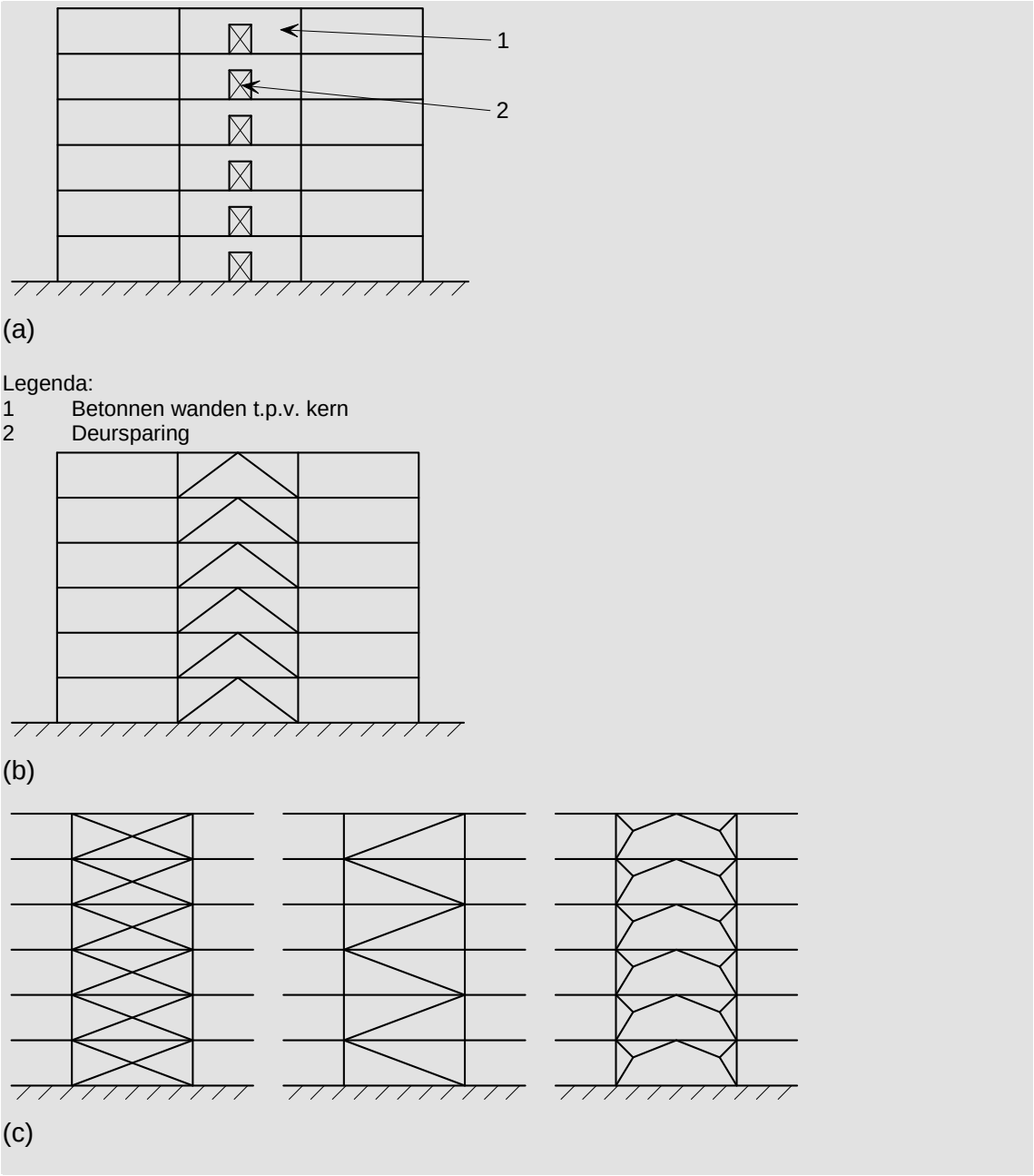

**Afbeelding 3.1 Typische opzet voor een parkeerkelder in een gestapeld woongebouw**

In gebouwen zonder parkeervoorziening is er meer vrijheid in het plaatsen van kernen en stabiliteitsvoorzieningen. In hoofdlijnen worden staalskeletten op twee manieren gekenmerkt, afhankelijk van de keuze van stabiliteitssysteem. Dit zijn geschoorde of ongeschoorde constructies, afhankelijk van de aanwezigheid van (wind) verbandconstructies of verbindingen aan een stijve kern (waarin vaak liften, installaties en trappen zijn opgenomen). Voorbeelden van geschoorde en ongeschoorde constructies zijn in afbeeldingen 3.2 en 3.3 te zien. Als het toepassen van een vakwerk onacceptabel is voor de functie van een gebouw kan een raamwerk worden toegepast. Een voordelige vakwerkconstructie heeft scharnierende verbindingen tussen kolommen en liggers waardoor de horizontale belasting van de liggers naar de kolommen wordt geleid, zie afbeelding 3.4(a). Het analyseren van vakwerken is relatief eenvoudig.

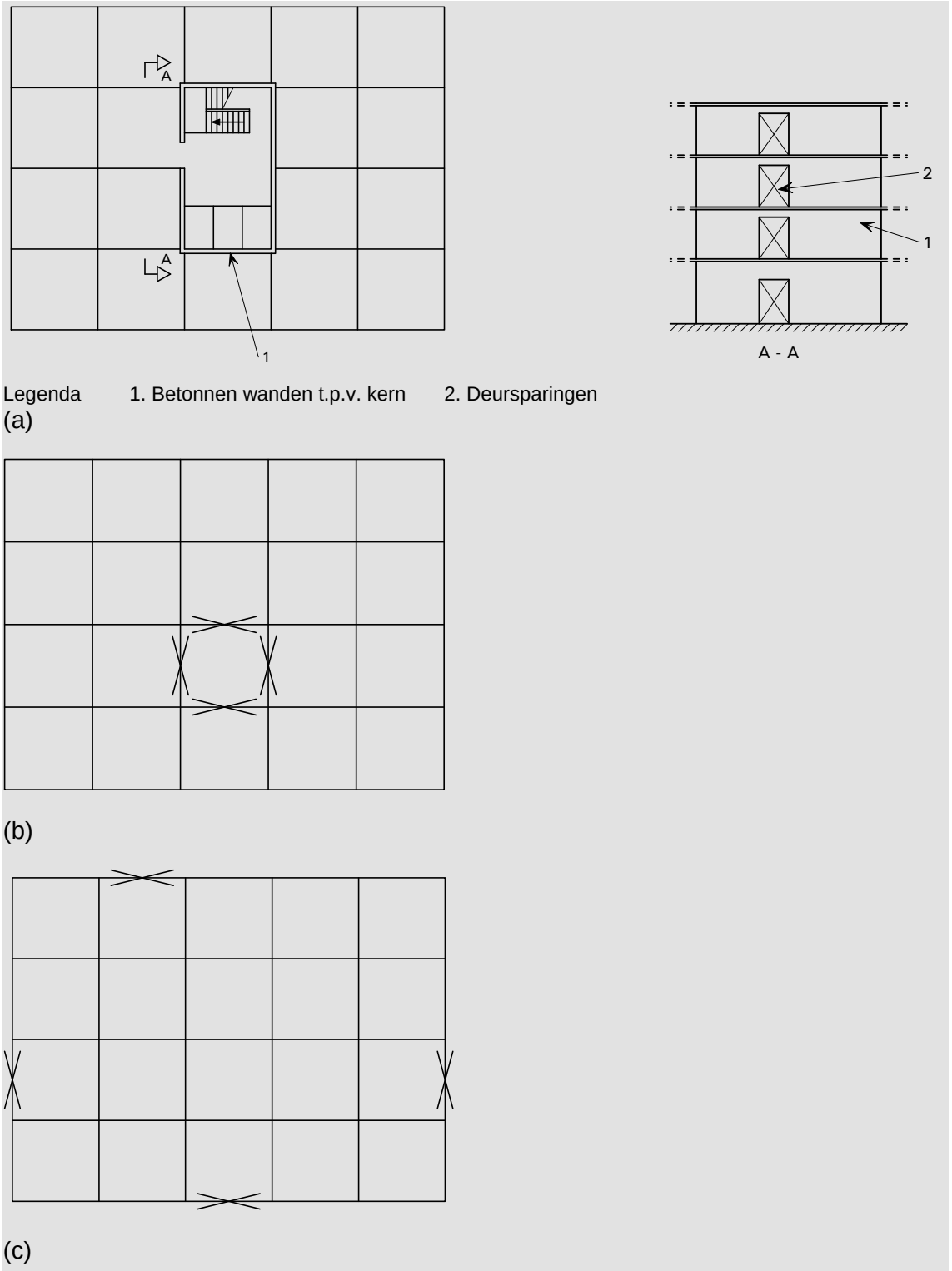
De stijve kern of raamwerken moeten symmetrisch worden geplaatst in de plattegrond; asymmetrische plaatsing geeft verhoogde belasting op de verbanden. Als het gebouw gedilateerd is moet elke deel als een apart gebouw worden benaderd. De vloeren gedragen zich als diafragma's en brengen alle horizontale belastingen naar de stijve kern of raamwerken. De opstelling van de verbanden moet in de conceptfase worden vastgelegd om conflict met de gevelindeling te vermijden. Platte verbanden bieden een uitkomst in woongebouwen tot 8 lagen omdat ze binnen de wanddiktes kunnen worden opgenomen.

Geschoorde constructies zijn voor hun weerstand tegen horizontale belastingen afhankelijk van de stijfheid en sterkte van de verbindingen tussen kolommen en liggers,

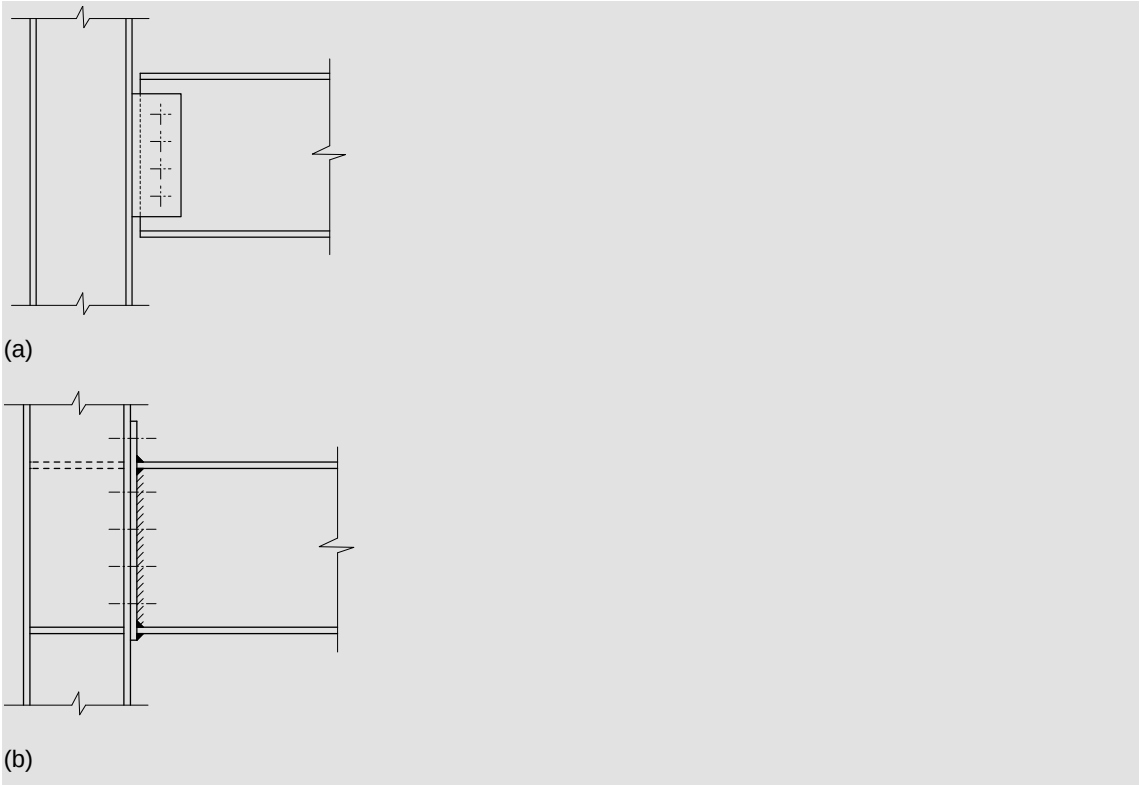
hoofdzakelijk door uitbuiging van deze elementen. Analyse van geschoorde constructies is complex, ze hebben dikkere kopplaten, meer bouten en verstijvingen en hebben meer fabricagetijd nodig dan 'eenvoudige' verbindingen (zie afbeelding 3.4(b). In geschoorde constructies zijn hoge profielen nodig voor de stijfheid en sterkte en deze zijn daardoor niet geschikt voor woongebouwen waar de behoefte aan installatieruimte in het vloerpakket gering is. De maximum haalbare hoogte voor geschoorde constructies is vier lagen vanwege de onvoordelige profielmaten en verbindingen. Verdiepinghoogte is afhankelijk van het gekozen vloersysteem en de gewenste plafondhoogte maar typische afmetingen zijn 2500 mm plafondhoogte plus 450-550 mm vloerdikte en een bruto verdiepingshoogte van 3,0-3,1 m.




**Afbeelding 3.2 Types geschoord skelet:**
**(a) Stijve betonnen kern, (b) Omgekeerde V- verbanden, (c) Alternatieve opstellingen van driehoekige verbanden**




**Afbeelding 3.3 Effectieve plaatsing van voorzieningen tegen horizontale belastingen: (a) Betonnen kern rondom trappen, liften, schachten, enz., (b) Stijve kernen of geschoorde panelen, (c) Stijve panelen niet als kern opgezet**




**Afbeelding 3.4 Types kolom- en ligger verbinding:**
**(a) scharnierende verbinding, (b) momentvast verbinding**

### Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste draagconstructie:

- Ontwerp bij aanwezigheid van een parkeervoorziening een kolommenraster dat toegespitst is op begane grond/kelder parkeerinrichting.
- Gebruik geschoorde skeletten in simpele constructies.
- Gebruik een opzet met symmetrische verbanden.
- Ontwerp voor 3,0-3,1m verdiepingshoogte.

## 3.2 Vloersystemen en belasting

Dit deel behandelt vloerbelasting en beschrijft de meest voorkomende vloersystemen in gestapelde woongebouwen. De hoofdkenmerken van elk systeem worden besproken en advies wordt gegeven over belangrijke ontwerpthema's.

### 3.2.1 Belasting

De vloerbelastingentypen die voornamelijk van belang zijn in het ontwerpen van woongebouwen zijn:

- Eigen gewicht (inclusief afwerkingen).
- Opgelegde belastingen (inclusief hogere belastingen in gemeenschappelijke ruimtes).

Typische belastingen zijn in tabel 3.1 te zien.

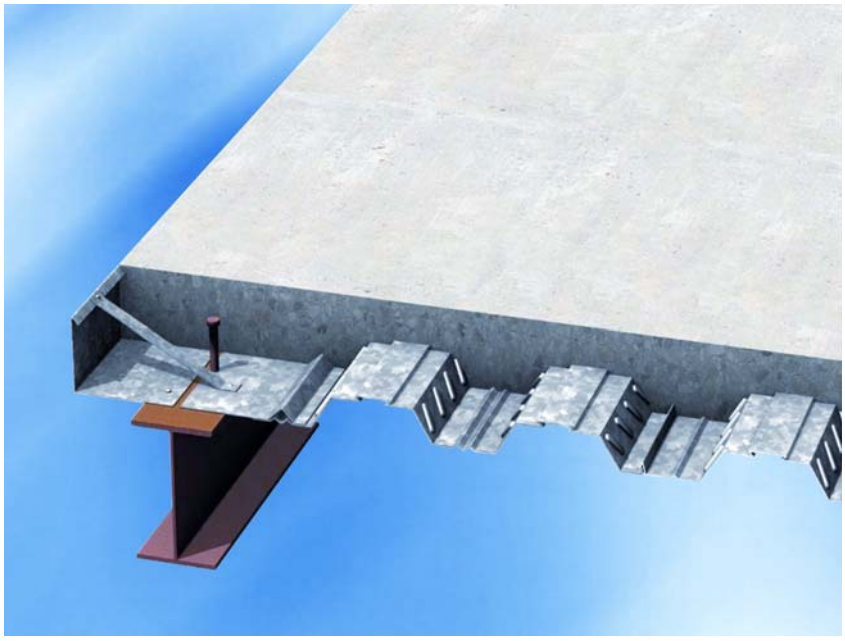
**Tabel 3.1 Gebruikelijke belastingen in woongebouwen**

| Belastingtype | Gebruikelijke waarde (kN/m$^2$) |
|---|---|
| *Opgelegde belastingen:* | |
| Verblijfsgebieden | 1,5 tot 2,0 |
| Gangen en gemeenschappelijke ruimtes | 3 |
| Commerciële ruimtes | 2,5 tot 4 |
| Scheidingswanden (lichtgewicht) | 0,5 tot 1,0 |
| *Eigen gewicht:* | |
| Lichte stalen wanden | 0,5 tot 1,0 |
| Staalplaat-betonvloer | 2,5 tot 3,5 |
| Kanaalplaatvloer | 2,5 tot 4 |

Belastingen op constructies zijn geregeld in NEN-EN 1991 Eurocode 1 Belastingen. Aanbevolen waarden voor eigen gewicht en opgelegde belastingen worden gegeven in deel 1-1 en de belastingen bij brand in deel 1-2. Belastingen tijdens de uitvoering zijn te vinden in paragraaf 1-6.

### 3.2.2 Samengestelde liggers met staalplaat-betonvloer

Samengestelde liggers met staalplaat-betonvloeren worden veel gebruikt in staalconstructies. Samengestelde liggers zijn liggers ontworpen om constructief samen te werken met een staalplaat-betonvloer door middel van deuvels gelast op de bovenflens. De betonnen vloer en de stalen liggers hebben gezamenlijk een hogere sterkte, stijfheid en overspanning vermogen dan afzonderlijk. De staalplaat dient als permanente bekisting en wapening voor de betonvloer. Het ontwerp van de staalplaat is afhankelijk van de overspanning tussen de liggers onderling en de diepte van de betonvloer maar is voornamelijk bepaald door de belastingen tijdens de montagefase (gewicht van het niet-verharde beton, de monteurs en toebehoren).



**Afbeelding 3.5 Staalplaat-betonvloer en samengestelde randligger (wapeningsnet weggelaten t.b.v. leesbaarheid)**

Overspanningen van 2,5-4,5 m zijn mogelijk met staalplaat-betonvloeren tussen liggers met een staalplaat van 50-80 mm hoog en een dikte van 0,8-1,2 mm. Betonvloerdikten zijn normaliter tussen 130 en 150 mm voor (tot) 60 mm hoge staalplaat en 150-170 mm voor 80 mm hoge staalplaat. Als de staalplaat hoogte ten opzichte van de overspanning nauwkeurig wordt gekozen is onderstempelen tijdens montage niet nodig. Staalplaat-betonvloeren zijn relatief dun in relatie tot de overspanning (hoogte: overspanning verhouding van 1:32 is mogelijk). Voor een efficiënt ontwerp moet de staalplaat over één of meer overspanningen doorlopen. Om logistieke redenen is de lengte van staalplaten nauwelijks meer dan 10 m. Voor de meeste toepassingen moet de hart-op-hart maat tussen de liggers zijn:

- 3,0 m voor 50 mm hoge staalplaat
- 3,6 m voor 60 mm hoge staalplaat
- 4,2 m voor 80 mm hoge staalplaat

Normaliter worden staalplaat–betonvloeren met een wapeningsnet versterkt (A142 tot A193 bijvoorbeeld). In sommige gevallen worden wapeningsstaven in de staalplaat opgenomen om de stijfheid en brandwerendheid van de vloer te vergroten. De hoeveelheid wapening neemt toe afhankelijk van de gewenste brandwerendheid; een vloer met een wapeningsnet van 0,2% van de doorsnede zou zijn 90 minuten brandwerend. Extra wapeningsnet (tot 0,4% voor ondersteunde staalplaat) wordt vaak ter plaatse van de ligger aangebracht om scheuren te voorkomen. Deze scheuren komen vaak voor bij de ondersteuningen maar hebben geen invloed op de sterkte. Overspanningen en belastingvermogen voor verschillende vloerdiktes en brandwerendheden van staalplaat-betonvloeren zijn te zien in tabel 3.2 voor 60 mm staalplaat en tabel 3.3 voor 80 mm staalplaat.

**Tabel 3.2 Ontwerptabellen voor staalplaat-betonvloeren met 60 mm staalplaat**

| Overspanning situatie | Brandwe-rendheid (min.) | Vloer dikte (mm) | Wapening ($mm^2/m$) | Maximum overspanning (m) voor opgelegde belasting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | t = 0,9 mm | | t = 1,2 mm | |
| | | | | 3,5 $kN/m^2$ | 5,0 $kN/m^2$ | 3,5 $kN/m^2$ | 5,0 $kN/m^2$ |
| Enkele overspanning plaat – geen stempels | 60 | 120 | A142 | 2,8 | 2,8 | 3,2 | 3,2 |
| | 90 | 130 | A193 | 2,7 | 2,7 | 3,1 | 3,0 |
| Dubbele overspanning plaat – geen stempels | 60 | 120 | A142 | 3,2 | 3,2 | 3,9 | 3,7 |
| | 90 | 130 | A193 | 3,1 | 3,1 | 3,8 | 3,5 |
| | 120 | 150 | A252 | 2,9 | 2,9 | 3,5 | 3,4 |
| Enkele rij tijdelijke ondersteuningen | 60 | 120 | A353* | 3,8 | 3,4 | 4,0 | 3,6 |
| | 90 | 130 | A353* | 3,4 | 3,1 | 3,6 | 3,3 |
| | 120 | 150 | A353* | 3,1 | 2,9 | 3,3 | 3,0 |

t = dikte staalplaat

*nodig tegen scheurvorming bij ondersteunde montage

A193 = 193 $mm^2/m$ wapening in beide richtingen

**Tabel 3.3 Ontwerptabellen voor staalplaat-betonvloeren met 80 mm staalplaat**

| Overspanning situatie | Brandwe-rendheid (min.) | Vloer dikte (mm) | Wapening ($mm^2/m$) | Maximum overspanning (m) voor opgelegde belasting | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | t = 0,9 mm | | t = 1,2 mm | |
| | | | | 3,5 $kN/m^2$ | 5,0 $kN/m^2$ | 3,5 $kN/m^2$ | 5,0 $kN/m^2$ |
| Enkel overspanning plaat – geen steunen | 60 | 150 | A193 | 3,7 | 3,2 | 4,1 | 3,5 |
| | 90 | 160 | A252 | 3,8 | 3,2 | 3,9 | 3,3 |
| Dubbele overspanning plaat – geen steunen | 60 | 150 | A193 | 4,2 | 3,8 | 4,6 | 4,1 |
| | 90 | 160 | A252 | 4,1 | 3,9 | 4,5 | 4,0 |
| | 120 | 170 | A393 | 4,0 | 3,9 | 4,3 | 3,9 |

t = dikte staalplaat

Woongebouwen hebben relatief dunne vloeren nodig en bij voorkeur gedrongen kolommen (UKC-, HEA- of HEB-profielen). Typische overspanningen voor liggers zijn 4,5-7,5 m met een lengte:hoogte verhouding van 1 staat tot 25 á 30 en een bruto vloerdikte van 500-600 mm. Dit kan verminderd worden als de wanden en liggers in één lijn staan. Een 80 mm dikke staalplaat verwerkt in een vloer met dikte van 150 mm kan 4,5 m vrij overspannen. Dit kan voor de ruimtelijke inrichting voordelig zijn omdat de posities van de liggers en wanden overeenkomstig zijn. Hierdoor kunnen de liggers worden opgenomen in de wanden en kunnen lichtgewicht (metalstud) binnenwanden makkelijk worden bevestigd.

De vloer kan door primaire en secundaire liggers worden gedragen, deze kunnen in beide gevallen in combinatie met de betonvloer werken. Primaire liggers hebben meer deuvels en wapening nodig dan secundaire liggers en worden om deze reden in het ACE programma als losse liggers beschouwd.

Staalplaat-betonvloeren kunnen tot 120 minuten brandwerend zijn met gebruik van alleen een wapeningsnet, mits de staalplaat over één of meer overspanningen doorloopt. Ter plaatse van puntlasten (in installatieruimtes bijvoorbeeld) kunnen extra wapeningsstaven in de staalplaat profielen worden aangebracht. Brandbescherming van de stalen liggers kan op de volgende manieren worden aangebracht:

- Isolerende beplating.
- Isolerende spuitmateriaal.
- Brandwerende coating.

### Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de meest voordelige constructie:

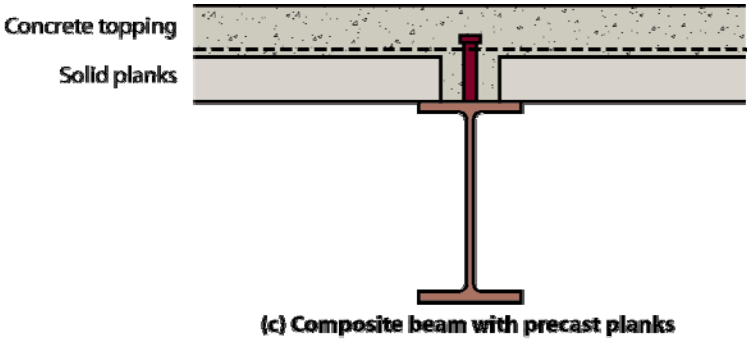
- Aanname 130-150 mm betonvloerdikte.
- Kies een staalplaatdikte voor een overspanning met optimale hart-op-hart afstand tussen liggers van 2,5-3,75 m (zonder stempelen).
- Kies een ligger overspanning tussen 4,5-7,5 m en gebruik UKC- of HE-profielen met een overspanning:hoogte verhouding van 1 staat tot 25 á 30 voor samengestelde liggers. Als losse liggers worden toegepast wordt een lengte:hoogte verhouding van 1:18 als uitgangspunt aanbevolen.

### 3.2.3 Balken met kanaalplaten

In dit vloersysteem worden kanaalplaatvloeren op de bovenflens van stalen liggers gedragen; in sommige gevallen kunnen de liggers worden ontworpen om in combinatie met de vloer te werken door het aanbrengen van een gelaste deuvel op de bovenflens (zie afbeelding 3.6). Liggerplannen die het maximum gebruik maken van de overspanning van de kanaalplaat elementen geven vaak de meest efficiënte opzet. De tijdelijke situatie bij montage waarbij de kanaalplaat elementen alleen aan één kant van de ligger worden gedragen kan leidinggevend zijn in het ontwerp. Het toepassen van T-liggers geeft vanzelfsprekend een grotere bruto vloerdikte dan geïntegreerde slanke vloerliggers.

Een van de belangrijkste ontwerpcriteria voor de liggers is het nemen van een minimum liggerbreedte ten aanzien van de uitvoeringstoleranties. Dit is in het geval van samengestelde liggers van bijzonder belang omdat er voldoende ruimte rondom de gelaste deuvels moet zijn (tussen de kanaalplaat elementen) om een gezamenlijk draagvermogen te creëren. Om deze reden worden kanaalplaatvloeren meestal bij grote overspanningen toegepast met hogere IPE-/UB-profielen of bij korte overspanningen met HE-/UKC-profielen. Tenzij opgenomen in de scheidingswanden geven IPE-profielen een grotere bruto vloerdikte.

Het systeem met kanaalplaatvloeren dat geanalyseerd kan worden in ACE bestaat uit geprefabriceerde platen (50-100 mm dik) met een dekvloer en is ontworpen samen te werken met de stalen liggers. Overspanningen zijn tussen 2,5 en 4,0 m.




**Afbeelding 3.6 Kanaalplaatvloer op samengestelde liggers**

Randliggers worden vaak als niet samengestelde liggers ontworpen een hebben alleen voldoende deuvels om de sterkte eisen van de vloer te waarborgen. Liggers evenwijdig aan de vloerelementen kunnen niet samengesteld of geïntegreerd worden.

De betonnen druklaag (60 mm minimum) draagt bij aan de akoestische isolatie van woongebouwen maar een zwevende vloer is ook nodig om aan de akoestische eisen te voldoen. Het wapeningsnet in de druklaag verhoogt ook de brandwerendheid en stijfheid van de vloer.

Stalen liggers die kanaalplaatvloeren dragen kunnen relatief hoog zijn en een lengte:hoogte verhouding hebben van 1:18 in het geval van IPE-profielen. Doorbuigingen bij opgelegde belasting blijven binnen de gebruikelijke norm van 1/360 van de overspanning.

Kanaalplaatvloeren kunnen 90 minuten brandwerend zijn zonder druklaag en 120 minuten met druklaag en wapeningsstaven opgenomen in de holle profielen van de

vloerelementen. Brandbescherming van de stalen liggers kan op de volgende manieren worden aangebracht:

- Isolerende beplating.
- Isolerende spuitmateriaal.
- Brandwerende coating.

**Aanbevolen ontwerpstrategie**

Voor de meest voordelige constructie:

- Gebruik waar mogelijk de maximum overspanning van de kanaalplaat elementen.
- Gebruik samengestelde liggers voor een lengte:hoogte verhouding van circa 1:18 voor IPE-profielen, maar 1:25 voor UKC-/HE-profielen voor concept ontwerp.
- Ontwerp randliggers niet als samengestelde liggers.

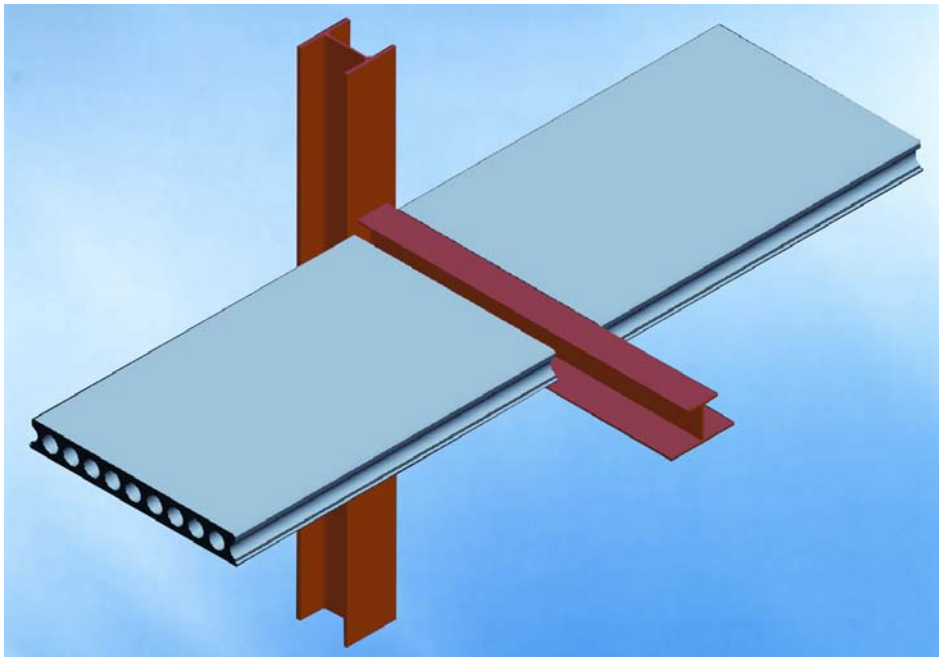
### 3.2.4 Geïntegreerde liggers met lage staalplaat-betonvloer

Geïntegreerde liggers dragen een lage staalplaatvloer of kanaalplaatvloer zodat de liggers in de dikte van de vloer worden opgenomen. Deze liggers worden meestal gefabriceerd door een IPE-profiel in de hoogte doormidden de snijden en een plaat aan de onderkant van het lijf te lassen. Andere variaties op geïntegreerde liggers zijn:

- HE- of UC-profielen met een gelaste onderplaat (slanke vloerligger, zie 3.2.5).
- Gewalste ASB-profielen met asymmetrische doorsneden (asymmetrische slanke vloerliggers, niet behandeld in ACE).
- RHS met een gelaste onderplaat, vaak gebruikt als randligger (niet specifiek behandeld in ACE).
- ‘THQ-liggers’, (met de vorm van een ‘hoge hoed’) samengesteld uit platen (niet specifiek behandeld in ACE).

Een liggerplan met een centrale ruggengraat ligger en vloeren die naar de randliggers overspannen is over het algemeen voordeliger dan het overspannen van vloeren tussen evenwijdige dwarsliggers. Ligger lengte:diepte verhoudingen kunnen aanzienlijk variëren vanwege de behoefte om de profielen ondiep te houden en een praktisch scala is beschikbaar variërend in hoogte van 250 tot 350 mm. Trekliggers tussen kolommen zijn vaak omgekeerde T-profielen die makkelik te integreren zijn in de vloer. Randliggers kunnen onder of binnen de vloerdikte zijn, afhankelijk van de esthetische wensen. RHS-profielen met een gelaste onderplaat en profielen met een vierkante doorsnede zijn effectief tegen torsie maar kunnen duurder zijn om te fabriceren.

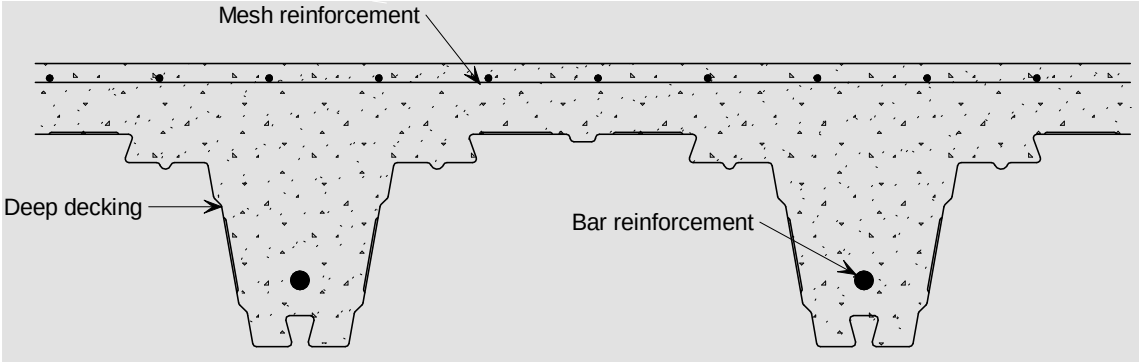
Bij geïntegreerde vloerliggers is de overspanning van het vloerelement, zoals in afbeelding 3.7 wordt aangegeven, doorgaans groter dan de overspanning van de stalen ligger waardoor de diepte van vloerelementen en liggers overeenkomstig is. Een druklaag wordt vaak gebruikt voor betere constructieve en dynamische eigenschappen en een egaal oppervlak, goede dekking van de liggers en verbeterde akoestiek. Geïntegreerde liggers worden ontworpen met als doel de constructieve vloerdikte te minimaliseren. Geïntegreerde liggers met kanaalplaatvloeren worden dusdanig ontworpen dat de vloer een overspanning van 9 m heeft en de liggers een overspanning van 6,0-7,5 m. Het belangrijkste aandachtspunt bij het ontwerp is de torsie op de ligger tijdens montage of door de asymmetrische belasting van ongelijke vloerplaten.



**Afbeelding 3.7 Kanaalplaatvloer elementen op een gëintegreerde ligger**

Geïntegreerde liggers kunnen gebruikt worden in diepe staalplaat-betonvloeren waar de gewenste vloerdikte tussen 300 en 350 mm ligt, zoals in afbeelding 3.8 wordt aangegeven. Wapeningsstaven worden in de profielen van de staalplaat gelegd voor verhoogde sterkte en brandwerendheid. Wapeningsnet wordt overal aan de bovenkant van de betonvloer aangebracht om scheurvorming ter plaatse van liggers te voorkomen, puntbelastingen te verspreiden en brandwerendheid te verhogen. Staalplaatlengtes tot 6 m zijn mogelijk zonder onderstempeling en voordelig. Staalplaatlengtes tot 9-10 m zijn mogelijk maar daarbij zijn uitgebreide onderstempeling, dikkere vloeren en dikkere wapeningsstaven nodig. Het staalplaatprofiel is vaak 190-225 mm diep, afhankelijk van het product. De minimum diepte van beton op de staalplaat is 70-90 mm. Dit is nodig voor constructieve prestaties maar voornamelijk van belang voor brandwering. De lengte:hoogte verhouding van hoge staalplaat-betonvloeren moet beperkt zijn tot 1:25 om redenen van bruikbaarheid. Gëintegreerde liggers hebben een ideale hart-op-hart maat van 6 m, dit om onderstempeling te voorkomen. Het ontwerp van de liggers wordt voornamelijk bepaald door de te verwachten torsie tijdens montage of door bruikbaarheidscriteria.

Wapening is nodig in het geïntegreerde liggerplan met zowel kanaalplaat- als staalplaat-betonvloeren om de vloerdelen aan beide kanten van de ligger aan elkaar te binden en dus de constructieve integriteit te waarborgen. Bij staalplaat-betonvloeren is er normaliter voldoende hoogte om een wapeningsnet boven de ligger te plaatsen. Dit is ook bij kanaalplaatvloeren het geval maar zonder druklaag zijn wapeningsstaven mogelijk nodig. Deze worden door sparingen in de ligger gebracht om de vloerelementen aan elkaar vast te maken.




**Afbeelding 3.8 Typische staalplaat-betonvloer met hoge staalplaat**

Het gedeeltelijk afdekken van de gëintegreerde ligger in beton bereikt een brandwerendheid tot 60 minuten. Extra brandwering kan worden aangebracht aan de onderflens, zoals:

- Isolerende beplating, bijvoorbeeld gipsplaat.
- Brandwerende coating, aangebracht in de fabriek of op de bouw.

Voor kolommen is gipsplaat de meest praktische oplossing. Brandwerende coatings zijn dun (1-2 mm dik) en behouden het profiel van de ligger. Deze coatings kunnen in de fabriek worden aangebracht.

Gëintegreerde liggers met kanaalplaatvloeren en betonnen druklaag of staalplaat-betonvloeren hebben uitstekende akoestische eigenschappen maar vaak zijn extra lagen nodig om aan de akoestische eisen van woongebouwen te voldoen. Deze lagen zijn eerder besproken (in het deel t.b.v. samengestelde liggers met staalplaat-betonvloer).

### Aanbevolen ontwerpstrategie

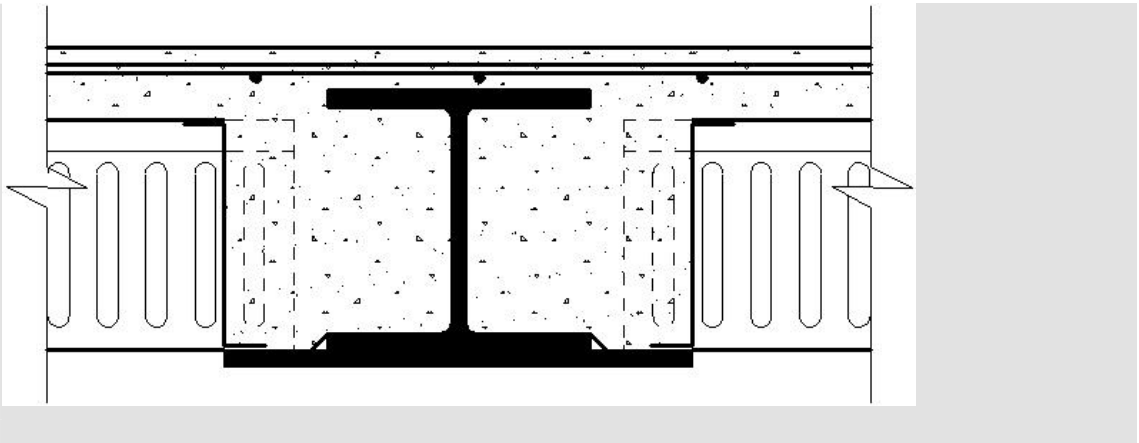
Voor de voordeligste constructie:

- Gebruik liggerplannen met (waar mogelijk) een centrale ruggengraat ligger met een diepte scala van 250-300 mm.
- Kies bij kanaalplaatvloeren een overspanning van de elementen tussen 6,0 en 7,5 m maar zorg dat de hoogte van de vloer en de ligger overeenkomstig zijn. (Normaliter houdt dit in dat de vloerelementen langer zijn dan de liggers).
- Probeer bij staalplaat-betonvloeren de overspanning van de vloer tot 6 m te beperken (om onderstempeling te voorkomen) en zorg voor een minimum dekking boven de staalplaat van 70-90 mm. Houdt de lengte:hoogte verhouding van de vloer tussen 1:20 en 1:23.
- Ontwerp randliggers niet als samengestelde liggers waar dit esthetisch mogelijk is. Een alternatief is een RHS-ligger met aangelaste plaat.
- Gebruik omgekeerde T-profielen als trekstaven.

## 3.2.5 Slanke vloerligger met staalplaat-betonvloer of kanaalplaatvloer

Slanke vloerliggers zijn vergelijkbaar met geïntegreerde liggers omdat het staalprofiel binnen de vloerdikte ligt. Ze kunnen ook met kanaalplaat- en staalplaat-betonvloeren worden toegepast. Slanke vloerliggers bestaan uit een gewalste HE- of UKC-profiel met een gelaste onderplaat. De plaat steekt aan beide zijden 100 mm uit om de

vloerplaten op te vangen en is normaliter 12 of 15 mm dik. Profielen variëren tot 350 mm diep maar voor woongebouwen is dit tussen 200 en 300 mm. De doorsnede van een slanke vloerligger met een staalplaat-betonvloer is in afbeelding 3.9 te zien. Raatliggers kunnen ook met staalplaat-betonvloeren worden toegepast maar deze toepassing is in Europa niet gebruikelijk en wordt niet in dit rapport van het ACE programma behandeld.



**Afbeelding 3.9 Typische slanke vloerligger met staalplaat-betonvloer**

Alle aspecten in relatie tot kanaalplaatvloeren, staalplaat-betonvloeren, brandwering en akoestiek die in dit deel worden besproken zijn ook van toepassing op slanke vloerliggers.

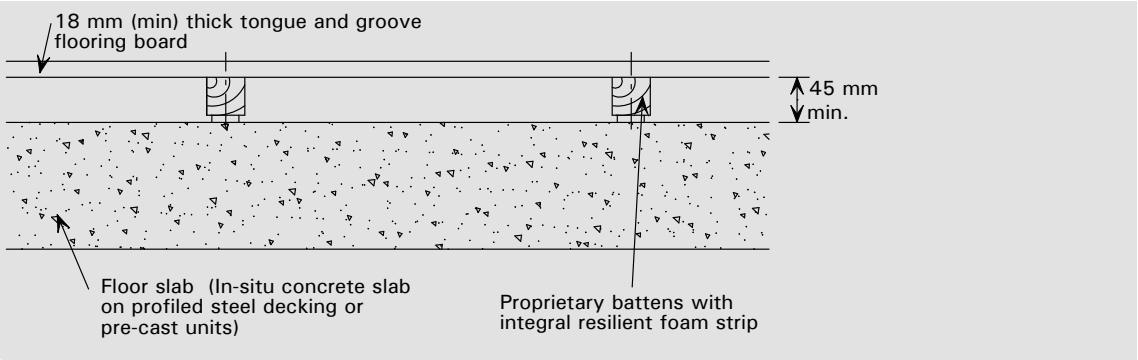
### *Aanbevolen ontwerpstrategie*

Voor de voordeligste constructie:

- Gebruik liggerplannen met (waar mogelijk) een centrale ruggengraat ligger met een hoogte scala van 250-300 mm.
- Ontwerp randliggers niet als samengestelde liggers waar dit esthetisch mogelijk is. Een alternatief is een RHS-ligger met aangelaste plaat.
- Gebruik omgekeerde T-profielen als trekstaven.

## 3.3 Akoestiek

Voor een toereikende akoestische prestatie voor deze vloeren in een woongebouw zijn extra lagen op de werkvloer nodig. Er worden over het algemeen twee systemen toegepast; gelaagde vloeren en vloeren op regelwerk. Een typische gelaagd systeem bestaat uit een 40-65 mm deklaag op een veerkrachtige laag (bijv. 6 mm rubber). Een gangbare vloersysteem met regelwerk bestaat uit houten regelwerk 45-75 mm, hart-op-hart ca. 450 mm op de vloer en een spaanplaat laag, zoals in afbeelding 3.10 is te zien. Meestal wordt het regelwerk op een geluidwerende deken aangebracht om contactgeluid te weren. De gehele vloerconstructie, inclusief plafond, moet worden meegenomen in het uitwerken van de akoestische voorzieningen.




**Afbeelding 3.10 Typische vloer op regelwerk op staalplaat-betonvloer**

## 3.4 Dak

Er zijn verschillende opties voor de stalen draagconstructie van een woongebouw. Dit zijn:

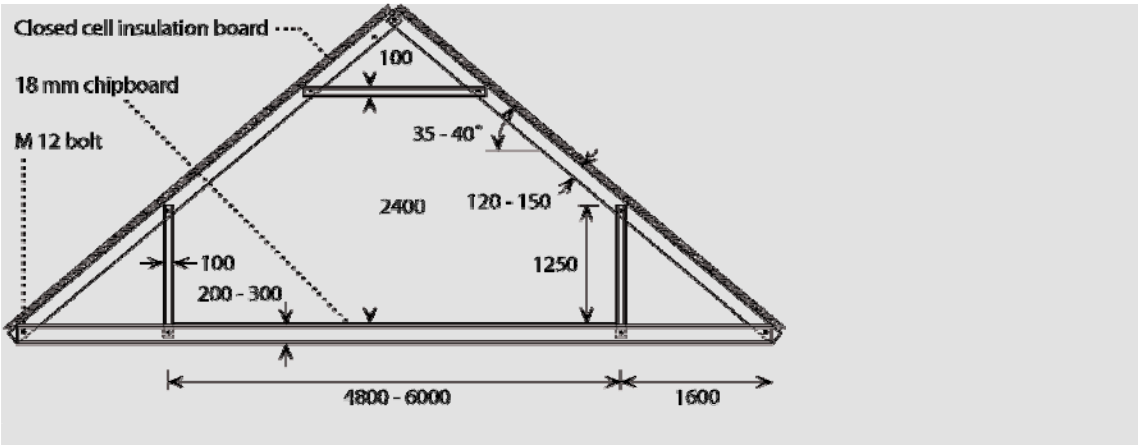
- Stalen gordingen tussen stalen raamwerk of dwarswanden.
- ‘Open dak’ systeem ontworpen voor maximale bruikbare ruimte.
- Geprefabriceerde stalen cassettes.
- Standaard samengestelde platen (voor overspanningen tot 6 m).

Stalen daken kunnen in een breed scala aan vormen worden gefabriceerd waaronder gebogen en schuine vormen. Metalen dakbedekking kan worden toegepast op flauwe hellingen en gebogen daken.

De twee belangrijkste overwegingen zijn overspanningsrichting van het dak en de gewenste thermische isolatie. Daken kunnen als volgt overspannen:

- Van gevel tot gevel met overspanningen tussen 8 en 12 m, of:
- Tussen dwarswanden met overspanningen tussen 5 en 8 m.

In het eerst geval heeft een traditionele dakspant de voorkeur maar in het tweede geval kunnen gordingen of overige systemen voor een meer bruikbare ruimte zorgen, zoals in afbeelding 3.11 is te zien.




**Afbeelding 3.11 Typisch daksysteem met koudgevormde balken**

De thermische isolatie voor daken is meestal hoog (U-waarden < 0,15 W/m$^2$K) en de dikte van de isolatie kan tot 150 mm oplopen. Het merendeel wordt buiten de staalconstructie geplaatst maar het is mogelijk tot 30% van de isolatie tussen de constructie te plaatsen zonder kans op condensvorming.

Standaard daksystemen kunnen worden geprefabriceerd met de gewenste dakafwerking. Fotovoltaïsche panelen en zonnecollectoren kunnen gemakkelijk worden bevestigd aan stalen dakafwerkingen en constructies.

## 3.5 Brandveiligheid

Er zijn veel aspecten van brandveiligheid in woongebouwen: bijvoorbeeld vluchtroutes, brandoverslag, sterkte van bouwconstructies en brandbestrijding maatregelen. Eisen ten aanzien van de stabiliteit van constructies en compartimentering worden normaliter in het kader van 'brandwerendheid van bouwconstructies' genoemd.

Brandwerendheid wordt gebaseerd op standaard brandtesten en wordt uitgedrukt in eenheden van 30 minuten. Voor woongebouwen is een minimum van 30 minuten brandwerendheid vereist, oplopend tot 60 minuten voor scheidingsmuren, afhankelijk van landelijke normen.

Hogere gebouwen moeten tot 90 minuten brandwerend zijn, voornamelijk om de stabiliteit van de draagconstructie te waarborgen en brand effectief te kunnen bestrijden. De benodigde akoestische maatregelen resulteren vaak al in een brandwerendheid van 60 minuten.

Brandbescherming van liggers kan door middel van beplating, spuitmateriaal of brandwerende coatings. Hierover wordt in de afzonderlijke delen over vloerconstructies geadviseerd. Vanuit esthetisch oogpunt worden kolommen vaak met beplating beschermd. Diktes zijn:

15 mm voor 60 minuten

25 mm voor 90 minuten

.

# 4 STAALSKELET GESTAPELDE KANTOORGEBOUWEN

## 4.1 Staalskelet opties

De skelet opties voor gestapelde kantoorgebouwen zijn op het gebied van stabiliteit vergelijkbaar met de opties die voor gestapelde woongebouwen in paragraaf 3.1 worden behandeld. De kolommenraster afmetingen, vloerbelastingen, verdiepingshoogtes en ruimtelijke eisen zijn anders in het geval van kantoorgebouwen. Meestal hebben kantoorgebouwen overspanningen boven 12 m nodig, echter zijn kolomvrije ruimtes van 15-18 m tegenwoordig wenselijk. Installaties worden vaak in de vloeren van kantoorgebouwen opgenomen en gezien de grote overspanningen en relatief hoge liggers is het van belang de integratie van installaties in een vroeg stadium in het ontwerp te passen. Verdiepingshoogtes zijn normaal gesproken circa 4,2 m. Typische opgelegde belastingen voor kantoorgebouwen zijn 3-5 kN/m$^{2.}$ De in 3.1 beschreven constructieve principes met betrekking tot het ontwerpen van de draagconstructie, stabiliteit en verbindingen zijn ook voor kantoorgebouwen van toepassing.

### 4.1.1 Kolommen

De kolommen en overige verticale onderdelen van de constructie zijn ontworpen om zo weinig mogelijk invloed te hebben op de bruikbare ruimte. De afmetingen van kolommen zijn natuurlijk afhankelijk van bouwhoogte en vloeroppervlakte maar een eenvoudige beschrijving wordt gegeven van profielmaten voor H-profiel kolommen omdat deze vaak voorkomen.

Normaliter worden H-profiel kolommen zo georiënteerd dat de primaire liggers op de flens aansluiten. Hierdoor is de detaillering eenvoudiger. H-profielen zijn de eenvoudigste oplossing voor kolommen. Vaak wordt dezelfde profielserie afmeting voor iedere verdieping gehanteerd, hoewel het gewicht van de profielen kan variëren. Deze aanpak versimpelt de koppelverbindingen. Voor een economische en gunstig te monteren skelet worden kolommen vaak op afstanden geplaatst gelijk aan 2 tot 3 keer de verdiepingshoogte. Twee concept ontwerptabellen voor HE- en UC-kolommen worden in tabellen 4.1 en 4.2 gepresenteerd. Een opgelegde belasting van 4 kN/m$^2$ wordt gehanteerd met een totale bruto belasting (inclusief eigen gewicht) van 4 kN/m$^2$ . Aanname voor de verdiepingshoogte is 4 m.

**Tabel 4.1 Typische afmetingen van HE-kolommen in geschoorde staalskelet. (Getoonde afmetingen zijn voor het kortst kolom met afnemende massa voor langere kolommen)**

| Aantal lagen | Kolommenraster | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 6 × 6 m | 6 × 9 m | 6 × 12 m | 6 × 15 m |
| 4 | HE 220 B | HE 280 B | HE 240 M | HE 260 M |
| 6 | HE 280 B | HE 240 M | HE 260 B | HE 300 M |
| 8 | HE 300 B | HE 260 M | HE 300 M | HE 320 M |
| 10 | HE 240 M | HE 300 M | HE 320 M | HD 400 x 347 |

Alles in staalsoort S355, opgelegde belasting = 3 kN/m$^2$ plus 1 kN/m$^2$ voor scheidingswanden

**Tabel 4.2 Gebruikelijke afmetingen van UC-kolommen in stabiliteitsverband staalskelet. (Getoonde afmetingen zijn voor het kortst kolom met afnemende massa voor langere kolommen)**

| Aantal lagen | Kolommenraster | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 6 × 6 m | 6 × 9 m | 6 × 12 m | 6 × 15 m |
| 4 | 203 UC 86 S275 | 254 UC 132 S275 | 254 UC 167 S275 | 305 UC 198 S275 |
| 6 | 254 UC 132 S275 | 254 UC 167 S275 | 305 UC 198 S275 | 305 UC 240 S355 |
| 8 | 305 UC 240 S275 | 305 UC 198 S275 | 305 UC 240 S355 | 356 UC 235 S355 |
| 10 | 305 UC 198 S275 | 305 UC 240 S355 | 356 UC 340 S355 | 356 UC 340 S355 |

Staalsoort zoals aangegeven, opgelegde belasting = 3 kN/m$^2$ plus 1 kN/m$^2$ voor scheidingswanden

## 4.2 Vloerconstructie en belasting

In dit deel worden vloerbelasting, integratie van installaties en de verschillende vloersystemen beschreven die vaak voor gestapelde kantoorgebouwen gebruikt worden. De belangrijkste eigenschappen van elk vloersysteem worden beschreven en advies over de belangrijkste aspecten van het ontwerp wordt gegeven. Deze systemen zijn vergelijkbaar met de in woongebouwen toegepaste systemen maar de overspanningen zijn groter en in het geval van kantoorgebouwen zijn extra akoestische vloerafwerkingen vaak niet nodig.

### 4.2.1 Vloerbelasting

Belastingen op constructies zijn geregeld in NEN-EN 1991 Eurocode 1 Belastingen. Aanbevolen waarden voor eigen gewicht en opgelegde belastingen worden gegeven in deel 1-1 en de belastingen bij brand in deel 1-2. Belastingen tijdens de uitvoering zijn te vinden in deel 1-6. Naast het eigen gewicht van de draagconstructie en vloeren moet een extra aanname van 0,7 kN/m$^2$ worden gedaan voor verhoogde vloeren, plafonds en installaties. Tabel 4.3 geeft de typische eigen gewichten aan van bouwelementen in gestapelde kantoorgebouwen.

**Tabel 4.3 Gebruikelijke eigen gewichten van bouwelementen in kantoorgebouwen**

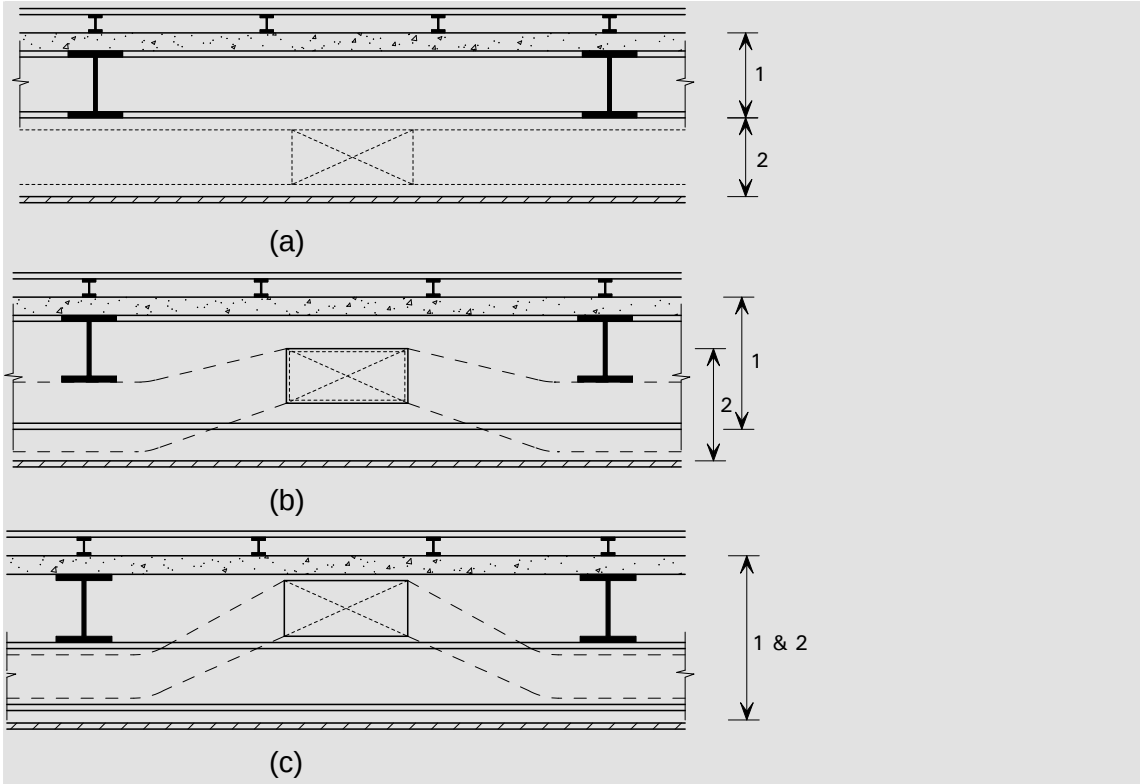
| Element | Gebruikelijk gewicht |
|---|---|
| Kanaalplaatvloer (overspanning 6 m, ontworpen voor 5 kN/m$^2$ opgelegde belasting) | 3,0 tot 4,5 kN/m$^2$ |
| Staalplaat-betonvloer (normaal gewicht beton, 130 mm dik) | 2,6 tot 3,2 kN/m$^2$ |
| Staalplaat-betonvloer (lichtgewicht beton, 130 mm dik) | 2,1 to 2,5 kN/m$^2$ |
| Installaties | 0,25 kN/m$^2$ |
| Plafonds | 0,1 kN/m$^2$ |

Opgelegde belasting varieert afhankelijk van het specifieke vloeroppervlakte - zo zijn bijvoorbeeld andere waarden van toepassing voor installatieruimtes dan voor opslagruimtes bijvoorbeeld. In EN 1991-1-1 worden minimum opgelegde belastingen opgegeven voor verschillende functies. Voor kantoren is de door het ontwerp opgelegde belasting 3 kN/m$^2$. Hiernaast mag 1 kN/m$^2$ worden toegevoegd voor verplaatsbare wanden. Voor opslagruimtes is een hogere waarde van 5 kN/m$^2$ van toepassing.

### 4.2.2 Integreren van installaties

Kantoorgebouwen hebben vaak enige mate van mechanische ventilatie en luchtbehandeling nodig. Het is van groot belang hiermee rekening te houden omdat de installaties van invloed zijn op de indeling en keuze van draagconstructie. In principe zijn er twee keuzes; de installaties in de vloerdikte te integreren of onder de vloer te plaatsen. Een zone van 450 mm is vaak voldoende om de installaties onder de vloerliggers te plaatsen. Daarbij is 150-200 mm nodig voor brandwering, plafond en verlichting en 25-50 mm voor doorbuiging.

Verschillende opties voor het integreren van constructie en installaties worden in afbeelding 4.1 getoond. De constructiezone is met een ‘1’ gemaatvoerd en de installatiezone met een ‘2’. De opties bestaan uit volledige scheiding van installaties en constructies (afbeelding 4.1(a)), gedeeltelijke scheiding waar sommige installaties door lijfopeningen in de liggers worden gevoerd (afbeelding 4.1(b)) en volledige integratie van de installaties waar de installaties in een eigen zone zijn geplaatst (afbeelding 4.1(c)).




Legenda
1. Constructiezone
2. Installatiezone

**Afbeelding 4.1 Opties voor het integreren van constructie en installatie**

### 4.2.3 Korte overspanning met samengestelde liggers en staalplaat-betonvloer

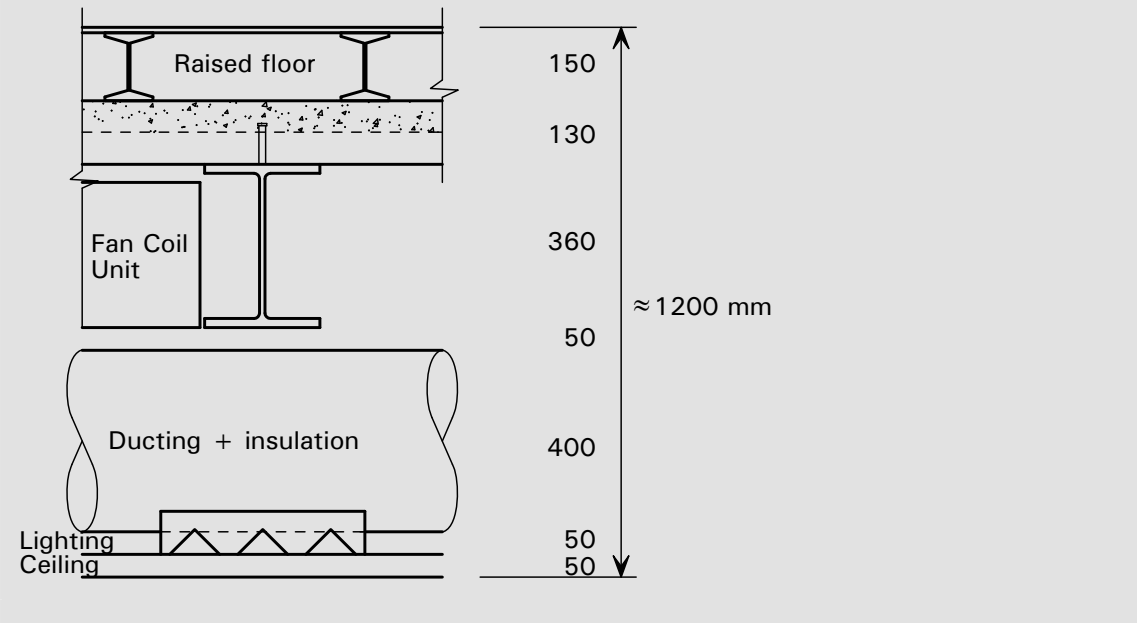
Samengestelde liggers met staalplaat-betonvloeren worden vaak toegepast in staalskelet kantoorgebouwen. Met korte overspanning samengestelde liggers tot 7,5 m kunnen relatief ondiepe vloeren worden gemaakt zonder installaties door lijfopeningen in de liggers.

Staalplaat-betonvloeren met staalplaat profielen tussen 50 en 80 mm geschikt voor woongebouwen zijn ook voor kantoorgebouwen van toepassing. Meer hierover in

paragraaf 3.2.2. De akoestische eisen zijn vaak minder streng in het geval van kantoorgebouwen en de extra akoestische vloerafwerkingen gebruikt in woongebouwen zijn hier niet nodig. Mogelijke overspanningen van de staalplaten en staalplaat-betonvloeren kunnen gecontroleerd worden met behulp van tabellen 3.2 en 3.3. Vloeroverspanningen van 3 tot 4 m komen vaak voor met bijbehorende typische staalplaat-betonvloer diktes van 130 tot 150 mm. Secundaire liggers moeten zodanig geplaatst worden dat onderstempelen van de staalplaten niet nodig is omdat dit een kostenverhogende en vertragende werking heeft op de uitvoering. Randliggers kunnen als niet-samengesteld worden ontworpen, hoewel deuvels eventueel nodig zijn om windbelasting naar de vloeren af te dragen.

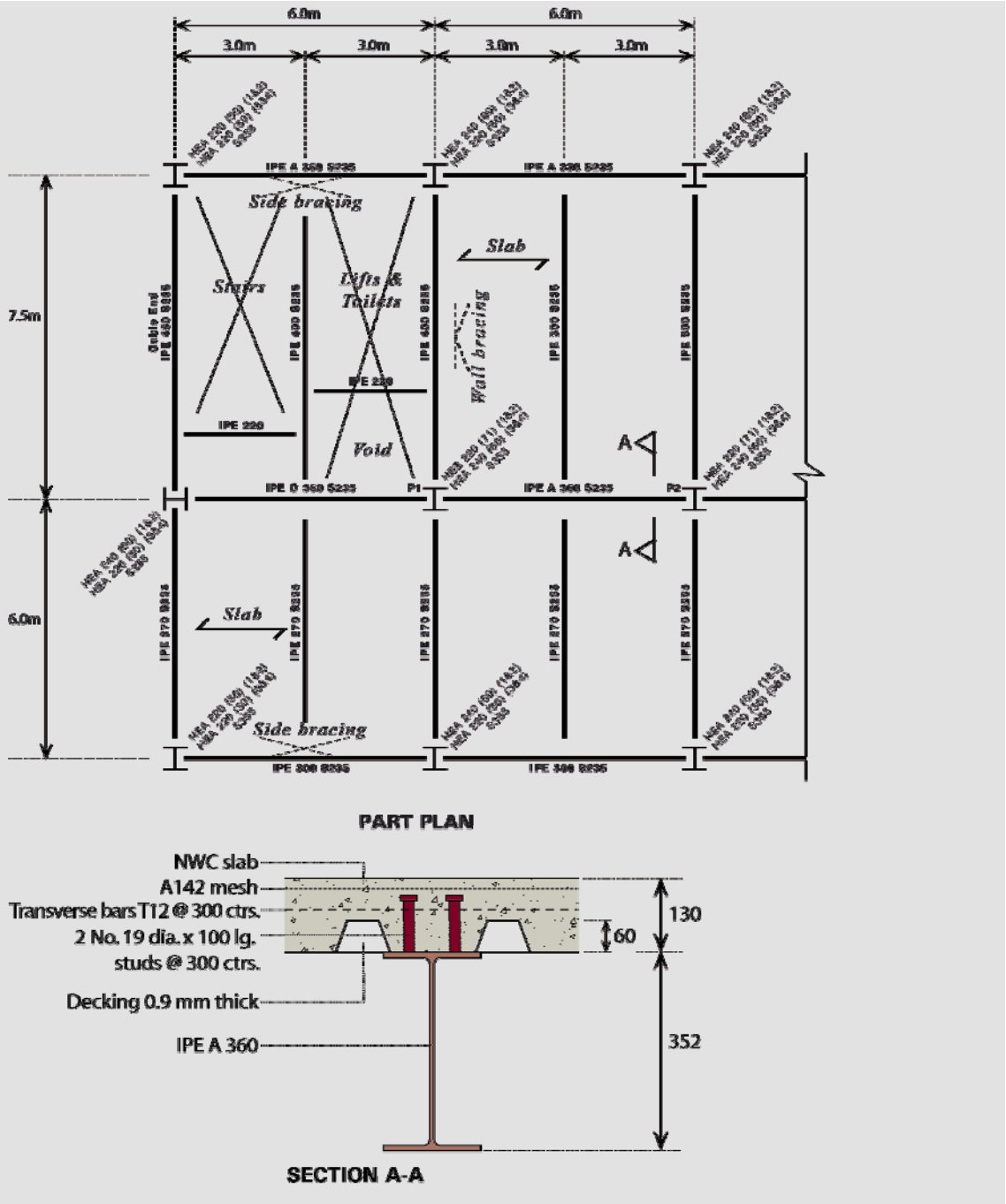
Een wapeningsnet wordt in de betonvloer geplaatst om de brandwerendheid te verhogen, extra wapening te geven en scheurvorming te verminderen. Afmeting van het wapeningsnet is afhankelijk van brandwerende eisen en de aanwezigheid van stempels tijdens montage. Lichtgewicht beton wordt vaak in Engeland voor samengestelde constructies gebruikt maar is niet breed beschikbaar in Europa.

Voor primaire en secundaire liggers met overspanning tussen 6,0 en 7,5 m zijn typische liggerhoogten tussen 300 en 350 mm, met een bruto vloerzone van 800 mm voor lichte installaties en 1200 mm met luchtbehandelingskanalen onder de liggers – zie afbeelding 4.2.




**Afbeelding 4.2 Bruto vloerzone – typische korte overspanning samengestelde constructie**

Een typisch liggerplan voor een kantoorgebouw is in afbeelding 4.3 te zien.




**Afbeelding 4.3 Korte overspanning samengestelde ligger – voorbeeld voor een vierlaags, rechthoekig gebouw**

Brandbescherming voor liggers is (typerend):

Brandwerende coating: 1,5 mm dikte voor brandwerendheid tot 90 minuten
Brandwerende beplating: 15-25 mm dikte voor brandwerendheid tot 90 minuten

## Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste constructie:

- Aanname betonvloerdikte 130-150 mm.

- Aanname S275 secundaire liggers met overspanning 6-15 m met circa 3 m hart-op-hart maat en S355 primaire liggers met overspanning 2 tot 3 keer de hart-op-hart maat van de secundaire liggers.
- Kies een staalplaat hoogte, dikte en wapening om aan de belasting- en brandveiligheidseisen voor de overspanning te voldoen (zonder onderstempeling) - gebruik ontwerptabellen- of software van fabrikanten.
- Aanname secundaire ligger hoogte gelijk aan 1/24 van de overspanning en primaire ligger hoogte gelijk aan 1/18 van de overspanning.
- Aanname deuvels op 300 mm afstand voor secundaire liggers en 150 mm voor primaire liggers.

### 4.2.4 Grote overspanning met samengestelde liggers met lijfopeningen en staalplaat-betonvloer

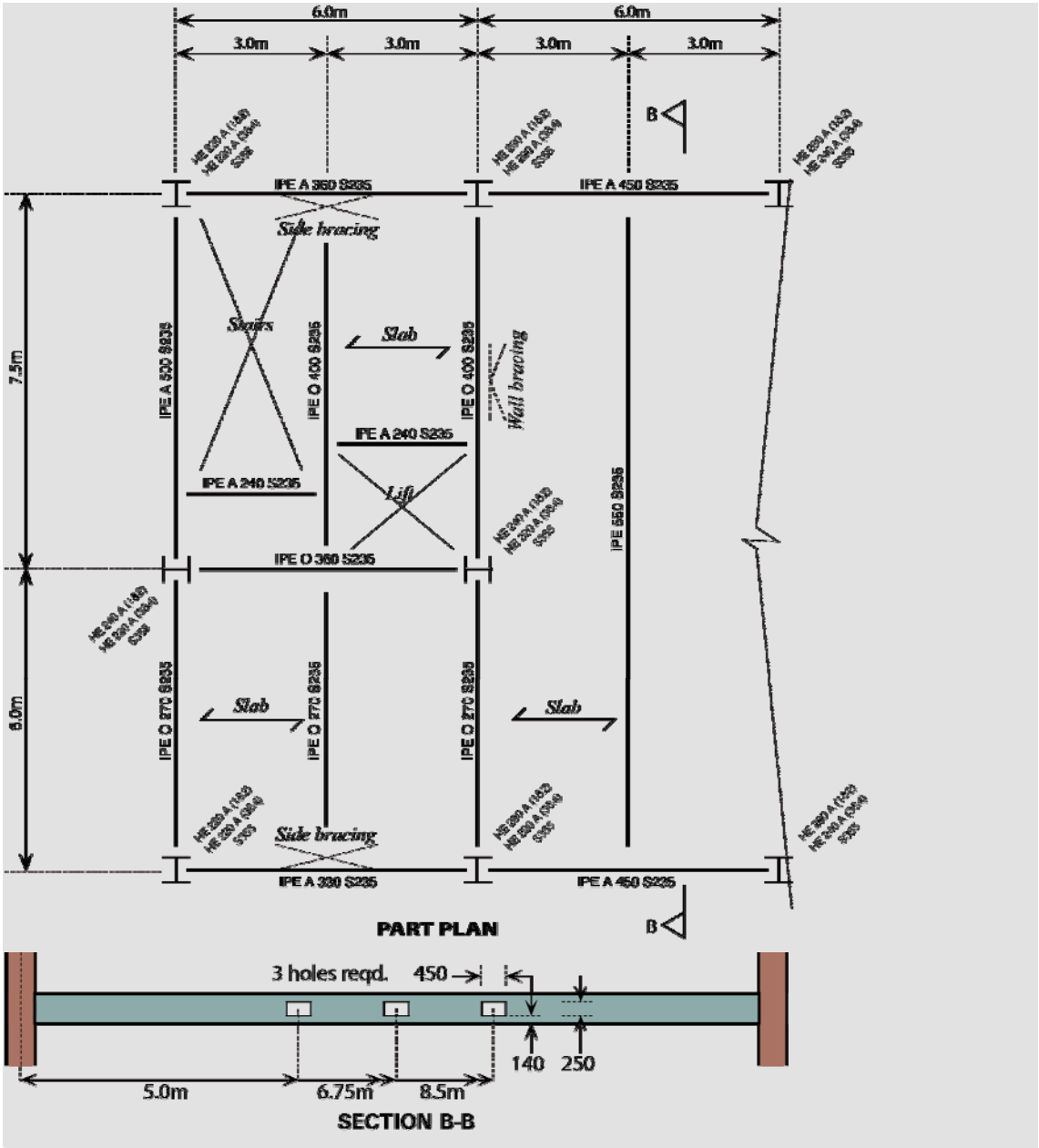
Samengestelde liggers met grote overspanning bieden een efficiënte oplossing voor grote kolomvrije ruimtes. Door de grote hoogte van de liggers kunnen openingen in het lijf gemaakt worden voor het doorvoeren van leidingen. Het systeem bestaat uit samengestelde liggers gebruikmakend van gewalste- of samengestelde profielen waarop een staalplaat-betonvloer. Kolommenrasters kunnen op twee manieren worden opgezet: grote overspanningen van secundaire liggers van 9 tot 15 m bij een typische hart-op-hart afstand van 3 tot 4 m en primaire liggers met korte overspanningen van 6,0 tot 7,5 m of met korte overspanningen van secundaire liggers van 6 tot 9 m met lange overspanningen van primaire liggers. Staalplaat-betonvloeren zijn te vergelijken met korte overspanning samengestelde liggers. Ook moeten secundaire liggers zodanig worden geplaatst dat onderstempeling van de staalplaat niet nodig is.

Openingen in het lijf kunnen rond, langgerekt of rechthoekig zijn en mogen tot 80% van de liggerhoogte bevatten. Een gangbare lengte:hoogte verhouding voor liggers is 1:3,5.

De gebruikelijke bruto vloerdikte voor een 13,5 m overspanning (met 350 mm hoge lijfopeningen) is 1000 mm en 1100 mm voor een 15 m overspanning (met 400 mm hoge lijfopeningen).

Brandbescherming kan door middel van beplating of brandwerende coating. Brandwerende coatings kunnen in de fabriek worden aangebracht als een enkele laag tot 1,8 mm dik om 90 minuten brandwerendheid te presteren.

Een voorbeeld van een kolommenraster met gebruik van grote overspanningen met secundaire liggers met lijfopeningen is in afbeelding 4.4 te zien.




**Afbeelding 4.4 Grote overspanning met samengestelde liggers met lijfopeningen**

## Aanbevolen ontwerpstrategie

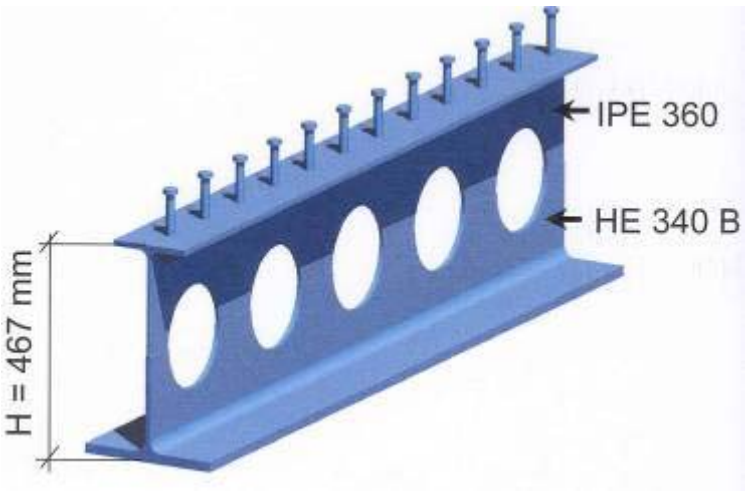
Voor de voordeligste constructie:

- Aanname betonvloerdikte 130-150 mm.
- Aanname S275 secundaire liggers met overspanning 9-15 m met circa 3-4 m hart-op-hart maat en S355 primaire liggers met overspanning 6-9 m.
- Kies een staalplaat hoogte, dikte en wapening om aan de belasting- en brandveiligheidseisen voor de overspanning te voldoen (zonder onderstempeling) – gebruik fabrikanten ontwerp tabellen of software van fabrikanten.
- Aanname secundaire ligger hoogte gelijk aan 1/22 van de overspanning en primaire ligger hoogte gelijk aan 1/18 van de overspanning.
- Aanname deuvels op 300 mm afstand voor secundaire liggers en 150 mm voor primaire liggers.

### 4.2.5 Cellular Beams met staalplaat-betonvloer

Moderne snij- en fabricagetechnieken maken het mogelijk om lange liggers met veel gelijke lijfopeningen en een hoge maatvastheid te produceren. Hoewel dit in het verleden het geval was met raatliggers met grote zeskantige openingen, of cellen, worden moderne technieken gebruikt om rond, langgerekt of rechthoekige lijfopeningen te maken. Deze liggers zijn bekend als 'cellular beams' en zijn een populaire oplossing geworden voor grote overspanningen vanwege de mogelijkheid regelmatige lijfopeningen te maken voor ronde installatieleidingen en door hun esthetische kwaliteiten.

Cellular beams worden gemaakt door het automatische snijden en opnieuw lassen halverwege de hoogte van een warmgewalst profiel of losse platen. Daarna worden de twee helften weer aan elkaar gelast. Door de snij- en las technieken is het mogelijk delen van profielen van verschillende afmetingen aan elkaar te lassen om maximum efficiency van het profiel te bereiken. Het aantal en de afstand tussen verschillende mogelijke openingen wordt wel beperkt door de snij- en las technieken. Een voorbeeld van een cellular beam gemaakt van twee verschillende profielen is in afbeelding 4.5 te zien.



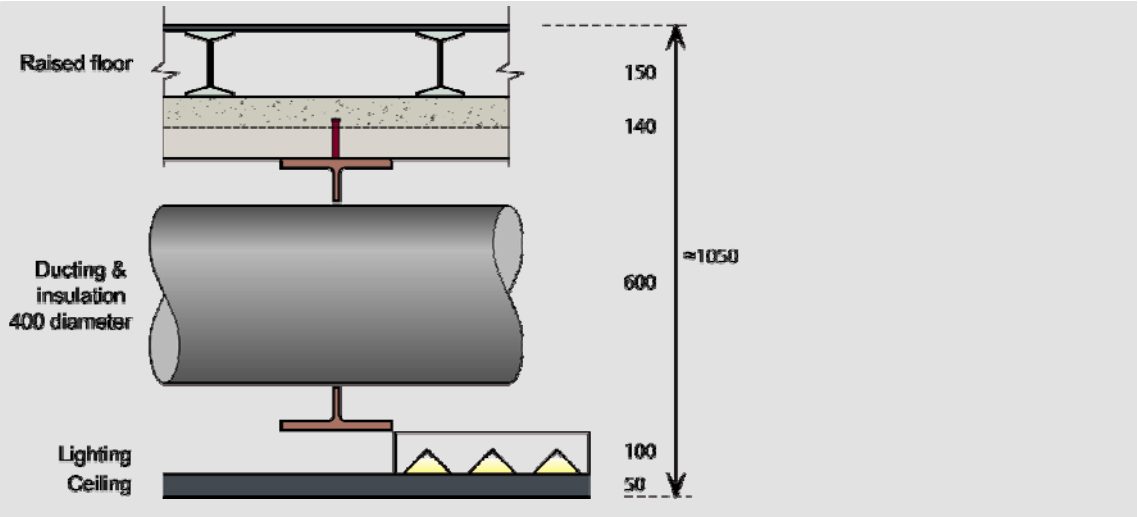

**Afbeelding 4.5 Asymmetrische samengestelde cellular beam**

Openingen kunnen ter plaatse van ondersteuningen of puntbelastingen worden gevuld tegen horizontale belastingen. Langgerekte openingen kunnen worden gemaakt in delen van de ligger met lage horizontale belastingen. Een bijkomend voordeel van het proces is dat liggers gezeegd kunnen worden zonder extra kosten. Hierdoor is een grotere doorbuiging niet noodzakelijk een probleem en kunnen grotere overspanningen met lichtere liggers worden gemaakt.

Installatieleidingen kunnen door de regelmatige openingen in de ligger worden gevoed, zoals in afbeelding 4.6 wordt aangegeven. Grotere installaties worden tussen de liggers geplaatst. Openingen kunnen tussen 60% en 80% van de liggerhoogte zijn en moeten worden toegespitst op de grootste nodige installatieleidingen. Bij langgerekte openingen zijn verstijvingen soms nodig. Bij fabricage is het van belang de openingen in de liggers onderling te laten doorlijnen.

**Afbeelding 4.6 Lange overspanning met secundaire cellular beams met het doorvoeren van leidingen in de ronde openingen**

De bruto vloerdikte ligt normaliter tussen 1000 en 1200 mm. Een gebruikelijke vloerdikte kan 1000 mm zijn voor een 15 m overspanning met regelmatige 400 mm openingen in de ligger. Deze vloerdikte is veel minder dan het geval is bij het plaatsen van installaties onder de liggers – zie afbeelding 4.7.



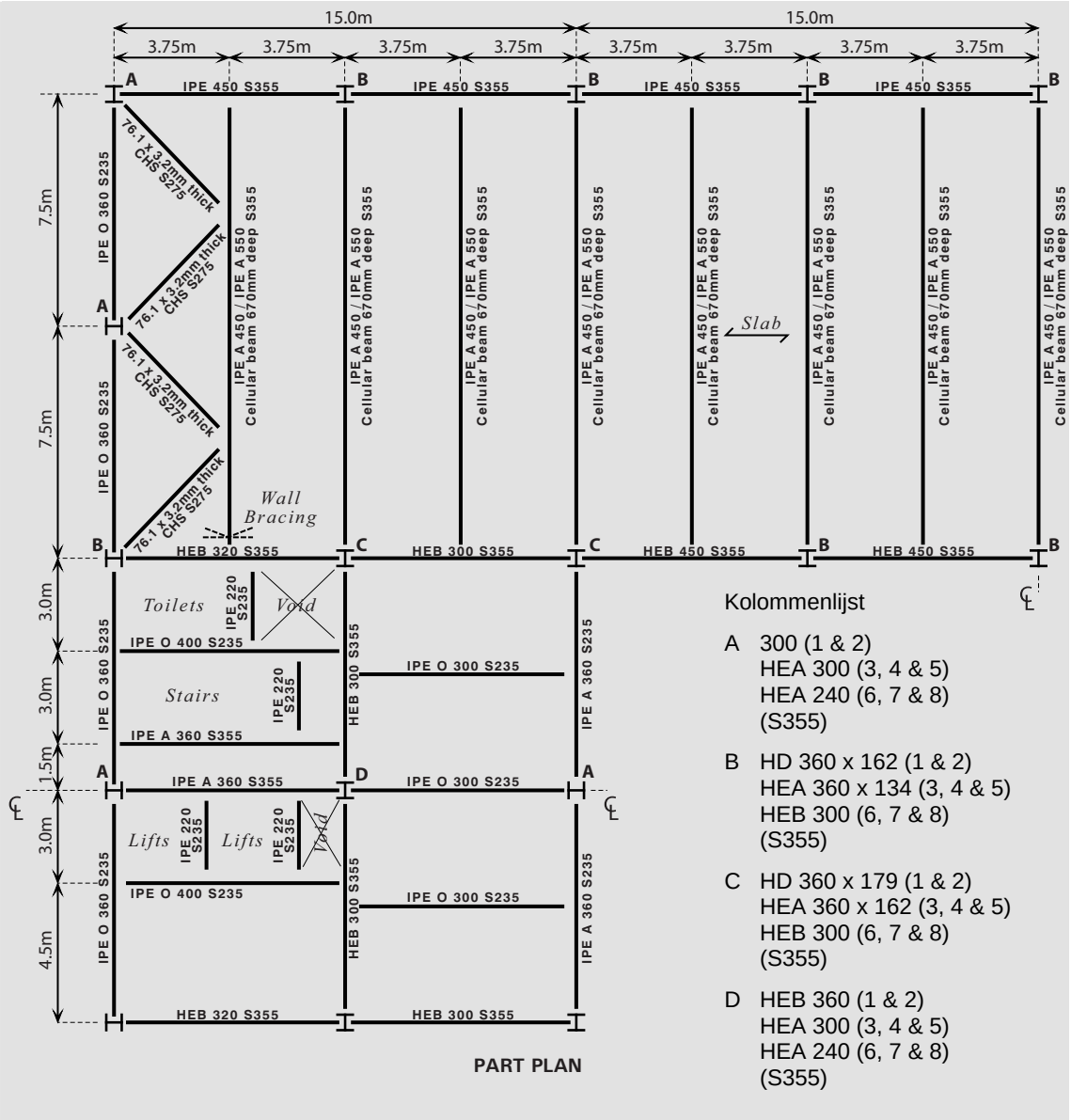

**Afbeelding 4.7 Cellular beam – Typische doorsnede met geïntegreerde installaties**

Cellular beams kunnen opgezet worden als grote overspanning met secundaire liggers waarop de vloer direct wordt gedragen, of een grote overspanning met primaire liggers die vervolgens andere cellular beams steunen of I-profiel secundaire liggers. Een kenmerkend overspanningsbereik is 10-18 m voor cellular beams als secundaire liggers met hart-op-hart afstand 3 tot 4 m en 9 tot 12 m als primaire liggers. Secundaire

liggers moeten zodanig worden geplaatst dat onderstempeling van de staalplaat niet nodig is. Typische bruto cellular beam hoogtes zijn overspanning/22 voor secundaire liggers en overspanning/18 voor primaire liggers. S355 heeft de voorkeur voor cellular beams vanwege de hoge belastingen ter plaatse van de openingen.

Brandbescherming van cellular beams kan door middel van brandwerende coating. Deze kan in de fabriek of op de bouwplaats worden aangebracht. Fabrieksmatige coating kan een duurdere oplossing zijn maar geeft betere kwaliteit en regelmatigere laagdikte. Brandwerende coating 1,5 tot 2,0 mm kan op de bouw worden aangebracht. Eventueel is hogere brandwerendheid vereist bij een cellular beam dan bij overige ligger soorten, dit vanwege de verhoogde doorsnede factor.

Een typische opstelling voor grote overspanning met cellular beams is in afbeelding 4.8 te zien.




**Afbeelding 4.8 Cellular beams (grote overspanning met secundaire liggers) – voorbeeld van staalconstructie opzet ter plaatse van de hoek van een 8 verdieping gebouw met atrium**

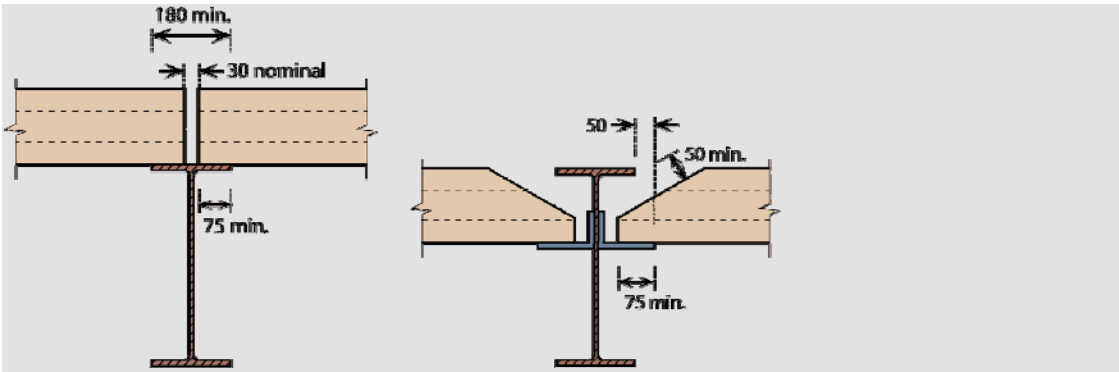
### Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste constructie:

- Aanname betonvloerdikte 130-150 mm.
- Aanname S355 secundaire liggers met overspanning 10-18 m met circa 3-4 m hart-op-hart maat en S355 primaire liggers met overspanning 9-12m met hart-op-hart maat 6-9 m.
- Kies een staalplaat hoogte, dikte en wapening om aan de belasting- en brandveiligheidseisen voor de overspanning te voldoen (zonder onderstempeling) - gebruik fabrikanten ontwerptabellen of software van fabrikanten.
- Aanname secundaire ligger hoogte gelijk aan 1/22 van de overspanning en primaire ligger hoogte gelijk aan 1/18 van de overspanning.
- Aanname deuvels op 300 mm afstand voor secundaire liggers en 150 mm voor primaire liggers.

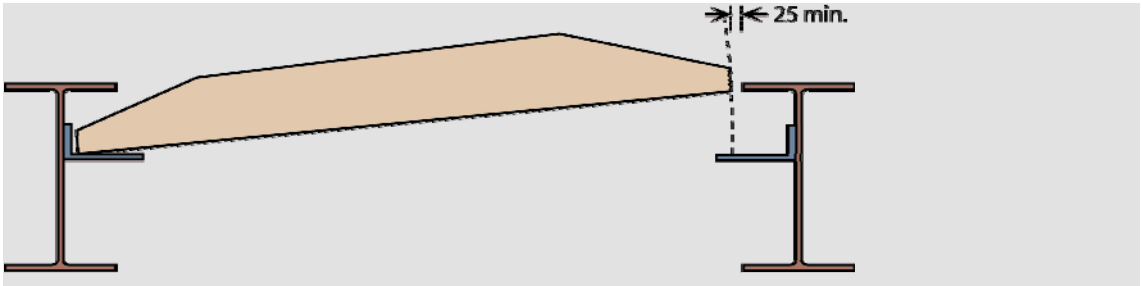
## 4.2.6 Stalen liggers met kanaalplaatvloer

Het gehanteerde system met stalen liggers met kanaalplaatvloer voor gestapelde woongebouwen (beschreven in paragraaf 3.2.3) is ook van toepassing bij kantoorgebouwen maar de overspanningen in kantoorgebouwen zijn vaak veel groter. Kanaalplaatvloer elementen kunnen op de bovenflens van de ligger worden gedragen of op staalplaten die aan het lijf van de ligger gelast of geschroefd zijn. Deze lijfplaten zijn lang genoeg om voldoende oplegging voor de kanaalplaat elementen te geven en verhelpen bij het positioneren van de vloer elementen, zie afbeelding 4.9. De lijfplaten verminderen ook de hoogte van de vloerconstructie maar er zijn bepaalde toleranties voor nodig, zie afbeelding 4.10. De lengte van de vloerelementen moet rekening houden met een tolerantie van 25 mm ten behoeve van plaatsing. De minimum aanbevolen breedte van de bovenflens is 180 mm, dit om voldoende oplegging te bieden en ruimte te laten voor plaatsing. Deze ruimte kan later worden aangevuld. De overspanningen zijn in tabel 4.4 aangegeven. Voor een illustratief kolommenraster is de bruto vloerdikte 800 mm, inclusief verlaagd plafond. De liggers zijn relatief hoog vergeleken met samengestelde liggers, een gebruikelijke overspanning:hoogte verhouding is 1:15. De minimum profielmaat voor voldoende oplegging is een IPE 400. Zoals in het geval van samengestelde liggers is er aanzienlijke torsie aanwezig in de montagefase en tijdelijke ondersteuning kan nodig zijn. Verbindingen moeten voorzien zijn van kopplaten over de volle hoogte van het profiel.




(a) Elementen op bovenflens (b) Elementen op lijfplaten

**Afbeelding 4.9 Vloerconstructie met kanaalplaatvloer elementen in een onsamengestelde constructie**




**Afbeelding 4.10 Oplegging en toleranties voor kanaalplaat elementen en lijfplaten**

Typische kanaalplaat gegevens worden in Tabel 4.4 gegeven

**Tabel 4.4 Typische overspanningen voor kanaalplaat elementen**

| Dikte vloerelement (mm) | Overspanning (m) | Opgelegde belasting (kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 150 | 6,0 | 3,5 |
| 200 | 7,5 | 3,5 |
| 250 | 9,0 | 5,0 |

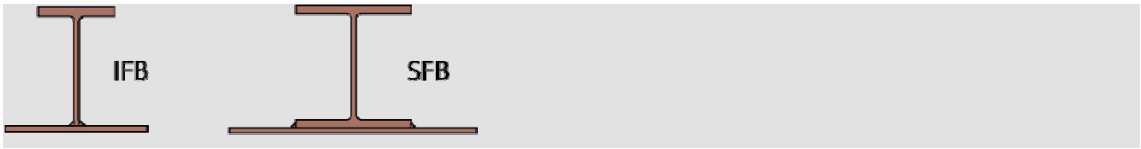
### Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste constructie:

- Kies een 6 tot 7 m kolommenraster.
- Kies vloerelementen met behulp van gegevens van de fabrikant over brandbescherming; normaliter 150 en 160 mm dik voor 6,0 en 7,5 m elementen respectievelijk.
- Overweeg gebruik van lijfplaten als de bruto vloerdikte gering moet blijven.
- Ontwerp liggers met een overspanning:hoogte verhouding van 1:15 en een minimum flens van 180 mm (min. IPE 400)
- Controleer torsie op de ligger tijdens montage of pas tijdelijke ondersteuning toe.

## 4.2.7 Geïntegreerde liggers of slanke vloerliggers met lage staalplaat-betonvloer of kanaalplaatvloer

Geïntegreerde vloerliggers worden naast gestapelde woningbouw ook in gestapelde kantoorbouw toegepast. Dit zijn ondiepe vloersystemen bestaand uit asymmetrische liggers waarop prefab of staalplaat-betonvloeren worden geplaatst. Liggers zijn normaliter een T-profiel, gemaakt door een IPE- of HE-ligger door midden te snijden. Vervolgens wordt een plaat aan het lijf gelast (IFB) of een flensplaat toegevoegd aan de onderkant van een gewalst profiel (SFB) zoals in afbeelding 4.11 is te zien.




**Afbeelding 4.11 Typische geïntegreerde vloerbalken**

De opties voor het system zijn in paragraaf 3.2.4. beschreven in het kader van toepassingen in woongebouwen. Het advies geldt ook voor kantoorgebouwen –

behalve dat de in woningbouw vereiste akoestische lagen op de vloer niet normaliter nodig zijn in kantoorgebouwen.

### Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste constructie:

- Gebruik een liggerplan met een centrale ruggengraat ligger (waar mogelijk) met een liggerhoogte bereik tussen 250 en 350 mm.
- Kies bij het toepassen van kanaalplaten een overspanning tussen 6,0 en 7,5 m maar let op dat de dikte van de vloer elementen en de ligger overeen komen (dit betekent meestal een grotere vloer element overspanning dan ligger overspanning). Een betonnen druklaag wordt aanbevolen voor goede dynamische prestaties.
- Probeer bij diepe staalplaat-betonvloer de overspanning te beperken tot 6 m (om onderstempeling te voorkomen) en zorg dat de betonnen druklaag de staalplaat profiel tussen 70 en 80 mm dekking geeft. Hanteer een overspanning:hoogte verhouding van 1 staat tot 20 á 30.
- Ontwerp randliggers niet als samengestelde liggers waar dit esthetisch mogelijk is. Anders pas een RHS element toe met een gelaste plaat om torsie te weerstaan tijdens de montage fase.
- Gebruik omgekeerde T-profielen als kolombindende elementen.

## 4.3 Dak

Er zijn veel daktypes voor kantoorgebouwen. Platte daken komen vaak voor. Hiervoor zijn raamwerkvloeren en staalplaat-betonvloeren van toepassing. Lichtgewicht constructies worden meestal voor het opnemen van installatieruimtes en liftmachine kamers. Hier worden incidenteel zwaardere liggers gebruikt om de verhoogde vloerbelastingen op te nemen. Diverse types staalframe schuine daken zijn ook populair, echter zijn alle voorstelbare vormen mogelijk.

## 4.4 Brandveiligheid

Brandveiligheidsmaatregelen zijn vaak strenger voor kantoorgebouwen dan woongebouwen omdat de brandperiodes langer zijn (60 tot 120 minuten). Ontwerpers moeten brandveiligheid meewegen in de keuze van draagstructuur. De volgende aspecten zijn van belang

- Afmetingen van compartimenten.
- Toegang en voorzieningen voor het brandweer.
- Beperking van brandoverslag.
- Rookpreventie en vluchtwegen.
- Integratie van sprinklers.
- Passieve brandwering strategie.

De constructieve prestaties bij brand moeten aan voorgeschreven regels voldoen. Gebruikelijk wordt dit uitgedrukt als de brandwerende periode voor de constructieve onderdelen. Een alternatief is een integrale brand analyse te hanteren, waarbij overige aspecten van het gebouw in een totaal strategie worden meegewogen.

Over het algemeen moet de constructeur rekening met de volgende aspecten houden:

- Mogelijkheden voor het toepassen van onbeschermde staal vanuit een integrale brand analyse.
- Systemen zoals ingestorte kolommen en geïntegreerde liggers waarbij geen extra brandwering nodig is.
- De invloed van geïntegreerde installaties in de keuze van het brandbeveilings-systeem en oplossingen voor het aanbrengen van bescherming tijdens fabricage (bijvoorbeeld brandwerende coatings)
- De invloed van brandwerende maatregelen tijdens de uitvoering.
- De esthetische aspecten van gekozen brandbeschermingsmaatregelen.

Systemen met minder maar zwaardere liggers kunnen besparingen geven in brandbescherming.

# 5 STAALSKELET BEDRIJFSHALLEN

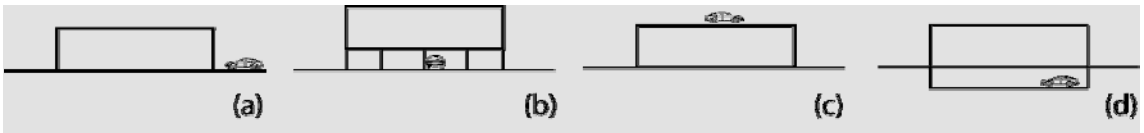
## 5.1 Conceptontwerpen en vormen van bedrijfshallen

Het ontwikkelen van een ontwerpoplossing voor een éénlaags gebouw, bijvoorbeeld een industriëel gebouw, is meer afhankelijk van de huidige en mogelijke toekomstige functies dan woon- en kantoorgebouwen. Hoewel bedrijfshallen voornamelijk functioneel zijn spelen architectuur en 'branding' vaak een belangrijke rol in het ontwerp. Alvorens het definitief ontwerp wordt gemaakt is het van belang veel essentiële aspecten te onderzoeken zoals:

- Optimalisatie van ruimte.
- Bouwsnelheid.
- Toegankelijkheid en veiligheid.
- Standaardisatie van componenten.
- Logistiek van bevoorrading.
- Integratie van installaties.
- Landschapsinrichting.
- Esthetica en belevenis van het gebouw.
- Dichtheid tegen het weer.
- Brandveiligheid.
- Levensduur van het ontwerp.
- Duurzaamheid.
- Einde levensduur en hergebruik.

In hoeverre deze aspecten wegen is afhankelijk van het type gebouw. De eisen voor bijvoorbeeld een logistiek centrum zijn anders dan voor een fabriek.

In dicht bewoonde gebieden kan de vorm van de draagconstructie mede bepaald worden door parkeereisen en de behoefte om deze inwendig op te lossen. Alternatieve concepten voor parkeeroplossingen zijn in afbeelding 5.1 te zien. De makkelijkste oplossing van extern parkeren is in (a) weergegeven en overige oplossingen binnen het gebouw zijn in (b), (c) en (d) te zien.




**Afbeelding 5.1 Ontwerpopties voor parkeren**

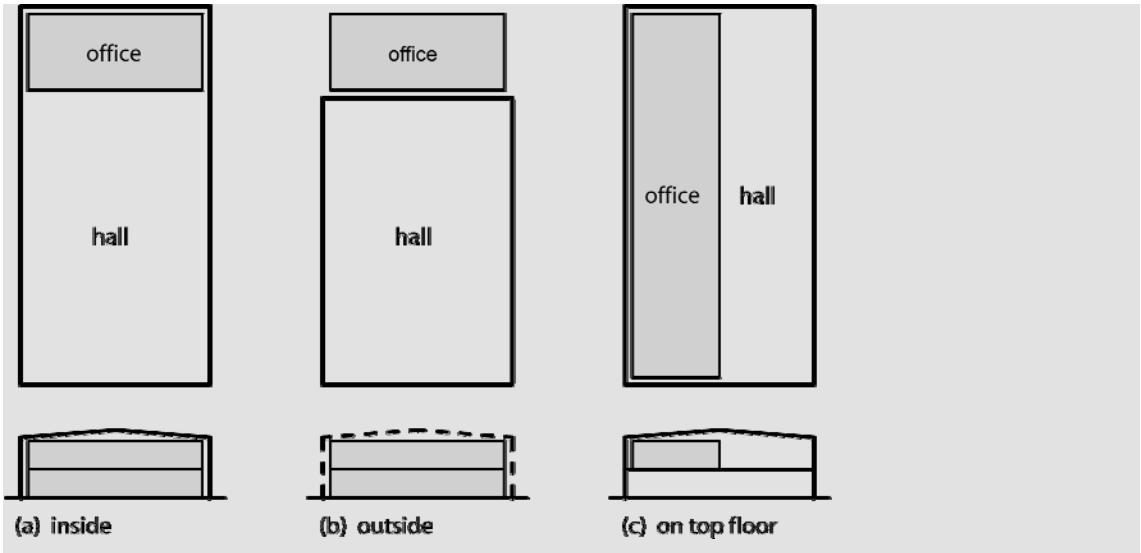
Grotere bedrijfshallen worden in toenemende mate voor gemengd gebruik ontworpen, d.w.z. in de meeste gevallen worden kantoor- en personeelsruimtes gemaakt. Er zijn verschillende mogelijke plekken voor deze voorzieningen. Voorbeelden zijn in afbeelding 5.2 te zien van:

a) Een aparte ruimte binnen het gebouw, eventueel bestaand uit twee verdiepingen en met gebruik van lichte scheidingswanden.

b) Een vrijstaand gebouw met een interne verbinding naar het hoofdgebouw.

c) Gedeeltelijk gebruik van de bovenverdieping in een tweelaagse bedrijfshal.

Hierdoor zijn er bijzondere ontwerpeisen ten aanzien van de draagconstructie en bouwfysica. Als de kantoorruimte in de bovenverdieping van een tweelaagse bedrijfshal wordt ondergebracht kan het als een onafhankelijke constructie worden benaderd binnen de constructie van het hoofdgebouw. In dit geval kunnen vloersystemen voor gebruik in kantoorgebouwen worden toegepast, vaak op samengestelde constructies gebaseerd zoals geïntegreerde vloerliggers. Een andere oplossing is de kantoorruimte aan het hoofdgebouw te bouwen. Hier is aandacht nodig voor de stabiliteitssystemen voor de verschillende gebouwdelen.

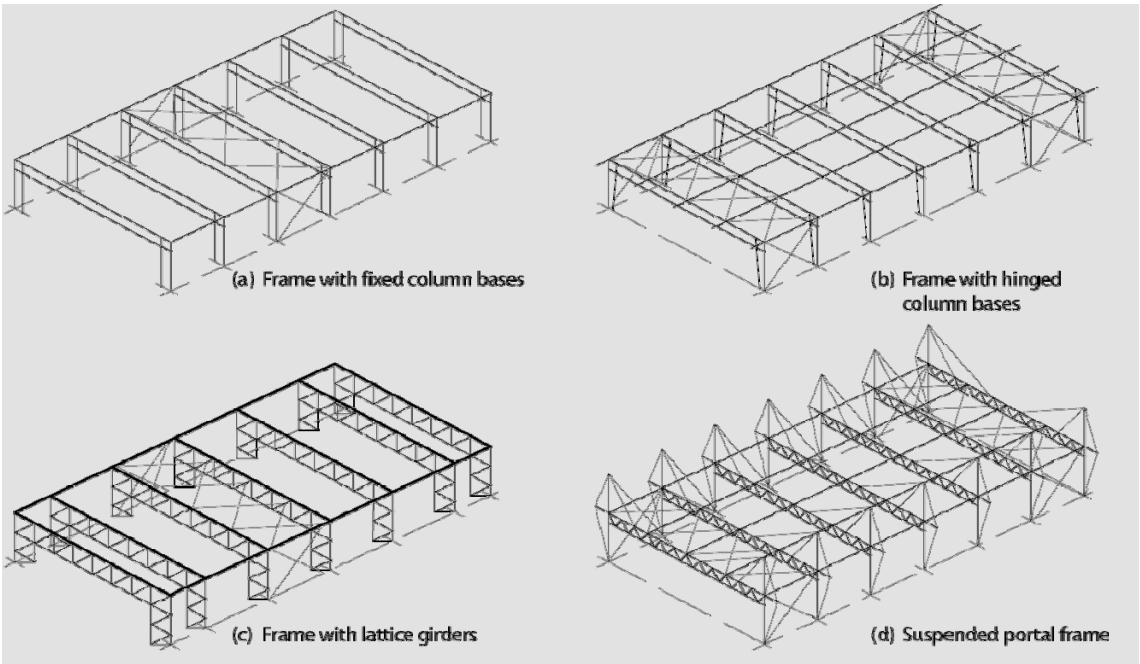



**Afbeelding 5.2 Opties voor het combineren van kantoorruimte en bedrijfsruimte**

Er zijn veel mogelijkheden voor de ontwerper bij het realiseren van een expressief gebouw dat ook aan de functionele eisen voldoet. Over het algemeen bestaan bedrijfshallen uit een grote rechthoekige hal die uitbreidbaar is in de lengterichting. Bedrijfshallen worden vaak als functionele omheining ontworpen waarbinnen diverse handelingen plaats vinden. Hierbij is vaak sprake van grote werktuigen en wordt voorzien in kantoorruimten of tussenverdiepingen.

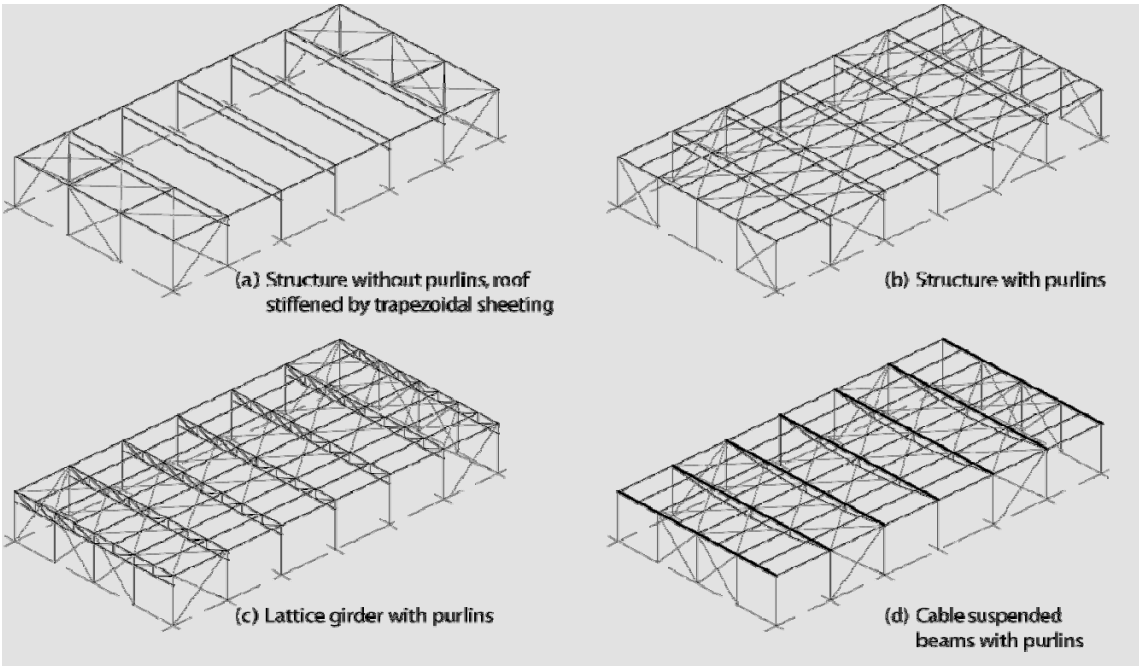
De eenvoudigste systemen die voor bedrijfshallen worden gebruikt bestaan uit twee kolommen en een ligger. Deze opzet kan op veel manieren worden aangepast met gebruik van verschillende verbindingstechnieken voor kolommen- en liggers en voor de kolomvoeten. De meest voorkomende constructies in bedrijfshallen zijn portalen met scharnierende kolomvoeten en raamwerken met momentvaste- of scharnierende verbindingen. Portalen hebben voldoende stabiliteit in het vlak van de ligger en hebben alleen verbanden tegen de dwars belastingen nodig. Kolom- en liggerconstructies hebben koude verbindingen en hebben in zowel het ligger- als de dwarsvlak verbanden nodig.

In afbeelding 5.3 zijn verschillende raamwerken met vaste (a) of scharnierende (b) kolomvoeten. Vaste kolomvoeten kunnen worden overwogen in het geval dat zware kranen worden gebruikt omdat ze minder doorbuigen onder horizontale belasting. Scharnierende kolomvoeten hebben kleinere funderingen en eenvoudige kolomvoetverbindingen. In de voorbeelden (c) en (d) is de constructie deels buiten het gebouw geplaatst waardoor de details ter plaatse van aansluitingen op de buitenschil aandacht verdienen. Het complexe detail dat hierdoor ontstaat kan juist een esthetisch element worden.



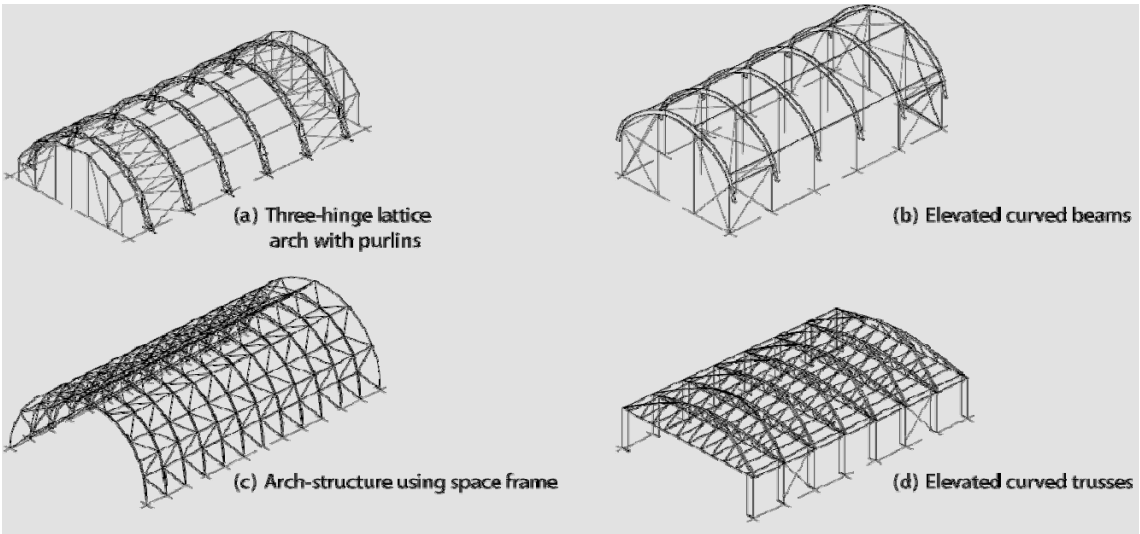

**Afbeelding 5.3 Voorbeelden van raamwerk constructies**

In afbeelding 5.4 zijn verschillende constructies bestaand uit kolommen en liggers te zien. In afbeelding 5.4(a) is een voorbeeld te zien van een constructie zonder gordingen waarin de stabiliteit door middel van diafragmawerking in het dak en verbanden in de gevels wordt geregeld. In afbeelding 5.4(b) worden gordingen toegepast waardoor de gereduceerde overspanningen het ontwerp van het dak vereenvoudigt. Het dak wordt door middel van horizontale verbanden verstijfd en de dakafwerking hoeft alleen de verticale belastingen af te dragen. Eventueel levert een constructie zonder gordingen een aantrekkelijker beeld. Afbeeldingen 5.4(c) en 5.4(d) laten vakwerk spanten en liggers gedragen op kabels zien. Met deze types kunnen grotere overspanningen worden bereikt of een gewenst beeld bereikt worden.




**Afbeelding 5.4 Voorbeelden van kolom- en ligger constructies**

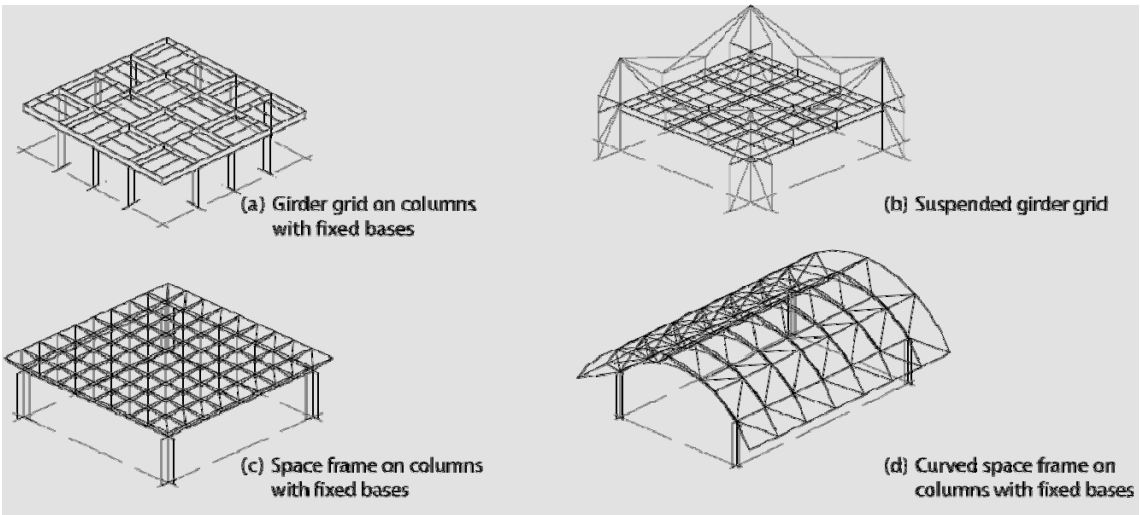
Boogstructuren hebben voordelen ten aanzien van belastingafdracht en esthetiek. In afbeelding 5.5(a) is een gebouw met een boog met drie scharnierpunten. De structuur kan ook op kolommen worden verhoogd zoals in afbeelding 5.5(b), als een vakwerk gemaakt worden (c), of een geïntegreerde spantstructuur (d).




**Afbeelding 5.5 Voorbeelden van gebogen constructies**

In de boven beschreven gebouwtypes met primaire en secundaire constructieve elementen worden de belastingen voornamelijk gedragen in de afzonderlijke structuur richtingen. In het geval van ruimtevakwerk en spantconstructies worden de belastingen in meerdere richtingen afgedragen. Dergelijke constructies kunnen worden verlengd maar zouden door hun gewicht onpraktisch zijn voor grote overspanningen. In afbeelding 5.6 zijn een aantal ruimtevakwerkconstructies te zien.

.




**Afbeelding 5.6 Voorbeelden van ruimtevakwerken**

## 5.2 Schuin- en gebogen dak portaalconstructies

### 5.2.1 Overzicht portaalconstructie types

Stalen portaalconstructies worden in Europa vaak gebruikt omdat ze efficiënte constructieve en functionele oplossingen combineren. Diverse portaalconstructies kunnen met hetzelfde constructieve concept worden ontworpen, zoals in afbeelding 5.7 is te zien. In 5.7(e) en (f) is te zien hoe constructies met meerdere stramienen en met gebruik van enkel- of dubbele interne kolommen kunnen worden gebouwd.

Portaalconstructies kunnen spatkrachten weerstaan door trekelementen te plaatsen in de top. Hierdoor wordt de vrije inwendige hoogte verminderd. De momenten in de kolommen worden verminderd maar voor dakvlakken met hellingen van minder dan 15° kunnen grote belastingen in de dakspanten en trekelementen ontstaan.

Gebogen spantportalen (zie afbeelding 5.7(b)) zijn vaak voor architectonische toepassingen gebruikt. De spanten kunnen koud gebogen worden. Voor overspanningen boven 16 m kunnen uit transportoverwegingen onderbrekingen in de spanten nodig zijn. Om esthetische redenen kunnen de verbindingen tijdens montage zo onopvallend mogelijk worden uitgevoerd. In gevallen waar alleen het dakvlak gebogen moet zijn kunnen de portalen uit rechte delen worden opgebouwd. Cellular beams worden vaak in portalen met gebogen spanten toegepast.

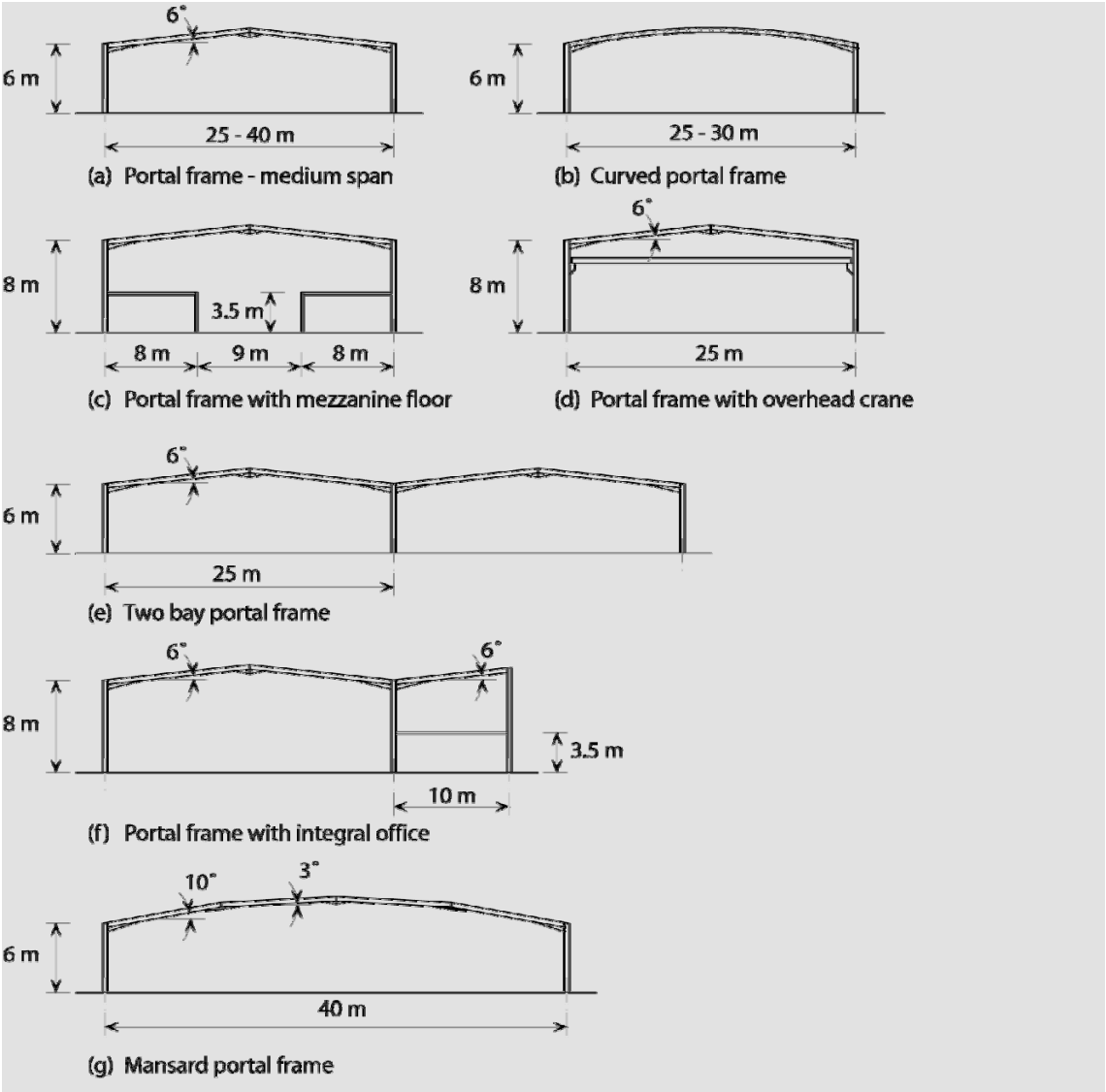
Kantoorruimte wordt vaak gerealiseerd door een insteekverdieping in het portaal te plaatsen (zie afbeelding 5.7(c)). De mezzanine kan in geheel of gedeeltelijk de breedte van het portaal worden geplaatst. De mezzanine kan ook als stabiliteitselement worden ontworpen. Kantoren kunnen buiten de portaalconstructie worden geplaatst waardoor een deelportaal ontstaat (zie afbeelding 5.7(f)). Het grootste voordeel van deze oplossing is dat de kolommen en onderste consoles geen ruimtelijke belemmering vormen in de kantoorruimtes. Deze constructie is voor stabiliteit meestal afhankelijk van het portaal.

Wanneer kranen nodig zijn hebben ze grote invloed op het ontwerp en afmetingen van de portalen. Extra verticale en horizontale belastingen worden hierdoor gecreëerd waardoor voornamelijk de kolomprofielen vergroot moeten worden. In het geval van een lichte kraan (minder dan 20 ton) kunnen consoles aan de kolommen worden bevestigd om de kraanrail ligger te dragen (zie afbeelding 5.7(d)). Gebruik van een

trekelement tussen de onderste booghelften kan  noodzakelijk zijn om doorbuiging van de kopgevels te voorkomen. Waar zware kranen worden gebruikt zijn extra kolommen nodig om de kraanrails op te nemen. Deze kunnen voor stabiliteit door schoren aan de kolommen van de portalen worden ondersteund.

Een mansarde portaal bestaat uit een serie spanten en consoles (zie afbeelding 5.7(g)). Dit kan toegepast worden waar een grote vrije overspanning gewenst is maar de portaalhoogte moet tot een minimum worden gehouden. Een geknikte portaal met trek elementen kan een betaalbare oplossing zijn waar het nodig is om de spatkrachten ter plaatse van de top te minimaliseren.

Als de overspanning van een portaal meer dan 30 m is en het niet nodig is een vrije overspanning te creëren kan een gestut portaal de spant afmetingen en ook de horizontale belasting op de kolomvoeten verminderen. Hierdoor kunnen besparingen worden gemaakt op staal- en fundering kosten. Dit type portaal wordt soms een gestut enkele overspanningsportaal genoemd maar constructief gedraagt het zich als een dubbel overspanningsportaal.

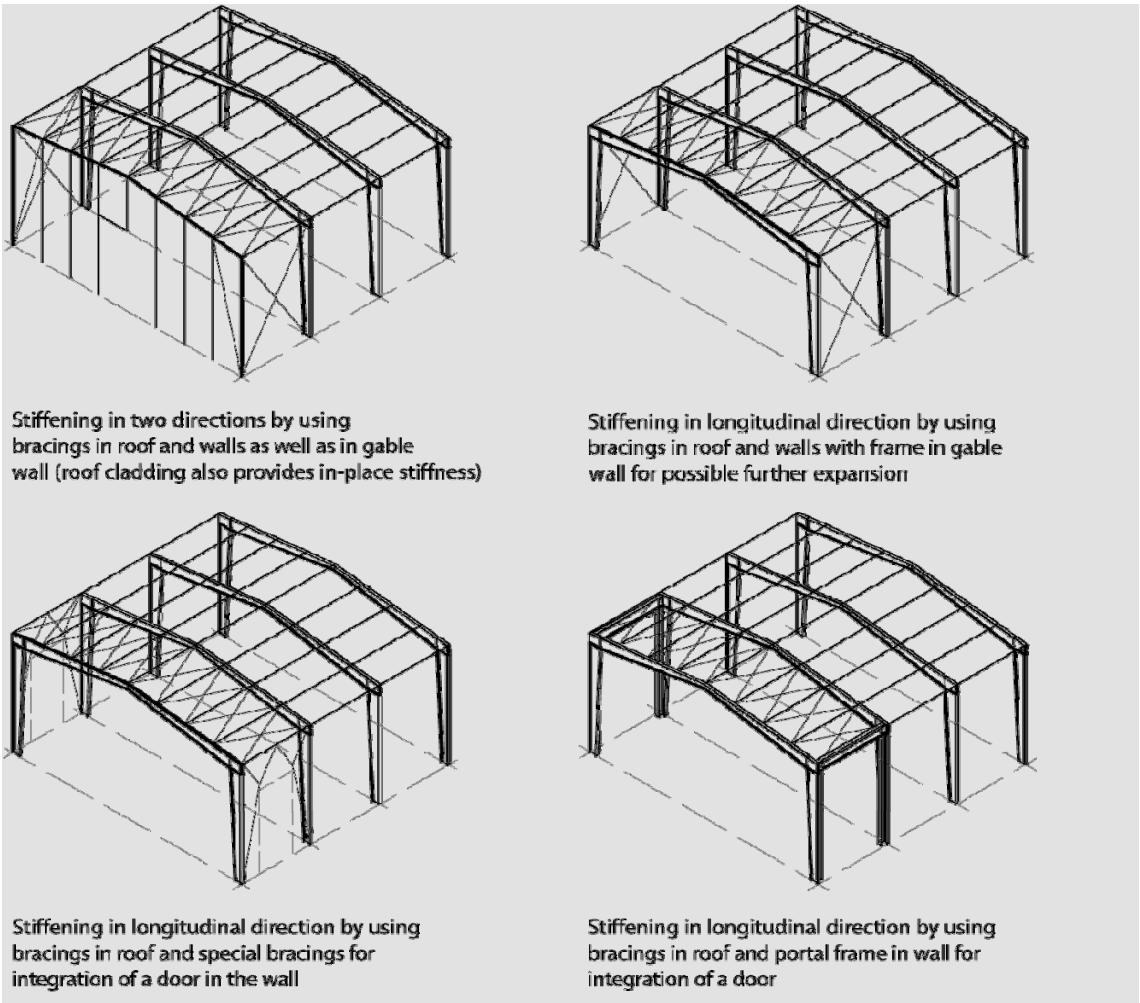



**Afbeelding 5.7 Verschillende portaal types**

Naast de primaire staalconstructie is een groot aantal secundaire elementen ontwikkeld, bijvoorbeeld koudgewalste stalen gordingen die de stabiliteit van de constructie vergroten. Deze eenvoudige systemen kunnen ontworpen worden om visueel aantrekkelijker te zijn door het gebruik van gebogen elementen, cellular beams, enz.

Normaliter bestaan portalen uit kolommen en horizontale schuine spanten met momentvaste verbindingen. Portalen met scharnierende kolomvoeten hebben vaak de voorkeur omdat ze minder fundering nodig hebben dan vaste voeten. Bovendien hebben kolommen met momentvaste verbindingen complexere en duurdere details en worden pas toegepast als bijzonder hoge horizontale belastingen aanwezig zijn. Een nadeel van scharnierende verbindingen is dat ze meer staalgewicht hebben vanwege de lagere stijfheid van de constructie voor zowel verticale als horizontale belastingen.

Deze vorm van stijve constructie is stabiel in het vlak van het portaal en geeft een ononderbroken overspanning zonder verbanden. De stabiliteit wordt gehaald uit de vaste verbindingen en is vaak versterkt door verbanden in de kopgevels. Voor stabiliteit in de dwarsrichting worden gordingen en holle profiel verbanden toegepast. Voorbeelden van stabiliteitsmaatregelen voor portalen zijn in afbeelding 5.8 te zien. Een alternatief voor verbanden is de dakafwerking als een diafragma te laten werken om de belastingen naar de kolommen af te dragen. Stijve wanden, kernen en momentvaste kolomvoeten kunnen ook weerstand bieden tegen dwarskrachten.



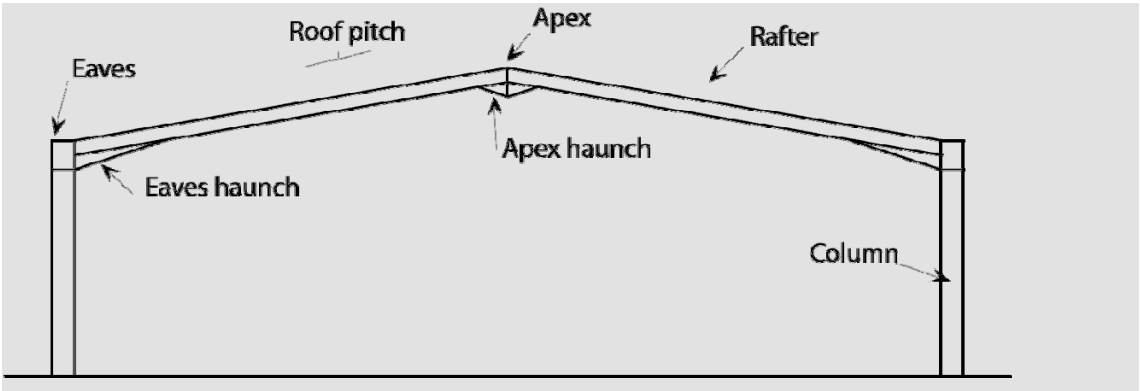

**Afbeelding 5.8 Verband opties voor portalen**

Staalprofielen in portalen met overspanningen tussen 12 en 30 m zijn meestal warmgewalste profielen van staalsoort S235, S275 of S355. Gebruik van sterker staal is zelden economisch in constructies waar het ontwerp door stabiliteits- en doorbuigingscriteria wordt bepaald.

### 5.2.2 Schuindak portaalconstructie

Het schuine dak portaal is de meest voorkomende portaalvorm. Een voorbeeld is in afbeelding 5.9 te zien. De hoofdcomponenten en Engelse terminologie zijn in afbeelding 5.10 te zien. Het gebruik van consoles aan de dakrand en in de top kan de hoogte van de spanten verminderen en geeft efficiënte momentverbindingen. De consoles worden gemaakt uit hetzelfde profiel als de spanten.

**Afbeelding 5.9 Een schuine dak portaal in aanbouw**




**Afbeelding 5.10 Terminologie (Engels) voor een schuine dak portaal (haunch = console)**

### *Aanbevolen ontwerpstrategie*

Voor de voordeligste constructie van een eenvoudig schuindakportaal:

- Kies een overspanning tussen 15 en 50 m (25 tot 35 m is de meeste efficiënt).
- Kies een kolomhoogte tussen 4 en 10 m (5 of 6 m is gebruikelijk).
- Kies een dakhelling tussen 5 en 10% (5 of 6% is gebruikelijk).
- Schrijf een hart-op-hart maat voor tussen 5 en 8 m (6 m is gebruikelijk maar grotere afstanden worden toegepast bij grotere overspanningen).
- Gebruik consoles tussen kolommen en spanten, op de kopgevel en waar nodig ter plaatse van de top, om economische redenen.

Tabel 5.1 kan gebruikt worden als hulpmiddel bij het voorontwerp van een enkel overspanningsportaal. Aanname is een hart-op-hart maat van 6 m en een dakhelling van 5%.

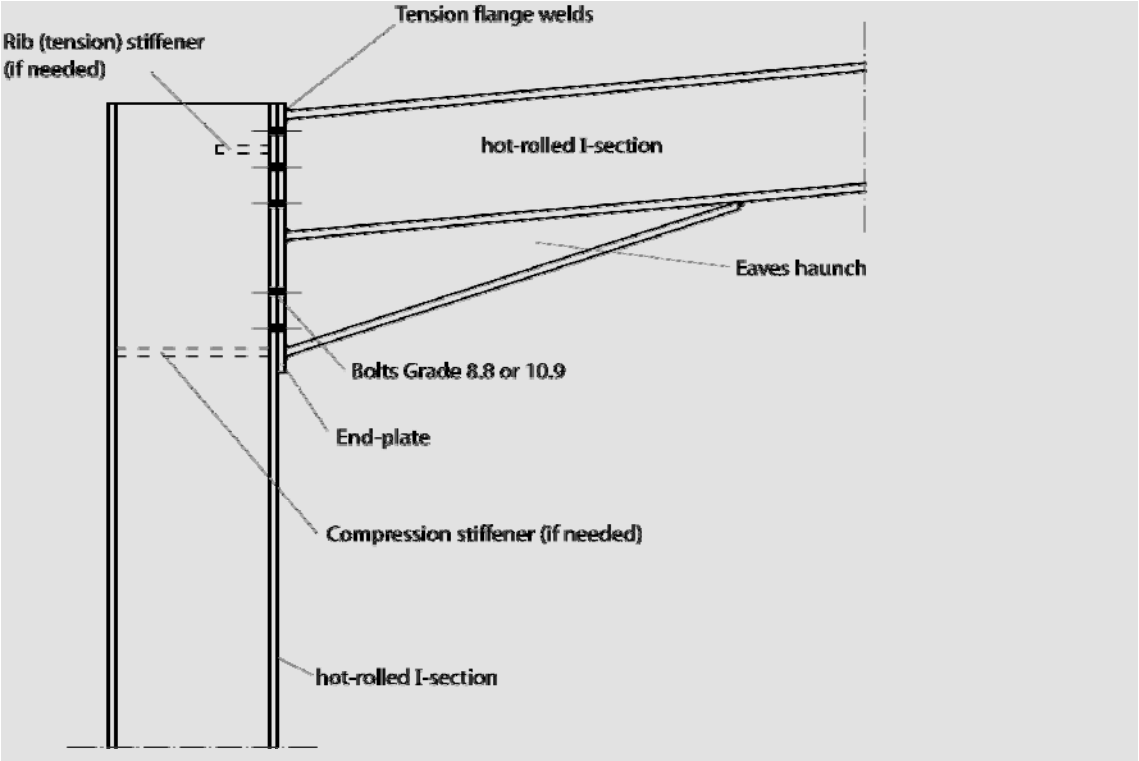
**Tabel 5.1 Voorontwerp tabel voor schuine dak portalen**

| Over-spanning [m] | Kolomhoogte [m] | Sneeuw belasting [kN/m²] | Spant | Kolom | Verstijving lengte [m] | Gewicht [kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12,0 | 4,0 | 0,5 | IPE 240 | IPE 300 | 0,6 | 712 |
| | | 1,0 | IPE 270 | IPE 330 | 0,6 | 832 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE 270 | IPE 360 | 0,96 | 1131 |
| | | 1,0 | IPE 300 | IPE 360 | 0,6 | 1195 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE 330 | IPE 450 | 2,0 | 1893 |
| | | 1,0 | IPE 330 | IPE 450 | 2,05 | 1896 |
| 15,0 | 4,0 | 0,5 | IPE 270 | IPE 330 | 0,85 | 947 |
| | | 1,0 | IPE330 | IPE360 | 0,75 | 1208 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE300 | IPE360 | 0,75 | 1330 |
| | | 1,0 | IPE330 | IPE400 | 0,85 | 1546 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE330 | IPE450 | 2,55 | 2065 |
| | | 1,0 | IPE360 | IPE500 | 0,9 | 2315 |
| 18,0 | 4,0 | 0,5 | IPE330 | IPE360 | 0,9 | 1360 |
| | | 1,0 | IPE360 | IPE450 | 0,95 | 1671 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE330 | IPE400 | 1 | 1698 |
| | | 1,0 | IPE400 | IPE450 | 0,9 | 2144 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE400 | IPE450 | 0,9 | 2448 |
| | | 1,0 | IPE400 | IPE500 | 1 | 2661 |
| 21,0 | 4,0 | 0,5 | IPE360 | IPE400 | 1,05 | 1757 |
| | | 1,0 | IPE400 | IPE500 | 1,45 | 2174 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE360 | IPE450 | 1,2 | 2158 |
| | | 1,0 | IPE450 | IPE500 | 1,05 | 2748 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE400 | IPE500 | 1,05 | 2859 |
| | | 1,0 | IPE450 | IPE550 | 1,05 | 3336 |
| 24,0 | 4,0 | 0,5 | IPE400 | IPE450 | 1,3 | 2260 |
| | | 1,0 | IPE450 | IPE500 | 1,8 | 2677 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE400 | IPE500 | 1,4 | 2722 |
| | | 1,0 | IPE500 | IPE550 | 1,2 | 3487 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE450 | IPE550 | 1,2 | 3576 |
| | | 1,0 | IPE500 | IPE600 | 1,2 | 4166 |
| 27,0 | 4,0 | 0,5 | IPE450 | IPE500 | 1,75 | 2902 |
| | | 1,0 | IPE500 | IPE550 | 2,2 | 3429 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE450 | IPE550 | 1,45 | 3410 |
| | | 1,0 | IPE550 | IPE600 | 1,35 | 4380 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE500 | IPE600 | 1,35 | 4447 |
| | | 1,0 | IPE550 | IPE750X137 | 1,35 | 5089 |
| 30,0 | 4,0 | 0,5 | IPE500 | IPE550 | 2 | 3678 |
| | | 1,0 | IPE600 | IPE600 | 1,5 | 4749 |
| | 6,0 | 0,5 | IPE500 | IPE600 | 1,5 | 4247 |
| | | 1,0 | IPE600 | IPE750X137 | 1,5 | 5402 |
| | 8,0 | 0,5 | IPE500 | IPE600 | 1,75 | 4750 |
| | | 1,0 | IPE600 | IPE750X137 | 1,5 | 5939 |

Tabel gaat uit van portalen hart-op-hart 6 m en dakhelling van 5%

### 5.2.3 Verbindingen

De drie hoofdverbindingen in een enkel portaal zijn die ter plaatse van de dakrand, de top en de kolomvoet. Bij de kolom/ligger verbinding worden vaak boutverbindingen gebruikt zoals in afbeelding 5.11 is te zien. Een console kan de verbinding efficiënter maken. Het console wordt vaak uit hetzelfde profiel gemaakt als de dakspanten.

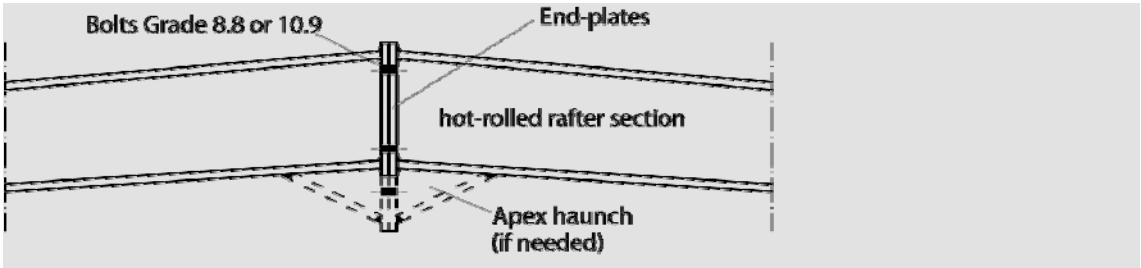



**Afbeelding 5.11 Typische details t.p.v. kolom- en dakspant in een portaal**

In sommige gevallen worden de kolom en de console als één samengesteld element gemaakt. Het spant wordt door middel van een kopplaat bevestigd.

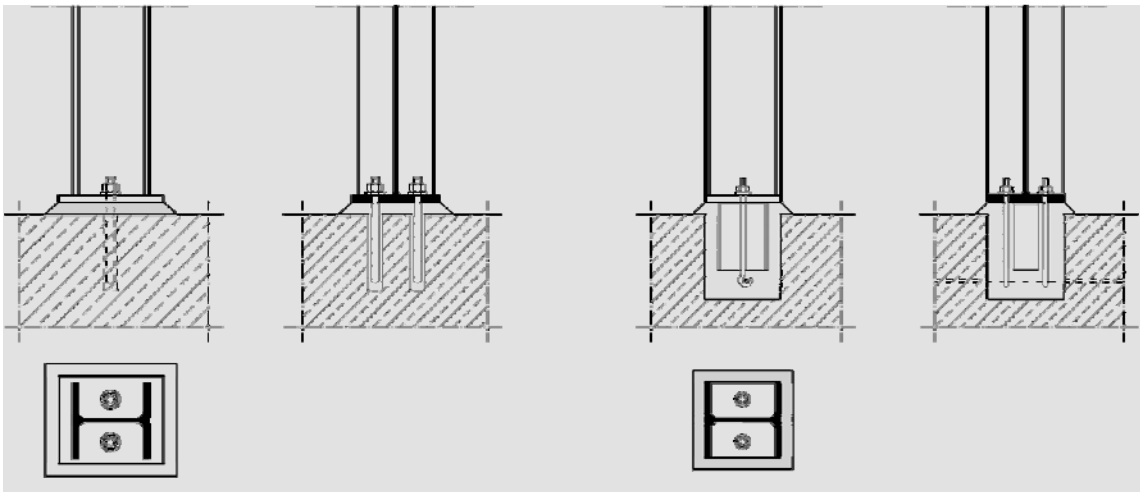
Om fabricagekosten te verminderen heeft het de voorkeur een kolom/spant verbinding te ontwerpen zonder verstijving (genoemd ‘Compression stiffener’ in afbeelding 5.11).

De topverbinding wordt vaak op een vergelijkbare manier ontworpen, zie afbeelding 5.12. als de overspanning van het portaal niet te groot is om in één stuk te vervoeren (tot 16 m lengte) kan het op locatie aanbrengen van de topverbinding worden vermeden.




**Afbeelding 5.12 Typische topverbinding in een schuine dak portaal**

De kolomvoet wordt vaak eenvoudig uitgevoerd met grotere toleranties ter plaatse van de aansluiting op de betonvloer. Typische details zijn in afbeelding 5.13 te zien. Scharnierverbindingen hebben de voorkeur vanwege het minimaliseren van de funderingen. Mogelijk vereisen hoge horizontale belastingen een momentvaste verbinding.



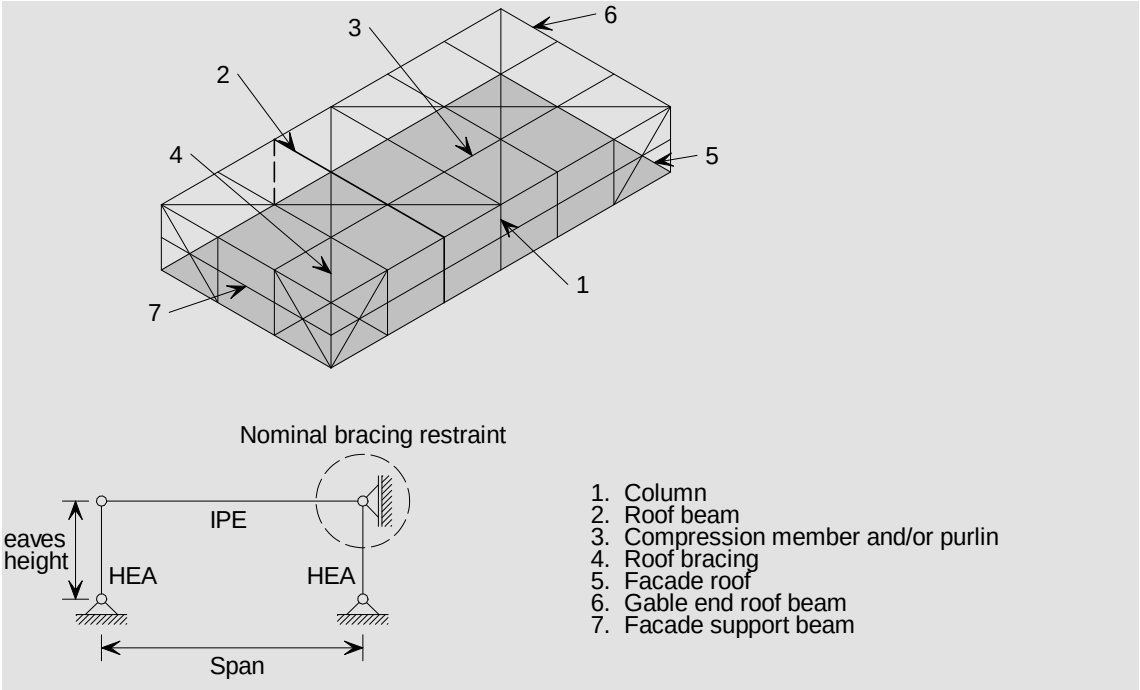
**Afbeelding 5.13 Typische scharnierende kolomvoet verbinding in een portaal**

## 5.3 Kolom en ligger constructies

Voor dit constructietype zijn verbanden nodig in beide richtingen; in het dak en in de wanden om stabiliteit tegen horizontale belastingen te bieden (zie afbeelding 5.14). Om deze reden wordt dit type voornamelijk bij gesloten hallen toegepast (d.w.z. geen aanzienlijke gevelopeningen). Hier moet rekening mee gehouden worden tijdens montage: het aanbrengen van tijdelijke verbanden is vaak nodig.

In eenvoudige kolom en liggerconstructies zijn de kolom-ligger verbindingen scharnierend. De kolommen worden voornamelijk verticaal belast waardoor relatief kleine profielen kunnen worden gebruikt. Maar vergeleken met een portaal zijn de interne momenten op de liggers groter waardoor grotere profielen nodig zijn. Omdat scharnierende verbindingen minder complex zijn dan momentvaste verbindingen kunnen fabricagekosten verminderd worden. Kolomvoet verbindingen zijn normaliter scharnierend om funderingskosten te beperken. Kolomprofielen zijn van de HEA serie en de liggers van de IPE serie. Een staalsoort S235 is gebruikelijk en in de meeste gevallen zijn de betreffende doorbuigingen doorslaggevend in het ontwerp. Overspanningen zijn mogelijk tot 25 m met een dakrand hoogte tot 10 m. Gebouwen met grotere overspanningen zullen waarschijnlijk dakspanten nodig hebben.

De dakafwerking bestaat vaak uit stalen panelen met een bitumineuze afdeklaag op een staalplaat. Hiertussen wordt isolatie geplaatst met een binnenafwerking van staalplaten. De keuze van dakpakket is afhankelijk van de afstand tussen de dakliggers. De dakpanelen worden gebruikt om de dakliggers tegen torsie te stabiliseren.




**Afbeelding 5.14 Typische kolom en ligger constructie met scharnierende verbindingen**

## Aanbevolen ontwerpstrategie

Voor de voordeligste constructie:

- Gebruik kolom en ligger afmetingen zoals in tabel 5.2 worden aangegeven.
- Gebruik staalsoort S235.
- Gebruik scharnierende consoles voor de kolomvoeten.

**Tabel 5.2 Voorontwerp tabel voor platte dak kolom en ligger constructies met scharnierende kolomvoetverbindingen**

| Over-spanning [m] | Kolomhoogte [m] | Ligger | Kolom |
|---|---|---|---|
| 10 | 5 | IPE270 | HE120A |
| | 6 | IPE270 | HE140A |
| | 8 | IPE270 | HE180A |
| | 10 | IPE270 | HE220A |
| 12 | 5 | IPE300 | HE120A |
| | 6 | IPE300 | HE140A |
| | 8 | IPE300 | HE180A |
| | 10 | IPE300 | HE220A |
| 14 | 5 | IPE360 | HE120A |
| | 6 | IPE360 | HE140A |
| | 8 | IPE360 | HE180A |
| | 10 | IPE360 | HE220A |
| 16 | 5 | IPE400 | HE120A |
| | 6 | IPE400 | HE140A |
| | 8 | IPE400 | HE180A |
| | 10 | IPE400 | HE220A |
| 18 | 5 | IPE450 | HE120A |
| | 6 | IPE450 | HE140A |
| | 8 | IPE450 | HE180A |
| | 10 | IPE450 | HE220A |
| 20 | 5 | IPE500 | HE120A |
| | 6 | IPE500 | HE140A |
| | 8 | IPE500 | HE180A |
| | 10 | IPE500 | HE220A |
| 22 | 5 | IPE500 | HE120A |
| | 6 | IPE500 | HE140A |
| | 8 | IPE500 | HE180A |
| | 10 | IPE500 | HE220A |
| 24 | 5 | IPE550 | HE120A |
| | 6 | IPE550 | HE140A |
| | 8 | IPE550 | HE180A |
| | 10 | IPE550 | HE220A |

Tabel gaat uit van hart-op-hart maat 5 m en sneeuwbelasting 0,56 kN/m$^2$

## 5.4 Brandveiligheid

In de meeste Europese landen mogen éénlaagse bedrijfshallen zonder brandwering worden geconstrueerd mits ze voldoen aan bepaalde normen. Voorbeelden van deze normen zijn:

- Frankrijk: éénlaags gebouw met bouwhoogte minder dan 10 m.

- Duitsland, Spanje en Zwitserland: mits een sprinklerinstallatie aanwezig is geen overige maatregelen.
- Engeland en Nederland: Er zijn geen brandwerende voorzieningen voor éénlaagse gebouwen nodig tenzij de constructie een externe wand bevat waar het voorkomen van brandoverslag naar buren van toepassing is.
- Zweden: er zijn geen eisen ten aanzien van éénlaagse gebouwen tenzij het een openbare functie betreft voor meer dan 150 personen.

In de meeste Europese landen zijn er geen brandwerendheidseisen voor dakconstructies tenzij het instorten daarvan de stabiliteit van de wanden zou aantasten.

Voor grote bedrijfshallen kan brandcompartimentering een belangrijke rol spelen in het ontwerp, ook als er geen kantoorruimtes aanwezig zijn. Om het verspreiden van brand te voorkomen wordt de compartimentafmeting beperkt. In dit geval worden brandwerende scheidingswanden toegepast met 60 tot 90 minuten brandwerendheid. Dit is des te belangrijker als ontvlambare goederen in het gebouw worden opgeslagen.

Omdat een kantoor ontworpen wordt voor gebruik door meerdere mensen zijn de brandwerendheidseisen strenger. Als kantoorruimtes boven in het gebouw zijn geplaatst zijn aanvullende vluchtroutes nodig en moeten actieve brandbestrijdingsmaatregelen worden getroffen. Verspreiding van brand moet voorkomen worden tussen compartimenten onderling. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld een staalplaat-betonvloer tussen de kantoren en de bedrijfsruimte te plaatsen.

Het algemeen advies gegeven in paragraaf 4.4 voor kantoorgebouwen is ook voor bedrijfshallen van toepassing.

# REFERENTIES

1 Euro-build in staal: evaluatie van opdrachtgevers' eisen, duurzaamheid en toekomstige regulering ten aanzien van de volgende generaties staalconstructies, CEC 7210-PR/381