

Les 4 - Constructieve verbindingen

4.1 Algemeen

Verbindingen behoren tot de meest essentiële onderdelen in de prefabricatie. Hun rol bestaat erin om met afzonderlijke prefabelementen een samenhangende en robuuste constructie te maken die in staat is om alle aangrijpende krachten op te nemen, inclusief deze veroorzaakt door krimp, kruip, thermische vervormingen, brand, enzomeer. Om een goed ontwerp te kunnen maken moet men voldoende inzicht hebben in de grootte en de manier waarop de krachten, afkomstig van verticale en horizontale belastingen, doorheen de constructie verlopen. Men moet tevens begrijpen welke de interactie is tussen de verbindingen en de algehele constructie.

Prefabverbindingen moeten beantwoorden aan een aantal criteria die verband houden met het ontwerp en de uitvoering. Hun belangrijkste functie bestaat erin krachten over te dragen doorheen de verbinding waardoor de interactie tussen prefabelementen bekomen wordt. Deze interactie kan verschillende doeleinden hebben:

- de elementen verbinden met de oplegconstructie;
- de zorg voor de beoogde werking van subsystemen zoals schijfwerking van vloeren, dwarskrachtfunctie van wanden of kokers, enz;
- de krachten overbrengen vanuit hun aangrijpingspunt naar de stabiliteitscomponenten.

Andere aspecten kunnen aanleiding geven tot specifieke eisen, bijvoorbeeld met betrekking tot de duurzaamheid en het uitzicht van de verbindingen. De detaillering moet ook beantwoorden aan een reeks vereisten in verband met productie, transport en montage van de elementen.

Het ontwerpen van verbindingen is niet alleen een kwestie van een goede keuze van geschikte verbindingsmiddelen. De verbinding moet in haar geheel bekeken worden, met inbegrip van voegen, voegvullingen, voegranden en overgangzones in de prefabelementen. Deze zones zorgen voor de krachtoverdracht van de verbinding naar de constructie-elementen. Ze moeten gedetailleerd en bewapend worden om optredende krachten en mogelijke vervormingen te kunnen opnemen.

Voorbeelden van gestandaardiseerde verbindingen kunnen gevonden worden in specifieke handboeken of catalogussen van de prefabrikanten. Het ontwerp van constructieve verbindingen is evenwel niet alleen een kwestie van keuze van de ogenschijnlijk meest aangepaste oplossing uit de standaardlijst.

In deze les worden basisprincipes en ontwerpcriteria gegeven aangaande prefabverbindingen, met de bedoeling om aan de ontwerper meer inzicht te geven in de ontwerpfilosofie ervan.

Praktische voorbeelden van goede verbindingen worden gegeven in de Lessen 5 tot 8.

4.2 Ontwerpcriteria

Het ontwerp van constructieve verbindingen in prefabgebouwen moet rekening houden met een aantal criteria die betrekking hebben op hun constructief gedrag, dimensionele toleranties, brandweerstand, fabricatie, manipulatie en montage. De belangrijkste worden hierna beschreven.

4.2.1 Constructief gedrag

Sterkte

Verbindingen moeten kunnen weerstaan aan de krachten die erop aangrijpen gedurende hun ganse levensduur. Sommige van deze krachten worden veroorzaakt door eigengewicht en andere graviteitsbelastingen, wind, aardbevingen en grond- of waterdruk. Andere zijn afkomstig van blokkeringen van vervormingen van de elementen, of bijkomende krachten die optreden omwille van niet-voorzien scheefstand van dragende kolommen en wanden of omwille van onvoorziene excentriciteiten.

Bij het ontwerp van verbindingen moet tevens rekening gehouden worden met het optreden van toevallige belastingen. Er kunnen krachten in de verbindingen komen als direct gevolg van accidentele belastingen zoals explosies, aanrijdingen, enz. Wanneer deze toevallige belastingen grote schade aanrichten aan een gebouw, zal men trachten deze te overbruggen door een herverdeling van krachten en een alternatieve draagweg. De verbindingen moeten dergelijke transformaties mogelijk maken vermits zij een essentieel onderdeel vormen van de constructie. In dergelijke situaties moet het ontwerp niet alleen zorgen voor een goede krachtsoverdracht, maar ook voor voldoende vervormbaarheid en ductiliteit.

Invloed van volumeveranderingen

De gecombineerde effecten van krimp, kruip en temperatuurschommelingen kunnen trekkrachten veroorzaken in prefabelementen en hun verbindingen. Er bestaan in principe twee methodes om rekening te houden met volumewisselingen; enerzijds kan men de vervormingen ter plaatse van de verbindingen mogelijk maken, anderzijds kan men aan de verbindingen de nodige sterkte geven om deze te voorkomen. In het laatste geval moeten de verbindingen echter zeer belangrijke blokkeringskrachten kunnen opnemen. In de praktijk kan men ook een tussenoplossing kiezen. Wanneer een relatieve verplaatsing mogelijk is, bijvoorbeeld door de elastische vervorming van de constructie-elementen of de verbindingsdetails, zullen de blokkeringskrachten afnemen. Hetzelfde effect wordt bekomen door een gedeeltelijke bewegingsvrijheid. In deze context moet niet alleen gekeken worden naar de krachtsoverdrachtcapaciteit van de verbindingen, maar ook naar de mogelijke gevolgen van een gedeeltelijke verplaatsing van de krachten en de vervormbaarheid van de verbinding.

Vervormingen

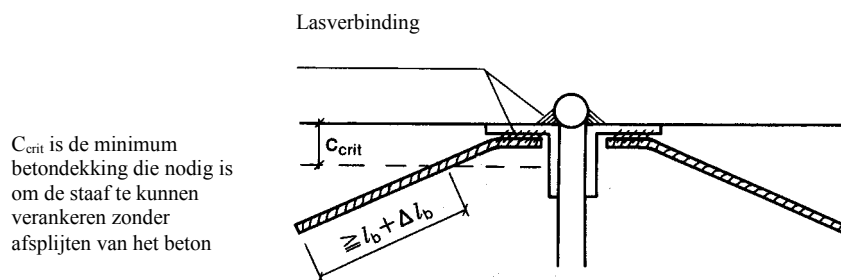
Verbindingen mogen geen belemmering vormen voor sommige vervormingen die inherent zijn aan prefabconstructies. Dit zijn gewoonlijk vervormingen van balken en vloeren te wijten aan voorspanning en nuttige belastingen. Een typisch voorbeeld hiervan is het geval van een verticaal gevelement dat verbonden is met een balk of vloerplaat op een zekere afstand van het steunpunt. Wanneer de verbinding de verticale beweging van de balk of vloer verhindert, kan er schade ontstaan in de verbinding zelf of in de aansluitende elementen. En zelfs als er geen schade optreedt, kunnen ongewenste krachten in de elementen ontstaan en schadelijke vervormingen veroorzaken. De oplossing bestaat erin de verbinding te voorzien van een glijoplegging, of ze als scharnier te ontwerpen.

Ductiliteit

Het is altijd aanbevolen om een verbinding zodanig te ontwerpen en te detailleren dat brose breuk bij overbelasting voorkomen wordt, bijvoorbeeld wanneer de optredende krachten onderschat werden. Een ductiel gedrag van een verbinding is wenselijk. Met ductiliteit wordt bedoeld de geschiktheid om plastische vervormingen te ondergaan zonder dat er substantieel verlies ontstaat van krachtsoverdrachtcapaciteit. Ductiliteit wordt dikwijls begroot door een ductiliteitsfactor, die de relatie geeft tussen de vervorming in de uiterste grenstoestand en de vervorming aan het einde van de elastische fase.

Ductiliteit moet niet verward worden met vervormbaarheid, noch met overdracht van buigende momenten. In geval van overbelasting zal een ductiele verbinding de vloeigrens bereiken en plastisch gaan vervormen. De plastische vervorming zal de blokkeringskrachten doen verminderen en een nieuw evenwichtsstadium scheppen. Als resultaat ontstaan grote vervormingen, maar de mogelijkheid om krachten over te dragen blijft aanwezig en brose breuk met schade in de aanpalende verbindingzones wordt voorkomen. De grote vervormingen geven bovendien een waarschuwing dat er iets fout gaat.

Om een ductiel gedrag van een verbinding te verzekeren moet het principe van het uitgebalanceerd ontwerp toegepast worden. Het principe wordt geïllustreerd in Figuur 4.1 aan de hand van een verbinding die hoofdzakelijk trekkrachten overbrengt. De verbinding bestaat uit verschillende onderdelen, die kunnen beschouwd worden als schakels van een krachtenketting. De verankeringsstaven zijn in feite de schakel met de grootste bijdrage tot de totale plastische vervorming van de verbinding. Het uitbalanceren van deze verbinding houdt in dat men er voor zorgt dat de volledige plastische vervorming van de verankeringsstaven bekomen wordt vooraleer de verbinding breekt. Voortijdige brose breuk in andere schakels moet voorkomen worden. Dit betekent dat alle verbindingsonderdelen, onder andere de verankeringsstaven in het element, de hoekijzers, de stalen staaf en de lassen derwijze ontworpen worden dat ze niet alleen de vloeicapaciteit maar ook de uiterste sterkte van de verankeringsstaven overtreffen.



Figuur 4.1 Principe van een uitgebalanceerd ontwerp

Duurzaamheid

De duurzaamheid van een verbinding hangt af van het risico op corrosie van het wapeningsstaal en het scheuren en afspringen van beton, waarbij vooral rekening moet gehouden worden met de werkelijke omgeving. Staal dat blootgesteld is aan een agressief milieu moet een permanente bescherming krijgen. Dit kan bijvoorbeeld door een laag epoxyverf of een roestwerende verf of bitumelaag aan te brengen, of nog door het onderdeel in te storten in mortel of beton. In veel gevallen kunnen verbindingen niet meer geïnspecteerd of onderhouden worden nadat het gebouw is afgewerkt. In dergelijke gevallen moet de verbinding een levensduur hebben die groter is dan deze van de constructie. Wanneer blootgesteld staal niet kan onderhouden worden moet roestvrij

staal gebruikt worden. Wanneer ongelijke metalen met elkaar in contact kunnen komen moet het risico van galvanische corrosie nagezien worden. Galvanische corrosie treedt op wanneer metalen van verschillende legeringen in elektrisch contact komen via een elektrolyt zoals water.

4.2.2 Maattoleranties

Maatafwijkingen zijn onvermijdelijk bij de bouw van een prefabconstructie en de fabricatie van de elementen. Er moet rekening mee gehouden worden tijdens het ontwerp van de verbindingen om ernstige problemen bij de montage te voorkomen. Een typisch voorbeeld betreft de opleglengte van prefabvloeren. Zowel de lengte van het vloerelement als de plaats van de steunconstructie zullen afwijken ten opzichte van de nominale ontwerpgegevens. De afwijkingen laten zich vooral voelen ter plaatse van de opleggingen. In dit geval moeten ze opgenomen worden door de grootte van de opleglengte en het gebruik van oplegmaterialen.

Een ander belangrijk principe in verband met maatafwijkingen en toleranties is dat alle bevestigingen, van welk type ook, in drie richtingen moeten kunnen aangepast worden om de elementen te kunnen uitlijnen en op het juiste niveau te plaatsen.

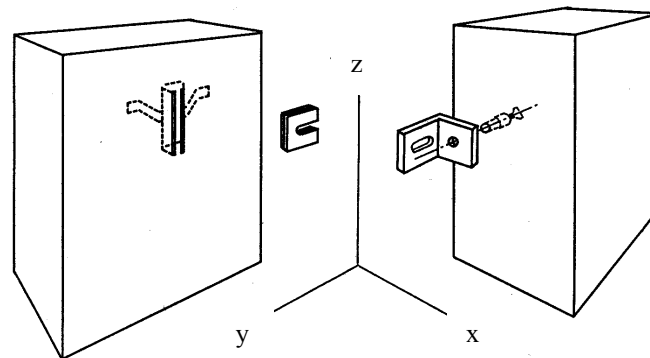


Fig. 4.2 Bevestigingen moeten regelbaar zijn in drie richtingen

In het voorbeeld van Figuur 4.2 wordt de regeling in de z-richting gedaan met een verticale ankerrail, in de x-richting met plaatjes tussen het hoekijzer en de ankerrail en in de y-richting door de ovale opening in het hoekijzer.

4.2.3 Brandweerstand

Twee aspecten moeten onderzocht worden bij het ontwerpen van verbindingen met het oog op mogelijke blootstelling aan brand. Enerzijds is er het effect van de brand op de sterkte van de verbinding en anderzijds moet brandoverslag doorheen de verbindingen voorkomen worden. Wanneer verbindingdetails rechtstreeks aan brand blootgesteld worden kan de krachtsoverdracht verminderen als gevolg van de hoge temperatuur. Daarom moeten verbindingdetails die een vitaal onderdeel vormen van een constructiesysteem op dezelfde manier beschermd worden als de andere constructie-elementen. Deze bescherming kan bekomen worden door het omhullen van de verbinding met beton, of door het gebruik van brandbeschermende materialen. Stalen bevestigingsonderdelen die gedeeltelijk met beton omhuld zijn zullen trager opwarmen dan niet ingestort staal omwille van de thermische geleidbaarheid van het omringende beton.

Heel wat verbindingen in prefabbeton worden niet aangetast door brand en vereisen derhalve ook geen speciale behandeling. Zo moeten bijvoorbeeld normaal geen speciale voorzorgsmaatregelen

getroffen worden bij opleggingen tussen vloerplaten op balken of balken op kolommen. Wanneer deze uit elastomerische materialen of zelfs brandbare materialen bestaan, zal de brand slechts een klein gedeelte van het oplegmateriaal aantasten, en bovendien zal een mogelijke gehele aantasting nooit aanleiding geven tot grote vervormingen of instorting.

In geval van brand vervullen wanden en vloeren een belangrijke afschermdende functie op gebied van thermische isolatie en vlamdoorslag. Verbindingen tussen wanden en vloeren onderling moeten dus ontworpen worden om doorgang van vlammen of hete gassen te verhinderen.

4.3 Basisprincipes in verband met de overdracht van krachten

Constructieve verbindingen bestaan gewoonlijk uit een aantal onderdelen die voor de overdracht van krachten doorheen de volledige verbinding zorgen: voegvullingen, kettingwapeningen en andere verbindingsstukken, verankeringsstaven plus de aanpalende delen van de beschouwde geprefabriceerde elementen. In dit hoofdstuk worden de principes uitgelegd waarop de overdracht van krachten tussen individuele elementen of in de verbinding zelf, gebaseerd zijn.

4.3.1 Insluiting

Een verbinding kan gerealiseerd worden door een component in een andere te schuiven en de overblijvende ruimte te vullen met beton of zelfs met lijm. De laatste oplossing wordt niet zo dikwijls gebruikt in prefabbeton. Een klassiek voorbeeld van insluiting is de verbinding tussen een geprefabriceerde kolom en een putfundering. Een ander voorbeeld is de insluiting van een massief stalen profiel, die gebruikt wordt als verborgen console, in een kolom. Hierbij wordt de ruimte tussen de opening en het profiel normaal gevuld met epoxylijm.

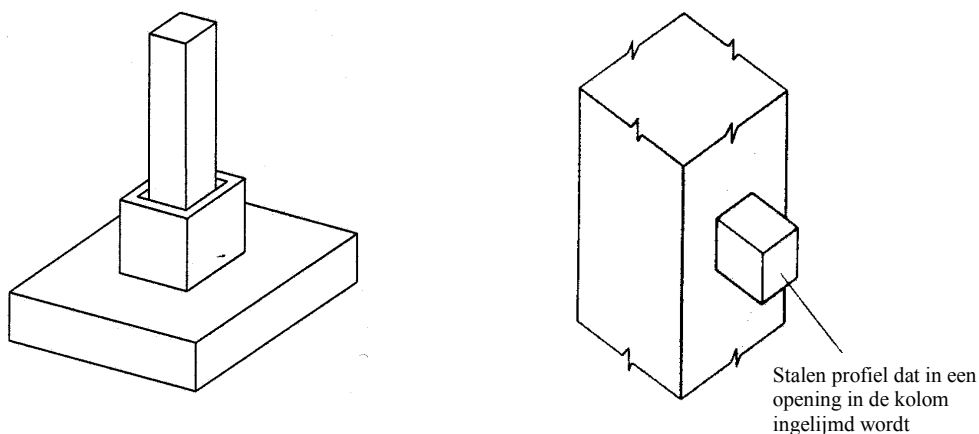


Fig. 4.3 Voorbeeld van verbindingen door insluiting

4.3.2 Overlapping van wapeningen

Twee of meer naburige stalen staven kunnen in langsrichting met elkaar verbonden worden door ze in te storten in een betonnen prisma voorzien van beugelwapeningen. De krachtsoverdracht van de ene staaf naar de andere is verzekerd wanneer de overlappingslengte voldoende groot is en de tussenafstand tussen de staven niet groter is dan een gegeven waarde (zie NBN B15-002).

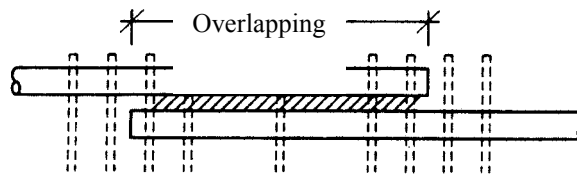


Fig. 4.4 Overlappingsprincipe

Verankering door overlapping van wapeningen wordt veel gebruikt om prefabelementen met elkaar te verbinden. De elementen zijn voorzien van wachtstaven die na montage omhuld worden met ter plaatse gestort beton. De uiteinden van de staven worden verankerd in het beton door middel van haken, gebogen uiteinden, ankerbouten of dergelijke.

Wanneer de nodige overlappingslengte niet aanwezig is kan de krachtsoverdracht tussen wapeningsstaven toch nog gerealiseerd worden met behulp van een dwarsstaaf doorheen wapeningen in de vorm van haarspelden. De krachtsoverdracht is dan gebaseerd op een combinatie van overlapping en deuvelwerking.

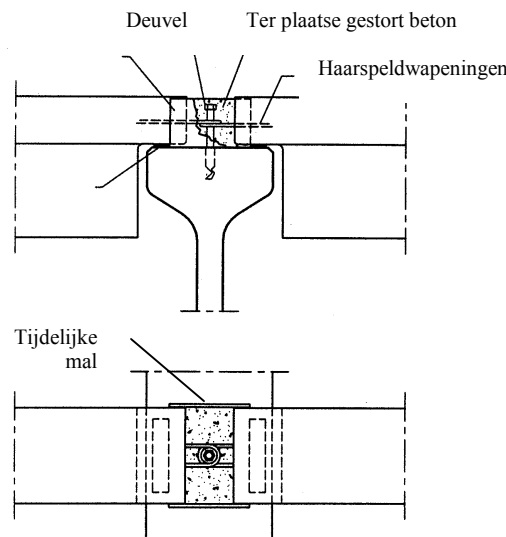


Fig. 4.5 Verbinding met dwarse deuvel doorheen de haarspeldwapeningen

4.3.3 Deuvelwerking

Bij prefabbalken en kolommen wordt de overdracht van horizontale krachten dikwijls gerealiseerd door middel van deuvelwerking. Het principe van de verbinding wordt geïllustreerd in Figuur 4.6.

De deuvel wordt belast door de schuifkrachten in het tussenvlak van de verbinding en gesteund door het omringende beton. De belasting geeft aanleiding tot buigvervormingen in de deuvel en drukspanningen in het omringende beton. In de uiterste grenstoestand zal het beton plaatselijk verbrijzelen en zal een plastische scharnier ontstaan. De schuifkracht hangt voornamelijk af van de afmetingen van de deuvel en de betonsterkte. De capaciteit vermindert aanzienlijk wanneer de afstand tussen de te verbinden elementen te groot wordt. Een dergelijke excentrische belasting moet zoveel mogelijk vermeden worden. Normaal moeten spleetwapeningen voorzien worden rond de deuvel, waarbij de grootte afhankelijk is van de afmetingen van het betonelement en de afstand tot de randen. Wanneer de deuvel verankerd is door kleef of met een eindverankering

(bijvoorbeeld met een plaatje en een bout - Figuur 4.6 a), zal een combinatie van deuveldrukking en wrijving in het tussenvlak optreden.

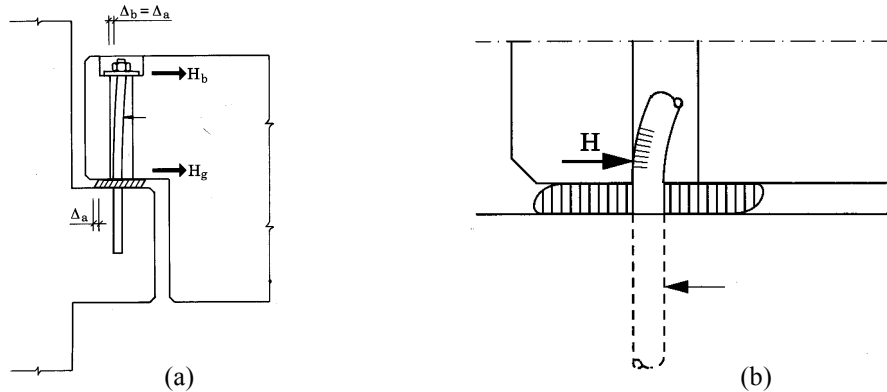


Fig. 4.6 Principe van de krachtsoverdracht door deuveldrukking

Deuvelwerkking wordt gebruikt voor pen-en-gatverbindingen. De deuvel draagt alleen trekkrachten over zonder dat er buigende momenten ontstaan in de verbinding.

4.3.4 Aanhechting

Verbindingen die alleen op aanhechting werken worden in principe niet toegelaten voor constructieve verbindingen. Er bestaan enkele uitzonderingen op deze regel wanneer de contactspanningen zeer klein zijn, bijvoorbeeld bij de composietwerking tussen prefabvloeren en ter plaatse gestorte druklagen. De grootte van de kleef- en schuifspanningen in de contactzone wordt beïnvloed door de zuiverheid van het contactoppervlak bij het betonneren van de druklaag, de ruwheid ervan en de betonsterkte.

Testen hebben aangetoond dat de behandeling van de oppervlakte van de prefabelementen al even belangrijk is als de ruwheidsgraad ervan [1]. Factoren zoals zuiverheid en vochtigheid van de oppervlakte samen met de betonsamenstelling, het verdichten en de curing van de druklaag, hebben een grote invloed op de schuifsterkte in de contactlaag. Het is inderdaad mogelijk om met een optimale combinatie van bovengenoemde factoren een contactsterkte te krijgen bij extrusie- of glijvormoppervlakten die minstens even groot of zelfs groter is dan deze van een ruw gemaakte oppervlakte, waar minder aandacht besteed wordt aan de zuiverheid van de oppervlakte, water op de oppervlakte, enz.

4.3.5 Wrijving in combinatie met insluiting

Het principe van de krachtsoverdracht door wrijving wordt onder andere toegepast in opgebetonneerde langse voegen tussen vloeren of wandelementen, ook wanneer deze gescheurd zijn. Dit veronderstelt evenwel dat er zijdelingse drukspanningen aanwezig zijn in de contactzone om de wrijfkraften te activeren (Figuur 4.7 a). Zonder deze laatste wordt wrijving in principe niet toegestaan voor constructieve verbindingen. Een mogelijke oplossing om drukspanningen te krijgen in de contactzone geschiedt door wapeningsstaven doorheen de verbinding te plaatsen. Wanneer deze gaan vervormen door schuifbelastingen, zal door tegenreactie, druk in de verbinding ontstaan (Figuur 4.7 b). Door de ruwheid van de contactoppervlakten zullen deze lichtjes uit elkaar gaan wanneer de verbinding op afschuiving wordt belast. Deze verwijding veroorzaakt op haar

beurt trekspanningen in de wachtstaven en deze spanningen worden in evenwicht gehouden door drukspanningen in de contactoppervlakte. De aldus geïnduceerde drukspanningen maken de overdracht van schuifkrachten door wrijving mogelijk. Men noemt dit het schuif-wrijvingsmechanisme (Figuur 4.7 c). De schuifsterkte vergroot naargelang de dwarswapening en de wrijvingscoëfficiënt toenemen. Een permanente drukkracht kan bekomen worden door een verticale belasting op de contactzone, of ook nog door voorspanning.

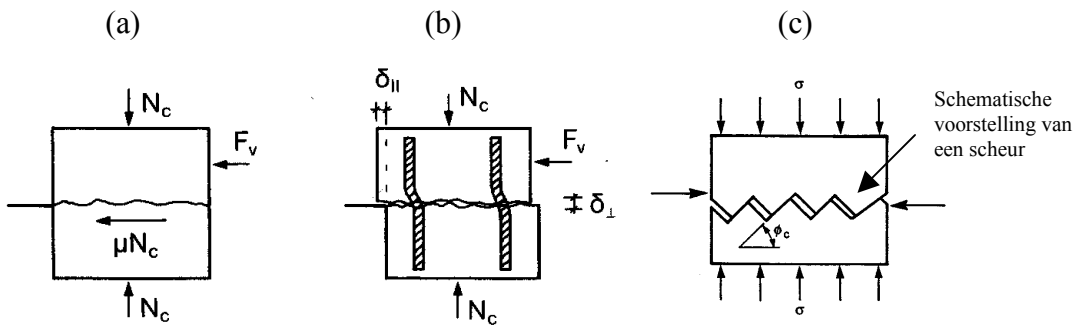


Fig. 4.7 Overdracht van schuifspanningen door wrijving

4.3.6 Mechanische grendels

Schuifkrachten kunnen overgedragen worden doorheen vertande voegen (Figuur 4.8.a). De tanden werken als mechanische grendels en beletten elke verplaatsing van de voegranden. Om effectief te kunnen werken moet er voor gezorgd worden dat de verbindingen door de schuifbelasting niet kunnen opengaan. Dit wordt gewoonlijk bekomen door middel van kettingwapeningen boven en onderaan de voeg (Figuur 4.8.b). Een andere oplossing bestaat erin dwarse wapeningsspelden over de ganze lengte van de voeg te plaatsen (Figuur 4.8.c).

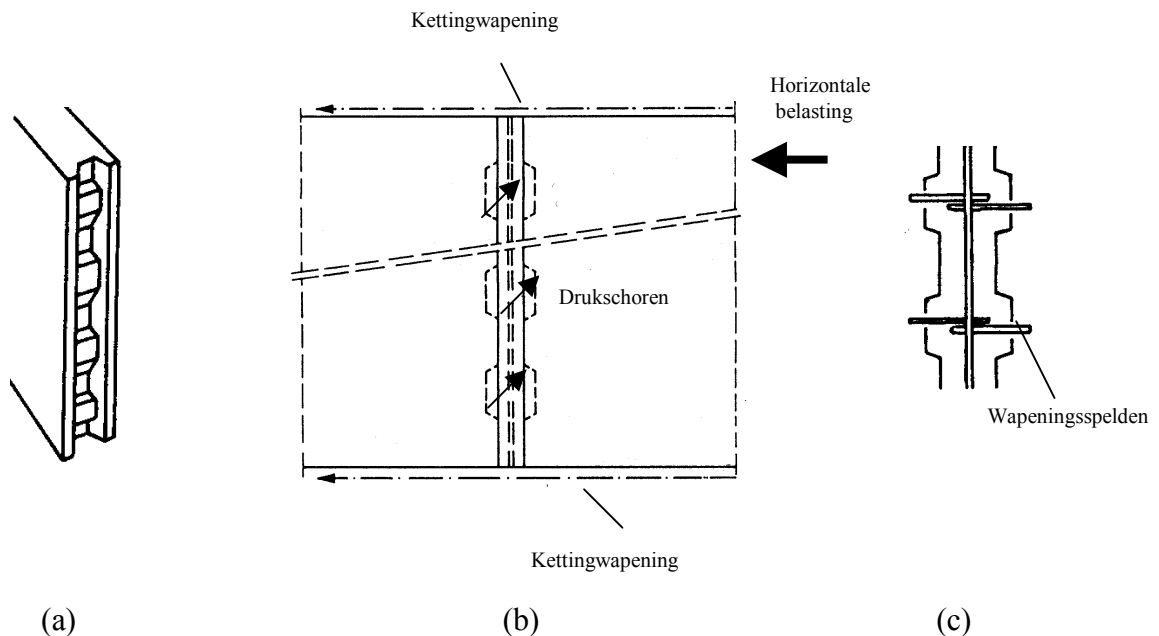


Fig. 4.8 Krachtsoverdracht doorheen vertande voegen

4.3.7 Schranken van voegen

Schuifkrachten kunnen ook overgedragen worden door het schranken van verticale voegen bij wanden (Figuur 4.8). Anders dan bij vertande voegen waar de schuifkrachten worden overgedragen door drukschoren, worden deze bij geschrante voegen rechtstreeks overgedragen van het ene element op het andere.

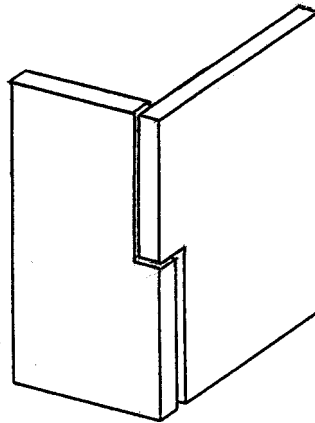


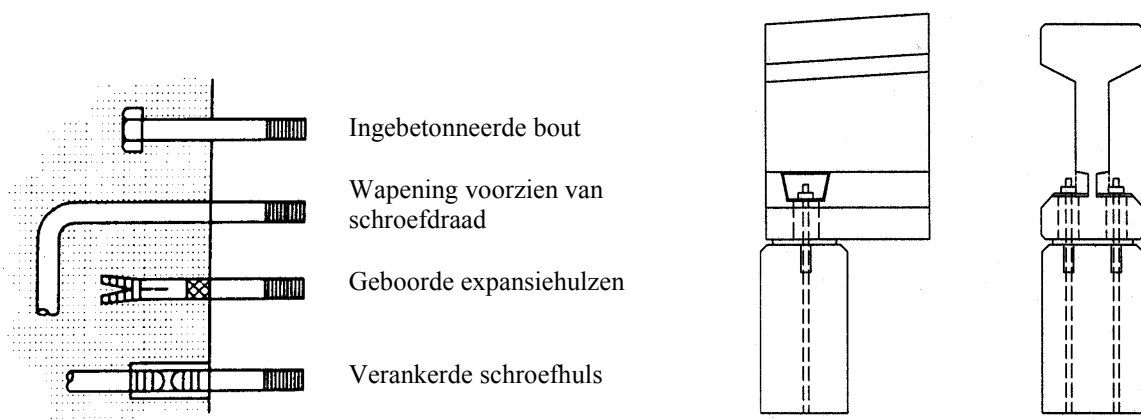
Fig. 4.9 Overdracht van schuifkrachten via geschrante voegen

4.3.8 Schroefverbindingen

Geschroefde verbindingen worden gebruikt om trek- en schuifkrachten over te brengen. Er bestaan verschillende mogelijkheden om geschroefde verbindingen te realiseren (Figuur 4.10):

- direct ingestorte uit het beton stekende draadeinden;
- ingestorte ankerrails met of zonder verankering, naargelang de grootte van de op te nemen belasting;
- ingestorte schroefhulzen;
- auto-expansieve schroefhulzen die achteraf in het beton ingeboord worden.

De maattoleranties worden opgenomen door het overdimensioneren van de openingen in de te verbinden elementen.



Voorbeelden van schroefverankeringen

Voorbeeld van een geschroefde verbinding

Fig. 4.10 Geschroefde verbindingen

4.3.9 Staven verankerd in gaines

Wachtstaven kunnen in een betonelement verankerd worden door middel van gaines die nadien met mortelspecie gevuld worden, hetzij door opgieten of door injecteren. Een typisch voorbeeld is de kolomverbinding met stekeinden.

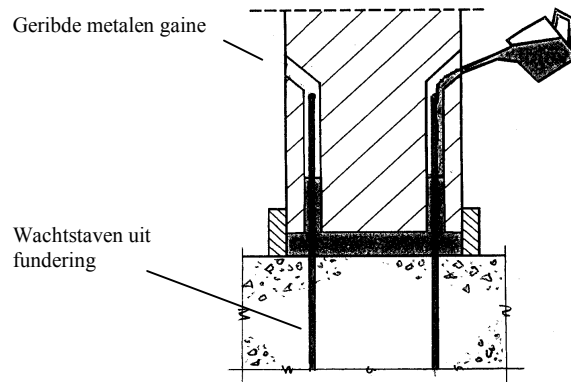


Fig. 4.11 Verankering van staven in metalen gaines door middel van mortelspecie

4.3.10 Lassen

Lassen kan gebruikt worden om stalen delen met elkaar te verbinden, bijvoorbeeld wachtstaven die elkaar overlappen (Figuur 4.12.a). Als alternatieve oplossing kan een metalen tussenstuk gebruikt worden dat dient als verbinding tussen de betonnen elementen. Het tussenstuk kan gelast worden aan uitstekende metalen onderdelen (Figuur 4.12.b) of aan ankerplaten of hoekijzers die in de oppervlakte van het element ingebetonned zijn (Figuur 4.12.c). De ankerplaten worden bevestigd in de betonelementen door middel van opgelaste betonijzers of deuvels die werken op kleef of via eindverankeringen gebaseerd op de hiervoor vermelde principes.

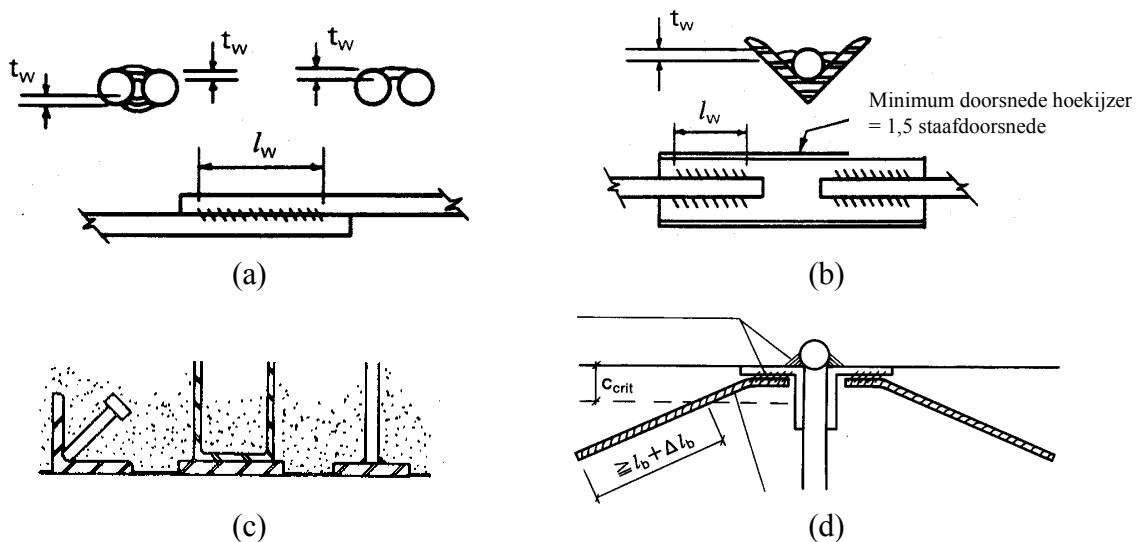


Fig. 4.12 Gelaste verbindingen

4.3.11 Naspanning

Naspanning wordt gebruikt in segmentbouw en soms in wanden van hoge gebouwen. De kabelgaines worden in de elementen aangebracht en na montage worden de kabels - meestal naspanstrengen - in de gaines geplaatst en aangespannen. De voegen tussen de elementen moeten in staat zijn om trek- en schuifkrachten op te nemen.

4.4 Soorten constructieve verbindingen

4.4.1 Verbindingen die drukkrachten overbrengen

Drukkrachten kunnen doorheen aanpalende elementen overgedragen worden via direct contact, mortelvoegen of andere oplegmateriaal.

Bij drukverbindingen bestaat het risico dat door oneffen contactoppervlakken piekspanningen ontstaan in de contactzones, excentriciteiten in de aangrijpingspunten van de krachten en torsie-effecten (Figuur 4.13).

Direct contact tussen de elementen zonder oplegmateriaal mag enkel gebruikt worden wanneer een grote nauwkeurigheid kan bekomen worden tijdens de fabricatie, en wanneer de drukspanningen klein zijn ($\leq 0,3 f_{cd}$ volgens Eurocode 2, EN 1992-1-1 [2]).

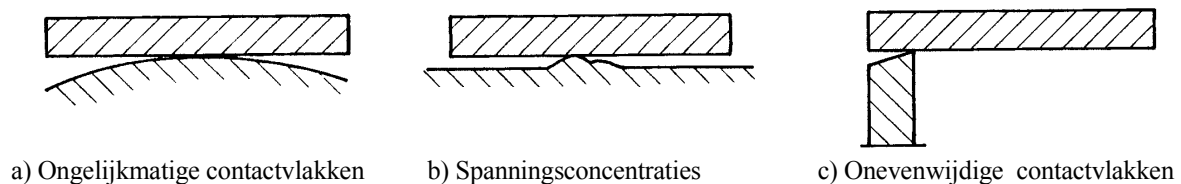


Fig.4.13 Voorbeelden van ongelijkmatige contactvlakken bij opleggingen

De onregelmatigheden in de voegvlakken kunnen weggewerkt worden met mortel of fijn beton. Deze methode wordt dikwijls gebruikt in voegen tussen dragende elementen, zoals kolommen en wanden en soms tussen vloeren en draagbalken, maar zelden onder balken. De normale voegdikte bedraagt 10 tot 30 mm voor mortel en 30 tot 50 mm voor fijn beton.

Elastische oplegmateriaal zoals neopreen absorberen de onregelmatigheden van de oppervlakte en verdelen de contactspanningen. Ze worden dikwijls gebruikt bij vloer- en balkopleggingen. De dikte van de lagen varieert normaal van 2 tot 10 mm. De grotere diktes worden gebruikt om langse vervormingen en rotaties mogelijk te maken en aldus spanningsconcentraties te vermijden ter plaatse van de verbindingen. Neopreen kan tot 45° vervormen. Wanneer de benodigde dikte echter te groot wordt (meer dan 10 mm), of bij belastingen boven $0,7 \text{ N/mm}^2$, zal men de neopreenopleg samenstellen uit verschillende lagen neopreen met daartussen dunne platen in roestvrij staal. Men noemt dit gefretteerde opleggingen. Dergelijke opleggingen zijn in de handel verkrijgbaar en worden bijvoorbeeld gebruikt bij brugliggers.

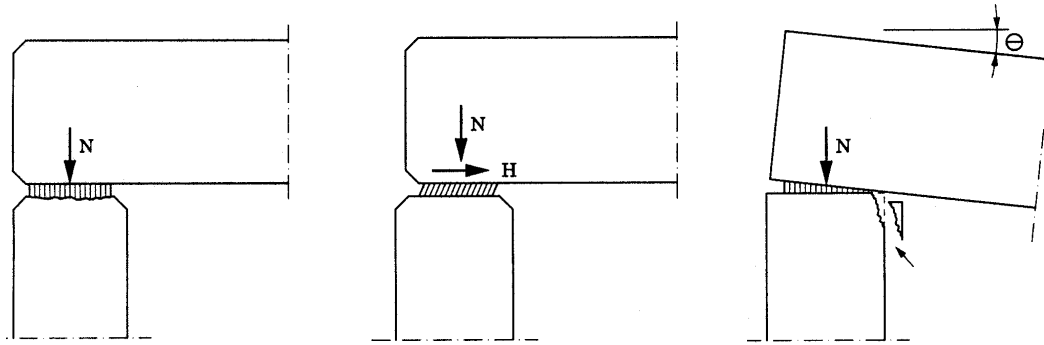


Fig.4.14 Belastingomstandigheden bij elastomerische opleggingen

Het oplegmateriaal moet op een bepaalde afstand van de rand van de oplegconstructie geplaatst worden om afsplijten van het beton te vermijden. Bovendien moet de balk of vloer kunnen doorbuigen zonder dat er direct contact ontstaat tussen het opgelegde element en de oplegrand.

Harde oplegmateriaal worden gebruikt bij grote belastingen of voor gelaste verbindingen tussen het opgelegde element en de steunconstructie.

Drukverbindingen kunnen aanleiding geven tot belangrijke trekspanningen in de aanpalende elementen. Een klassiek voorbeeld is de verbinding tussen twee boven elkaar geplaatste kolommen. Wanneer de elasticiteitsmodulus van het voegmateriaal ten minste gelijk is aan 70 % van de elementen (men noemt dit een harde oplegging), zullen dwarsspanningen ontstaan in de aanpalende elementen op een kleine afstand van de oplegging (Figuur 4.13.a). Wanneer de elasticiteitsmodulus van het oplegmateriaal echter veel kleiner is dan deze van de te verbinden elementen (zachte oplegging), zullen slijtspanningen ontstaan aan de uiteinden van de elementen, te wijten aan de dwarse vervorming van het oplegmateriaal (Figuur 4.13.b). De dwarsspanningen in de voeg moeten opgenomen worden door aangepaste wapeningen in de eindzones van de aanpalende elementen.

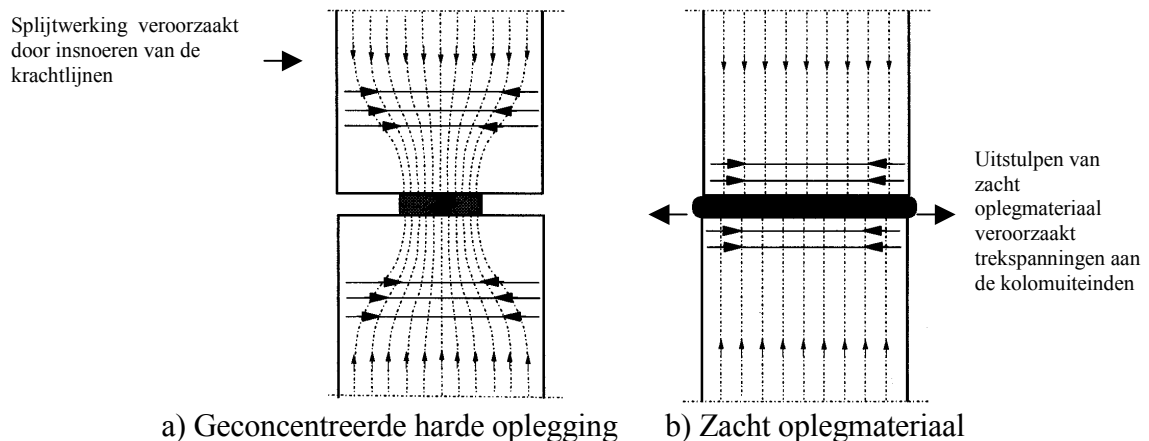


Fig. 4.15 Dwarse trekspanningen bij drukverbindingen

Mortelvoegen en voegvullingen met fijn beton tussen wanden of kolommen worden beschouwd als harde opleggingen. In principe moet de draagkracht van dergelijke verbindingen bepaald worden door de sterkte van de aanpalende elementen en niet door deze van het voegmateriaal. Volgens een

Duitse studie naar de draagkracht van voegen tussen prefabkolommen [3] is dit het geval wanneer de volgende voorwaarden vervuld zijn:

$$r_c \geq 0,5$$

$$r_{th} \leq 0,7$$

waarbij:

r_c = de verhouding tussend de druksterkte van het voegmateriaal en de kleinste druksterkte van de beide aanpalende betonelementen; de druksterkte wordt bepaald op kubussen of cilindres volgens Eurocode 2;

r_{th} = de verhouding tussen de dikte h_v en de breedte b_v van de voeg; algemeen wordt aangenomen dat deze voorwaarde altijd vervuld is bij opgesloten voegen; dit zijn voegen waarbij geen zijdelingse vervorming van het voegmateriaal mogelijk is omdat ze ingesloten zitten tussen ander constructief beton, bijvoorbeeld een druklaag.

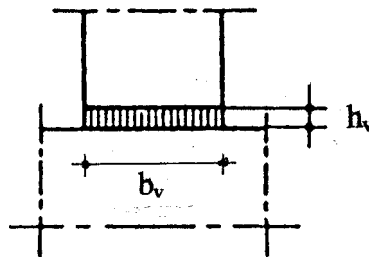


Fig. 4.16 Afmetingen van mortel- of betonvoegen

4.4.2 Verbindingen die trekkrachten overbrengen

Trekkrachten tussen betonelementen worden normaal overgedragen door verschillende soorten stalen verbindingen: overlapping van wachtstaven, deувелwerking, schroeven, lassen, mechanische verbindingen, enz.

De grootte van de trekkracht doorheen de verbinding hangt af van de sterkte en doorsnede van de stalen onderdelen en/of de capaciteit van de verankeringscapaciteit ervan. Deze laatste kan bekomen worden door kleef langsheen de verankeringsstaven of door middel van verscheidene types eindverankeringen.

Verankering door overlapping wordt dikwijls gebruikt om prefabelementen te verbinden. De wachtstaven uit de elementen worden na montage verankerd in ter plaatse gestort beton (Figuur 4.17). Eindverankeringen gebeuren met verankeringskoppen, gebogen staven, haken of gelijksoortige details. De krachtoverdracht wordt verwezenlijkt door overlapping met de wapeningen in de elementen, eventueel in combinatie met deувелwerking (Figuur 4.18), of nog andere middelen.

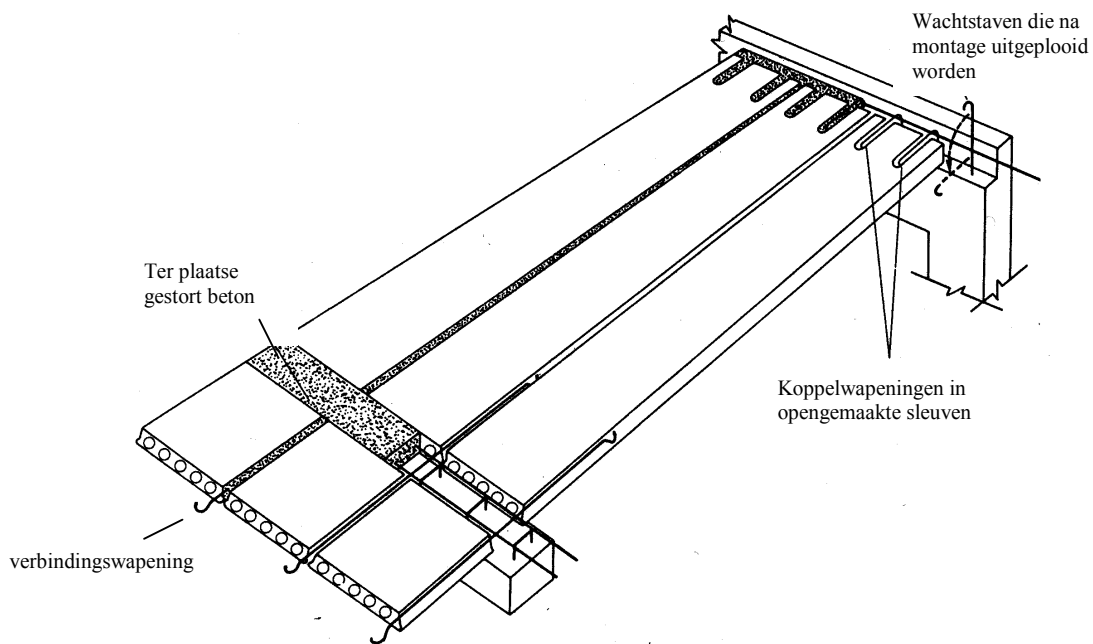


Fig. 4.17 Trekverbindingen met wachtstaven en andere wapeningen

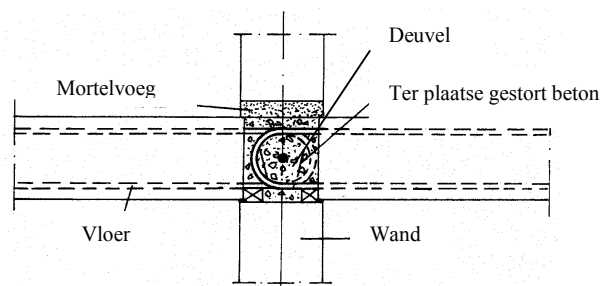
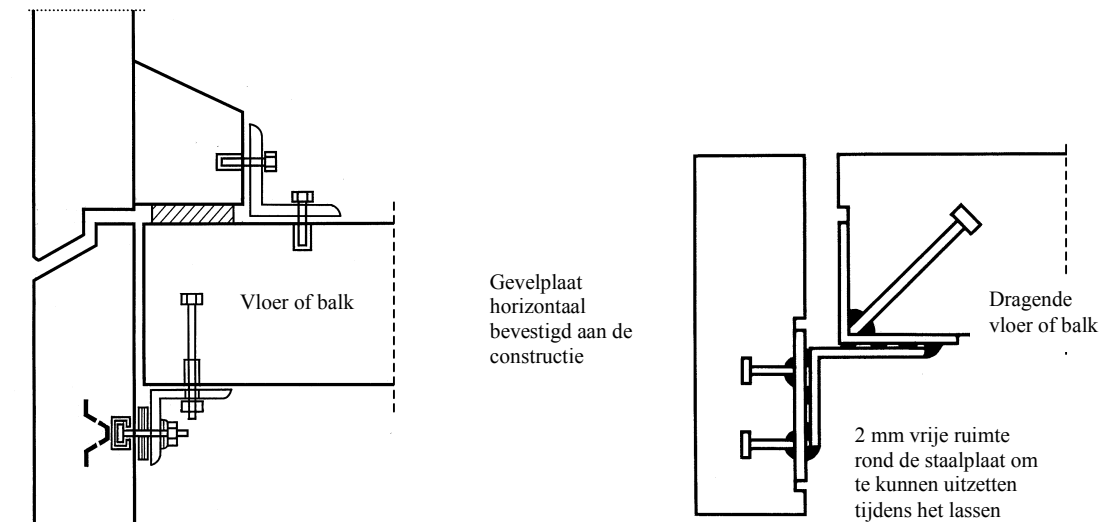


Fig.4.18 Trekverbinding door overlapping in combinatie met deuvelwerking

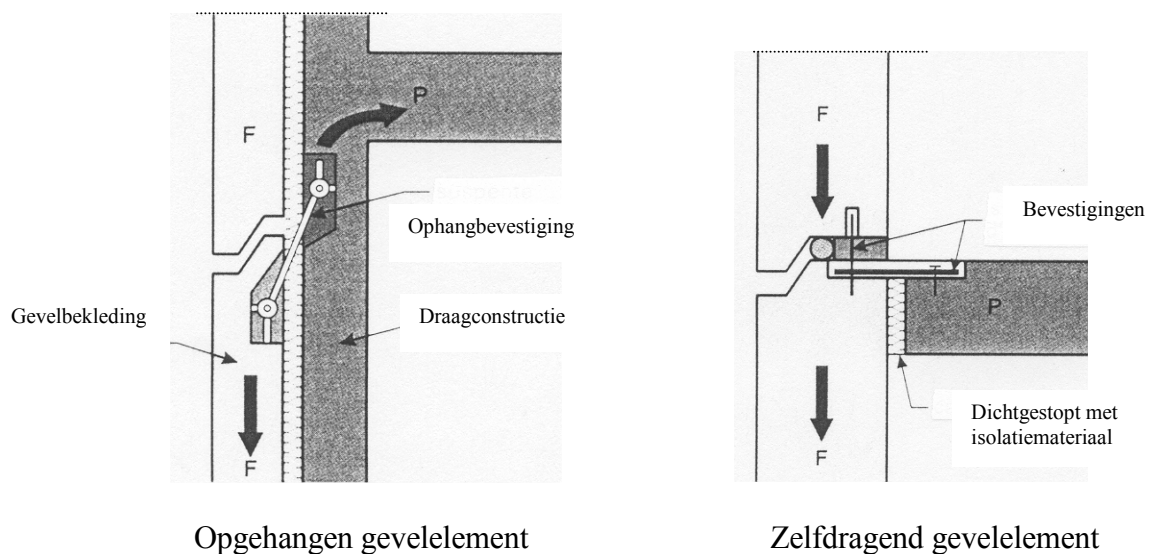
Figuur 4.19 geeft een voorbeeld van een gevelelement dat met een vloer verbonden wordt door een geschroefde verbinding. De nodige toleranties worden bekomen door het gebruik van ankerrails, ovale openingen in de hoekijzers en regelplaatjes tussen de te verbinden elementen.

Figuur 4.20 geeft een zelfde voorbeeld als Figuur 4.19, maar met een lasverbinding. Een stalen hoekijzer wordt gelast aan een verankeringsplaat in het gevelelement en een hoekijzer dat verankerd zit in de balk of de vloer. Het wordt aanbevolen om een kleine ruimte te laten rond de ingestorte staalplaat om afspringen van beton te vermijden door de thermische uitzetting van de plaat bij het lassen.



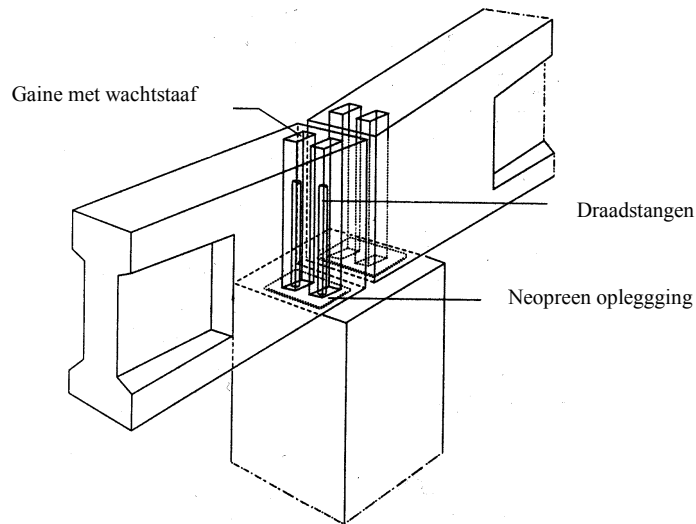
Figuur 4.19 Geschroefde trek- en drukverbinding Fig.4.20 Gelaste trek- en drukverbinding

Prefabgevelelementen worden dikwijls bevestigd aan de constructie door middel van ophangbevestigingen. Ze moeten het eigengewicht van het gevelement naar de constructie overdragen en weerstaan aan de positieve en negatieve windkrachten.



Figuur 4.21 Voorbeelden van bevestigingen van gevelpanelen

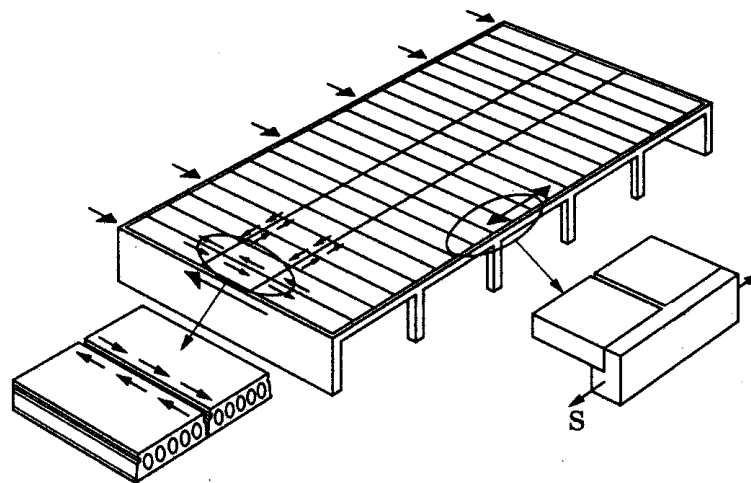
Prefabbalken worden normaal isostatisch opgelegd. De verbinding tussen de balken en de steunconstructie moet in de horizontale richting enkel trek- en drukkrachten overdragen te wijten aan windbelasting, thermische vervormingen, zijdelingse krachten veroorzaakt door rolbruggen, enz. Verbindingen met wachtstaven in gaines zijn hiervoor zeer geschikt (Figuur 4.22). De productie is eenvoudig en de montage verloopt gemakkelijk. De horizontale krachten worden overgedragen door de deugelwerking van de stalen staaf, wanneer de verticale opening in de balk met beton is opgevuld. Wanneer de voeg echter een bepaalde langse vervorming van de balk moet kunnen opnemen, kan de verticale opening gevuld worden met bijvoorbeeld bitume of polyurethaanschuim.



Figuur 4.22 Illustratie van een pen en gatverbinding

4.4.3 Verbindingen die schuifkrachten overdragen

Schuifkrachten tussen aansluitende betonelementen kunnen overgedragen worden door kleef, wrijving in de voegranden, insluiting door vertanding, deuwelwerking van dwarswapening of dwarse staven, of speciale mechanische verbindingen. Voorbeelden van verbindingen die schuifkrachten opnemen worden gegeven in de Figuren 4.23 tot 4.25.



Figuur 4.23 Overdracht van schuifkrachten door wrijving in langse voegen

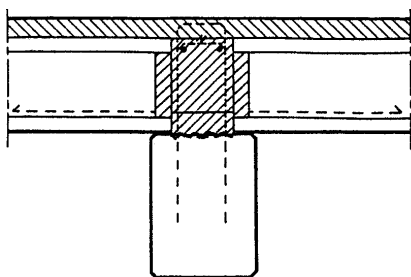


Fig. 4.24 Horizontale schuifkrachten opgenomen door beugels en wrijving

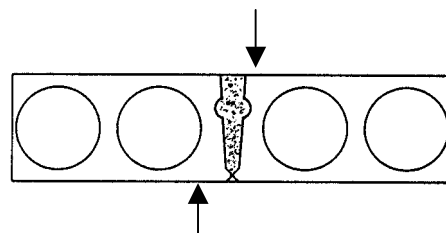


Fig. 4.25 Verticale schuifkrachten opgenomen door voegvertanding

4.4.4 Verbindingen die buigmomenten en torsie overdragen

Buigmomenten worden meestal in een verbinding opgenomen met een koppel van druk- en trekkrachten. Deze zijn in principe gebaseerd op de doorkoppeling van wapeningen tussen elementen door middel van overlapping, schroefverbindingen of lassen. Figuur 4.23 toont enkele voorbeelden van momentvaste verbindingen.

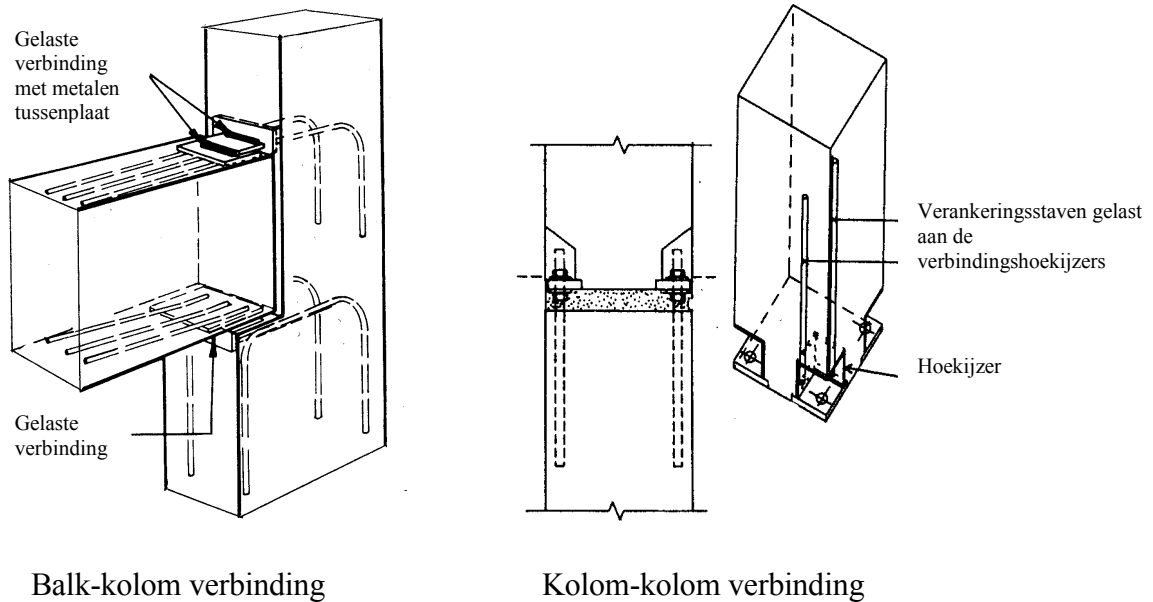


Fig.4.26 Voorbeelden van verbindingen die buigmomenten overdragen

Torsie-momenten treden vaak op bijrandvelden van vloeren. De resulterende torsie in de balk moet opgenomen worden door de oplegging van de balk en omgezet in een buigmoment in het ondersteunend element. Net zoals bij de overdracht van buiging, kan de torsie opgenomen worden door een krachtenkoppel (Figuur 4.27).

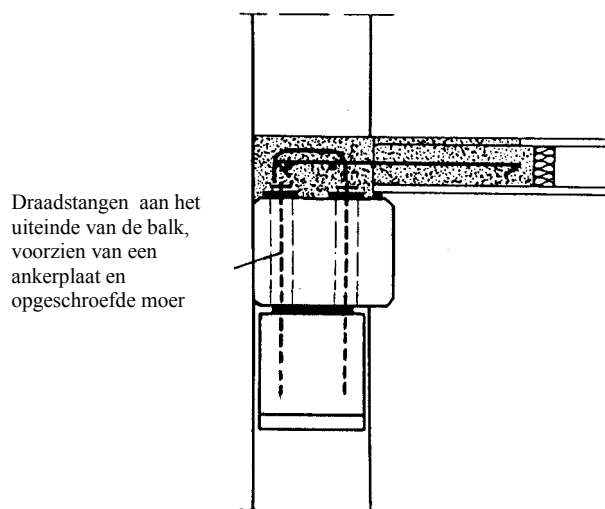


Fig. 4.24 Voorbeeld van een torsieverbinding

4.5. Andere ontwerpcriteria

Een van de meest belangrijke principes bij het ontwerp van verbindingen is eenvoud van uitvoering. Om een maximale economie te bekomen bij geprefabriceerde constructies moeten de verbindingdetails zo eenvoudig mogelijk en gemakkelijk te monteren zijn. Complexe verbindingen zijn niet alleen moeilijker te ontwerpen, te produceren en te controleren, maar resulteren vaak in slechte resultaten op de bouwplaats. Hierdoor kan de montage vertraagd worden en bestaat de kans dat ze minder goed zullen functioneren.

4.5.1 Productie

Hieronder volgt een lijst van punten die tijdens het ontwerp in acht moeten genomen worden om de productie te vergemakkelijken. In heel wat gevallen zal echter een compromis moeten gevonden worden voor sommige van de punten om de bedoelde functie van de verbinding te bekomen.

Vermijd opeenhopingen

Ter plaatse van een verbinding moeten dikwijls een groot aantal bijgevoegde wapeningen, ingestorte staalplaten, hulpstukken, openingen en dergelijke, in het element voorzien worden. Het ontwerp moet er voor zorgen dat er nog genoeg ruimte overblijft om het beton correct te kunnen plaatsen en verdichten tussen de verschillende details. Wanneer gevaar bestaat voor oververzadiging, is het soms nodig om tekenigen van de beschouwde zone op grote schaal te maken.

Vermijd het doorboren van mallen

Wachtstaven of andere uitstekende details die doorheen de mal moeten gaan, zijn moeilijk en duur. Men moet deze details zoveel mogelijk aan de bovenzijde van de mal voorzien, of anders in twee fasen werken met behulp van ingestorte voorzieningen.

Minimaliseer het aantal in te storten stukken

Onderdelen die in de elementen moeten ingestort worden, zoals hulpstukken, staalplaten, enzomeer, vereisen heel wat tijd om ze goed te positioneren en zorgvuldig te bevestigen in de mal. Dergelijke onderdelen moeten tot een minimum beperkt worden.

Gebruik gestandaardiseerde hulpstukken

In te storten hulpstukken zoals staalplaten, schroefhulzen, ankerrails enz., moeten bij voorkeur gestandaardiseerd zijn en gemakkelijk te bekomen op de markt, bij voorkeur bij meerdere fabrikanten. Speciaal vervaardigde onderdelen voor een project, of zeer gespecialiseerde hulpstukken verhogen de kostprijs en kunnen het werk vertragen.

Gebruik seriedetails

Gebruik zoveel mogelijk dezelfde details. Gelijksoortige details moeten identisch zijn, zelfs als hierdoor sommige ervan overgedimensioneerd worden. Zodra een arbeider een detail goed kent, zal hij dit gemakkelijker maken en plaatsen, dan wanneer hij telkens met een nieuwe oplossing geconfronteerd wordt.

Laat de mogelijkheid voor alternatieve oplossingen open

Prefabricanten van betonnen elementen verkiezen dikwijls bepaalde details boven andere. Zij moeten de mogelijkheid krijgen om alternatieve methoden of materialen te gebruiken op voorwaarde dat aan dezelfde ontwerpvereisten voldaan wordt. Het toelaten van alternatieve oplossingen heeft meestal een positieve invloed op de kostprijs en de performantie van de verbinding.

Gebruik details die vergissingen bij gebruik voorkomen

Als algemene regel geldt dat verbindingshulpstukken zodanig moeten ontworpen worden dat vergissingen bij gebruik onmogelijk zijn. Een goed voorbeeld hiervan is een ingestorte staalplaat met opgelaste verankeringen, waarbij men de verankeringen symmetrisch maakt. De hulpstukken moeten bovendien gemakkelijk te plaatsen zijn in de mal, goed oriënteerbaar en zonder de mogelijkheid om fouten te maken.

4.5.2 Stockeren en transporteren van de elementen

Er moet rekening gehouden worden met mogelijke moeilijkheden die door de vorm en afmetingen van hulpstukken en wachtstaven kunnen veroorzaakt worden bij het stockeren of tijdens het transport van de elementen. Ze kunnen ook beletten dat de vrachtwagen op een efficiënte manier geladen wordt. Wachtstaven kunnen soms vervangen worden door schroefhulzen en draadeinden die nadien op de bouwplaats ingeschroefd worden.

4.5.3 Monteren van de elementen

Een van de voordelen van geprefabriceerde constructies is de vlugge montage. Om hiervan maximaal te kunnen profiteren en de kosten binnen bepaalde grenzen te houden, moeten verbindingen die op de bouwplaats gerealiseerd worden, zo eenvoudig mogelijk zijn. Om aan de ontwerpcriteria te voldoen moeten soms toegevingen gedaan worden wat betreft eenvoud bij fabricage en montage.

Verbindingen moeten zodanig ontworpen worden dat het element in de kortst mogelijke tijd kan verhandeld, geplaatst en uit de haken losgemaakt worden. Wanneer een bevestiging nodig is voor de tijdelijke of uiteindelijke stabiliteit, vooraleer het element kan losgemaakt worden uit de kraan, moet deze operatie zo snel en eenvoudig mogelijk kunnen uitgevoerd worden en onafhankelijk zijn van weersomstandigheden. Verbindingen die een horizontale verplaatsing van het element noodzakelijk maken om het in zijn uiteindelijke positie te krijgen, of waarbij het element volgens een schuine hoek moeten geheven worden, zijn af te raden.

Om vlug te kunnen monteren moeten de verbindingen zodanig opgevat zijn dat dimensionele toleranties kunnen opgenomen worden. Daarbij moet niet alleen rekening gehouden worden met mogelijke toleranties van de prefabelementen, maar ook met mogelijke toleranties op de plaatsing van de elementen. Deze kunnen bijvoorbeeld te wijten zijn aan afwijkingen in ter plaatse gestorte funderingen van de dragende constructie. Ruimtes tussen een ter plaatse gestorte constructie en een gevelbekleding moeten zo groot mogelijk gemaakt worden als praktisch toegelaten is, omdat ze na montage normaal toch niet meer zichtbaar zijn.

Verbindingen moeten toegankelijk zijn tijdens de montage, om bijvoorbeeld bouten te kunnen plaatsen en aan te draaien, lasverbindingen te maken en dergelijke, maar ook om de

uitvoeringskwaliteit achteraf te kunnen inspecteren en controleren. Men moet het risico om verbindingdetails verkeerd te plaatsen zo klein mogelijk maken, door eenvoudige en aangepaste oplossingen te gebruiken.

Bij het bepalen van de krachtswerking moet ook rekening gehouden worden met alle tijdelijke fazen bij de uitvoering. Verbindingsdetails kunnen blootgesteld worden aan speciale belastingen tijdens manipulaties, stockage, transport en montage. Voorbeelden van tijdelijke situaties zijn ondermeer tijdelijke ondersteuning, excentrische belastingen tijdens de montage, windbelastingen vooraleer het gebouw beëindigd is, heffen van de elementen (dynamische coëfficiënt), voorlopige stabilisatie, enz.

Referenties

- [1] Shear at the interface of precast and in situ concrete; FIP Guide of good practice, January 1982, ISBN 0 907862 02 0
- [2] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings. prEN 1992-1-1 , october 2002
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit stumpf gestoßener Stahlbetonfertigteilstützen, H. Paschen - V.C. Zillich, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1980
- [4] British Standards Institution (1985) The Structural Use of Concrete. BSI, London, BS 8110
- [5] Elliott, K.S. (1996) Multi-storey precast concrete framed structures. Blackwell Science Ltd, London. ISBN 0-632-03415-7