Ontwerprichtlijnen

voor druklaagloos bouwen met kanaalplaatvloeren in de utiliteitsbouw

CONSOLIS VBI

ORL02-001

Inhoud

Inleiding 3
1 Algemeen 3
1.1 Dragende functies van een vloer in utiliteitsgebouwen 3
1.2 Voldoende sterkte en stijfheid nodig 4
1.3 Nog lichter bouwen met kanaalplaten zonder druklaag 4
2 Schijfwerking in kanaalplaatvloeren 5
2.1 Vervorming vloerschijf ten gevolge van buiging, normaalkracht en schuifkracht 5
2.2 Krachtswerking in vloerschijf met drukboogtrekbandligger én vakwerkligger 5
2.3 Inwendige hefboomarm 6
2.4 Scheefstand draagconstructie en 2e-orde 6
2.5 Schijfwerking bij druklaagloos bouwen en een niet-starre ondersteuning of brand 7
3 Schematiseren krachtswerking in kanaalplaatvloeren 7
3.1 Krachtsverdeling in vloer met twee velden 7
3.2 Krachtswerking in rechthoekige vloer met grote openingen 8
3.3 Krachtswerking in gebouwen met kernen 9
3.4 Krachtswerking in L-vormig gebouw met stabiliteitswanden 10
3.5 Modellering principes voor krachtswerking 10
4 Trekbandwapening in kanaalplaatvloeren 11
4.1 Functies en detaillering trekband wapening 11
4.2 Trekbandwapening voor schijfwerking 12
4.3 Trekbandwapening voor wigwerking 13
4.4 Trekbandwapening voor lastspreiding 13
4.5 Minimale trekbandwapening langs de omtrek 13
4.6 Minimale inwendige trekbandwapening 14
5 Drukkrachten en schuifkrachten in voegen van kanaalplaatvloeren 15
5.1 Normaaldrukkracht in voegen vloerschijf 15
5.2 Schuifspanningen in langsvoegen 16
5.3 Detaillering afschuifwapening in de verbinding vloer-stabiliteitsvoorziening 17
6 Rekenvoorbeeld: kantoor met rechthoekige plattegrond 18
7 Referenties 23

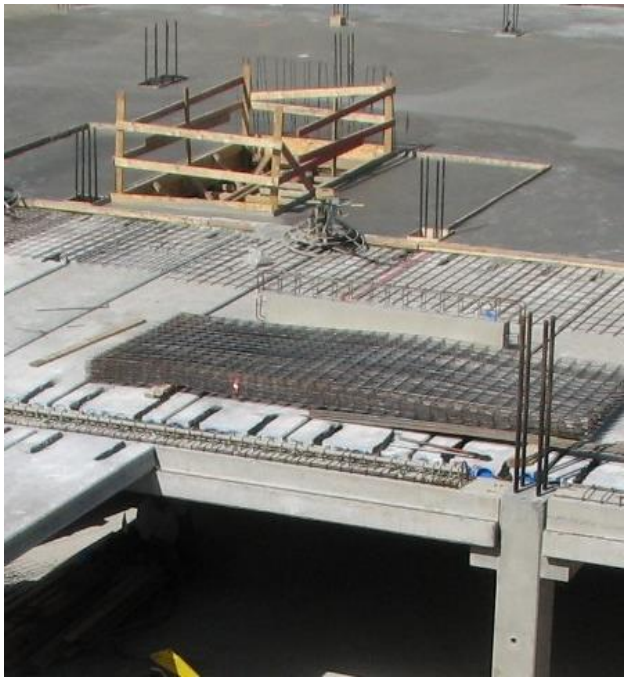
Inleiding

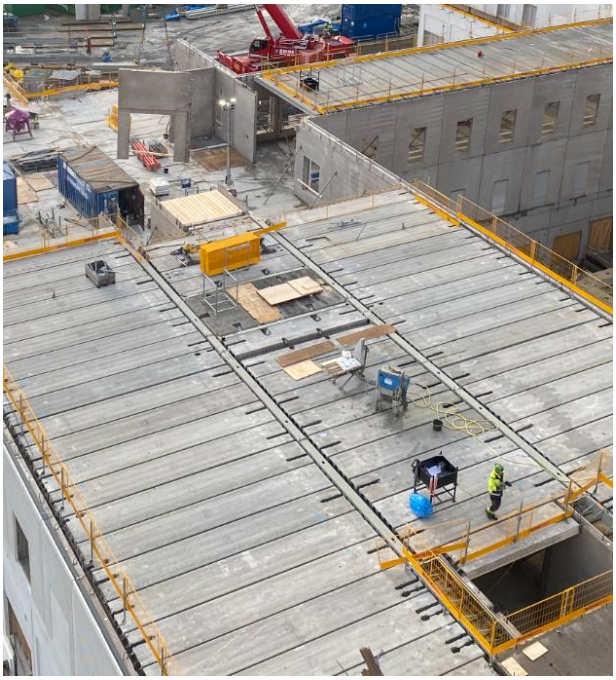
In de utiliteitsbouw zijn kanaalplaatvloeren zonder druklaag een duurzame keuze. In dit marktsegment wordt nu nog vaak gewerkt met ter plaatse gestorte druklagen (zie Figuur 1). Door over te stappen op vloeren zonder druklaag, is veel winst te behalen.

Druklaagloos bouwen betekent lichter bouwen. Dit komt door het efficiënter gebruik van materiaal. Zo wordt minder beton gebruikt en dus minder CO_2 uitgestoten. Dat maakt het een duurzame oplossing. Daarnaast blijft bij druklaagloos bouwen de kanaalplaat als vloerelement intact zodat toekomstig hergebruik eenvoudiger wordt. In een ontwerp dat gericht is op hergebruik (remontabel bouwen), helpt dit om de waarde van materialen te behouden. Daarmee draagt het bij aan circulair bouwen.

Leeswijzer bij deze richtlijnen

Deze ontwerprichtlijnen helpt ontwerpers en constructeurs bij het toepassen van kanaalplaatvloeren zonder druklaag in utiliteitsbouw. We geven uitgebreide uitleg over de werking van druklaagloze vloerschijven, inclusief figuren en technische details. Ook is een rekenvoorbeeld van een kantoorgebouw opgenomen, waarin wordt uitgelegd hoe een druklaagloze schijf kan worden doorgerekend.





Figuur 1 Vloervelden met kanaalplaten uitgevoerd met gewapende constructieve druklaag en druklaagloos

1 Algemeen

1.1 Dragende functies van een vloer in utiliteitsgebouwen

Verticale belastingafdracht

Een constructieve vloer heeft een dragende functie. De primaire en belangrijkste taak van de vloer is het dragen van verticale belastingen naar de ondersteuningen.

Schijfwerking (horizontale stabiliteit)

De tweede functie is schijfwerking, waarbij horizontale belastingen, bijvoorbeeld door wind, worden afgedragen. De vloer fungeert dan als een 'schijf' die deze krachten afvoert naar de stabiliserende elementen van het gebouw.

Zijdelingse stabiliteit van kolommen en wanden

Bovendien moet de vloerschijf de zijdelingse stabiliteit van kolommen of wanden verzorgen. Daarbij moet rekening worden gehouden met initiele scheefstand en uitbuiging van de kolommen of wanden. Daarnaast kunnen er inwendige krachten optreden op de vloerschijf door krimp of temperatuurverschillen in het gebouw.

1.2 Voldoende sterkte en stijfheid nodig

Om goed als schijf te kunnen functioneren, moet de vloer over voldoende sterkte en stijfheid beschikken om de optredende momenten, schuifkrachten en normaalkrachten in het vlak van de vloer op te nemen.

In Nederland wordt hiervoor meestal een gewapende, ter plaatse gestorte druklaag gebruikt. Dat werkt, maar past niet bij een modern prefab casco. Prefab bouwen is snel, droog en industrieel. Een druklaag is een natte oplossing die dat vertraagt. Bovendien is zo'n druklaag zwaar en vraagt overbodig materiaal. Vanuit hergebruik en circulariteit is ze zelfs ongewenst.

1.3 Nog lichter bouwen met kanaalplaten zonder druklaag

Druklaagloze schijfwerking is in de meeste gevallen technisch heel goed mogelijk. Toch krijgt de constructeur in projecten vaak niet genoeg tijd of budget om de vloerschijf zonder druklaag goed uit te werken. Dat is jammer, want een gewapende, ter plaatse gestorte druklaag betekent voor de aannemer hogere kosten. Daarnaast zorgt deze natte oplossing voor een langere bouwtijd en bovenal, voor een grotere CO_2-belasting.

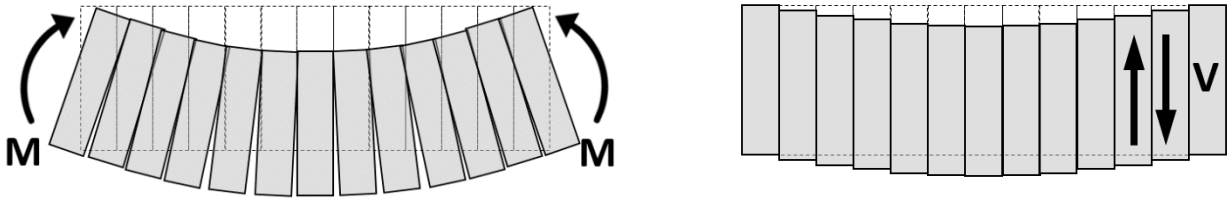
In de praktijk wordt op een druklaag vaak ook nog een afwerklaag aangebracht. Daarom moeten de kosten van vloeropbouw als geheel worden bekeken. Het loont dus om een druklaagloze vloerschijf constructief uit te werken.

Door een kanaalplaatvloer van 320 mm dik in combinatie met een 8 cm druklaag te vervangen door een kanaalplaat van 400 mm kan ook de onderliggende constructie slanker worden uitgevoerd. Dezelfde aanpak gaat ook op bij 260 mm en 400 mm kanaalplaatvloeren met respectievelijk een 6 cm en 10 cm druklaag. Om de vloer nadien toch vlak te krijgen kan een dunne cementdekvloer, of anhydriet aangebracht worden, mits ontkoppeld door folie. Meer circulair zijn systemen als verhoogde vloeren of fermacell-achtige vloeren.

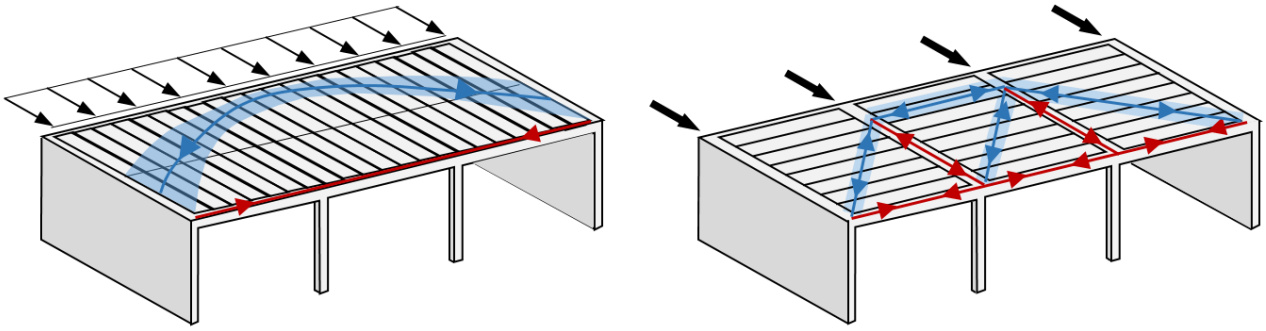
2 Schijfwerking in kanaalplaatvloeren

2.1 Vervorming vloerschijf ten gevolge van buiging, normaalkracht en schuifkracht

De vloerschijf kan worden beschouwd als zeer stijve kanaalplaten, met daartussen voegen waarin de vervormingen en verplaatsingen grotendeels geconcentreerd worden. Er zijn twee soorten vervorming bij een langsvoeg te onderscheiden in het vlak van de vloer (Figuur 2). Enerzijds vervormingen loodrecht op de langsvoeg als gevolg van buigende momenten, anderzijds vervormingen parallel aan de langsvoeg als gevolg van schuifkrachten. Om de buigende momenten op te nemen, gedraagt de vloerschijf zich bij toenemende belasting steeds meer als een trekband-drukboog, zodat hiermee de dimensionering in de uiterste grenstoestand kan plaatsvinden. De trekband moet over de gehele lengte van de vloer aangebracht worden en wapening mag dus niet worden gereduceerd. De schuifkracht heeft een belangrijke invloed op het vervormingsgedrag van de vloerschijf aan de uiteinden van het veld. Daar is de schuifkracht groot en het blijkt dat dan in een gescheurde langsvoeg relatief grote schuifvervormingen kunnen optreden. Omdat deze schuifvervormingen niet te verwaarlozen zijn, zal de totale uitbuiging van de vloerschijf groter zijn dan de berekende waarde op basis van buigende momenten alleen.



Figuur 2 Buigvervormingen ten gevolge van moment, en schuifvervormingen ten gevolge van schuifkracht



Figuur 3 Krachtswerking in kanaalplaatvloerschijven met drukboogtrekband systeem en vakwerkanalogie

2.2 Krachtswerking in vloerschijf met drukboogtrekbandligger én vakwerkligger

Beschouw een vloerschijf met kanaalplaten in een gebouw die in de gevel van stabiliserende elementen is voorzien (Figuur 3). Wind werkt als horizontale lijnbelasting op de rand van het vloerveld. Het gaat in de vloerschijf nu uitsluitend om het opnemen en afdragen van de horizontale windbelasting in het vlak van de vloer. Kunnen de langsvoegen de optredende schuifspanningen overdragen, een sterkte-voorwaarde die moet worden gecontroleerd, dan wordt de vloerschijf in de plattegrond geschematiseerd tot een ligger met 'opleggingen' op de stabiliserende elementen van de hoofddraagconstructie De positie van de verticale stabiliserende elementen is van belang voor de grootte van de krachten in de vloerschijf (die als ligger op steunpunten wordt gemodelleerd).

Vervolgens kan de krachtswerking in het vlak van het vloerveld verder geschematiseerd worden met een klassieke ligger met drukboogtrekband en met een vakwerkligger. In de klassieke liggers met drukboog en trekband wordt de windbelasting als q-last op de rand van de vloer gezet, en kan de krachtswerking (buigende momenten en schuifkrachten) worden bepaald om de trekband te dimensioneren en de langsvoegen te controleren. Bij de vakwerkanalogie wordt de windbelasting als puntlasten op de knopen gezet, en kunnen de normaalkrachten in de staven van het vakwerk worden bepaald om de vloerschijf te dimensioneren. De combinatie van deze twee systemen dekt de krachtswerking in de vloerschijf.

De overspanning van de kanaalplaten in relatie tot de belasting en stabiliserende elementen kan met twee configuraties ontworpen worden: de langsvoegen evenwijdig met de windbelasting, én de langsvoegen loodrecht op de windbelasting. In beide gevallen wordt de drukboogtrekbandligger en vakwerkligger gebruikt voor de dimensionering van de vloerschijf op momenten, schuifkrachten en normaalkrachten. De randbalk kan in beide gevallen als trekband fungeren in drukboogtrekband systeem. De verticale trekstaven in de vakwerkligger zijn dan of de kanaalplaten, en/of de tussenbalken.

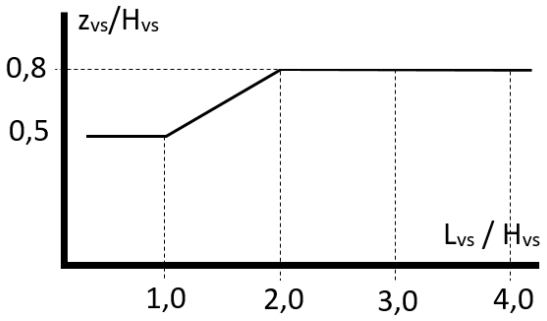
2.3 Inwendige hefboomarm

Vloervelden kunnen ontworpen worden met een slankheid tot 3 à 4 keer de hoogte van de ligger ten opzichte van de stabiliserende elementen (L / H_{vs}). Bij een slankheid kleiner dan 1 wordt de ligger gedrongen.

De hoogte van de inwendige hefboomarm is afhankelijk van de slankheid van de vloerschijf. Bij een slankheid groter dan 2 is de inwendige hefboomarm gelijk aan $0{,}8H_{vs}$. Bij korte velden met een slankheid kleiner dan 1 moet rekening worden gehouden dat de ligger gedrongen is en de drukboog zich dan niet meer volledig kan ontwikkelen.

Dus voor de inwendige hefboomarm geldt (zie ook Figuur 4):

- $z_{vs} = 0{,}8H_{vs}$ voor $L_{vs}/H_{vs} \geq 2{,}0$
- $z_{vs} = 0{,}5H_{vs}$ voor $L_{vs}/H_{vs} \leq 1{,}0$
- Interpolatie bij $1{,}0 < L_{vs}/H_{vs} < 2{,}0$



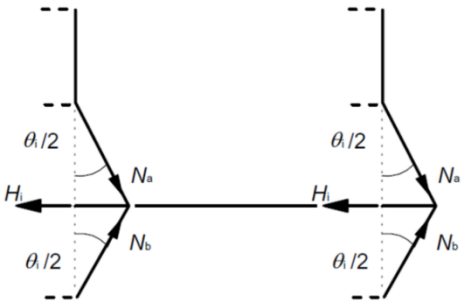
Figuur 4 Inwendige hefboomarm als functie van slankheid vloer

2.4 Scheefstand draagconstructie en 2e-orde

Er moet bij schijfwerking rekening worden gehouden met initiële scheefstand van de kolommen. Dan zal onder invloed van de horizontale belasting de vloer verder uitbuigen, met als gevolg een toename van de scheefstand van de kolommen en vergroting van de horizontale belasting op de schijf. De invloed van dit tweede-orde effect zal des te groter zijn naarmate de stijfheid van de vloer kleiner en de bovenbelasting groter is. De vloerschijf moet dus voldoende sterk en voldoende stijf zijn.

Een extra horizontale kracht H naast de reeds aanwezige windbelasting moet conform Eurocode EN1992-1-1-artikel 5.2 beschouwd worden op de vloerschijf door het effect van scheefstand θ door geometrische imperfecties (Figuur 5). Voor de schijfwerking geldt dat deze extra horizontale belasting voor een kolom gelijk is aan $H = (N_a + N_b)\ \theta/2$, waarbij de inclinatie θ gelijk genomen wordt aan 1/200 of 0.005. De in rekening te brengen inclinatie op de kolom is $\theta/2$. Voor horizontale belasting uit scheefstand moet dan 1/400 (0,25%) van de verticale belasting worden beschouwd p de vloerschijf ter plaatse van de kolommen. Ondanks dat de vloerschijf zonder druklaag nauwelijks zal vervormen, zal deze minder stijf zijn dan een vloerveld met druklaag. Door initiële scheefstand van de kolommen en door de flexibelere vloerschijf, zal onder invloed van de horizontale belasting de vloer verder uitbuigen.

De invloed van dit 2e-orde effect is groter naarmate de stijfheid van de vloer kleiner is en de bovenbelasting groter is. Echter, voor de beschouwde vloerschijven mag worden aangehouden dat het 2e-orde effect van ondergeschikt belang is.



Figuur 5 Extra horizontale kracht H uit scheefstand kolommen

2.5 Schijfwerking bij druklaagloos bouwen en een niet-starre ondersteuning of brand

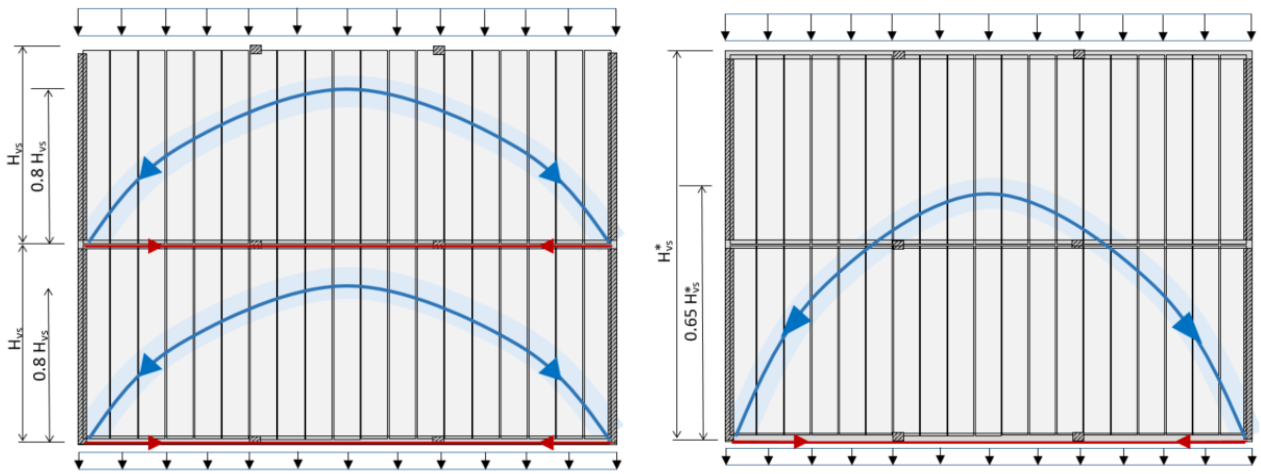
In het geval van kanaalplaten met een niet-starre ondersteuningen (NSO) in combinatie met een geïntegreerde ligger worden er extra spanningen in de kanaalplaatvloer opgewekt. De wijze waarop dit berekend moet worden is uitgebreid in de NEN6726 toegelicht. Het weglaten van de druklaag heeft een gunstige invloed op het gedrag van vloeren met een niet-starre ondersteuning, want de extra schuifspanningen nabij de oplegging uit het NSO-effect zijn lager dan indien een druklaag wordt toegepast. Voor de verdere berekening wordt de werkwijze gevolgd zoals die in dit document is toegelicht. In het geval van weerstand tegen brand zijn de kanaalplaten en de vloer gedimensioneerd conform de eisen ten aanzien van REI. Hierdoor zal de vloer de primair dragende functie en functie voor schijfwerking behouden. Afhankelijk van de locatie en grootte van de brand, worden extra drukspanningen in de onderzijde van de vloer geïntroduceerd, wat het opnemen van mogelijke extra schuifspanningen ten goede komt.

3 Schematiseren krachtswerking in kanaalplaatvloeren

3.1 Krachtsverdeling in vloer met twee velden

Beschouw twee vloervelden in een verdieping van een utiliteitsgebouw. In de schematisatie in Figuur 6 is het drukboogtrekband systeem getekend waarbij de rand- en middenbalk goed kunnen fungeren als trekbanden. Afhankelijk van de plaats en afmetingen van de stabiliteitswanden en de wijze waarop de oplegreacties van de vloerschijf naar de stabiliteitswanden worden afgevoerd, zijn twee schematiseringen mogelijk: een schematisering tot twee liggers met afzonderlijke hoogte H_{vs} en een schematisering tot één ligger met hoogte $H^*_{vs} = 2H_{vs}$. De keuze kan in belangrijke mate worden beïnvloed door openingen in de vloer.

Indien voor een schematisering tot twee onafhankelijke liggers met afzonderlijke hoogte H_{vs} wordt gekozen, wordt de windbelasting verdeeld over twee vloervelden met inwendige hefboomarm 0,8 H_{vs}. De hoeveelheid wapening wordt over twee trekbanden ter plaatse van de balken verdeeld. Bij deze variant moeten dan ook krachten over de middenbalk gevoerd worden om schuifkrachten die optreden evenwijdig aan de middenbalk op te nemen. Indien voor een schematisering tot één ligger met hoogte H^*_{vs} gekozen wordt, wordt de wapening in de onderste trekband geplaatst. Let op dat vanwege de gedrongen ligger nu de inwendige hefboomarm is gereduceerd naar 0,65 H^*_{vs} op basis van de interpolatie L_{vs}/H_{vs}

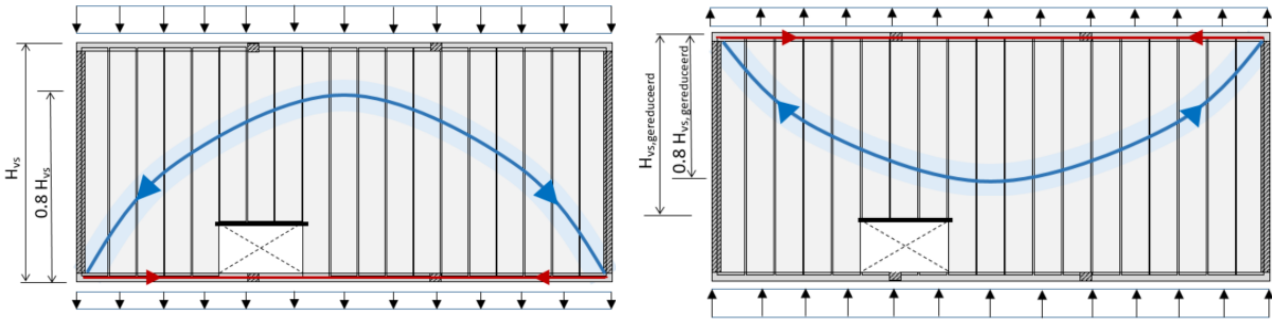


Figuur 6 Mogelijke krachtswerkingen in kanaalplaatvloerschijf met beschouwing één of twee liggers

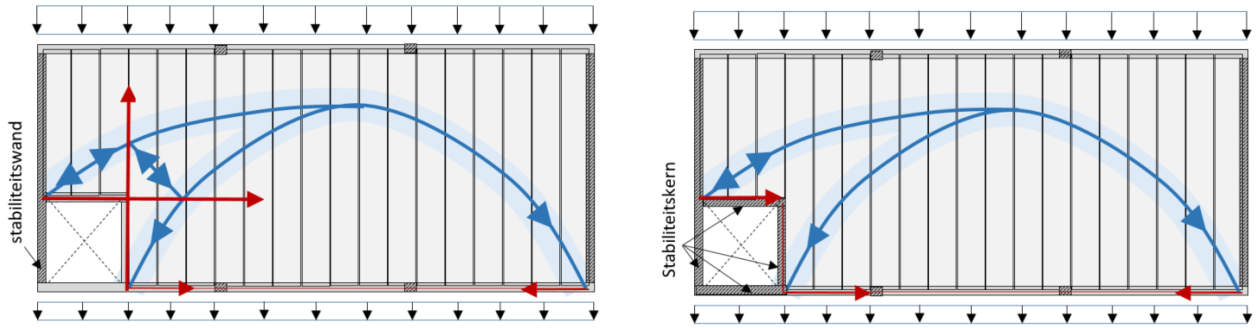
3.2 Krachtswerking in rechthoekige vloer met grote openingen

Vloervelden in utiliteitsgebouwen kunnen grote openingen nodig hebben om verticaal transport te verzorgen. Grote openingen worden met raveelijzers, ondersteunende wanden of liggers gerealiseerd. Deze openingen kunnen voor de schijfwerking ongunstig zijn, en met de locatie moet de ontwerpend constructeur rekening houden. Een volledige beschouwing van de wind van alle zijden is dan ook noodzakelijk. Zo kan de grote opening in Figuur 7 naast de langsbalk geen probleem zijn voor de trekband, maar wel een probleem voor de drukzone. Doordat de grote opening nabij het midden is geplaatst, zal de inwendige hefboomarm worden gereduceerd. Een lagere inwendige hefboomarm zal leiden tot meer mm^2 betonwapening in de trekband.

In Figuur 8 is een trappenhuis aanwezig in de hoek van het utiliteitsgebouw. Indien de grote opening in de hoek zit, treedt er een probleem op met de oplegging van het drukboogtrekband systeem. Lokaal kan dan met de vakwerkanalogie de krachtswerking in dit knooppunt worden opgelost. Enerzijds door trekstaven door te laten lopen. Dit kan met een staalstrip op de bovenzijde van de kanaalplaat. Let op de verankeringslengte nádat de trekstaaf de drukboog is gepasseerd. De andere mogelijkheid is het trappenhuis in de hoek een stabiliteitsfunctie te geven. Dit leidt wel tot extra fundatie palen.



Figuur 7 Windbelasting en vloerveld met grote opening die de inwendige hefboomarm zal reduceren vanaf één zijde



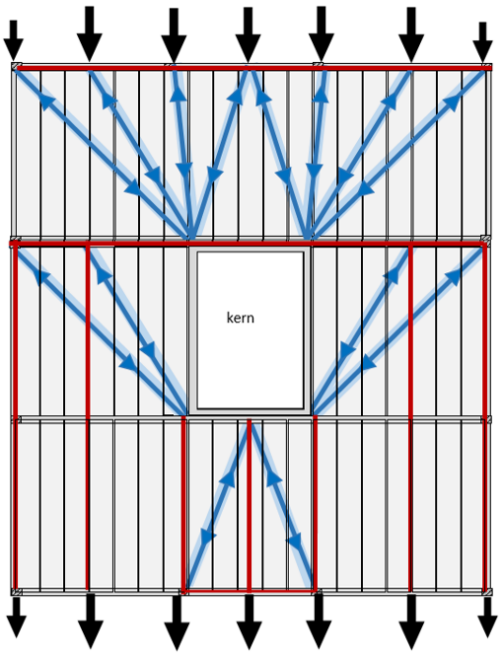
Figuur 8 Windbelasting en vloerveld met grote opening in de hoek waardoor een extra detaillering nodig is

3.3 Krachtswerking in gebouwen met kernen

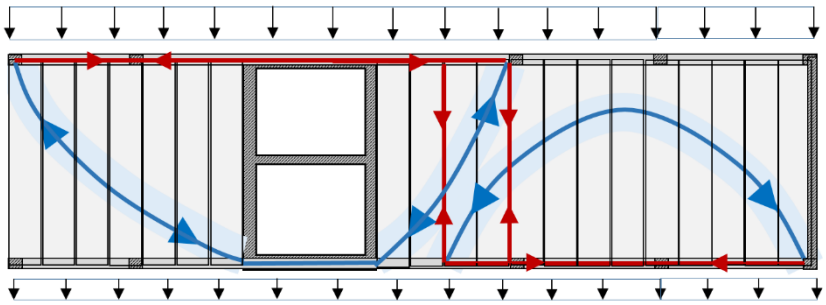
Het kantoorgebouw in Figuur 9 heeft een vierkante plattegrond met een centrale kern. De schematisering met een vakwerkanalogie kan worden gebruikt. De krachten kunnen in de drukstaven en trekstaven worden bepaald, en via detailleren in de vloer worden opgelost.

Het kantoorgebouw in Figuur 10 heeft een rechthoekige plattegrond met een kern in het midden. De stabiliteitswand is geplaatst in de rechtergevel, de linkergevel heeft geen stabiliteitsvoorziening. De schematisering van twee afzonderlijke liggers ligt hier duidelijk voor de hand: aan de rechterzijde een ligger op twee steunpunten die links is ingeklemd, en aan de linkerzijde een uitkragende ligger.

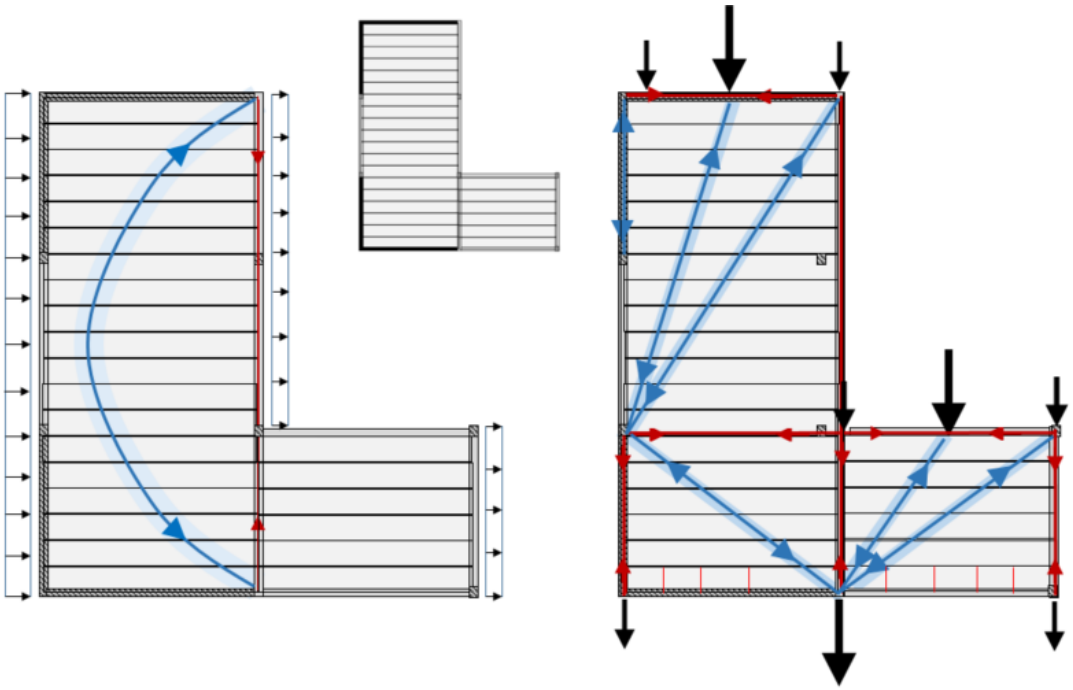
Er zijn veel manieren om stabiliteit in een plattegrond te realiseren. Elke variant heeft eigen krachtswerkingen. Daarom is het belangrijk om met wat voorstellingsvermogen aan te geven hoe de vloerschijven hun krachten afdragen naar stabiliserende elementen. Een zo eenvoudig mogelijke oplossing verdient de voorkeur, mits deze constructief doeltreffend is.



Figuur 9 Schematisering vloerschijf vierkante met centrale kern



Figuur 10 Schematisering vloerschijven kantoor met centrale kern en stabiliteitswand



Figuur 11 Uitwerking van L-vormig gebouw met alleen stabiliteitswanden

3.4 Krachtswerking in L-vormig gebouw met stabiliteitswanden

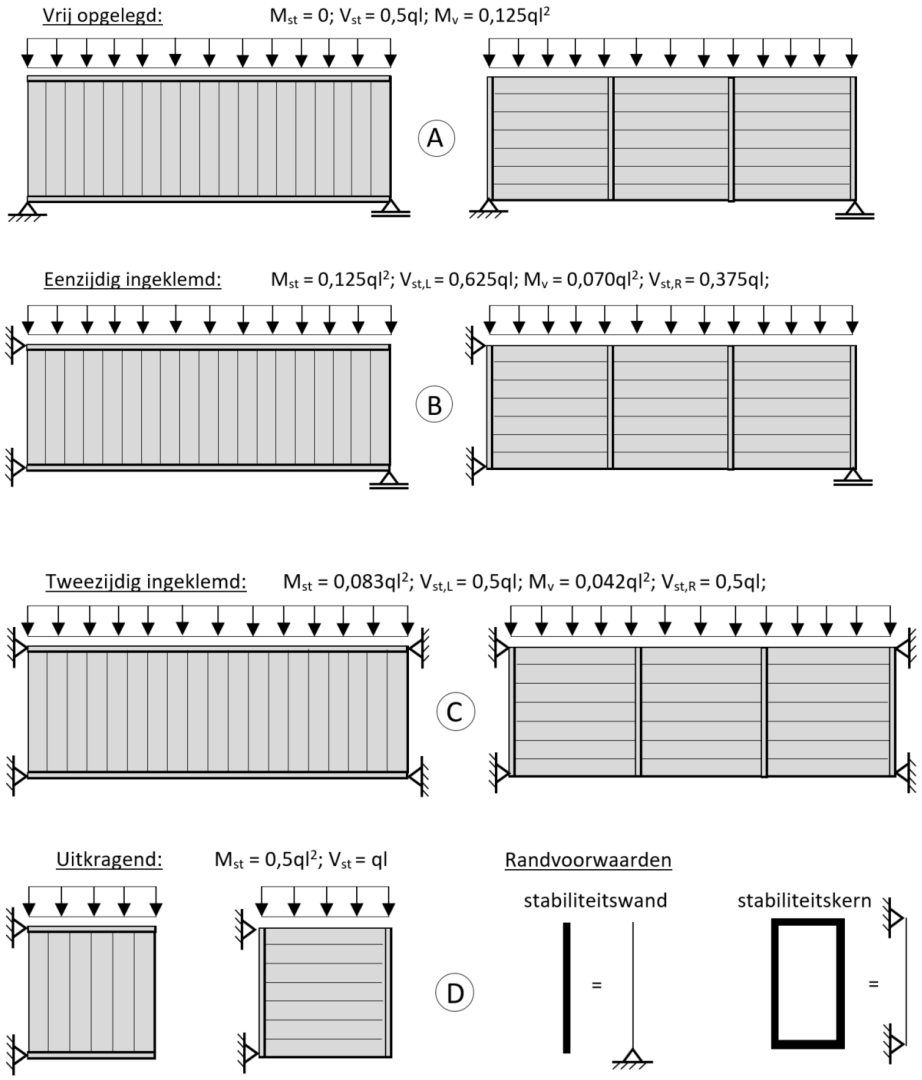
Beschouw in Figuur 11 een L-vormige plattegrond van een gebouw met stabiliteitswanden in de linkergevel. In het vlak van de windverbanden is de stabiliteitsvoorziening stijf, loodrecht daarop is deze slap: bij het tekenen van de krachtswerking moet hier rekening mee worden gehouden. Afhankelijk van de windrichting die wordt beschouwd, is de stabiliteitsvoorziening wel of niet geschikt om de krachtsafdracht te doen.

Allereerst wordt de wind van de linkerzijde beschouwd. Er werkt winddruk op de linkergevel, en windzuiging op de rechtergevel. Vanwege de plattegrond en positie van de stabiliteitsvoorziening ligt een modellering van een ligger voor de hand. Aan de zijde waar winddruk optreedt, kan het drukboogtrekband systeem worden getekend. De benodigde wapening in de randbalk kan op basis daarvan worden bepaald. Aan de zijde met windzuiging zijn de trekstaven langs de gevel nodig. Deze vangen de zuiging op en leiden de krachten via het drukboog–trekbandmechanisme af. Deze zijn eerder buiten beschouwing gelaten, maar bij windzuiging moet worden gewaarborgd dat de trekkrachten via geschikte voorzieningen kunnen worden overgedragen op de schijfwerking of het vakwerk. Deze trekvoorzieningen kan betonstaalwapening zijn tussen de kanaalplaten in de voeg, of in de kanalen, of het staal (of betonstaal) in de balken. In de kanaalplaat is voldoende voorspanwapening aanwezig die de trekkracht van de koppelwapening over kan nemen, en deze naar de andere zijde van de kanaalplaat kan verplaatsen om daar door de drukboog opgenomen te kunnen worden.

Bij wind van boven kan vanwege de plattegrond uit worden gegaan van de vakwerkanalogie. De windbelasting wordt verdeeld als puntlasten op de knopen. Van ieder belastingdeel is dit uitgewerkt in de figuur, en is het bijbehorende vakwerkmodel getekend.

3.5 Modellering principes voor krachtswerking

Figuur 12 geeft de principes weer voor het modelleren van een klassieke ligger. Het zijn de bekende VMN-tjes (vergeet-mij-niet) met de bijbehorende momenten en dwarskrachten. Omdat de wind van twee zijden kan komen, geldt in principe het grootste moment voor de trekbandwapening die continu moet zijn. De schuifspanningen in de voegen ten gevolge van de dwarskracht zijn ook duidelijk af te leiden uit de klassieke ligger.



Figuur 12 Principes van modellering van de klassieke ligger

4 Trekbandwapening in kanaalplaatvloeren

4.1 Functies en detaillering trekband wapening

Een kanaalplaatvloer moet volledig worden opgesloten door middel van een rondgaande trekband. In de visualisaties in Figuur 13 zijn voorbeelden gegeven om de trekbandwapening uit te voeren, die kan worden gerealiseerd door:

- een gekoppelde betonstaalwapening in de ter-plaatse-gestorte betonopstort op de oplegbalken van de kanaalplaten ter plaatse van de plaatkop;
- een stalen strip bevestigd op de kanaalplaatvloer;
- een geprefabriceerde betonnen, stalen of houten oplegbalk welke ter plaatse van de kolommen wordt doorgekoppeld.

De trekbandwapening moet een doorgaande wapening zijn, én mag niet worden verminderd in doorsnede naar de oplegging toe. Verder moet deze volledig verankerd zijn in de stabiliteitsvoorzieningen achter de eerste en laatste voeg die nog schuifkrachten moeten overbrengen. In geval van een vrije rand (uitkragende vloerschijf) kan de trekband verankerd worden in de buitenste vloerplaat in een koppelsleuf van de kanaalplaat.

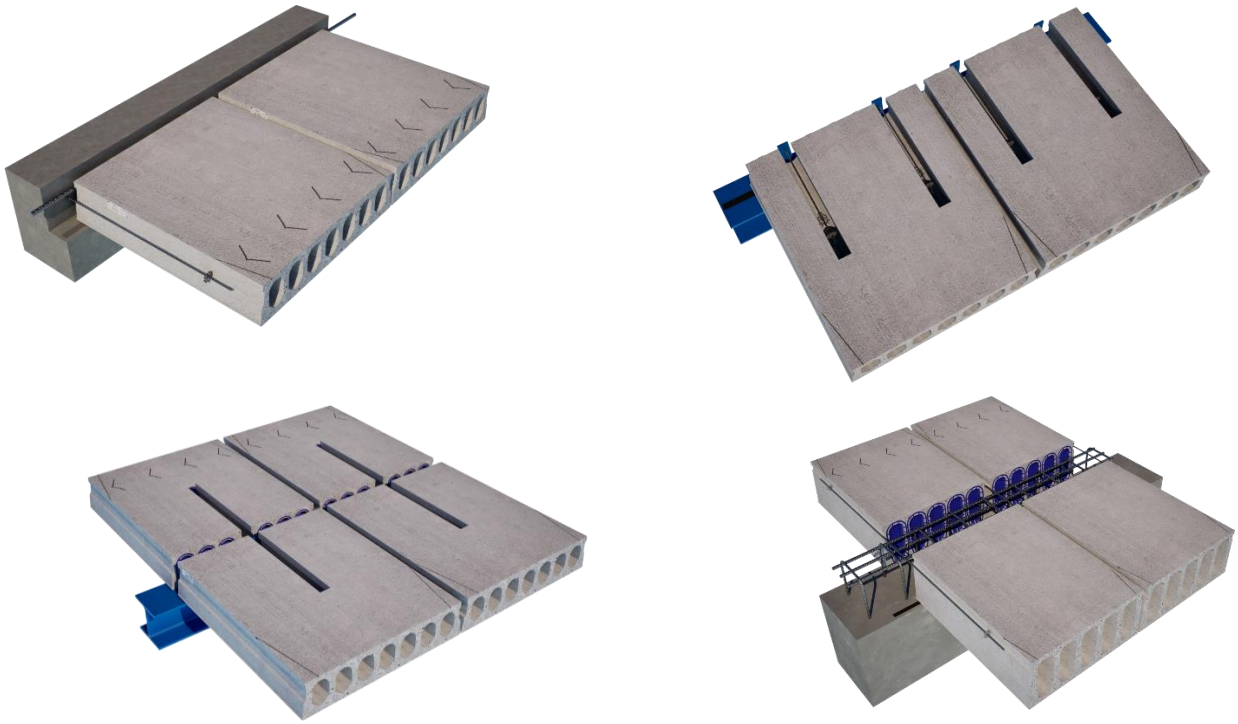
De vier functies van de trekband zijn:

a) Het opnemen van de momenten in de vloerschijf door schijfwerking. Deze momenten worden opgewekt door de horizontale belasting uit wind en scheefstand van de kolommen, daarbij rekening houdend met de 2^e-orde effecten. De benodigde doorsnede van de trekband moet worden berekend uit het maximale rekenmoment in het vlak van de vloerschijf.

b) Het waarborgen van de schuifkrachtcapaciteit van de voegen door wigwerking. Een gescheurde voeg kan een schuifkracht overdragen mits het openen van de scheur wordt verhinderd door wigwerking. Hiervoor moet loodrecht op de voeg wapening worden aangebracht ten minste gelijk aan de normaalkracht uit drukboogtrekbandwerking.
c) Het waarborgen van lastspreiding over de langsvoeg tussen twee kanaalplaten, ten gevolgde van de veranderlijke belasting. Hiervoor moet loodrecht op de voeg wapening worden aangebracht ten minste gelijk aan de schuifkracht in de voeg.
d) Het verzorgen van de samenhang van de vloerschijf. Voor de gewenste samenhang is het noodzakelijk om de vloerschijf én op te sluiten met een doorgaande trekband (ringanker), én de vloeren aan de onderliggende wand of balk te verankeren. Voor deze functie zijn de trekbanden bedoeld als minimum wapening, en niet als aanvulling op de wapening volgens de constructieve berekening.

Samengevat volgt dus voor de totale trekbandwapening om de vier functies te waarborgen:
$F_{tie,tot} = F_{tie,vloerschijf} + F_{tie,wigwerking} + F_{tie,lastspreiding} > F_{tie,per}$
$A_{s,tot} = F_{tie,tot} / f_{yd}$

De verschillende onderdelen worden op de volgende pagina's verder uitgewerkt.



Figuur 13 Configuraties omtrek trekbandwapening in eindveld en middenveld

4.2 Trekbandwapening voor schijfwerking

De benodigde doorsnede van de trekband moet worden berekend uit het maximale rekenmoment in het vlak van de vloerschijf. De doorsnede van de trekband mag niet worden aangepast (gereduceerd) aan het momentenverloop. Door de trekbandfunctie wordt de wapening bij buigende momenten in het vlak geactiveerd om drukspanningen op de voegen in de drukzone uit te oefenen. De drukspanning in de voegen in de drukzone van de kanaalplaatvloer moet dus ook worden gecontroleerd.

De dimensionering van de trekband uit de drukboogtrekbandligger volgt uit het maximale rekenmoment. Bij het dimensioneren van de trekband moet bij het maximale rekenmoment rekening worden gehouden met scheefstand en het eventuele tweede-orde effect.

Trekbandwapening voor schijfwerking:
$F_{tie,schijfwerking} = M_{d,max}/z_{vs}$

4.3 Trekbandwapening voor wigwerking

De langsvoegen tussen de kanaalplaten zijn ten gevolge van krimp (en mogelijke temperatuurverkortingen) meestal gescheurd met een maximum scheurwijdte van 0.2-0.3 mm. Bij controle van de vloerschijf op sterkte moet daarom worden gerekend op scheurvorming ter plaatse van de langsvoegen. Zodra een langsverschuiving in de voeg optreedt door de optredende schuifkracht uit schijfwerking, neemt de scheurwijdte verder toe en wordt in de trekbandwapening een extra trekkracht opgewekt waardoor de normaaldrukkracht in de voeg toeneemt. Dit fenomeen wordt wigwerking genoemd. Omdat de benoemde schuifvervormingen niet te verwaarlozen zijn, moet de trekband hierop gedimensioneerd worden om de weerstand tegen het openen van scheuren in de langsvoegen te vergroten. De normaaldrukkracht uit boogwerking neemt tot circa 50% af naar de oplegging toe (zie sectie normaaldrukkracht), daar waar de schuifkracht en schuifvervormingen het grootst zijn. Bij aanname dat de extra drukkracht tot 50% kan oplopen van de aanwezige normaalkracht uit de drukboog, en het feit dat er twee trekbanden aan beide zijden van het vloerveld aanwezig zijn voor wigwerking, volgt voor de trekbandkracht uit wigwerking dat deze gelijk is aan 1/8 van de trekbandkracht uit schijfwerking. Bij uitkragingen treedt de maximale drukkracht op bij de oplegging, waar ook de schuifkracht en schuifvervormingen het grootste zijn. Dan levert een zelfde berekening voor wigwerking 1/4 op.

Trekbandkracht uit wigwerking:

$F_{tie,wigwerking}$ = 1/8 $F_{tie,schijfwerking}$ (bij vrij uiteinde)

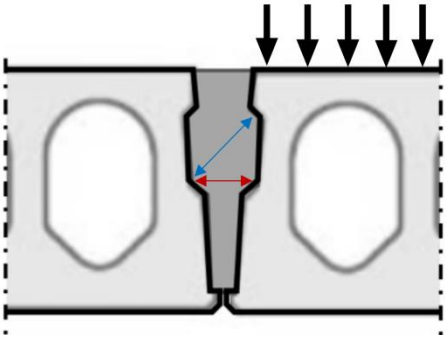
$F_{tie,wigwerking}$ = 1/4 $F_{tie,schijfwerking}$ (bij inklemming)

4.4 Trekbandwapening voor lastspreiding

Voor vloeren met een gelijkmatig verdeelde rekenwaarde van de belasting q_{Ed}, mag de schuifkracht V_{Ed} per eenheid van lengte over de breedte b_e van de kanaalplaat (1,2 m bij volle plaat) aangenomen worden conform EN1992-1-1 10.9.3. Omdat de drukstaaf onder 45 graden in de voeg staat, is de horizontale trekcomponent gelijk aan de verticale schuifkracht component per eenheid van lengte (Figuur 14).

Trekbandkracht voor lastspreiding:

$F_{tie,lastspreiding} = H_{vs}\ q_{Ed}\ b_e/3$



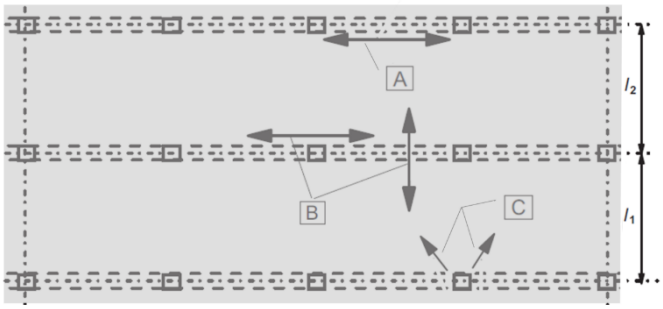
Figuur 14 Lastspreiding in voeg

4.5 Minimale trekbandwapening langs de omtrek

Conform EN1992-1-1 artikel 9.10.2.2. is een minimale wapening in de trekband langs de omtrek (A, zie Figuur 15) vereist om een kracht op te nemen die gelijk is aan:

$F_{tie,per} = q_1\ l_i \geq Q_2$

Hierbij zijn q_1 = 0 kN/m1 en Q_2 = 0 kN voor gevolgklassen 1 en 2a, en q_1 = 10 kN/m1 en Q_2 = 70 kN voor 2b en 3.



Figuur 15 Minimale trekbandwapeningen EN1992-1-1

4.6 Minimale inwendige trekbandwapening

Aan de zijde van de trekband in het drukboogtrekband systeem treedt windzuiging op de gevel op. Via de detaillering moeten deze trekkrachten aan de vloerschijf via trekvoorzieningen aan de drukboog overgedragen worden. Deze interne trekband is in Figuur 16 de koppelwapening in koppelsleuf of langsvoeg en is in de randbalk verankerd. Over de middenbalk is deze koppelwapening doorgaande wapening tussen de kanaalplaten over de middenbalk op een hoogte onder het zwaartepunt van de plaat. De koppelwapening wordt geplaatst op 80 mm van de onderzijde bij kanaalplaatdikten kleiner of gelijk dan 260 mm, en op 100 mm bij diktes groter dan 260 mm. Bij voorkeur wordt uit oogpunt van circulariteit de koppelwapening in de voeg geplaatst om de vloerplaten zo min mogelijk te beschadigen. Door verminderde aanhechting in de voeg zijn langere koppelstaven nodig (verankeringlengte geribt 100∅, met maximale diameter ∅12 is de verankeringslengte 1200 mm). Ook kan wapening in koppelsleuven aangebracht worden (per koppelsleuf geribte staven 1∅16 met verankeringslengte geribt 50∅, ofwel 800 mm). Voor betonnen, stalen en houten balken is het detail identiek. Voor het verder doorvoeren van de trekkrachten naar de stabiliteitsvoorzieningen is in de kanaalplaat voldoende voorspanwapening aanwezig om die trekkracht te mobiliseren. Tenslotte wordt opgemerkt dat vanuit het oogpunt robuustheid deze koppelwapening ook nodig is. In de EN1992 zijn in artikel 9.10.2. detailleringsregels gegeven voor de samenhang van de constructie.

Conform EN1992-1-1 artikel 9.10.2.3. is een minimale wapening in de inwendige trekband en trekband met randbalk of gevel (B en C, zie Figuur 15) vereist die gelijk is aan:
$F_{tie} = q_3 (l_1 + l_2)/2 \geq Q_4$

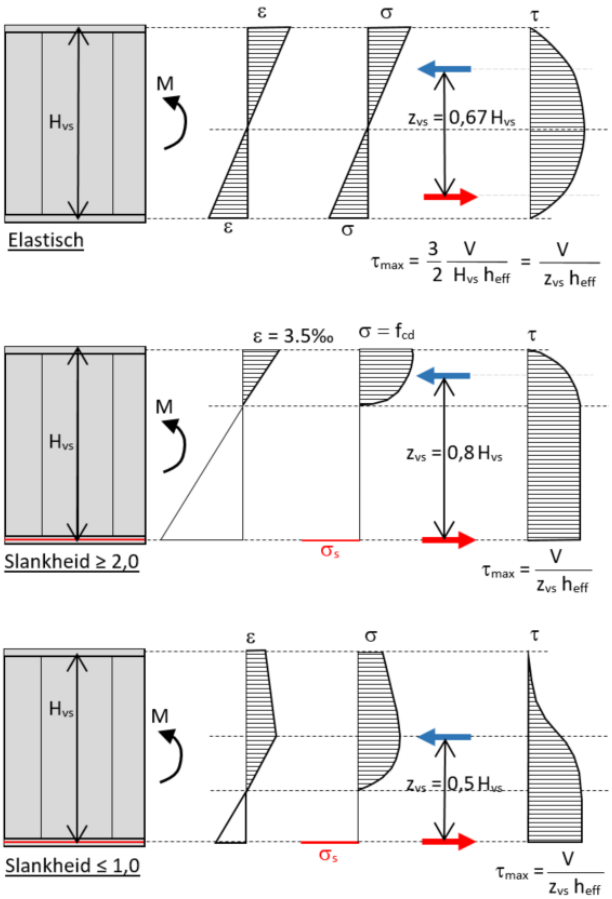
Hierbij zijn q_3 = 0 kN/m1 en Q_4 = 0 kN voor gevolgklassen 1 en 2a, en q_3 = 20 kN/m1 en Q_4 = 70 kN voor 2b en 3.

Figuur 16 Configuraties inwendige trekband wapening

5 Drukkrachten en schuifkrachten in voegen van kanaalplaatvloeren

5.1 Normaaldrukkracht in voegen vloerschijf

Enerzijds treden vervormingen loodrecht op de voeg als gevolg van buigende momenten die het grootste is in het veld, anderzijds treden vervormingen parallel aan de voeg op als gevolg van schuifkrachten die het grootste zijn nabij de oplegging. De drukzone met de grootste spanningen is bij het maximale moment in een slank veld ongeveer gelijk aan 0,25 H_{vs} in de uiterste grenstoestand (Figuur 17). Het schuifvlak om de schuifkrachten op te nemen is bij elke slankheid nagenoeg gelijk aan de effectieve hoogte van de doorsnede maal de inwendige hefboomarm (z_{vs} x h_{eff}).



Figuur 17 Drukspanning en schuifspanning in langsvoeg vloer

Belangrijk is te onderkennen dat bij de schematisering met drukboogtrekbandligger over de lengte van de vloerschijf een constante trekbandkracht en dus constante normaaldrukkracht loodrecht op de voeg in de drukzone worden uitgegaan. Desondanks is conform de mechanica bekend dat de inwendige hefboomarm naar de oplegging toe afneemt bij een klassieke ligger. Immers, het moment wordt kleiner en zal 0 kNm zijn bij een vrije oplegging.

Het blijkt uit experimenten op vloerschijven op schaal 1:5 dat de werkelijke gemeten trekbandkracht in het midden overeenkomt met de drukboogtrekband. Echter, vanaf de oplegging tot 1,0 H_{vs} ligt deze tussen de constante waarde van de drukboogtrekband ligger en de 0-waarde van de klassieke mechanicaligger. Als gevolg van de "wigwerking" en het eventueel aanwezige "boog met trekband" effect moet het verloop van de normaaldrukkracht loodrecht op de langsvoegen bij benadering 50% worden gereduceerd naar de oplegging toe. De normaalkracht in de drukzone wordt in de vakwerkanalogie ook kleiner naar de oplegging toe, maar is geen 0 kN, maar is afhankelijk van de hoek van de eerste diagonaal. Bij een vakwerkmodel onder 45 graden, zijn de trek- en drukstaafkrachten gelijk aan de oplegreactie.

Een vloerveld opgebouwd uit geprefabriceerde kanaalplaten is onderling verbonden door mortel gevulde langsvoegen en dwarsvoegen. Bij een vloerveld zonder druklaag moet er aandacht zijn bij de uitvoering om deze langsvoegen goed te vullen. De mortel voor deze voegen moet minimaal C12/15 tot maximaal C20/25 zijn, met consistentieklasse S2 en D_{max} 8 mm.

Voor het beton in de voeg moet controle op de maximale drukkracht uit de drukboog plaatsvinden.
De opneembare drukspanning in een drukstaaf is conform EN1992-1-1 6.5.2: $\tau_{Rd,max} = 0{,}6\nu' f_{cd}$.
Met 0,6ν' wordt een reductie rekening gehouden in geval van de drukzone gescheurd zou kunnen zijn of indien een diepere analyse niet verwogen worden. De de grootste limitering geldt voor een mortel C20/25, dan volgt $0{,}6\nu' = 0{,}6\ (1 - f_{ck}/250) = 0{,}55$.

De optredende rekenwaarde van de normaal-drukkracht N_{Ed} is gelijk aan $F_{tie,schijfwerking}$. De hoogte van de drukzone met de grootste spanningen in de uiterste grenstoestand wordt bij het maximale moment in een slank veld gelijk genomen aan 0,25 H_{vs}. Verder kan veiligheidshalve aangenomen worden dat de drukkracht alleen wordt doorgegeven ter plaatse van de bovenflens f_b en onderflens f_o.

Drukkracht in de voeg:
$N_{Rd,max} = 0{,}55\ f_{cd}\ (f_b+f_o)\ 0{,}25H_{vs}$

Ook moet de drukspanning in de voegen nabij de oplegging ten gevolge van de schuifkracht gecontroleerd worden. Indien de drukdiagonaal onder 45° loopt en bij aanname 1 m breed is, wordt de capaciteit genomen over $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ m.
$V_{Rd,max} = 0{,}55\ f_{cd}\ (f_b+f_o)\ \frac{1}{2}\sqrt{2}$

5.2 Schuifspanningen in langsvoegen

De langsvoegen worden belast door een schuifkracht uit schijfwerking en wigwerking (Figuur 18). De schuifkrachten die in de ordegrootte van de treksterkte kunnen zijn, mogen de toelaatbare rekenwaarde van het voegmateriaal niet overschrijden. Indien deze wel worden overschreden, kunnen verbindingen aangebracht worden met wapening tussen de platen.

Een goede detaillering en uitvoeringswijze alsmede een verstandige fasering in het montagestadium kunnen bijdragen om de initiële scheurwijdte ter plaatse van de voegen te beperken. Het verdient hierbij aanbeveling om kritische voegen niet eerder te vullen dan nadat de hoofdtrekbanden hun functie kunnen vervullen. Door de scheurverdelende werking van een trekband met aanhechting kunnen krimpvervormingen min of meer gelijkmatig worden verdeeld over de gehele vloerschijf.

Het uitgangspunt voor de wrijvingsweerstand in deze ontwerprichtlijnen is 'gladde voegen' conform EN1992-1-1 artikel 6.2.5. Verder geeft artikel 10.9.3 aan dat bij schijfwerking tussen geprefabriceerde plaatelementen met gestorte of gegroute verbindingen de gemiddelde schuifspanning in langsrichting V_{Rdi} wordt beperkt tot 0,15 N/mm2 voor glad oppervlak. Geen aanvullende maatregelen, zoals bijvoorbeeld vertandingen of luswapening, zijn nodig indien ter controle van de sterkte voor de gemiddelde schuifspanning in de langsvoeg geldt:

$V^*_{Ed} < V^*_{Rd}$

met
$V^*_{Ed} = V_{Ed} / z_{vs}$
V^*_{Ed} = rekenwaarde schuifkracht voeg [kN/m1]
V_{Ed} = rekenwaarde schuifkracht ligger [kN]
z_{vs} = hoogte inwendige hefboomarm

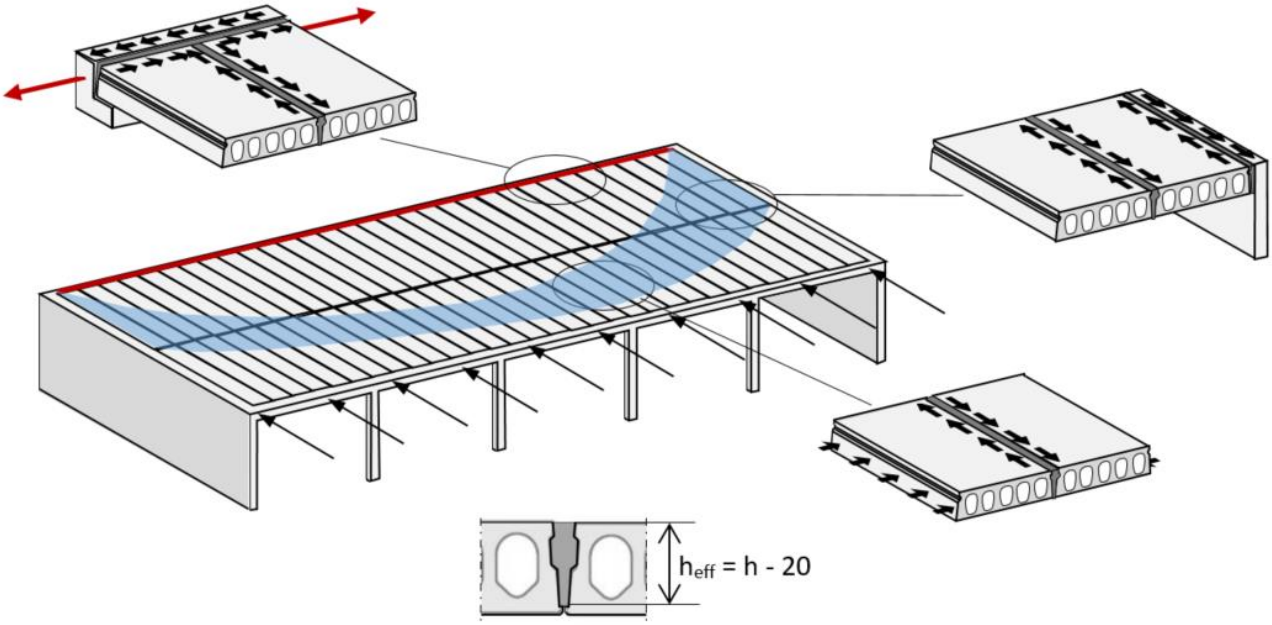
$V^*_{Rd} = \min (V^*_{Rd,min}, V^*_{Rdi})$

$V^*_{Rd,min} = 0{,}15\ h_{eff}\ z_{vs}$
h_{eff} = effectieve hoogte voeg = h – 20 mm

$V^*_{Rdi} = 0{,}20\ f_{ctd}\ h_{eff}\ \frac{1}{2}\sqrt{2}$

De schuifkrachtcapaciteit van randbalken en eventuele tussenbalken in de buigdrukzone van de vloerschijf, loodrecht op de langsvoegen, mag in mindering worden gebracht op de optredende schuifkracht. In de overige voegen zijn geen aanvullende maatregelen nodig indien in de betreffende doorsnede geldt dat $V^*_{Ed} \leq V^*_{Rd}$.

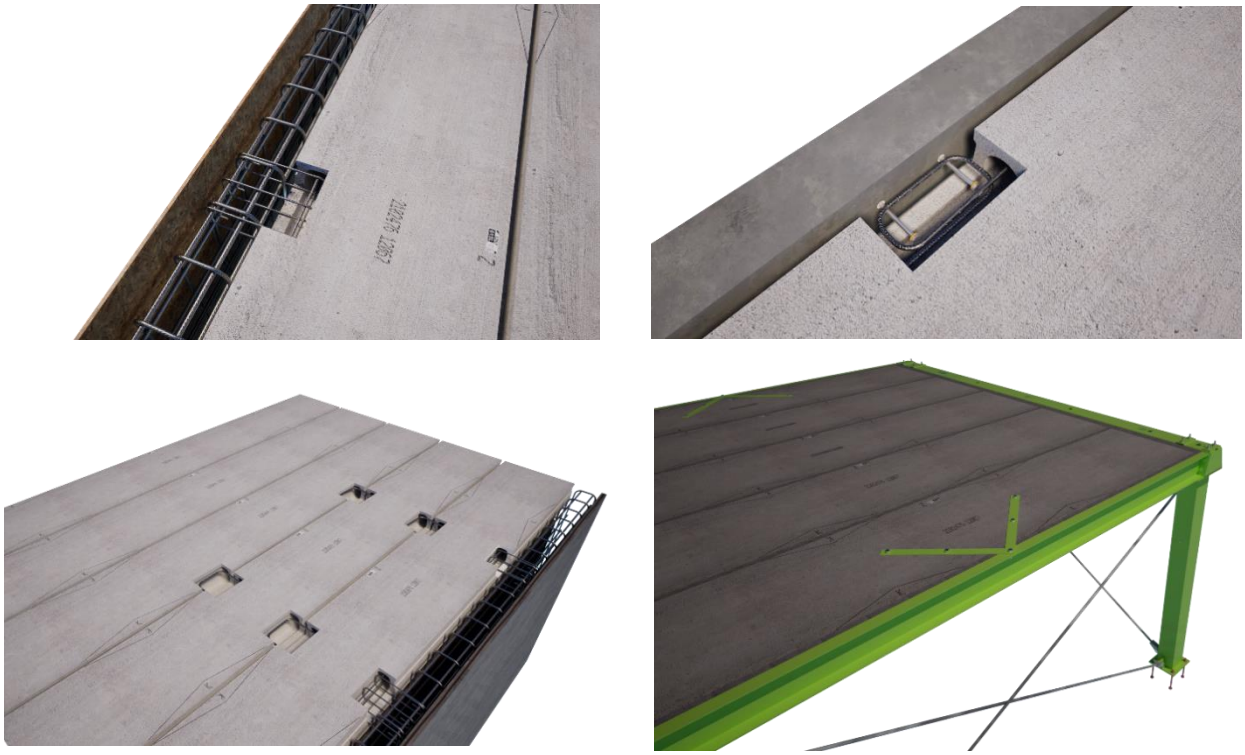
Afhankelijk van de detaillering moet voor de laatste voeg, waar de schuifkracht maximaal is, worden nagegaan of de krachtsoverdracht zonder aanvullende voorzieningen tot stand kan komen. Indien het wandoppervlak van de stabiliteitskern of stabiliteitswand onvoldoende ruw is, dienen maatregelen te worden getroffen om een mechanische krachtsoverdracht mogelijk te maken.



Figuur 18 Mortelvoegen tussen kanaalplaten belast op druk en afschuiving

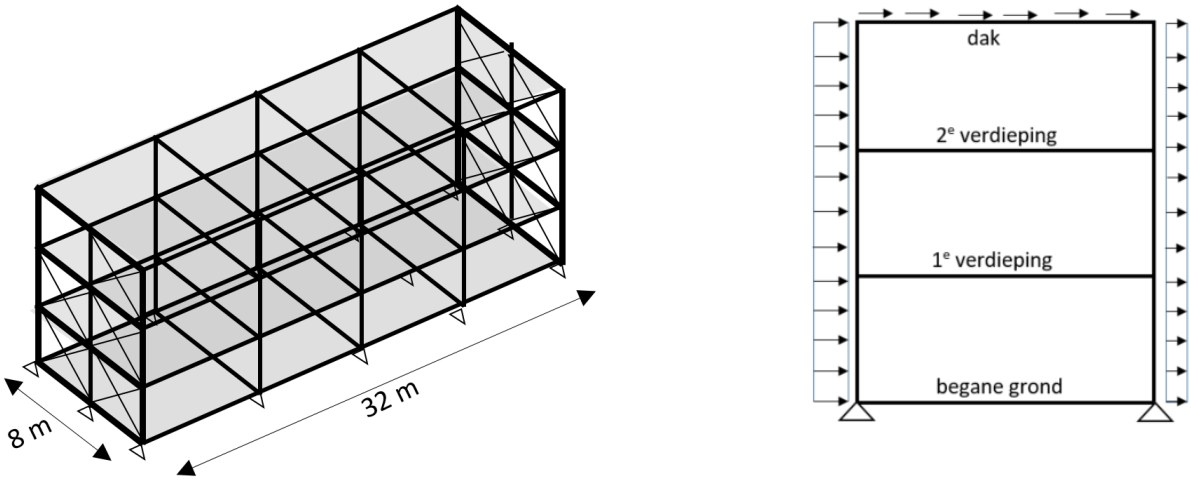
5.3 Detaillering afschuifwapening in de verbinding vloer-stabiliteitsvoorziening

Afhankelijk van de grootte van de optredende schuifspanning in de langsvoegen moeten de geprefabriceerde vloerplaten ter plaatse van stabiliserende elementen al dan niet door middel van wapening worden verbonden met de oplegbalk. Als de schuifspanning in een langsvoeg hoger is dan 0,15 N/mm^2, moeten er aanvullende maatregelen worden getroffen. Er zijn verschillende uitvoeringen van deze verbinding om de schuifkracht door middel van een mechanische verbinding of profilering over te brengen (Figuur 19). De lengte van de uitsparing is 300 mm, de breedte is gelijk aan een kanaalbreedte. In de sparing wordt wapening aangebracht op een hoogte van 0,5h+40mm (bij een kanaalplaatdikte van 320 mm is dit 200 mm). Er zijn ook mogelijkheden om deze schuifkracht door middel van een droge circulaire verbinding te realiseren. In dat geval kan bijvoorbeeld en vormvaste driehoek van stalen strips op de kanaalplaten worden vast gebout.

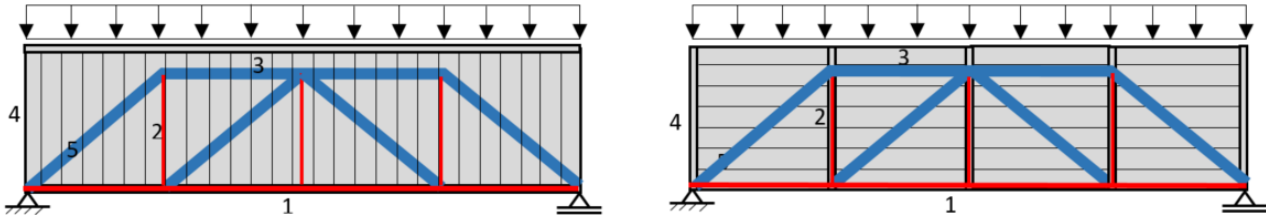


Figuur 19 Configuraties mechanische schuifverbinding

6 Rekenvoorbeeld: kantoor met rechthoekige plattegrond



Figuur 20 Kantoorgebouw 3D-aanzicht en dwarsdoorsnede



Figuur 21 Krachtswerking in kanaalplaatvloerschijven met drukboogtrekband systeem en vakwerkanalogie

Beschouw een kantoor (CC2) met drie bouwlagen en een draagconstructie van beton, met windverbanden in de korte gevels (Figuur 20). Het gebouw heeft een rechthoekige plattegrond van 8 m bij 32 m, de hoogte van de bouwlagen is 3,6 m. In de vloer is een kanaalplaat 200 toegepast (EG = 3 kN/m2, RB = 2,5 kN/m2). Er worden 2 configuraties beschouwd voor de overspanning van de kanaalplaat (Figuur 21). De opgelegde vloerbelasting bestaat uit lichte scheidingswanden (0,5 kN/m2) en een gelijkmatig verdeelde vloerbelasting van 2,5 kN/m2 voor de verdiepingen. Op het dak worden voor de eenvoud van het voorbeeld ook kanaalplaten toegepast, en is 1,0 kN/m2 in rekening gebracht. De verticale gevelbelasting is 2,0 kN/m1. De stuwdruk is 900 N/m2 voor gebied II, onbebouwd, met c-factor 0,93. Correlatiefactor 0.85. mortel C20/25.

Windbelasting voor 1e en 2e verdieping:
$p_w=(c_d+c_z)q_{rep}$ = 0.85 (0.8+0.5) 900 = 995 N/m2
$q_{rep} = C_{dim}\ p_w\ h$ = 0.93 x 995 x 3.6 = 3,35 kN/m1
Rekenwaarde windbelasting $q_d = \gamma\ q_{rep}$ = 5,0 kN/m1

Belasting dak:
$q_d = \gamma\ q_{rep}$ = 1,2 (8 x 32)(3.0+2.5) + 1,5 (8 x 32)(1,0) = 1689 + 384 = 2073 kN. Per middenkolom 1/8e = 259 kN

Belasting verdiepingen:
$q_d = \gamma\ q_{rep}$ = 1,2 (8 x 32)(3.0+2.5) + 1,5 (8 x 32)(2.5+0.5) = 1689 + 1152 = 2841 kN
Per middenkolom 1/8e = 355 kN. Hierbij komt ook nog gevelbelasting over 8 m van $F_d = \gamma\ F_{rep}$ = 1,2x2.0x8,0 = 19 kN, dus totaal 374 kN

Scheefstand:
Kolomkrachten: $N_{B,3}$ = 259 kN; $N_{B,2}$ = 633 kN; $N_{B,1}$ = 1007 kN. De extra horizontale belasting H voor een kolom gelijk is aan H = (633 + 1007) 0,005/2 = 4,1 kN voor de 1e verdieping. Per m1 is dit 4,1/8,0 = 0.5 kN/m2

Totale horizontale rekenbelasting:
Met de windbelasting en belasting uit scheefstand is de totale belasting voor de vloerschijf 5,0+0,5 = 5,5 kN/m1.

Uit de drukboogtrekbandligger volgt voor het maximaal moment en schuifkrachten (Figuur 22):
$M_{d,veld}$ = 0,125 ql^2 = 0,125 x 5,5 x 32^2 = 704 kNm
$V_{d,A}$ = $V_{d,B}$ = 0,5ql = 0,5 x 5,5 x 32 = 88 kN

Trekbandwapening schijfwerking:
L_{vs}/H_{vs} = 32/8 = 4 -> z_{vs} = 0,8 H_{vs} = 0,8 x 8 = 6,4 m
$F_{tie,schijfwerking}$ = $M_{d,max}/z_{vs}$= 704/6,4 = 110 kN

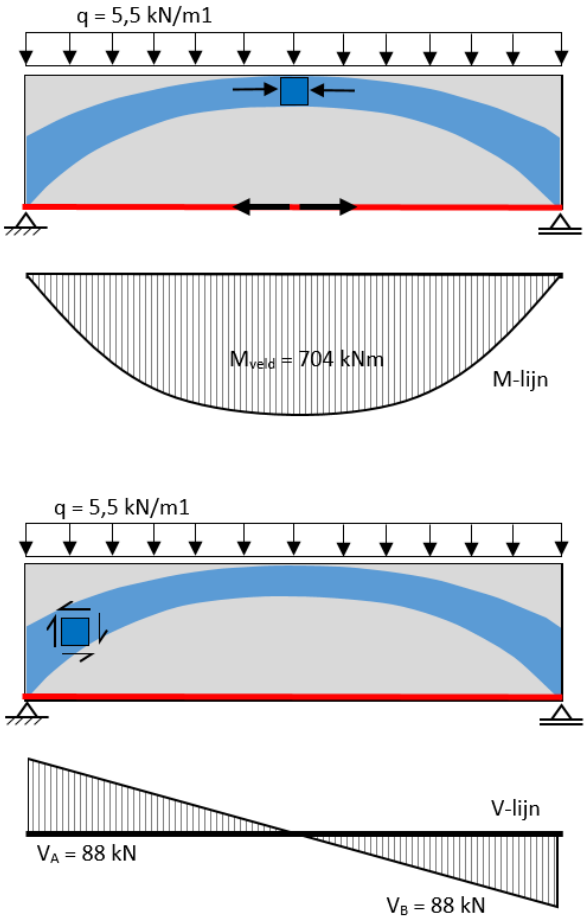
Trekbandwapening wigwerking:
$F_{tie,wigwerking}$ = 1/8 $F_{tie,schijfwerking}$ = 110/8 = 14 kN

Trekbandwapening lastspreiding:
$F_{tie,lastspreiding}$ = H_{vs} q_{Ed} b_e/3 = 8 x 2,5 x 1,2/3 = 8 kN

Totale trekbandwapening:
$F_{tie,tot}$ = $F_{tie,vloerschijf}$ + $F_{tie,wigwerking}$ + $F_{tie,lastspreiding}$ > $F_{tie,per}$
= 110 + 14 + 8 = 132 kN > 80 kN

Conform EN1992-1-1 artikel 9.10.2.2. is een minimale wapening in de omringende trekband vereist om een kracht op te nemen die gelijk is aan (voor dit voorbeeld stellen we CC2b):
$F_{tie,per}$ = q_1 l_i = 10 x 8 = 80 kN ≥ Q_2 = 70 kN

Maatgevend is 132 kN. Dan volgt met wapening FeB500:
$A_{s,tot}$ = $F_{tie,tot}$ / f_{yd} = 132.000/435 = 303 mm^2
Pas toe 2∅14 (308 mm^2) of 2∅16 (402 mm^2)



Figuur 22 Momentenlijn en schuifkrachtenlijn

Drukboog controle voegbeton C20/25 in het midden van de overspanning bij maximale moment:

N_{Ed} = $F_{tie\ tot}$ = 132 kN

$N_{Rd,max}$ = 0,55 f_{cd} (f_b+f_o) 0,25H_{vs}

= 0,55 (20/1,5)(35+35)2000 = 1026 kN >> 132 kN

Ter plaatse van de oplegging wordt de maximale schuifkracht in de voegen gecontroleerd:

V^*_{Ed} = V_{Ed} / z_{vs} =88/6,4 = 13,8 kN/m1

V^*_{Rd} = min ($V^*_{Rd,min}$, V^*_{Rdi})

$V^*_{Rd,min}$ = τ_d (h_{eff} z_{vs}) = 0,15((200-20)1) = 27,0 kN/m1

V^*_{Rdi} = 0,20 f_{ctd} h_{eff} = 0,20 (1,50/1,5)180 = 36 kN/m1

Ofwel V^*_{Rd} = min ($V^*_{Rd,min}$, V^*_{Rdi}) = 27,0 kN/m1

V^*_{Ed} < V^*_{Rd} -> 13,8 kN/m1 < 27,0 kN/m1

De optredende schuifkracht is kleiner dan de capaciteit van de langsvoeg. Dit geldt voor beide configuraties van de kanaalplaten (zie eenheidsblokje). Er zijn geen mechanische deuvels nodig tussen de kanaalplaten.

Ook moet de drukspanning in de voegen nabij de oplegging ten gevolge van de schuifkracht gecontroleerd worden. Indien de drukdiagonaal onder 45° loopt en bij aanname 1 m breed is, wordt de capaciteit genomen over ½√2 m:

V_{Ed} = 88 kN

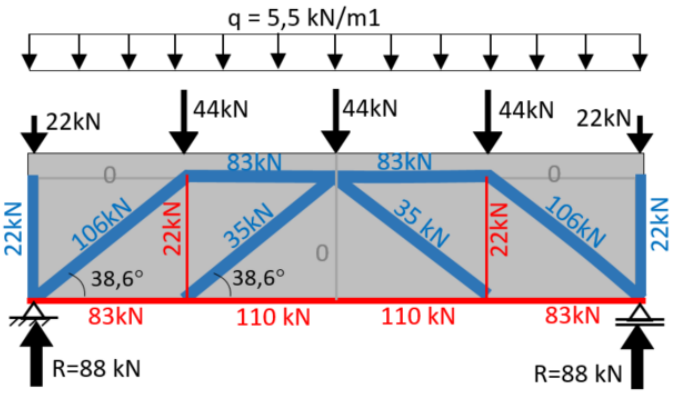
$V_{Rd,max}$ = 0,55 f_{cd} (f_b+f_o) ½√2 =

= (20/1,5)(35+35)½√2 = 363 kN >> 88 kN

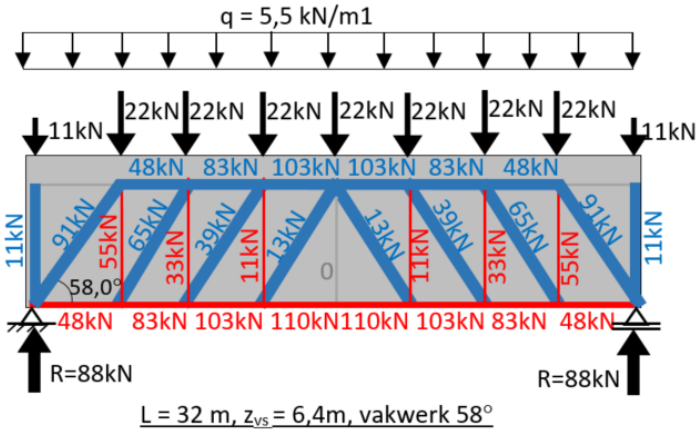
Bij de verbinding tussen de kanaalplaat en de stabiliteitswand is conform EN1992-1-1 artikel 9.10.2.4 moet minimaal een trekbandkracht tussen de vloer en de stabiliteitswand opgenomen kunnen worden van 20 kN/m1. Dit vereist een mechanische deuvelverbinding van 20 kN/m1.

Naast de drukboogtrekband wordt bij de dimensionering ook de vakwerkanalogie uit Figuur 23 gebruikt. In Figuur 23 zijn twee configuraties weergegeven van vakwerken die overeen zouden kunnen komen met de twee geometrieën. In de eerste figuur is er voor gekozen (arbitrair) om een vakwerk met 4 vakken te modelleren (breedte vak is 8 m), in de tweede figuur heeft het vakwerk 8 vakken (breedte is 4 m). De hoogte van de schijf is 8 m, en de hefboomarm is dan 0,8x8 = 6,4 m. Hiermee komen de hoeken van de diagonalen op respectievelijk 38,6° en 58,0° uit.

In de eerste figuur met 4 vakken komen de verticale trekstaven overeen met de dwarsbalken in de vloer. Uit het vakwerkmodel volgt dat de dwarsbalken een wapening moeten krijgen voor schijfwerking die een kracht van 22 kN op moet kunnen nemen. Uit EN1992-1-1 artikel 9.10.2.3 volgt echter dat er voor inwendige trekbanden een kracht van 20 kN/m1 opgenomen moet kunnen worden. Dan geldt $F_{tie,int}$ = 20x8 = 160 kN. In de balken moet daarvoor 160.000/435 = 367 mm² worden toegepast, wat overeenkomt met 2∅16 is (402 m²) of 4∅12 (452 mm²).



L = 32 m, z_{vs} = 6,4m, vakwerk 38,6°



Figuur 23 Vakwerkmodelleringen kantoorvloer

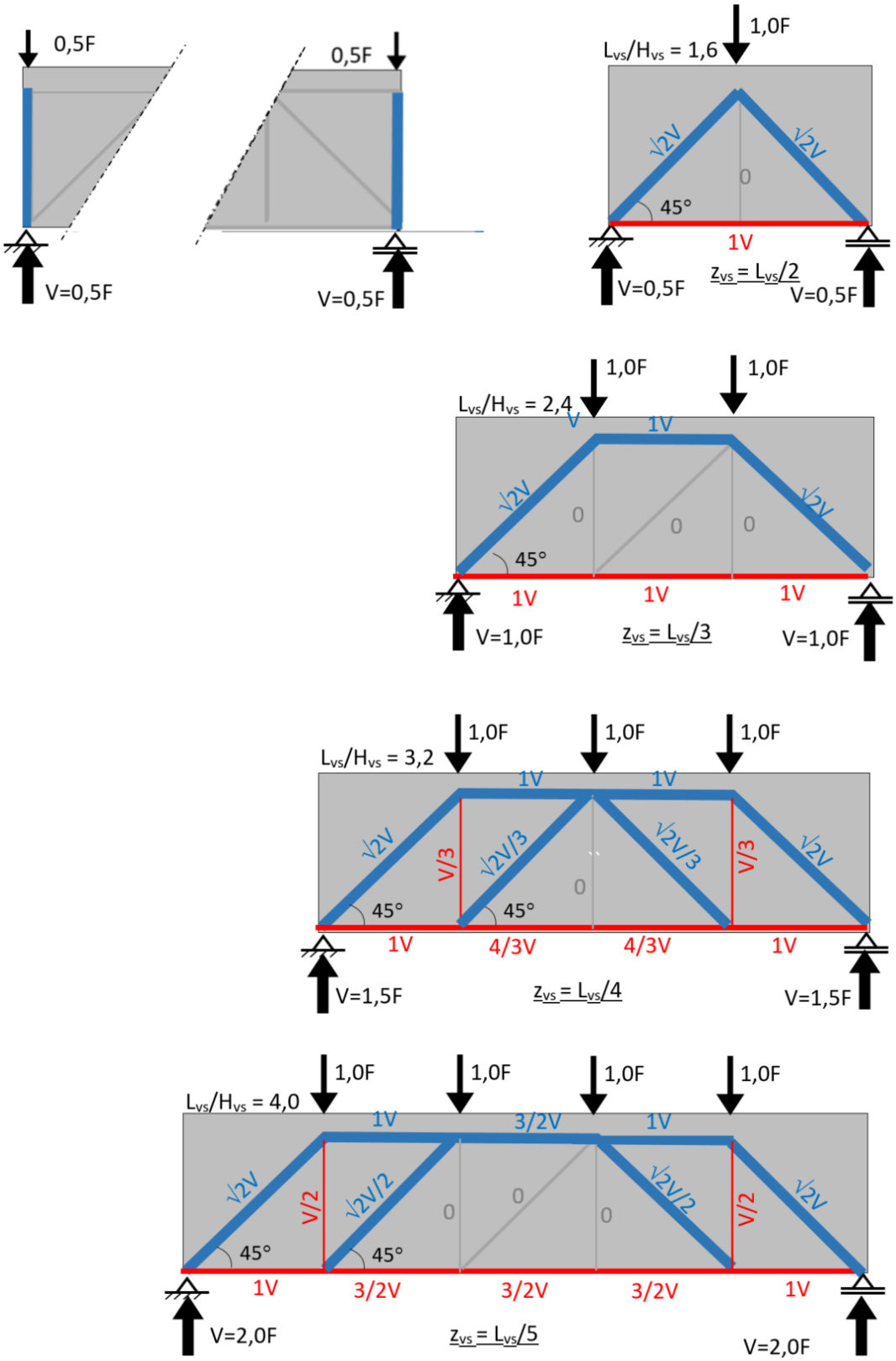
In de tweede figuur met 8 vakken is de detaillering van de druk- en trekstaven fijner, en om die reden zijn de krachten in de staven anders. In de verticale trekstaven nabij de oplegging is een trekkracht van 55 kN berekend. In de kanaalplaten is voorspanning aanwezig, de 2 bovendraden per kanaalplaat kunnen 20 kN trekband leveren (2∅5 = 2 x 19,6 mm2 x (1600 - 1100) N/mm^2 = 20 kN). Over 4m is dit 4/1,2 x 20 kN = 66 kN. Natuurlijk moet tussen de oplegbalk en de kanaalplaat koppelwapening aangebracht worden om de 55 kN van de randbalk over te dragen naar de middenbalk (55.000/435 = 126 mm^2) wat overeenkomt met 2∅12 is (226 mm^2) dat als koppelwapening in de voeg kan worden aangebracht.

Indien de drukstaven steiler genomen worden, door het vakwerk fijner te maken, wordt de trekkracht in de verticale staaf groter. Echter, realistisch en praktisch blijft het de drukstaaf met een hoek van 45° tot 60° maximum te beschouwen.

In Figuur 24 is voor een aantal vakwerken met drukstaven onder 45° uitgewerkt wat de staafkrachten zijn, als functie van de oplegreactie. Hierbij is de hefboomarm z_{vs} gelijk genomen aan een veelvoud van de overspanning L_{vs}. Opgemerkt wordt dat hierbij de q-last uit windbelasting is uitgesplitst in krachten op het vakwerk, waarbij de 2 buitenste uitwendige krachten (0,5F) direct door een drukstaaf naar de oplegging worden afgevoerd. De staafkrachten in het vakwerk verzorgen de afdracht van de overige uitwendige krachten (1,0F). Hoe grover het vakwerkmodel, hoe meer de resultaten convergeren naar een drukboogtrekband systeem.

Het vakwerkmodel helpt dus om volledig inzicht te krijgen in welke wapening waar aangebracht moet worden. Zo zullen de kanaalplaten koppelwapening met de oplegging moeten hebben, en kunnen er mechanische verbindingen met de stabiliserende elementen zijn indien de schuifsterkte ontoereikend is.

De ontwerpend constructeur moet rekening houden met de afdracht van deze horizontale krachten via de stabiliserende elementen naar de fundering. De windbelasting moet namelijk 'opgehangen' worden in de wanden om over de hele lengte van de fundering afgedragen te worden.



Figuur 24 Staafkrachten in vakwerkconfiguraties met drukstaven onder 45°

7 Referenties

- EN1992-1-1+C2:2011/NB+A1:2020
- CUR 135 Demontabel bouwen, april 1990, p. 117
- CUR 136 Voegen in geprefabricerde vloeren, augustus 1988, p. 122
- Stroband, Kolpa. Demountable construction analysis of the behaviour of a 1:5 scale floor bay: part 1. Report 5-85-14. Delft University of Technology, oktober 1995, p. 205.
- Betongelementforeningen, Bind B Avstivning og kraftoverføring, B12 Skivesystem, p. 123-144
- Berekening Duits via https://www.fg-vmm.de/bemessung/vmm-scheiben-nachweis.htm
- NEN 6726 Aanvullende regels voor toepassing van vooraf vervaardigde betonproducten in constructies – Deel 2: Kanaalplaatvloeren.

Samen tegen materiaalobesitas

Als bouwsector gebruiken we onnodig veel materialen, grondstoffen en energie. Materiaalobesitas, noemen we dat. Hoe komen we daar vanaf? Door met z'n allen slimmer te bouwen met minder materiaal!

Als VBI doen we dat met onze kanaalplaatvloeren, die door de holle structuur zo'n 40% beton en 50% wapeningsstaal besparen. En zonder constructieve druklaag. Dat betekent een enorme CO2-reductie plus een heleboel andere voordelen die positief effect hebben op jouw bouwproject. Zo bouwen we steeds slimmer met minder. Doe je ook mee?

Wil je meer weten over druklaagloos bouwen?
Mail naar Tekenkamer Techniek: tekenkamertechniek@vbi.nl
of bel +31 (0)26 379 79 79