

S.P. Hildering

Bevestigen van prefab betonnen balkons

Aandachtspunten en handvatten voor ontwerp, uitvoering
en samenwerking

Bevestigen van prefab betonnen balkons

Aandachtspunten en handvatten voor ontwerp, uitvoering en samenwerking

Door

S.P. Hildering

Ter gedeeltelijke vervulling van de eisen ter verkrijging van de graad

Master of Science
in Civil Engineering

Aan de Technische Universiteit Delft.

Student: S.P. (Sven) Hildering
4159438
sven.hildering@gmail.com

Afstudeercommissie: Prof. dr. ir. D.A. Hordijk
Ir. R. Van Nalta
Ir. P. Lagendijk
Dr. ir. M. Lukovic
Dr. ir. M.A.N. Hendriks
Ir. L.J.M. Houben

TU Delft, voorzitter
Pieters Bouwtechniek
TU Delft
TU Delft
TU Delft
TU Delft

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in samenwerking met Stufib studiecél 21, *Bevestiging- en verankeringssystemen van geprefabriceerde balkons*, en doet tevens dienst als verslag van mijn literatuurstudie naar de werking en bevestiging van geprefabriceerde balkons voor mijn master thesis.

Stufib studiecél 21 is in 2011 in het leven geroepen om problematiek rondom de bevestiging van geprefabriceerde betonnen balkons uit de wereld te helpen. Onderschatting van de complexiteit van balkonconstructies in combinatie met versnippering van taken leidt in de praktijk helaas te vaak tot problemen. Dit rapport heeft als doel de lezer te informeren en handvatten te bieden zodat problemen in de toekomst kunnen worden voorkomen. In de huidige versie zal het dienen als eerste aanzet voor de ontwikkeling van een daadwerkelijk te publiceren Stufib-rapport.

Het rapport is opgesteld bij Pieters Bouwtechniek in Delft onder begeleiding van ir. Rogier van Nalta. Zijn commentaar en inzichten hebben een groot aandeel gehad in de totstandkoming van dit rapport, alwaar ik hem zeer dankbaar voor ben. Daarnaast ben ik de andere leden van de afstudeercommissie, prof. dr. ir. Dick Hordijk, ir. Paul Lagendijk, dr. Mladena Lukovic en dr. ir. Max Hendriks, zeer erkentelijk voor hun visie, commentaar en geïnvesteerde tijd.

Afsluitend een dankwoord aan de leden van Stufib studiecél 21. De manier waarop zij mij hebben gevoed met informatie, aandachtspunten en hun eindeloze ervaring heeft bijgedragen aan de praktische toepasbaarheid van dit rapport.

*S.P. Hildering
Delft, januari 2018*

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	V
1. INTRODUCTIE & LEESWIJZER	1
2. OVERZICHTEN	2
3. BALKONCONFIGURATIES	7
4. VERBINDINGSTYPEN	18
5. VLOERTYPEN	23
6. KRACHTSWERKING	24
6.1 DE VERBINDING	24
6.2 ACHTERLIGGENDE DRAGENDE CONSTRUCTIE	26
6.3 DRAGENDE WANDEN	29
6.4 SCHEMATISERING	29
6.5 BEREKENINGSMETHODE	30
7. BELASTINGEN	32
7.1 VERTICALE BELASTING	32
7.2 HORIZONTALE BELASTING	32
8. TEMPERATUUR & VERMOEIING	34
8.1 TEMPERATUUR	34
8.2 VERMOEIING	38
9. DUURZAAMHEID	41
9.1 MILIEUKLASSE	41
9.2 DEKKING	41
9.3 SCHEURBEHEERSING	42
9.4 PRAKTIJKVOORBEELD	42
10. BRUIKBAARHEIDSCRITERIA	44
10.1 VERVORMINGEN	44
10.2 HEMELWATERAFVOER	46
10.3 TRILLINGEN	48
11. ROBUUSTHEID	51
11.1 TWEDE DRAAGWEG VS. ROBUUSTHEID	51
11.2 STRATEGIE	51
11.3 BALKONCONFIGURATIES	52
11.4 PRAKTIJKVOORBEELD	53
12. BRANDVEILIGHEID	55
12.1 STERKTE BIJ BRAND	55
12.2 WBDDBO	55
12.3 KOMO-GECERTIFICEERDE VERBINDINGEN	56
12.4 OVERIGE VERBINDINGEN	56
13. BALUSTRADE	58
13.1 VOORGESCHREVEN HOOGTE	58
13.2 VOORGESCHREVEN BELASTING	58
13.3 DOORBUIGING	58
13.4 GEVOLGKLASSE	58
14. UITVOERING	60
14.1 STEPELEN	60
14.2 TUNNELGIETBOUW	61

14.3	KOUDEBRUGONDERBREKINGEN	62
14.4	STORTORIËNTATIE	62
14.5	UITLIJNEN BOVENZIJD E VLOER EN BALKON	62
15.	SAMENWERKING	64
15.1	PERSOONLIJKE FOUTEN	64
15.2	CONSTRUCTIEVE SAMENHANG	64
15.3	INFORMATIE-UITWISSELING	64
15.4	CONTROLE	65
15.5	ROL VAN DE CONSTRUCTEUR	65
BIJLAGEN		67
A.	KRACHTSWERKING	68
B.	TEMPERATUUR & VERMOEIING	73
C.	DUURZAAMHEID	77
D.	BRUIKBAARHEIDSCRITEIA	80
E.	ROBUUSTHEID	82
F.	BALUSTRAD E	83

1. Introductie & Leeswijzer

Naar aanleiding van optredende problemen bij de bevestiging van geprefabriceerde betonnen balkons is Stufib studiecél 21, *bevestiging- en verankeringssystemen van geprefabriceerde balkons*, opgezet met als doel het voorkomen van schade en onveilige situaties.

De studiecél wilt dit doel bereiken door een rapport uit te brengen dat de lezer informeert over de aspecten die komen kijken bij het ontwerpen en bevestigen van een betonnen balkon. Het rapport moet de lezer doen inzien dat het ontwerpen en bevestigen van een geprefabriceerd balkon complexer is dan vaak wordt gedacht. Er is getracht dit doel te bereiken door middel van het bieden van aandachtspunten en handvatten. Dit rapport zal dienstdoen als eerste aanzet voor een uiteindelijk te publiceren Stufib-rapport.

Het rapport start met het hoofdstuk Overzichten alwaar twee A3-pagina's staan met een overzicht van veelvoorkomende balkonconfiguraties, verbindingstypen en vloertypen. Dit hoofdstuk wordt opgevolgd door de hoofdstukken Balkonconfiguraties, Verbindingstypen en Vloertypen. In deze drie hoofdstukken worden de in het hoofdstuk Overzichten gepresenteerde items nader behandeld met behulp van specifieke aandachtspunten. Achter de aandachtspunten zijn paragraafverwijzingen vermeldt. In de vermeldde paragraaf kan de lezer meer informatie vinden over het benoemde aandachtspunt. Er is voor deze start van het rapport gekozen omdat het de overzichten in staat stelt twee functies te vervullen. Ten eerste geeft het een onervaren lezer een inzicht in de mogelijkheden omtrent geprefabriceerde betonnen balkons. Ten tweede dient het als gemakkelijk naslagwerk voor de meer ervaren lezer en kan het een ondersteunende rol vervullen tijdens het maken van ontwerpkeuzes.

Na de overzichten en aandachtspunten wordt de lezer aan de hand van de hoofdstukken Krachtswerking, Belastingen, Temperatuur en Vermoeiing, Duurzaamheid, Bruikbaarheidscriteria, Robuustheid, Brandveiligheid, Balustrade en Uitvoering verder geïnformeerd over regelgeving en relevante aspecten omtrent het ontwerp van het balkon en de verbinding. In de hoofdstukken worden onderwerpen kort behandeld. Wanneer nodig zijn deze onderwerpen verduidelijkt met een uitgebreidere uitleg of een uitwerking in een voorbeeld. Er wordt dan gerefereerd naar de bijlage alwaar deze verdere uitleg gevonden kan worden.

Het rapport wordt afgesloten met het hoofdstuk Samenwerking. In meerdere onderzoeken is naar voren gekomen dat veel fouten kunnen worden toegeschreven aan een gebrekkige samenwerking. Dit hoofdstuk tracht ook op dit vlak bewustwording te creëren en zo ook deze bron van eventuele problemen uit te sluiten.

2. Overzichten

De komende twee A3-pagina's geven een overzicht van veelvoorkomende balkonconfiguraties en -verbindingen. De hoofdstukken 3. Balkonconfiguraties, 4. Verbindingstypen en 5. Vloertypen lichten deze configuraties nader toe.

Balkonconfiguraties

Krachten die verbinding dient te kunnen overdragen:

- M- Negatief buigend moment trek in bovenzijde doorsnede
- M+ Positief buigend moment trek in onderzijde doorsnede
- M+- Zowel positief als negatief buigend moment

- V- Neerwaarts gerichte dwarskracht uit balkon
- V+ Opwaarts gerichte dwarskracht uit balkon
- V+- Zowel opwaarts als neerwaarts gerichte dwarskracht uit balkon

1

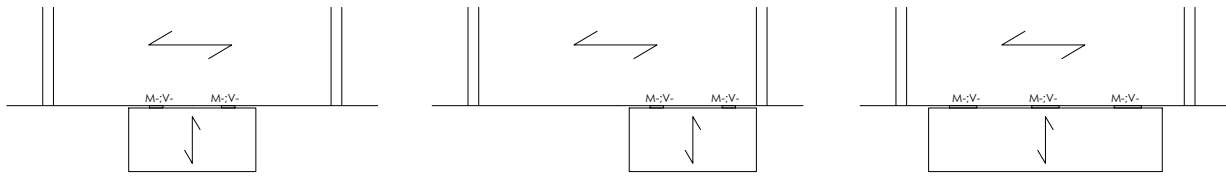
2

3

4

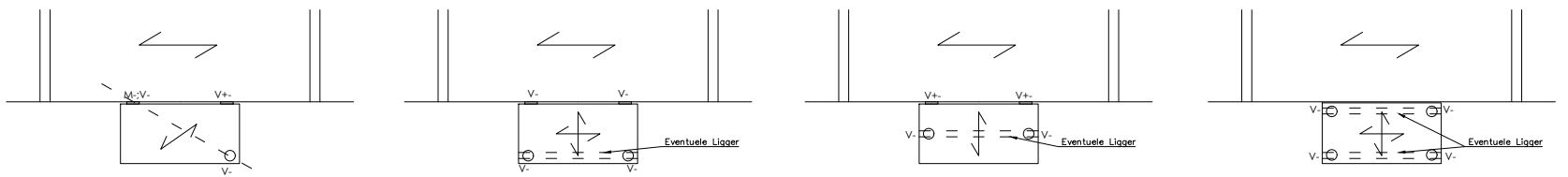
1-zijdig aan vloerrand bevestigd uitkragend balkon.

A



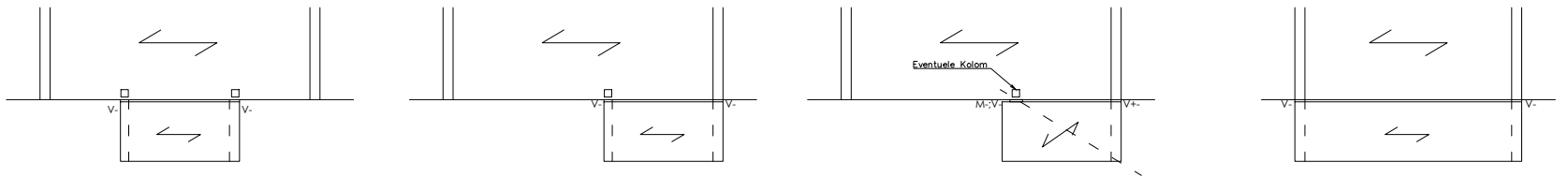
1-zijdig aan vloerrand bevestigd balkon ondersteund door een of meerdere kolommen.

B



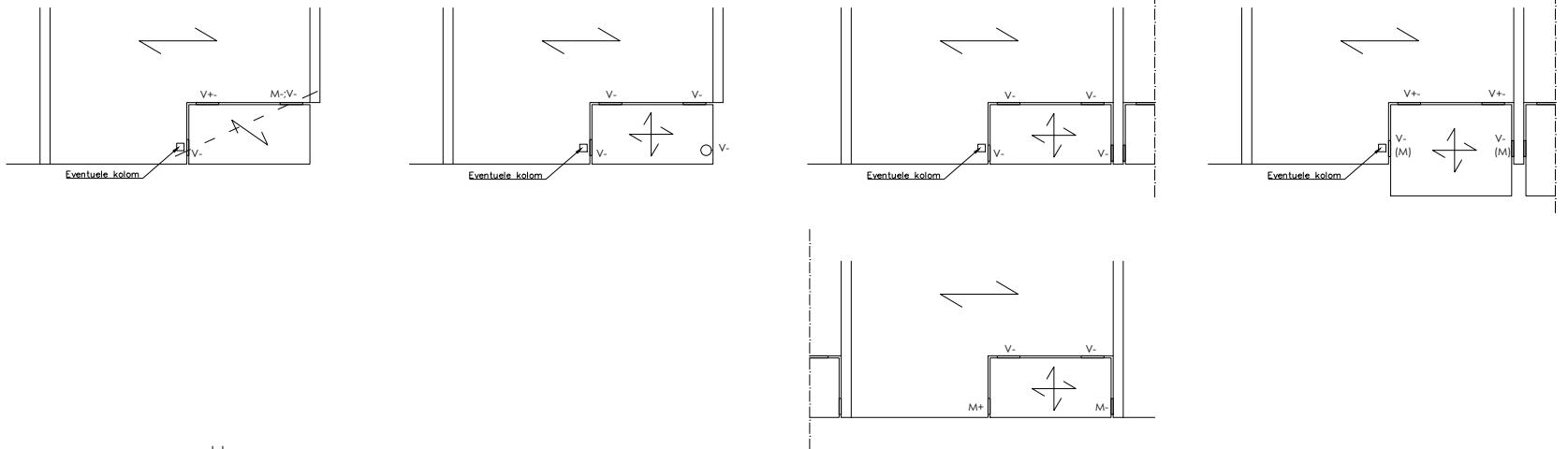
1-zijdig aan vloerrand of wand bevestigd ondersteund door console(s), borstwering(en) of trekstang(en).

C



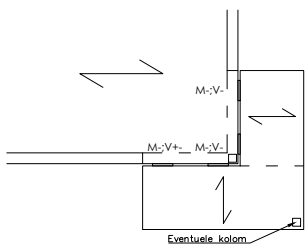
Balkon aan meer dan 1 vloerrand bevestigd.

D



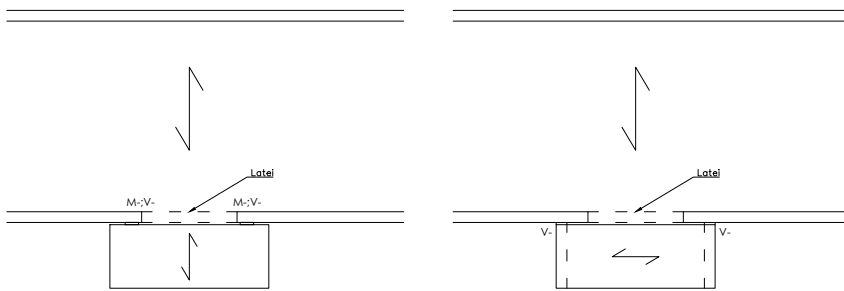
Balkon met hoek

E



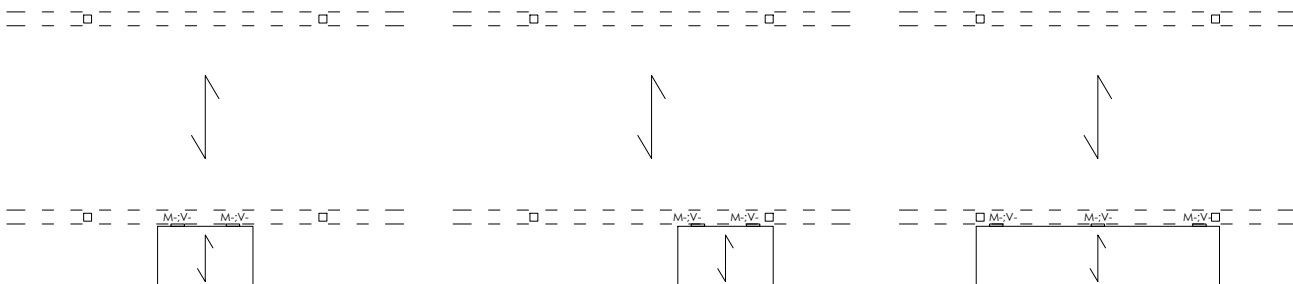
Balkon aan dragende wand, situaties anders dan bovenstaand

F

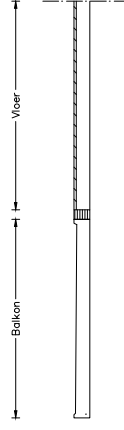
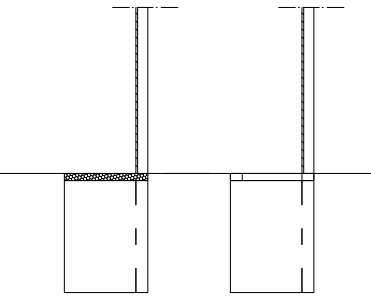
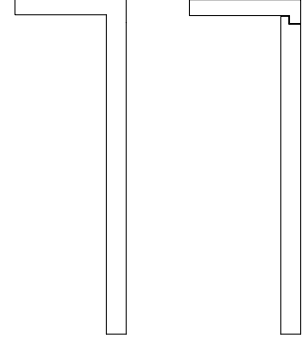
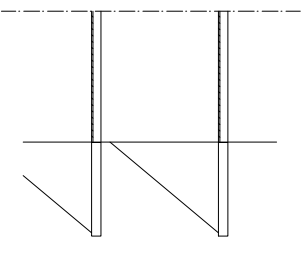
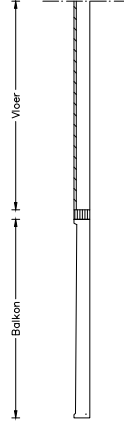
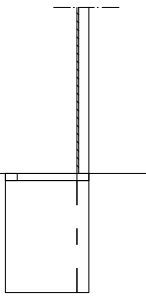
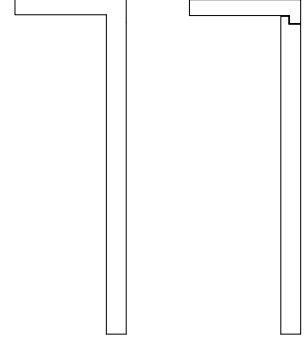
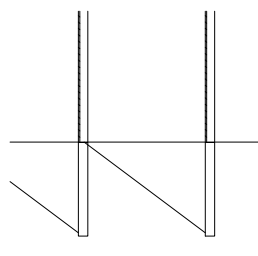
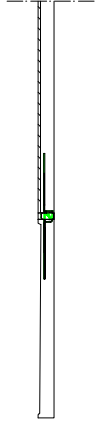
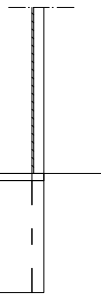
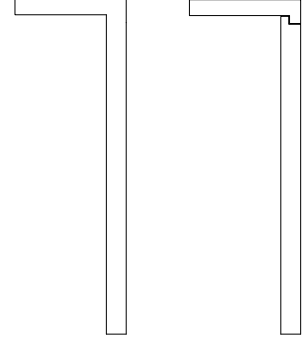
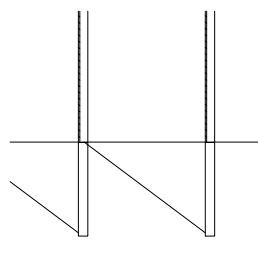
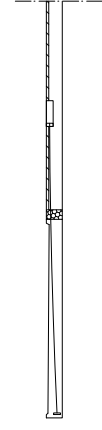
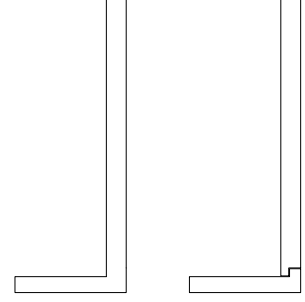
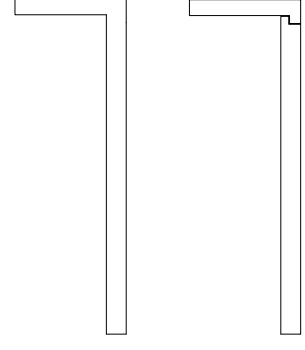
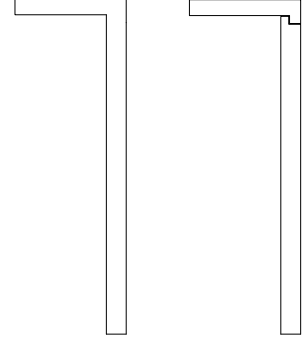
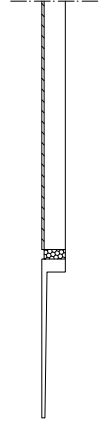
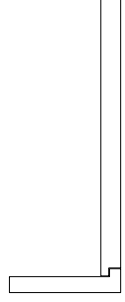
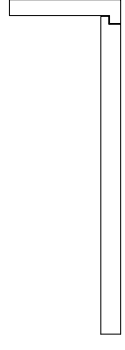
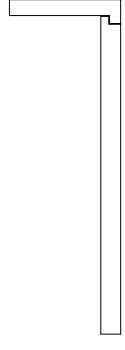
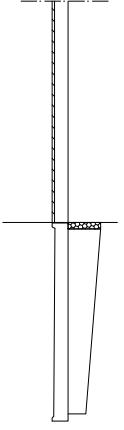
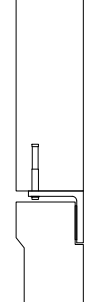
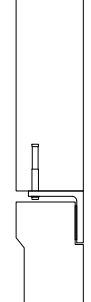
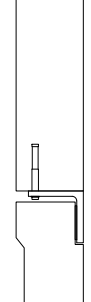
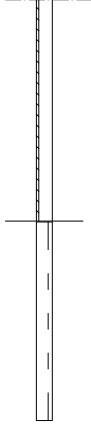
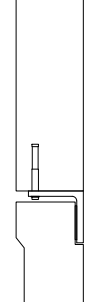
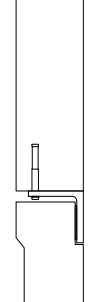
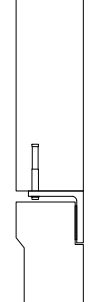
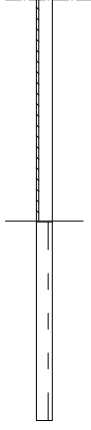
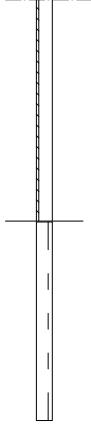
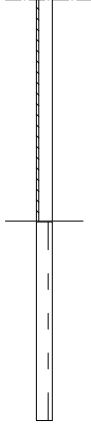
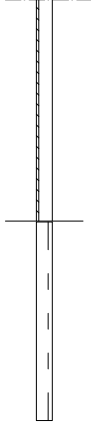

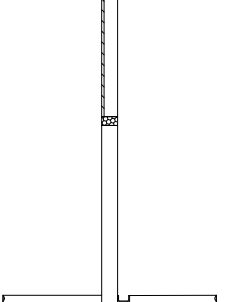
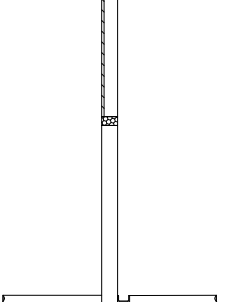
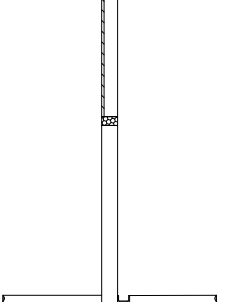
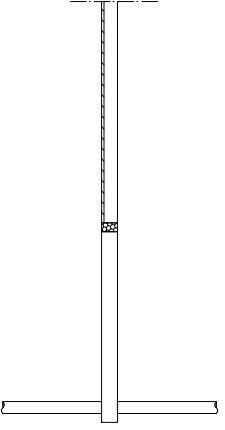
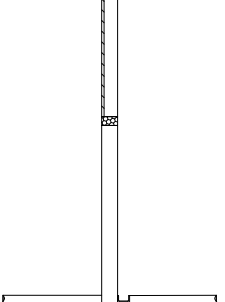
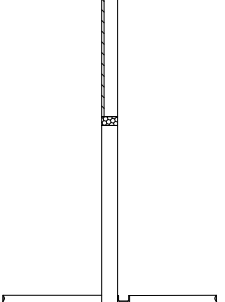
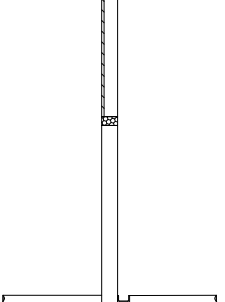
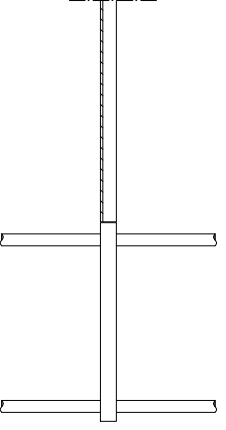
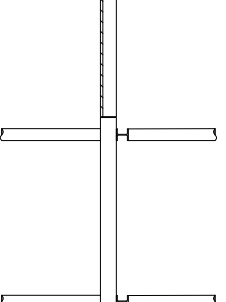
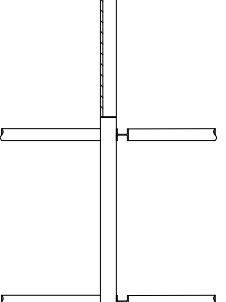
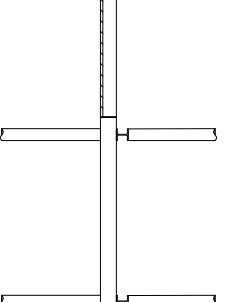
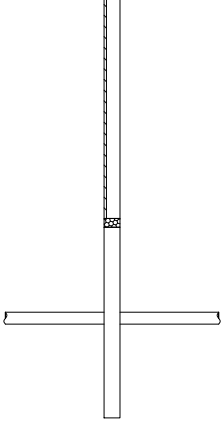
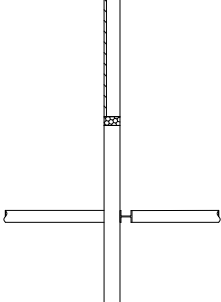
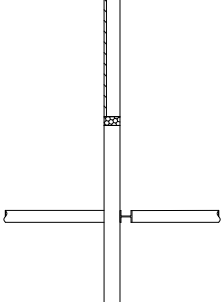
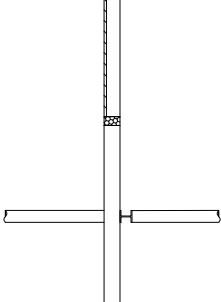
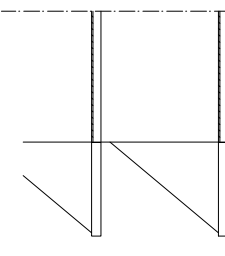
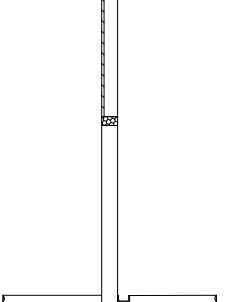
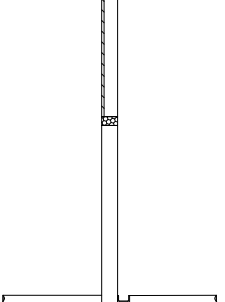
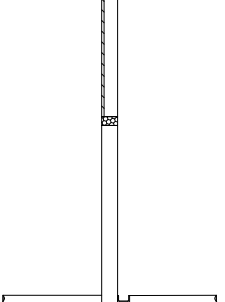
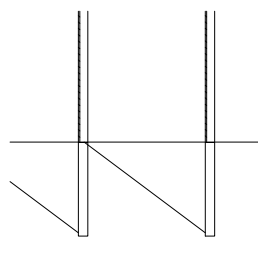
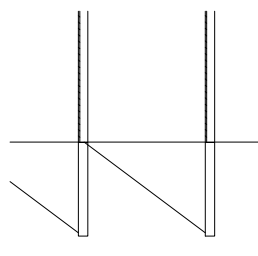
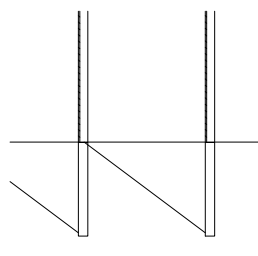


Balkon aan randbalk, situaties anders dan bovenstaand

G



Balkonverbindingen

Over plaathoogte		Borstwering			
Aanstortnokken		Koudebrugonderbreking			
Koudebrugonderbreking		Nokken			
Naspanning; kan met/zonder kbo (Normteq)		Uit 1 stuk			
Hi-Con; Kan met/zonder kbo		Losse delen			
Console		Stalen Hoeklijn / Handjes			
Volledig onder de plaat; kan met/zonder kbo		In Vloer			
Geïntegreerd in plaat; kan met/zonder kbo		Verankerd in balkon			
Kolommen		Kolommen en liggers			
Aan 1 zijde		Aan 1 zijde			
Aan 2 zijden		Aan 2 zijden			
Centraal		Centraal			
Trekstang		Aan wand			
		Aan vloer			

3. Balkonconfiguraties

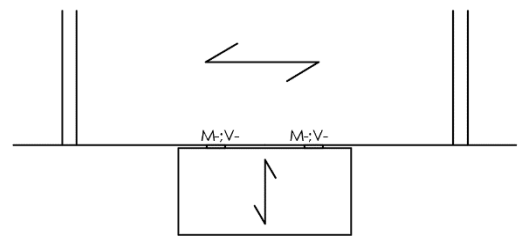
Hoofdstuk 3. Balkonconfiguraties behandelt de veel voorkomende balkonconfiguraties uit het overzicht in het vorige hoofdstuk. Per configuratie volgt een korte beschrijving en een aantal aandachtspunten. Veel aandachtspunten gedurende het ontwerp van een balkon zijn universeel voor alle configuraties, deze zijn niet bij iedere configuratie opnieuw vermeld.

Bij de meeste aandachtspunten staan paragraafnummers vermeld. In de corresponderende paragraaf wordt het aandachtspunt nader toegelicht.

Algemene aandachtspunten:

- Bij aanwezigheid van meerdere partijen, bijvoorbeeld hoofdconstructeur, deelconstructeur, leverancier, etc., moet vooraf overleg plaatsvinden en moeten uitgangspunten vastgelegd worden. Zie hoofdstuk 15. Samenwerking.
- Krachtswerking: Stijfheidsverschillen tussen de vloer en het balkon, tussen verbindingen en invloeden van nabije constructieve elementen kunnen de krachtswerking beïnvloeden. Zie hoofdstuk 6. Krachtswerking.
- Temperatuur en vermoeiing: Wanneer temperatuurvervormingen zijn verhinderd kunnen grote spanningen optreden met scheurvorming tot gevolg. In de configuratie van de verbindingen kan hier rekening mee worden gehouden. Zie hoofdstuk 8. Temperatuur & Vermoeiing.
- Robuustheid: In het geval dat het balkon op meer dan drie punten is opgelegd, is het mogelijk een robuuste constructie te verkrijgen door in het ontwerpproces rekening te houden met het wegvallen van één van de verbindingen. In het hoofdstuk robuustheid is voor de verschillende configuratiecategorieën A t/m F een strategie beschreven. Zie hoofdstuk 11. Robuustheid.
- Stempelen: Voor het stempelen van de balkons tijdens de montage dient een gedegen strategie te worden bepaald. Zie hoofdstuk 14. Uitvoering.

A1 – Het uitkragende balkon is ten opzichte van de wanden symmetrisch aan de vloerrand bevestigd. Mogelijke opties voor de momentvaste verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, aanstortnokken en voorspanning met nagerekt staal.



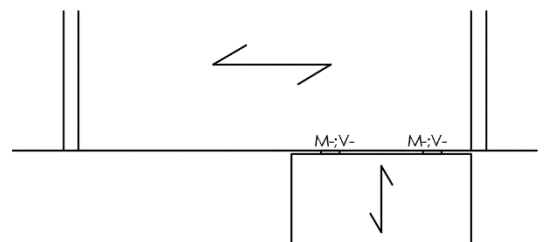
Krachtswerking: Door het domeffect van de achterliggende vloer is de dwarskracht op de vloerrand groter dan alleen de dwarskracht uit het balkon (§6.2.5). Stijfheidsverschillen tussen verbindingen kunnen zorgen voor een statisch onbepaald systeem (§6.1.3).

Temperatuur en vermoeiing: De temperatuurvervorming van het balkon kan hoge spanningen en scheurvorming induceren in het balkon, de verbinding en de vloer wanneer de verbindingen een te grote horizontale stijfheid hebben. (§8.1)

Bruikbaarheidscriteria: De rotatie en zakking van de achterliggende draagconstructie (§6.2.2) en verbindingen (§6.1.1) dragen bij aan de totale vervorming van het balkon (§10.1). Wanneer het balkon en de verbinding niet stijf genoeg zijn kunnen hinderlijke trillingen optreden (§10.3).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de verbindingen kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

A2 – Uitkragend balkon welke ten opzichte van de dragende wanden asymmetrisch aan de vloerrand is bevestigd. Mogelijke momentvaste verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, aanstortnokken en voorspanning met nagerekt staal.



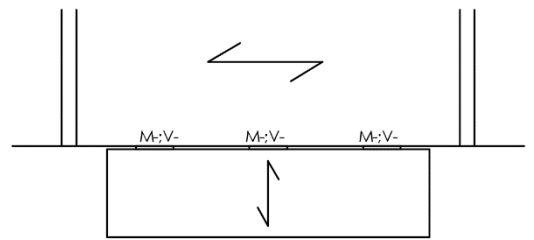
Krachtswerking: De dragende wand bij de rechter verbinding kan resulteren in een ongelijkmatige interne belastingoverdracht in de linker verbinding (§6.3). Tevens is door het domeffect de dwarskracht op de vloerrand groter dan alleen de dwarskracht uit het balkon (§6.2.5).

Temperatuur en vermoeiing: Indien de verbindingen een hoge horizontale stijfheid hebben kunnen temperatuurspanningen zorgen voor spanningen en scheurvorming (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: Vervormingen en zakkingen van de draagconstructie (§6.2.2) en verbindingen (§6.1.1) dragen bij aan de zakking van het balkon (§10.1). Wanneer het balkon en de verbinding niet stijf genoeg zijn kan de eerste eigenfrequentie te laag uitvallen (§10.3).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de verbindingen kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

A3 – Uitkringend balkon met meer dan twee verbindingen. Mogelijke momentvaste verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, aanstortnokken en voorspanning met nagerekt staal.



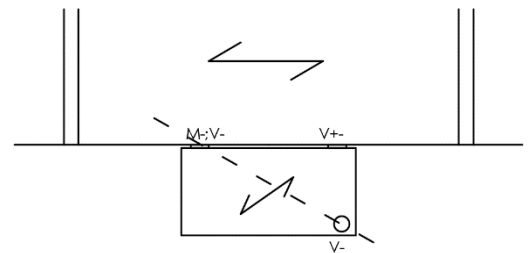
Krachtenwerking: Doordat er 3 (of meer) verbindingen zijn toegepast ontstaat een statisch onbepaald systeem. Onder invloed van de wanden zullen de buitenste verbindingen een groter deel van de belasting overdragen. De uitkraging wordt gebalanceerd door domp van de achterliggende vloer hetgeen een toename van de belasting op de vloerrand veroorzaakt (§6.2.5).

Temperatuur en vermoeiing: Indien de horizontale stijfheid van de verbindingen groot is, kunnen temperatuurvervormingen zorgen voor spanningen en scheurvorming in balkon, verbinding en vloer (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: De uitkraging zorgt voor een dynamisch minder stijf gedrag, hetgeen kan zorgen voor een te lage eerste eigenfrequentie (§10.3). De zakking en rotatie van de draagconstructie (§6.2.2) en verbindingen (§6.2.1) dragen bij aan de zakking van het balkon (§10.1).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de verbinding kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

B1 – Het balkon is opgelegd op drie punten waarvan één punt een kolom betreft. Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, stalen hoeklijnen, aanstortnokken, voorspanning met nagerekt staal en een kolom.



Krachtenwerking: Het statisch onbepaalde balkon zal kantelen over de diagonale rotatie-as waardoor de balkonplaat een negatief buigend moment moet weerstaan. De rotatie kan resulteren in een opwaartse kracht uit de verbinding (rechts in het bovenaanzicht) op de vloerrand. De voornaamste krachtsafdracht geschiedt via de verbindingen op de rotatie-as. De dwarskrachtbelasting op de vloerrand wordt ter plaatse van de momentvaste verbinding groter door het dompeffect (§6.2.5).

Temperatuur en vermoeiing: Ten gevolge van de temperatuur kunnen de kolommen langer en korter worden, hetgeen de krachtenwerking kan beïnvloeden (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: de rotatie en zakking van de draagconstructie (§6.2.2) beïnvloedt de zakking, vervorming en krachtenwerking van het balkon (§10.1). Tevens is, door de gedeeltelijke uitkraging, het dynamische gedrag van het balkon een aandachtspunt (§10.3).

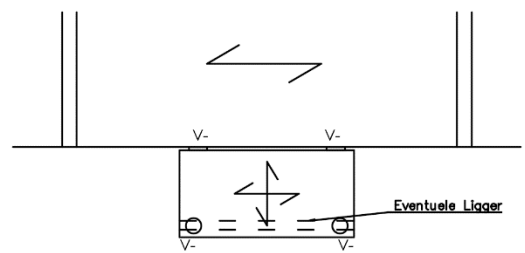
Duurzaamheid: Ter plaatse van de rotatie-as kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

B2 – Op vier punten opgelegd balkon, eventueel gecombineerd met een ligger over de kolommen. Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, stalen hoeklijnen en kolommen.

Krachtenwerking: Ongelijkmatige zetting van de kolommen kan zorgen voor een wijziging in de krachtenwerking (§6.2.2).

Temperatuur en vermoeiing: Kolommen worden langer of korter door temperatuur. Dit kan de krachtenwerking beïnvloeden (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: De zakking in het midden van de balkonplaat kan zorgen voor een verhinderde hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2). Dit risico is lager wanneer de ligger wordt toegepast.



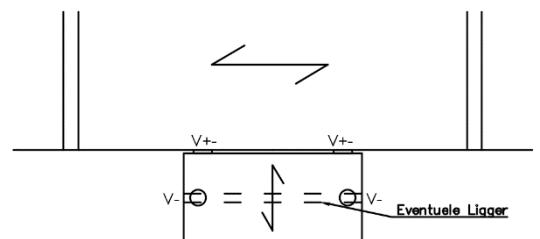
B3 – Op vier punten opgelegd balkon waarvan de kolommen (ongeveer) halverwege de uitkraging zijn gepositioneerd. Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, stalen hoeklijnen en kolommen.

Krachtenwerking: Het balkon heeft een rotatie-as op de plek van de eventuele ligger in het bovenaanzicht. De balkonplaat moet het negatief buigend moment op de rotatieas weerstaan. Door de rotatie ontstaan opwaartse krachten op de vloerrand en is de neerwaartse belasting op de kolommen groter dan het totaal van het eigen gewicht van het balkon en de belasting op het balkon. Zetting van kolommen beïnvloedt de krachtenwerking (§6.2.2).

Temperatuur en vermoeiing: De kolommen vervormen door temperatuursinvloeden, dit kan de krachtenwerking beïnvloeden (§8.1).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de rotatie-as is het aannemelijk dat trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

Bruikbaarheidscriteria: De eventuele ligger kan vervormingen loodrecht op de draagricting beperken. Hoewel deze configuratie stijver is dan een volledig uitkragend balkon, is de kans op hinderlijke trillingen nog steeds aanwezig door een eventueel te lage eerste eigenfrequentie (§10.3).

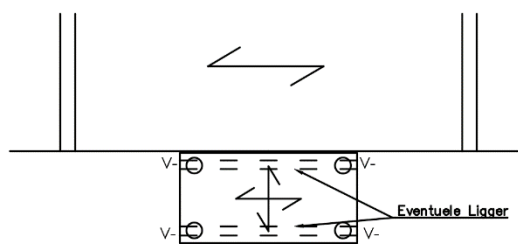


B4 – Het balkon is opgelegd op vier kolommen, gecombineerd met eventuele liggers.

Krachtenwerking: Ongelijke zettingen van kolommen kunnen de krachtsafdracht beïnvloeden (§6.2.2). Het balkon is niet constructief bevestigd aan de vloerrand, deze beïnvloedt de krachtswerking of vervorming dus niet.

Temperatuur en vermoeiing: De lengte van de kolommen verandert onder invloed van temperatuur, hetgeen de aansluiting met andere elementen, bijvoorbeeld de achterliggende vloer, kan beïnvloeden (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: De doorbuiging in het midden van het balkon kan resulteren in een verhinderde hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2). Dit kan eventueel beperkt worden met de toepassing van de liggers.

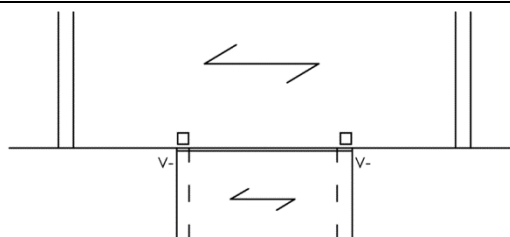


C1 – Het balkon is opgelegd op twee consoles, trekstangen of dragende borstweringen. Aandachtspunt bij de toepassing van consoles en dragende borstweringen is dat zij een koudebrug kunnen vormen. Daarnaast is de capaciteit van de vloer een aandachtspunt in verband met de beperkte hoogte.

Krachtenwerking: De achterliggende vloer beïnvloedt de krachtswerking niet wanneer het balkon is bevestigd met dragende borstweringen of consoles. Bij de toepassing trekstangen aan de vloer zal het balkon nog wel aan de vloer bevestigd zijn en beïnvloedt deze dus de krachtswerking (§6.1.1).

Temperatuur en vermoeiing: Temperatuursvervormingen kunnen de spanning in de trekstang beïnvloeden. Wanneer het balkon en de borstweringen aan elkaar zijn gestort veroorzaken temperatuurvervormingen spanningen in de borstweringen en de balkonplaat (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: De doorzakking van het balkon halverwege de overspanning kan resulteren in een verstoorde hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2).

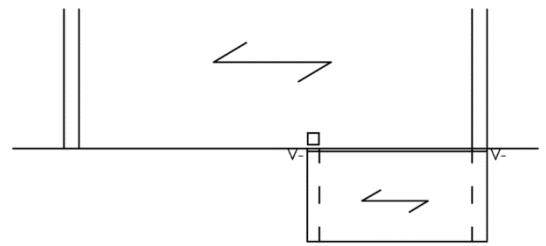


C2 – Het betreft een balkon welke ten opzichte van de dragende wand asymmetrisch is opgelegd op twee consoles, trekstangen of dragende borstweringen.

Krachtswerking: De aan de dragende wand bevestigde console/borstwering/trekstang zal zich onder invloed van deze wand anders gedragen dan de console aan de andere zijde (§6.3).

Temperatuur en vermoeiing: De spanning in de trekstangen kan beïnvloed worden door temperatuurvervormingen. Wanneer dragende borstweringen en de balkonplaat uit één stuk bestaan is spanningsvrij opleggen niet mogelijk (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: De doorzakking halverwege de overspanning van de balkonplaat kan resulteren in een verstoorde hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2)



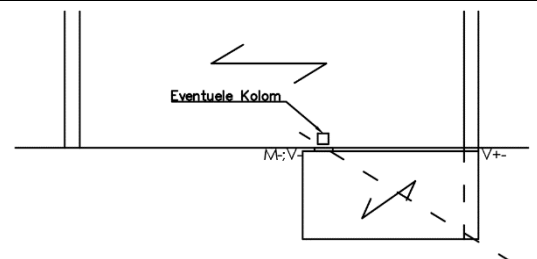
C3 – Het balkon is eenzijdig opgelegd op een console, gekoppeld met een trekstang of bevestigd aan een dragende borstwering. De eventuele kolom ondersteunt de vloerrand. Het balkon kan aan de vloerrand bevestigd worden door middel van een koudebrugonderbreking, een aanstortnok of voorspanning met nagerekt staal.

Krachtswerking: Het balkon zal kantelen over de rotatie-as, hetgeen zorgt voor een negatief buigend moment ter plaatse van de rotatie-as en een opwaartse kracht bij de verbinding rechtsboven in het bovenaanzicht. Het systeem is statisch onbepaald. Het grootste deel van de krachtsafdracht zal geschieden via de verbindingen op de rotatie-as.

Temperatuur en vermoeiing: Temperatuurvervormingen kunnen de spanning in de trekstang beïnvloeden. Wanneer de borstwering en de balkonplaat uit één stuk bestaan moet extra aandacht worden besteedt aan de horizontale vrijheden van de verbindingen ter voorkoming van temperatuurspanningen (§8.1).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de rotatie-as kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

Bruikbaarheidscriteria: Door de gedeeltelijke uitkraging kan het systeem een beperkte stijfheid hebben, hetgeen kan resulteren in een te lage eerste eigenfrequentie (§10.3).

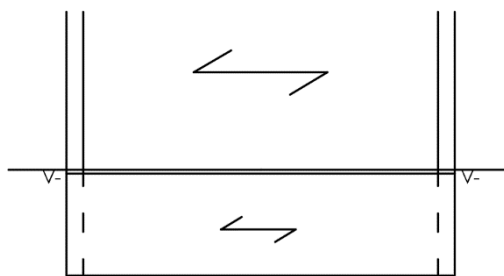


C4 – Tweezijdig opgelegd balkon op consoles, bevestigd aan trekstangen of opgelegd op dragende borstweringen.

Krachtenwerking: Het systeem is statisch bepaald. Omdat het balkon is opgelegd op de consoles wordt de krachtenwerking niet beïnvloed door de vloer.

Temperatuur en vervorming: De temperatuurvervorming van het balkon beïnvloedt de spanning in eventuele trekstangen. Wanneer de dragende borstwering en de balkonplaat aan elkaar zijn gestort treden spanningen ten gevolge van temperatuurvervorming op. De grote afstand tussen de verbindingen zal grote verplaatsingen door temperatuurvervorming veroorzaken (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: Door de relatief grote overspanning van het balkon kunnen doorbuigingen halverwege de overspanning groot worden. Deze doorbuigingen kunnen de hemelwaterafvoer negatief beïnvloeden (§10.1, §10.2). Tevens kan door de overspanning de stijfheid laag zijn waardoor de eerste eigenfrequentie van het systeem te laag is (§10.3).

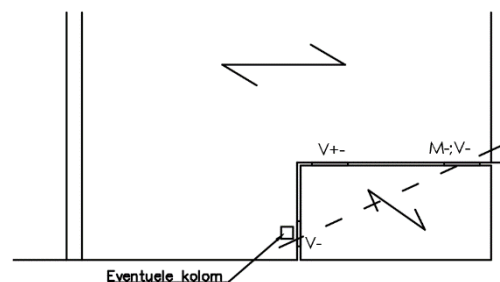


D1 – Aan twee vloerranden bevestigd balkon. De eventuele kolom kan de vloer ontlasten en vervormingen beperken.

Krachtenwerking: Statisch onbepaald systeem waarin de krachtenwerking onder andere wordt beïnvloed door de aanwezigheid van een dragende wand (§6.3), de eventuele kolom en stijfheidsverschillen tussen de verbindingen (§6.1.3). Het balkon zal kantelen over de rotatie-as hetgeen resulteert in een negatief buigend moment en een opwaartse kracht op de vloerrand. Daarnaast zal het grootste deel van de krachtafdracht geschieden via de verbindingen op de rotatie-as.

Duurzaamheid: Ter plaatse van de rotatie-as kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

Bruikbaarheidscriteria: Door de gedeeltelijke uitkraging heeft het systeem een beperkte stijfheid hetgeen kan resulteren in een te lage eerste eigenfrequentie (§10.3).

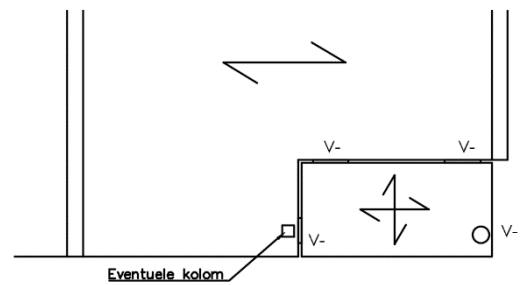


D2 – Het balkon is aan twee zijden aan vloerrand bevestigd en ondersteund met een kolom. Verbindingen kunnen worden uitgevoerd door middel van koudebrugonderbrekingen, stalen hoeklijnen en kolommen. De eventuele kolom onder de vloer kan vervormingen beperken.

Krachtswerking: Zakking van de vloerrand of de kolom onder het balkon zal de krachtsafdracht beïnvloeden (§6.1, §6.2). De dragende wand trekt een deel van de belasting naar zich toe waardoor de verbinding rechtsboven in de afbeelding zwaarder wordt belast.

Temperatuur en vermoeiing: Onder temperatuurveranderingen vervormt de kolom op de hoek van het balkon. De verlenging of verkorting van de kolom beïnvloedt de krachtswerking (§8.1).

Bruikbaarheidscriteria: In het midden van de plaat kunnen zakkingen zorgen voor een verstoorde hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2)



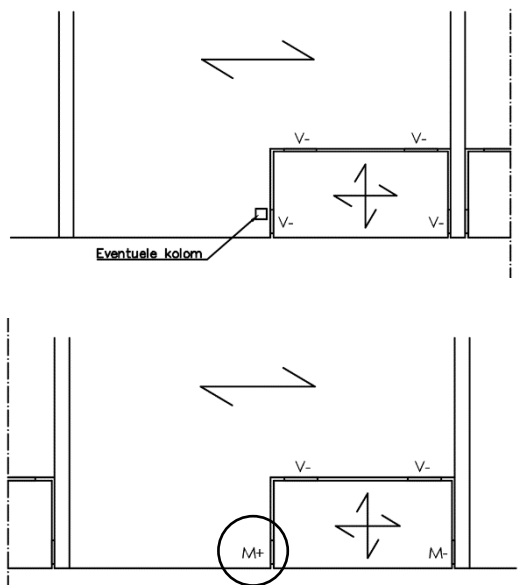
D3 – Een inpandig balkon bevestigd aan twee vloerranden en een dragende wand. De eventuele kolom onder de vloerrand kan de vervorming van de vloer door de dwarskracht uit het balkon beperken. Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, stalen hoeklijnen en nokken.

De omcirkelde momentvaste verbinding in de onderste configuratie kan van het balkon en de vloer één constructief geheel maken.

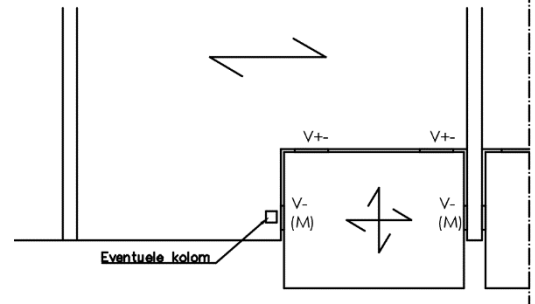
Krachtswerking: Het systeem is statisch onbepaald. Stijfheidsverschillen tussen verbindingen (§6.1.3), tussen de vloer en het balkon (§6.2.3) en de invloed van de dragende wand zorgen voor een wijziging in de krachtsafdracht.

Bruikbaarheidscriteria: De zakking in het midden van de balkonplaat kan zorgen voor een verstoring van de hemelwaterafvoer (§10.1, §10.2).

Duurzaamheid: Ter plaatse van de momentvaste verbindingen kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).



D4 – Het balkon is bevestigd aan twee vloerranden en een dragende wand. Wanneer het uitkragende deel meer dan 1/3 van het balkonoppervlak beslaat kunnen momentvaste verbindingen worden toegepast (vuistregel Schöck). Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen en stalen hoeklijnen. De eventuele kolom kan de zakking van de vloer door de dwarskracht uit het balkon beperken. Door het dompeffect kan een opwaartse dwarskracht op de vloerrand optreden. Mogelijke verbindingstypen zijn aanstortnokken, stalen hoeklijnen en koudebrugonderbrekingen.



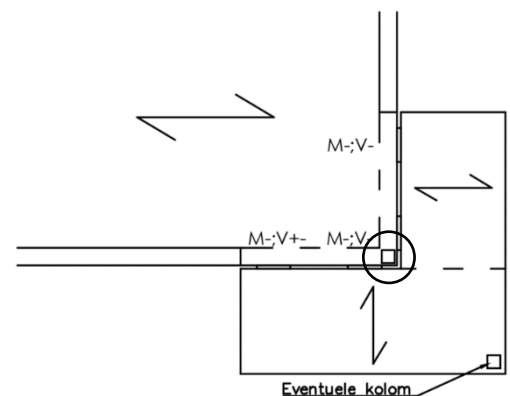
Krachtenwerking: Het balkon zal een draaglijn willen vormen over de twee verbindingen in het midden van de plaat waardoor een negatief buigend moment ontstaat. Ter plaatse van de bovenste twee verbindingen zal hierdoor een opwaartse kracht op de vloerrand werken en zal de neewaartse kracht er plaatse van de middelste verbindingen groter zijn dan de totale verticale belasting op het balkon. Stijfheidsverschillen tussen verbindingen (§6.1.3) en de invloed van de dragende wand en de eventuele kolom maken het systeem statisch onbepaald.

Duurzaamheid: Ter plaatse van de rotatie-as kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

Bruikbaarheidscriteria: Afhankelijk van de grote van het uitkragende deel is het dynamische gedrag van de balkonplaat een aandachtspunt (§10.3).

E1 – Een balkon met een hoek. Mogelijke verbindingen zijn koudebrugonderbrekingen, aanstortnokken of voorspanning met nagerekt staal in combinatie met een eventuele kolom.

Krachtenwerking: Het balkon is in twee delen 'opgeknipt'. De krachtsafdracht wordt beïnvloed door stijfheidsverschillen tussen verbindingen (§6.1.3), tussen de vloer en het balkon (§6.2.3) en de aanwezigheid van dragende wanden en kolommen.



Temperatuur en vermoeiing: Wanneer een balkon in deze configuratie niet is gedilateerd kunnen hoge spanningen optreden doordat vervormingen, ten plaatse van de cirkel in de afbeelding, in twee richtingen loodrecht op elkaar optreden. Tevens kan de eventuele kolom onder invloed van temperatuurvervorming de krachtenwerking beïnvloeden (§8.1).

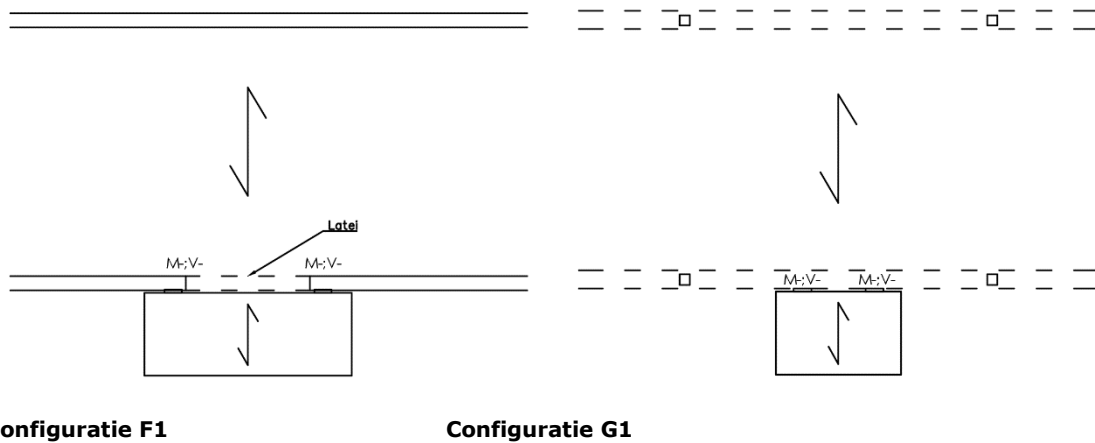
Duurzaamheid: Ter plaatse van de verbindingen kunnen trekspanningen aan de bovenzijde van de balkonplaat scheurvorming induceren (§9.3).

Bruikbaarheidscriteria: Wanneer beide uitkragingen en de verbindingen niet stijf genoeg zijn kunnen hinderlijke trillingen optreden (§10.3). De zakking van het balkon wordt beïnvloed door de vervorming van de achterliggende dragende constructie (§6.2.2, §10.1)

F1; G1 – Een uitkragend balkon welke is bevestigd aan een dragende wand of aan een randbalk.

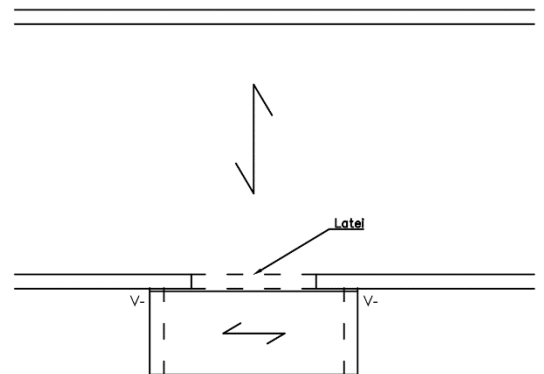
Deze configuratie komt overeen met configuratie A1, er gelden dan ook dezelfde aandachtspunten.

In configuratie F1 worden de wanden loodrecht op hun vlak belast, echter worden de moment uit het balkon grotendeels afgedragen aan de vloer. De dwarskracht werkt in het vlak van de wanden waar een stijf systeem ontstaat. Bij configuratie G1 draagt de randbalk bij aan de stijfheid van de vloerrand.



F2 – Het balkon is ondersteund door consoles, trekstangen of dragende borstweringen welke zijn bevestigd aan dragende wand.

In principe gelden voor F2 dezelfde aandachtspunten als voor C1, echter fungeert nu niet de vloer maar de wand als dragend systeem. De wand wordt door het moment loodrecht op zijn vlak belast, hiervoor zal de vloer geactiveerd worden. De wand wordt door de dwarskracht uit de verbinding in zijn vlak belast.

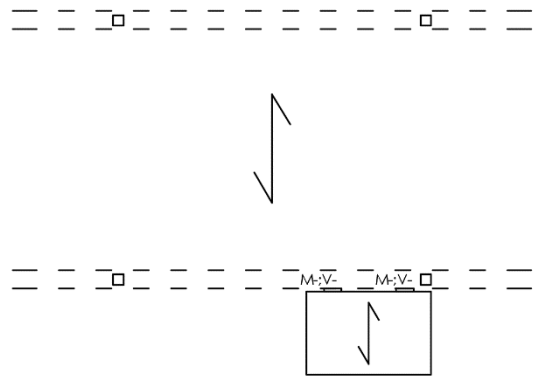


G2 – Het uitkragende balkon is ten opzichte van de kolom asymmetrisch bevestigd aan de randbalk.

Deze configuratie komt overeen met configuratie A2, er gelden dan ook dezelfde aandachtspunten.

De randbalk draagt bij aan de stijfheid van de vloerrand waardoor deze configuratie stijver is dan A2.

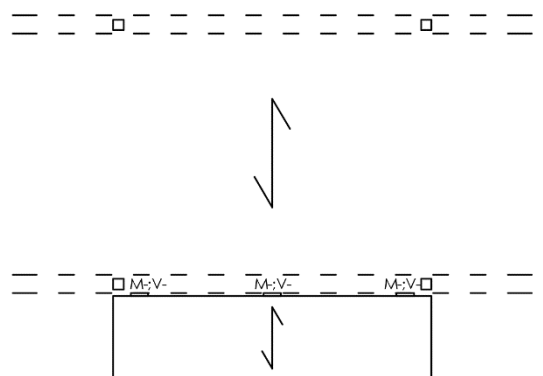
Door de invloed van de kolom op de rechter verbinding in het bovenaanzicht is dit systeem statisch onbepaald.



G3 – Een uitkragend balkon is bevestigd aan een randbalk met meer dan twee verbindingen.

Deze configuratie komt overeen met configuratie A3, er gelden dan ook overeenkomende aandachtspunten. De vloerrand is stijver dan A3 door het aandeel van de randbalk.

De krachtwerving in het statisch onbepaalde systeem wordt beïnvloed door de kolommen aan de buitenkant van het balkon. De gebieden in de buurt van de kolommen gedragen zich stijver waardoor een groter deel van de belasting die kant op wordt getrokken.

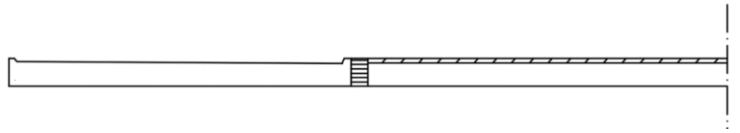


4. Verbindingstypen

Hoofdstuk 4. Verbindingstypen behandelt de meest voorkomende verbindingen voor balkons. Voor ieder verbindingstype zijn een aantal specifieke eigenschappen en aandachtspunten gegeven welke het verbindingstype onderscheidt van de anderen.

Aanstortnok of betonnok

De aanstortnok is een lokale koppeling van de draagconstructie naar het balkon. In de nok zit geen isolatiemateriaal waardoor de nok een koudebrug is. Tussen de nokken dient men een niet-constructieve isolatiestrook te plaatsen. De aanstortnok is geschikt voor momentvaste verbindingen aan massieve vloeren.



Krachtswerking: De stijfheid van de verbinding is afhankelijk van de fase waarin het beton zich bevindt, gescheurd of ongescheurd (§6.1.1). Een gescheurde nok gedraagt zich minder stijf dan een ongescheurde nok.

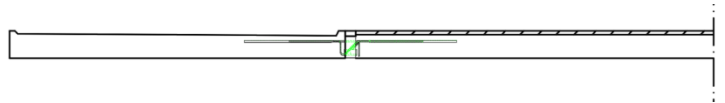
Temperatuur en vermoeiing: Een aanstortnok is dusdanig stijf dat spanningen ten gevolge van temperatuur kunnen zorgen voor scheurvorming in balkon, verbinding en vloer (§8.1).

Duurzaamheid: De aanstortnokken dragen voor uitkragende balkons overwegend een negatief buigend moment over waardoor de trekzone van de nok zich aan de bovenzijde bevindt. Dit kan leiden tot scheurvorming aan de bovenzijde van de nok en de aangrenzende gebieden (§9.3).

Uitvoering: Achterafmontage is niet mogelijk, het bevestigen van het balkon is onderdeel van de stortcyclus.

Koudebrugonderbreking

De koudebrugonderbreking is op constructief vlak een isolerende verbinding met in roestvaststaal uitgevoerde wape-



ningsstaven en een elementen om de drukkracht over te brengen. De koudebrugonderbreking is geschikt voor massieve vloertypen en is beschikbaar voor verschillende krachtoverdrachten. Tijdens het ontwerp en de inbouw dienen de voorschriften in de productspecificatie van de leverancier opgevolgd te worden om een deugdelijke verbinding te verkrijgen.

Krachtswerking: Het toepassen van verbindingen met verschillende stijfheden kan resulteren in een statisch onbepaald systeem (§6.1.3).

Temperatuur en vermoeiing: Wanneer aan de voorschriften in de productspecificatie voldaan wordt, zullen geen problemen optreden gerelateerd aan temperatuurspanning en vermoeiing. Indien een balkon met een hoek, zoals configuratie E, wordt bevestigd met koudebrugonderbrekingen zijn temperatuurspanningen nog wel een aandachtspunt.

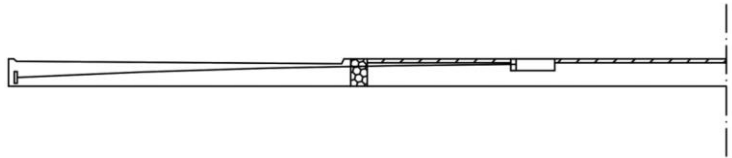
Bruikbaarheidscriteria: De lage stijfheid van de verbinding kan resulteren in een te lage eerste eigenfrequentie (§10.3). Tevens beïnvloedt de rotatie van de verbinding de zakking van het balkon (§6.1.1, §10.1).

Robuustheid: De robuustheid van de verbindingen is afhankelijk van het systeemtype en hoe de leverancier deze ontwerpt.

Uitvoering: In principe is de bevestiging van het balkon met koudebrugonderbrekende systemen onderdeel van de stortcyclus. Er zijn leveranciers met systemen waarbij achterafmontage mogelijk is.

Voorspanning met nagerekt staal

Een balkon wordt door middel van een naspanningssysteem aan de uitgeharde vloer bevestigd middels een ingestorte bak. Het resultaat is een momentvaste verbinding. Dit systeem kan worden toegepast met massieve vloeren.



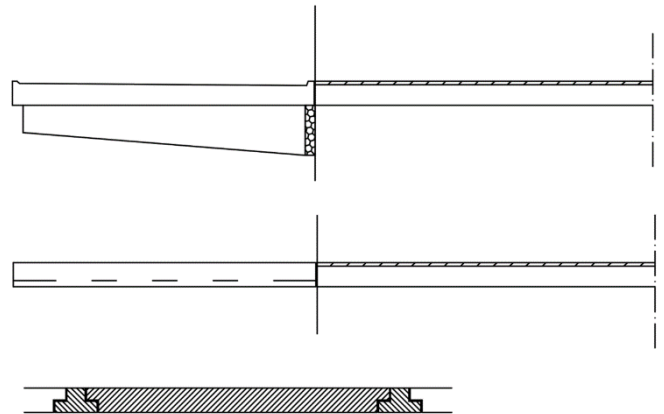
Bruikbaarheidscriteria: Nazakken van het balkon treedt niet op, hetgeen de uiteindelijke zakking van het balkon kan beperken¹.

Uitvoering: Achterafmontage is mogelijk waardoor de bevestiging van het balkon uit de stortcyclus wordt gehaald. Hierdoor is dit systeem meer geschikt in combinatie met tunnelgietbouw vergeleken met de andere verbindingstypen.

Consoles

De consoles kunnen zich onder het balkon bevinden, zoals in de bovenste afbeelding, of (deels) geïntegreerd zijn in het balkon, zoals in de onderste twee afbeeldingen.

De consoles kunnen door middel van koudebrugonderbrekingen worden bevestigd aan een dragende wand of kolom of worden aangestort. Wanneer de consoles zijn aangestort is de verbinding van de console aan het dragende element een koudebrug. Het balkon op consoles kan in principe met alle vloertypes worden gecombineerd.



Krachstwerking: Het balkon op consoles werkt in de basis als een statisch bepaalde ligger op twee steunpunten. De console draagt de krachten uit het balkon over aan een wand of kolom door middel van momenten en dwarskrachten. De stijfheid van de opleggingen is afhankelijk van de fase waarin het beton zich bevindt, gescheurd of ongescheurd (§6.1.1).

Uitvoering: De verbindingen van de consoles worden aan de draagconstructie gestort, dit is onderdeel van de stortcyclus. De daadwerkelijke montage van de balkons op de consoles kan achteraf plaatsvinden, hierdoor is dit systeem geschikt voor tunnelgietbouw (§14.2).

¹ Stelling Normteq

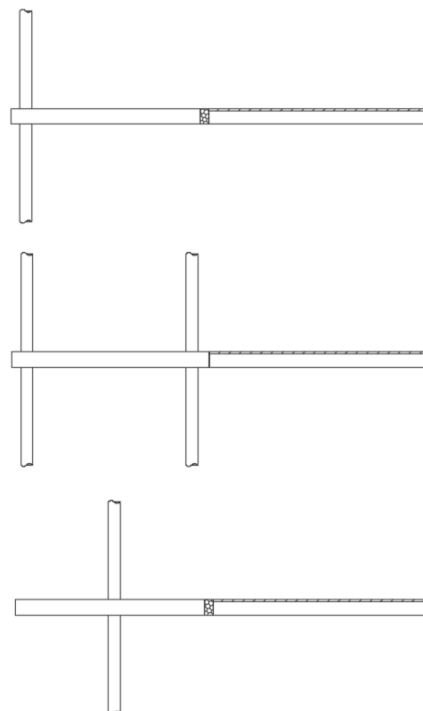
Kolommen

De kolommen kunnen in verschillende configuraties worden toegepast. Over de kolommen kunnen eventueel nog liggers worden geplaatst. De verbinding van het balkon aan de vloer dicteert welke vloertypen mogelijk zijn.

Krachtswerking: Ongelijkmatige zettingen van de kolommen kunnen een verandering in krachtsafdracht veroorzaken. Tevens moet de balkonplaat worden gecontroleerd op pons.

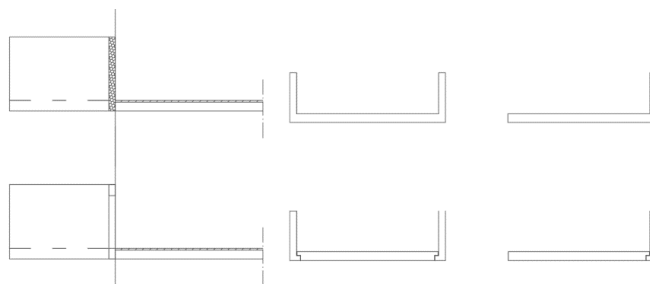
Temperatuur en vermoeiing: Onder invloed van temperatuur verandert de lengte van de kolommen. Dit kan de krachtswerking beïnvloeden. Tevens dient rekening te worden gehouden met hoe het balkon kan uitzetten over de kolommen (§8.1).

Uitvoering: Wanneer kolommen aan alle hoeken zijn toegepast, zoals is weergegeven bij de middelste optie en bij configuratie B4, is achterafmontage mogelijk. In de overige opties is constructieve verbinding aan de vloer noodzakelijk waardoor achterafmontage vaak niet mogelijk is.



Dragende borstwering

De dragende borstwering kan aan één of beide zijden worden toegepast. Tevens kan de balkonplaat meegestort zijn of opgelegd op de borstwering. De borstwering kan aan de draagconstructie verbonden zijn door middel van koudebrugonderbrekingen of zijn aangestort.



De verbindingen van het balkon aan de vloer dicteren welke vloertypen mogelijk zijn. Indien de borstwering aan de draagconstructie is gestort vormt zich daar een koudebrug.

Krachtswerking: De stijfheid van de dragende borstwering is afhankelijk van de fase waarin het beton zich bevindt, gescheurd of ongescheurd (§6.1.1).

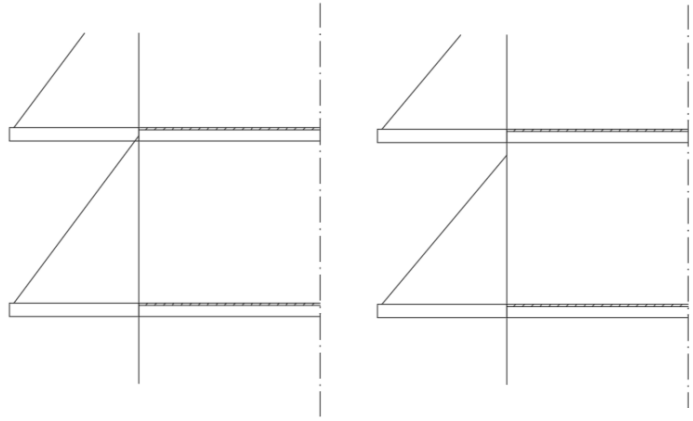
Temperatuur en vermoeiing: Indien de dragende borstweringen en de balkonplaat uit één geheel bestaan kunnen spanningen ten gevolge van de temperatuur optreden. Wanneer de borstweringen en de balkonplaat niet aan elkaar zijn gestort kunnen spanningen worden voorkomen door niet volledig horizontaal te fixeren en de wrijving tussen borstwering en balkonplaat te beperken (§8.1).

Uitvoering: Indien de borstweringen en het balkon één geheel zijn, is de volledige bevestiging onderdeel van de stortcyclus. Wanneer borstweringen en balkonplaat losse onderdelen zijn, zijn alleen de borstweringen onderdeel van de stortcyclus, het balkon kan dan achteraf gemonteerd worden.

Trekstangen

Uitgevoerd met bevestiging aan aan vloer of aan dragende wand. De mogelijke vloertypen worden bepaald door de manier waarop het balkon aan de vloer is bevestigd.

Krachtswerking: De trekkracht in de trekstangen zorgt voor een drukkracht in de balkonplaat en de verbinding en een trekkracht en dwarskracht aan de vloer/wand waar de trekstang aan bevestigd is.



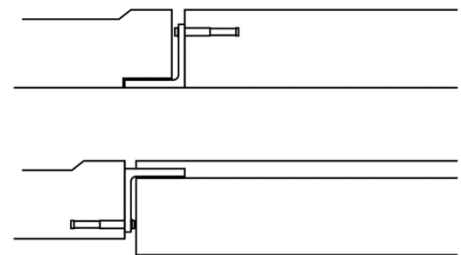
Temperatuur en vermoeiing: Temperatuursvervormingen van de trekstang en de balkonplaat kunnen de spanning in de trekstang beïnvloeden (§8.1).

Uitvoering: Afhankelijk van hoe de balkonplaat uiteindelijk aan de vloer wordt bevestigd is de montage wel of geen onderdeel van de stortcyclus.

Stalen hoeklijnen of handjes

De stalen hoeklijnen, ook wel handjes genoemd, fungeren als dwarskrachtverbinding aan een massieve vloer. Aandachtspunt is horizontale fixatie.

Krachtswerking: Bij de stalen hoeklijnen treden lokaal grote krachten op in de hoek van de stalen hoeklijn en bij de bevestigingen aan de balkonplaat en aan de vloer.



Temperatuur en vermoeiing: Hoeklijnen met slobgaten bieden het balkon horizontale vervormingsvrijheid zodat vervorming ongehinderd kunnen plaatshebben en spanningen worden voorkomen (§8.1).

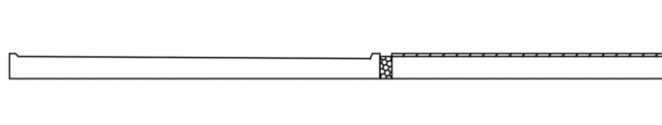
Uitvoering: Achterafmontage van het balkon is mogelijk.

5. Vloertypen

Het aantal vloertypen dat geschikt is voor het dragen van een balkon is beperkt. Dit hoofdstuk behandelt een aantal veel voorkomende vloertypen.

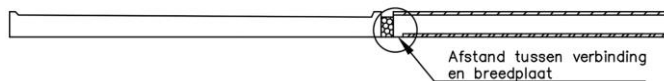
Tunnelvloer

Tunnelgietbouw kan worden toegepast in combinatie met geprefabriceerde betonnen balkons. Dit brengt echter dusdanig veel aandachtspunten met zich mee dat hier een specifieke paragraaf aan is gewijd (§14.8). Een belangrijk aandachtspunt is het stempelplan (§14.1).



Breedplaatvloer

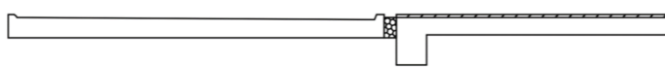
De breedplaatvloer is het gemakkelijkst te combineren met geprefabriceerde betonnen balkons. De verbinding kan tijdens het gieten van de breedplaat worden ingegoten waardoor een constructief geheel ontstaat. Een belangrijk aandachtspunt is het stempelplan (§14.1).



Indien een momentvaste verbinding wordt toegepast zal de verbinding aan de vloerrand onderin een drukkracht overdragen. Om deze drukkracht goed in te leiden en afboeren van de vloer te voorkomen dient een zekere afstand tussen de verbinding en het eind van de breedplaat te zijn toegepast, zie cirkel in afbeelding. Wanneer voor de bepaling van de momentcapaciteit de volledige hoogte van de elementen in rekening moet worden gebracht behoeft de drukvoeg, naar voorschriften van Schöck, een minimale breedte van 80 mm te bedragen.

Balkenstructuur

De balk zorgt voor extra stijfheid aan de vloerrand. De verbindingen kunnen worden ingestort tijdens het storten van de vloerconstructie. Een belangrijk aandachtspunt is het stempelplan.



Kanaalplaatvloer

Op het moment van schrijven zijn er nog geen prefab systemen op de markt waarbij een balkon direct aan een kanaalplaatvloer bevestigd kan worden. Wel zijn er balkons aan kanaalplaatvloeren bevestigd door middel van zelf ontworpen verbindingen of via een gewapende druklaag. Het is vaak noodzakelijk een massieve randplaat toe te passen bij het bevestigen van een balkon aan een kanaalplaatvloer.



Indien een zelf ontworpen verbinding wordt toegepast, leg dan het ontwerp ter goedkeuring voor bij de vloerleverancier.

6. Krachtswerking

Bij het ontwerpen van een balkon hebben een aantal aspecten invloed op de krachtswerking van het balkon, de verbinding en de achterliggende constructie. Dit hoofdstuk behandelt deze aspecten aan de hand van de volgende onderwerpen:

1. Verbinding;
2. Achterliggende dragende constructie;
3. Dragende wanden;
4. Schematisering;
5. Berekeningsmethode.

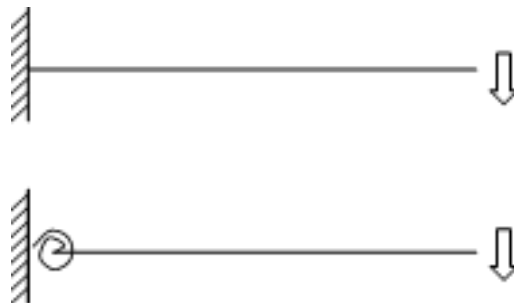
6.1 De verbinding

Bij de verbinding tussen balkon en vloer zijn de volgende aandachtspunten van belang:

- 6.1.1 Stijfheid van verbindingen;
- 6.1.2 Bewegingsvrijheid van verbindingen;
- 6.1.3 Stijfheidsverschillen tussen verbindingen;
- 6.1.4 D-gebieden.

6.1.1 Stijfheid van verbindingen

In het ontwerpproces worden verbindingen regelmatig geschematiseerd onder de aanname dat de verbinding volledig stijf is, zoals in het bovenste schema in figuur 6-1. In werkelijkheid is dit niet het geval, onder belastingen vervormen verbindingen. De rotatie van bijvoorbeeld een momentvaste koudebrugonderbreking onder de belasting uit een balkon kan al resulteren in een zakking van enkele millimeters, zie het voorbeeld in de bijlage A. De veerstijfheid van de verbinding is afhankelijk van de daadwerkelijke stijfheid van de verbinding.

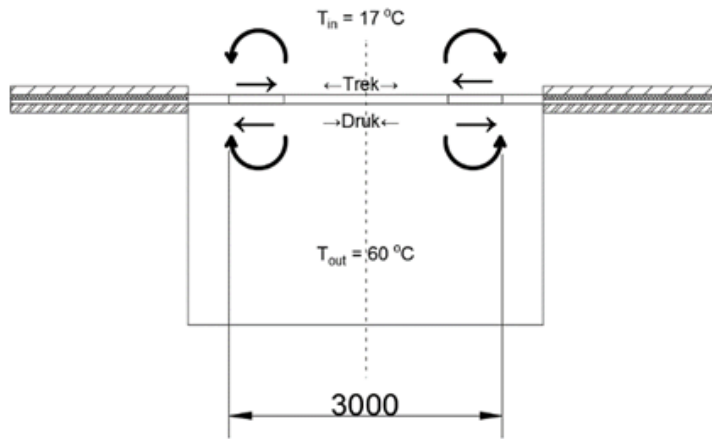


Figuur 6-1 Verbinding als rotatieveer

6.1.2 Bewegingsvrijheid van verbindingen

Balkonverbindingen worden vaak ook in horizontale richting belast, bijvoorbeeld door temperatuurvervormingen. De mate waarin de vervorming/verplaatsing van het balkon ten gevolge van een belasting wordt verhinderd bepaalt in welke mate er spanningen ontstaan. Het is van belang te bepalen welke vervormingen/verplaatsingen verhinderd zijn, welke krachten en spanningen dit ten gevolge heeft en hoe de constructie deze krachten en spanningen opneemt, zie figuur 6-2.

Verhinderde bewegingen kunnen bij kleine waarden al grote krachten ten gevolge hebben. Deze spanningen kunnen worden voorkomen door de beweging vrij te laten plaatsvinden, bijvoorbeeld door de toepassing van slobgaten wanneer voor de oplegging stalen hoeklijnen zijn toegepast. In hoofdstuk 8 wordt dit onderwerp nader toegelicht.



Figuur 6-2 Horizontale vervorming van balkon door temperatuur

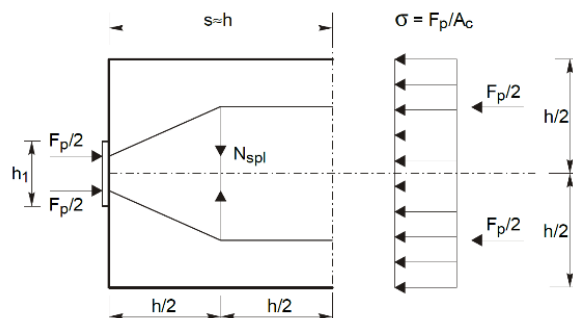
6.1.3 Stijfheidsverschillen tussen verbindingen

Indien alle verbindingen even stijf zijn en symmetrisch zijn gepositioneerd wordt de belasting evenredig verdeeld over de verbindingen. Echter, door stijfheidsverschillen tussen verbindingen verschuift de krachtsafdracht. Een stijvere verbinding trekt een groter deel van de belasting naar zich toe dan een minder stijve verbinding. Een statisch bepaald ontworpen systeem kan zich door deze stijfheidsverschillen dus statisch onbepaald gedragen. Wanneer tijdens het ontwerpen van de verbindingen deze verschuiving in krachtsafdracht niet is meegenomen, bestaat het risico dat een verbinding zwaarder wordt belast dan waarvoor deze is ontworpen.

Om de daadwerkelijke krachswerking in het geval van verschillende verbindingen te bepalen kan gebruik worden gemaakt van een computerberekening.

6.1.4 D-gebieden

Verbindingen en de nabijgelegen gebieden vallen onder zogenaamde D-gebieden. D-gebieden zijn discontinuïteits-, detail of verstoringgebieden. D-gebieden vindt men overal waar het constante of langzaam veranderende krachterspel verstoord wordt, zoals bij plotselinge veranderingen van afmetingen of richting, zoals in afbeelding 6-3 de inleiding van krachten is weergegeven. In deze gebieden zijn krachten geconcentreerd, zij moeten nog spreiden over de doorsnede van het balkon of de vloer. Tijdens het spreiden van krachten kunnen andere krachten ontstaan, bijvoorbeeld slijtcrachten. Voor deze krachten dient wapening te worden toegepast. De zogenaamde D-gebieden kunnen geconstrueerd worden door middel van staafwerkmodellen (paragraaf 6.5 van Eurocode 2-1-1) en dienen gedetailleerd te worden conform de voorschriften in hoofdstuk 8 van Eurocode 2-1-1 [1].



Figuur 6-3 D-gebied en slijtcrachten, Bron: [2]

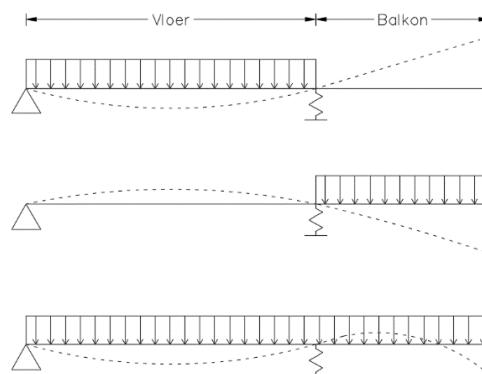
6.2 Achterliggende dragende constructie

Naast het balkon en de verbindingen worden de krachtswerking en vervormingen beïnvloed door elementen en eigenschappen van de achterliggende dragende constructie. De volgende aspecten worden in dit hoofdstuk behandeld:

- 6.2.1 Belastingconfiguratie;
- 6.2.2 Vervormen van draagconstructie;
- 6.2.3 Stijfheidsverschillen;
- 6.2.4 Strookbreedte dragende vloerrand;
- 6.2.5 Dompbelasting.

6.2.1 Belastingconfiguratie

Onder de vloer- en balkonbelasting vervormen zowel de vloer, de vloerrand en het balkon. In figuur 6-4 is weergegeven dat de mate van rotatie en zakking afhankelijk is van de beschouwde belastingconfiguratie. Bij een beschouwing van een vol belaste vloer en een onbelast balkon is de zakking van het balkon lager dan wanneer het balkon vol belast wordt beschouwd en de vloer onbelast. Bij de controle van de zakking van het balkon dienen alle belast/onbelast situaties beschouwd te worden.



Figuur 6-4 Effect van belastingconfiguraties

6.2.2 Vervormen van de draagconstructie

Zakken

De verticale belasting uit het balkon kan resulteren in een zakking van de achterliggende dragende constructie. De weerstand tegen het zakken van dit element kan geschematiseerd worden met een veer, zoals in figuur 6-4 is gedaan voor een vloerrand. Het buiten beschouwing laten van de zakking van de draagconstructie kan bijvoorbeeld resulteren in het zakken van het balkon op het metselwerk onder het balkon, met eventuele schade tot gevolg. Eisen aan maximale vervormingen van een balkon staan beschreven in paragraaf 10.1.

Roteren

Als balkon en draagconstructie momentvast met elkaar verbonden zijn zal het dragende element roteren onder het moment uit het balkon. Deze rotatie zorgt voor een extra zakking van het uiteinde van het balkon. Een voorspelling van deze vervorming is complex, de hulp van computersoftware kan meer inzicht geven.

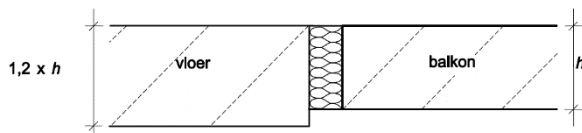
6.2.3 Stijfheidsverschillen

Indien een balkon stijver is dan de vloer waaraan het bevestigd is, en als het balkon meerdere oplegpunten heeft, kan de vloer aan het balkon gaan 'hangen', afhankelijk van de balkonconfiguratie. Met andere woorden: belasting uit de vloer kan naar het stijvere balkon worden afgedragen en onbedoeld andere oplegpunten zwaarder belasten.

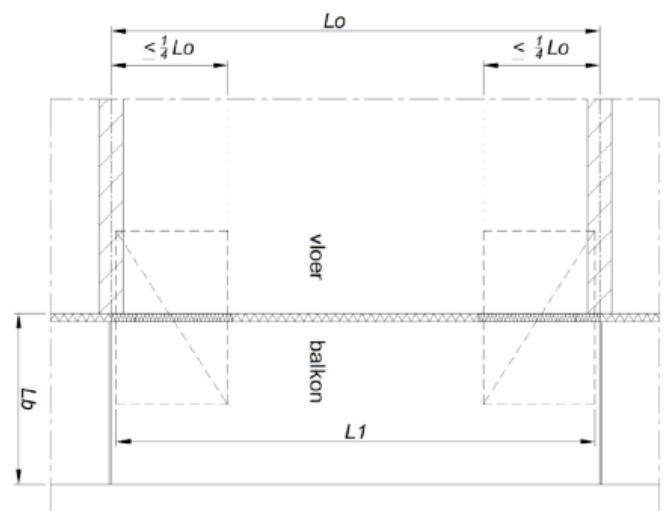
Bij uitkragende balkons die stijver zijn dan de vloer kan het balkon onbedoeld meewerken in de krachtswerking van de vloer als lokale verstijving.

Voor BRL0505 [3] gecertificeerde bevestigingssystemen wordt gesteld dat de vloer stijver mag worden beschouwd dan het balkon als $h_{\text{vloer}} \geq 1.2h_{\text{balkon}}$, zie figuur 6-5. Als niet aan deze eis wordt voldaan zijn beperkingen opgesteld voor de plaatsing van de verbindingen. De verbindingen mogen bij een minder stijve vloer niet verder dan een kwart van de breedte van het balkon van de buitenkant worden bevestigd. De verbindingen moeten dus binnen $1/4L_0$, zie figuur 6-6, zijn geplaatst.

Het hangen van de vloer aan het balkon kan worden voorkomen door de vloer stijver te maken dan het balkon door bijvoorbeeld een hogere betonkwaliteit (met een hogere E-modulus) of grotere dimensies voor de vloer te kiezen. Bij het controleren van de stijfheden moet rekening worden gehouden met de elasticiteitsmoduli van vloer en balkon. Een balkon wordt vaak in een hogere betonkwaliteit uitgevoerd en kan dus, ondanks kleinere dimensies, stijver uitvallen dan de vloer. Een vergelijking kan dus het best gemaakt worden op basis van de buigstijfheid EI.



Figuur 6-5 Stijfheidsverschillen, Bron: [3]



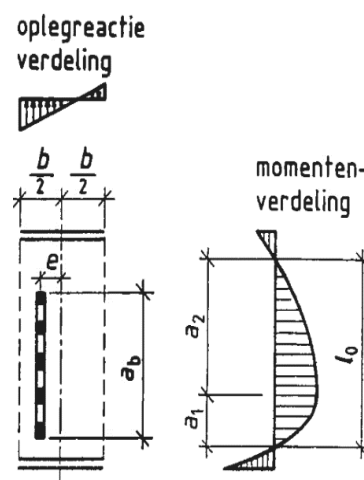
Figuur 6-6 Beperking door minder stijve vloer, Bron: [3]

6.2.4 Strookbreedte dragende randstrook

Wanneer het effect van de belasting uit het balkon op de vloer wordt beschouwd, wordt een rekenbreedte van de vloer aangenomen als virtuele ligger, zie ook figuur 6-9. Deze strook draagt rekenkundig de volledige belasting uit het balkon. In NEN6720 [4], artikel 7.5.4, is een handvat gegeven voor het bepalen van de strookbreedte aan de rand van de vloer onder geconcentreerde belasting. Met behulp van figuur 6-7 in combinatie met onderstaande formule kan een onderen bovengrens voor deze strookbreedte worden bepaald.

$$a + d \leq b \leq a + d + \frac{4a_1a_2}{l_0} - 2e$$

Voor een lijnlast is a gelijk aan nul, dit is namelijk de breedte van de last loodrecht op de overspanning van de vloerrand. d is gelijk aan de dikte van de vloer. De



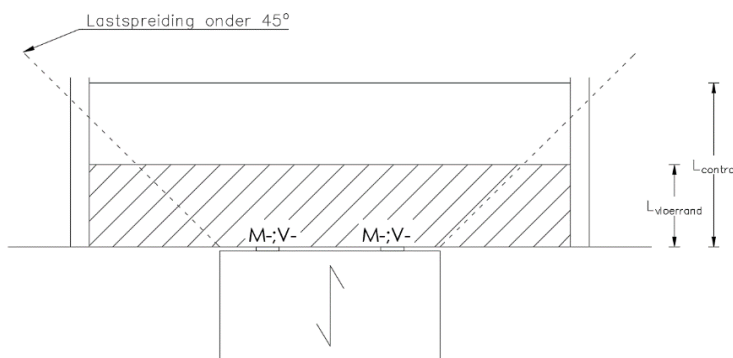
Figuur 6-7 Boven-aanzicht vloerrand, bepaling breedte randstrook Bron: [4]

belasting uit een balkon op de vloerrand grijpt helemaal aan de rand van de strook aan, immers het balkon hangt ook daadwerkelijk aan de rand van de vloer. De excentriciteit e dient dan bepaald te worden aan de hand van zowel dwarskracht als moment, $e = \frac{b}{2} + \frac{M_{Ed,balkon}}{V_{Ed,balkon}}$. De overige termen kunnen met behulp van figuur 6-9 bepaald worden. In de volgende paragraaf wordt duidelijk waarom het niet persé voordelig is een grotere strookbreedte te kiezen.

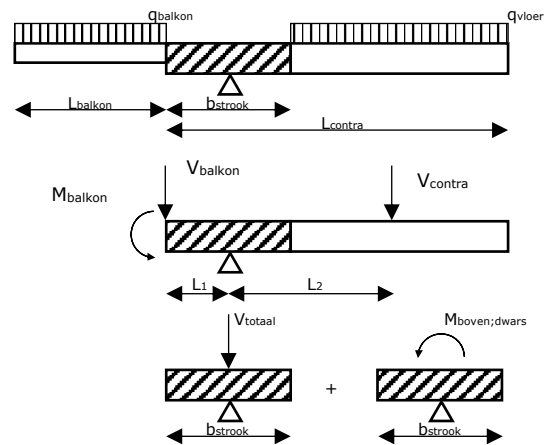
Zojuist behandelde methode ter bepaling van de breedte van de vloerstrook is functioneel voor de meeste gangbare situaties. Wanneer de vloerrand echter ondersteund is ter plaatse van de verbinding met het balkon is het raadzaam de gekozen strookbreedte te verifiëren middels een eindige-elementenmodel.

6.2.5 Dompbelasting

Een uitkragend balkon zorgt voor een neerwaarts gerichte kracht en een negatief buigend moment op de randstrook waaraan het balkon is bevestigd, weergegeven met M_{balkon} en V_{balkon} in figuur 6-8. Om evenwicht te maken met het moment uit het balkon kan een deel van de achterliggende vloer worden gemobiliseerd, de zogenaamde contralengte L_{contra} , zie figuur 6-9 en 6-8.



Figuur 6-9 Visualisatie contralengte



Figuur 6-8 Schema dompbelasting

Het principe is de strokenmethode, die afgeleid is uit de evenwichtsmethode en wel door in de belastingafdracht geen rekening te houden met wringende momenten. De strokenmethode beperkt zich tot de belastingafdracht door buigende momenten.

Het eigen gewicht en de vloerbelasting in de contralengte, q_{vloer} in figuur 6-8, worden gebruikt om evenwicht te maken met het moment uit het balkon. De permanente en veranderlijke belasting op de randstrook worden hierin niet meegenomen omdat wordt aangenomen dat deze direct worden afgedragen naar de opleggingen van de vloerrand.

De contralengte wordt gemobiliseerd door middel van bovendwarswapening over de contralengte plus verankeringlengte. De hoeveelheid wapening is gebaseerd op het steunpuntsmoment in het schema in figuur 6-8, $M_{balkon} + 0,5 * b_{strook} * V_{balkon}$. Door het dompeffect van de contralengte wordt de randstrook zelf niet meer belast op een moment.

Er is wel een toename van de belasting op de randstrook. Door de domp wordt de vloerbelasting in de contralengte afgedragen aan de randstrook, hetgeen zorgt dat de belasting op de randstrook door de bevestiging van het balkon toeneemt met V_{contra} . De totale belasting op de

randstrook bestaat dan uit V_{balkon} , het eigen gewicht en de vloerbelasting van de randstrook en V_{contra} .

Aangezien het fictieve oplegpunt halverwege de strookbreedte ligt, is het niet voordelig een grotere strookbreedte voor de randstrook toe te passen. Bij een grotere strookbreedte neemt het steunpuntsmoment ook toe, waardoor de contralengte weer moet toenemen om evenwicht te kunnen maken.

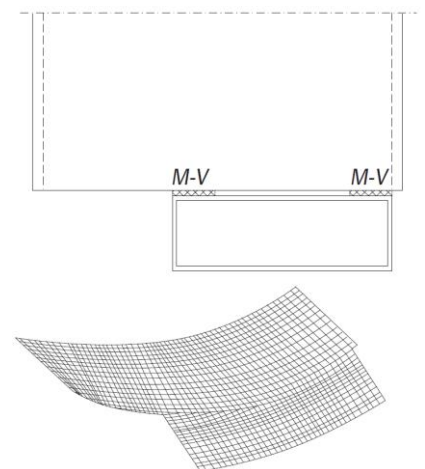
Het proces van het bepalen van de contralengte en de toename van de dwarskracht is doorlopen in het voorbeeld in bijlage A. In het voorbeeld is de situatie versimpeld door geen belastingspreiding mee te nemen, alleen de vloer recht achter het balkon draagt bij aan de domp. Indien wel belastingspreiding wordt meegenomen, mag een spreidingshoek van 45° aangehouden worden, zie figuur 6-9.

6.3 Dragende wanden

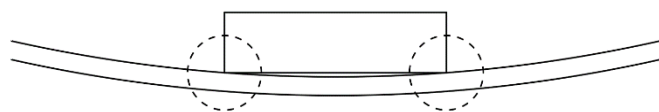
Een constructieve wand nabij een verbinding zorgt voor een ander vervormingsgedrag van de vloer, zie figuur 6-10, dan wanneer het balkon in het midden van de vloer is bevestigd. Deze verandering beïnvloedt de krachtsverdeling binnen de verbinding die zich het verst van de wand bevindt (de linker verbinding in figuur 6-10).

De verandering in interne krachtsafdracht binnen de verbinding kan worden vergeleken met een baksteen op een plank. In deze analogie representeert de plank de vloer en de baksteen de verbinding. Zoals in figuur 6-11 te zien is, rusten na de vervorming van de plank alleen de zijkanten van de baksteen nog op de plank. Dit gebeurt ook met de verbinding halverwege de vloeroverspanning in figuur 6-10. De krachtsafdracht geschiedt voornamelijk langs de buitenzijden van de verbinding.

Wanneer hier geen aandacht aan is besteed in de dimensionering van de verbinding bestaat de kans dat de verbinding overbelast raakt. Door middel van een uitgebreidere analyse met computersoftware kan de verschuiving van de krachtsafdracht binnen verbindingen bepaald worden en kunnen de verbindingen op de juiste krachten worden gedimensioneerd. Voor deze analyse kan de verbinding worden gemodelleerd met behulp van op zichzelfstaande staafjes.



Figuur 6-10 Invloed van stijfheidsverschillen Bron: [5]



Figuur 6-11 Weergave invloed doorbuiging vloer onder invloed constructieve wand

6.4 Schematisering

In de schematisering van de achterliggende constructie kan gebruik worden gemaakt van scharnieren, rotatieveren en translatieveren. In bijlage A is een aantal voorbeelden voor verschillende situaties bijgevoegd. Uitgangspunt bij het schematiseren van de constructie is dat belangrijke factoren op een juiste manier worden meegenomen terwijl het systeem eenvoudig blijft.

6.4.1 Scharnieren

Een scharnier wordt toegepast ter schematisering van een verbinding welke geen momenten kan overdragen.

6.4.2 Rotatieveren

Rotatieveren kunnen worden toegepast in de schematisering van de volgende elementen:

- **Verbinding:** Een momentvaste verbinding vervormt onder de belasting, bijvoorbeeld door verlenging van de staven en het samendrukken van het beton. Deze vervorming is te schematiseren met een rotatieveer. Voor KOMO-gecertificeerde verbindingen zijn de rotatieveerstijfheden gegeven in de productspecificatie.
- **Vloer:** Bij een momentvaste verbinding tussen balkon en vloer werkt de vloerrand rotatie van het balkon tegen door mobilisatie van achterliggende vloergedeelten door middel van de toepassing van bovenwapening. Dit kan eveneens geschematiseerd worden met een rotatieveer.

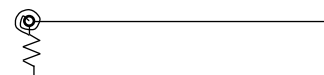
Bij een momentvaste verbinding van een balkon aan een vloer bestaat de veerstijfheid van de rotatieveer ter plaatse van de verbinding dus uit de rotatiestijfheid van de verbinding en de weerstand tegen wringing van de vloerrand.

6.4.3 Translatieveren

De verticale belasting uit het balkon zorgt voor een zakking van de dragende constructie. De weerstand van dit element tegen deze doorbuiging wordt geschematiseerd met een translatieveer.

6.4.4 Combinatie van veren

Zakkingen en rotaties worden vaak door meerdere elementen tegelijk tegengewerkt. Het roteren van een uitkragend balkon wordt bijvoorbeeld verhinderd door zowel de verbinding zelf als mede de vloerrand en contralengte. Beide verhinderingen kunnen worden geschematiseerd in de vorm van een rotatieveer. Hetzelfde geldt voor de translatieveer welke de weerstand tegen zakken van zowel de verbinding als de vloerrand representeert.



Figuur 6-12 Schema uitkragend balkon

Veren die op dezelfde plek werken mogen niet simpelweg opgeteld worden. Deze veren werken in serie en dienen te worden opgeteld tot één veerconstante middels onderstaande relatie. Ook kunnen rotatie- en translatieveren niet zomaar bij elkaar worden opgeteld, deze moeten eerst in dezelfde beweging uitgedrukt worden. Een voorbeeld van hoe een rotatieveer kan worden omgeschreven naar een translatieveer is bijgevoegd in bijlage A.



$$\frac{1}{K_{\text{totaal}}} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots$$

6.5 Berekeningsmethode

In dit hoofdstuk en het vervolg van dit rapport wordt duidelijk dat de krachtswerking van balkons vaak complex is en door veel aspecten wordt beïnvloed. Een eerste indicatie van de krachtswerking van het systeem kan in veel gevallen worden bereikt met een traditionele handberekening. Echter, de invloeden van andere nabijgelegen constructieve elementen induceren vaak een statisch onbepaald systeem waarin de krachtswerking minder voor de hand liggend is.

Een handberekening kan worden uitgevoerd met behulp van de strokenmethode. De methode is niet ingewikkeld maar hangt samen met veel aannames en is dus niet altijd erg nauwkeurig. Indien correct uitgevoerd valt deze onnauwkeurigheid wel uit aan de conservatieve kant. Desalniettemin is het uitvoeren van een handberekening altijd raadzaam. Het draagt bij aan het begrip van de constructie en kan tevens dienstdoen als verificatiemiddel van een latere computerberekening.

Een meer gedetailleerde berekeningsmethode kan worden uitgevoerd met behulp van computersoftware voor platen, zoals een Eindige Elementen pakket. In deze berekeningen zijn gradaties in de mate van nauwkeurigheid. Zo is het mogelijk lineair of niet-lineair te rekenen en kan dit worden gedaan in 2D en 3D. Voor bijvoorbeeld statisch onbepaalde systemen, het bepalen van invloeden van temperatuur en vermoeiing of bij complexe balkonconfiguraties is het raadzaam computersoftware te gebruiken om een meer gedetailleerd beeld van de krachtwerking te verkrijgen.

Een nadeel van computerberekeningen is dat de software werkt als een black box. Wanneer incorrecte gegevens worden ingevoerd, produceert de software irrelevante resultaten. Hier is kennis en kunde van de constructeur van belang en komt de importantie van het maken van handberekeningen naar voren. Met behulp van de handberekeningsresultaten kunnen de resultaten van de computerberekeningen worden geverifieerd.

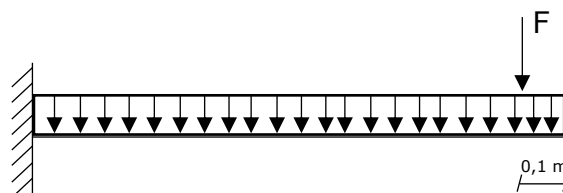
Bibliografie

- [1] NEN-EN 1992-1-1+C2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- [2] J.C. Walraven, C.R. Braam *Voorgespannen Beton*
TU Delft, September 2012
- [3] BRL0505 + wijzigingsblad *Nationale beoordelingsrichtlijn voor wapeningssystemen voor onderbreking van thermische bruggen in beton*
Kiwa, maart 2013
- [4] NEN6720 - TGB 1990 - Voorschriften Beton - Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995)
- [5] G.J. van Tol, *Constructieve aspecten van koudebrugonderbrekingen*
Aeneas media, Cement 2004-6

7. Belastingen

7.1 Verticale belasting

De voorgeschreven verticale belastingen op een balkon behorend bij een ruimte voor wonen en huishoudelijk gebruik, gebruikscategorie A, staan hieronder gepresenteerd. Een vaak vergeten belasting is de lijnlast van 5 kN/m over een breedte van 1 m aan een vrije rand van het balkon, weergegeven met F in figuur 7-1. Deze belasting hoeft, in overeenstemming met artikel 6.3.1.2 van de nationale bijlage van Eurocode 1-1 [1,2], niet met andere opgelegde belastingen te worden gecombineerd.



Figuur 7-1 Schema van belastingen

Glas	~ 1,0 kN/m
Aluminium met stijlen	~ 0,2 kN/m
Staal met stijlen	~ 0,6 kN/m

Tabel 7-1 Indicaties gewicht balustrade²

Permanente belasting	Gewicht balkon	Afhankelijk van balkon.
	Gewicht balustrade	Afhankelijk van balustrade, zie tabel 7-1.
	Gewicht afwerking	Afhankelijk van afwerking
Opgelegde belastingen	Vlaklast balkon	2,5 kN/m ²
	Vlaklast galerij	2,0 kN/m ²
	Puntlast	3 kN
	Lijnlast	5 kN/m
	Regenwater	Op een oppervlak van 100 x 100 mm.
	Sneeuw	1 m breed, 0,1 m van vrije rand
	Wind	Afhankelijk van situatie
		Afhankelijk van situatie
		Onder invloed van gevel en balustrade.

7.2 Horizontale belasting

De verbindingen van een balkon hebben een horizontale weerstand nodig om horizontale belastingen te kunnen overdragen aan de hoofdconstructie. Daarentegen is een te hoge horizontale stijfheid nadelig voor het vermogen van de balkonconstructie om temperatuurvervormingen met een zo laag mogelijke spanning te ondergaan. De ideale situatie is een horizontaal gefixeerd balkon met voldoende vrijheidsgraden om temperatuurvervormingen te ondergaan, hierover meer in hoofdstuk 8. De relevante horizontale belastingen op een balkon zijn:

- Windbelasting. De windbelasting is afhankelijk van de topografische locatie van het gebouw en de geometrische eigenschappen van het balkon en hekwerk.
- Thermische belasting, waarover meer in hoofdstuk 8.
- De belasting op de balustrade, waarover meer in hoofdstuk 13.
- Scheefstand bij toepassen van kolommen.
- Bijzondere belastingsituatie, bijvoorbeeld een explosie.

² N.B. Deze waarden zijn indicatief, controleer de waarden altijd met de gegevens van de leverancier van de balustrade.

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1991-1-1+C1 – Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen
- [2] NEN-EN 1991-1-1+C1/NB – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen

8. Temperatuur & vermoeing

Door het wisselende karakter van temperatuur verandert het volume van betonnen elementen. Wanneer de volumeveranderingen zijn verhinderd, resulteert dat in regelmatig tussen trek en druk wisselende spanningen in de elementen. De spanningen kunnen zorgen voor scheurvorming, toename van scheurwijdte en vermoeing van de verbinding [1]. Tevens kan door scheurvorming de duurzaamheid van het balkon in het geding komen.

Dit hoofdstuk behandelt de relevante zaken aangaande temperatuur en vermoeing voor het ontwerp van een balkon.

8.1 Temperatuur

Het aspect temperatuur wordt behandeld aan de hand van de volgende paragrafen:

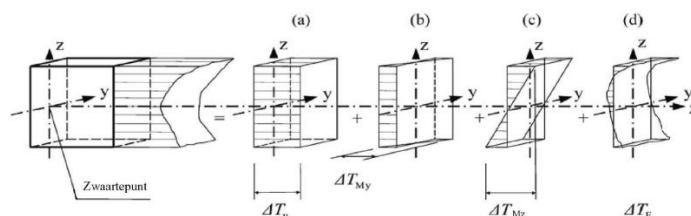
- 8.1.1 Temperatuurcomponenten;
- 8.1.2 Temperatuurbelasting;
- 8.1.3 Verbindingen;
- 8.1.4 Kolommen;
- 8.1.5 Vervormingsvrijheid.

8.1.1 Temperatuurcomponenten

De temperatuurverdeling in een element kan worden opgedeeld in vier componenten, zie figuur 8-1, te weten:

- (a) Gelijkmatische temperatuurcomponent;
- (b) Lineair veranderlijke temperatuurverschilcomponent over y-as;
- (c) Lineair veranderlijke temperatuurverschilcomponent over z-as;
- (d) Niet-lineaire verschilcomponent.

Temperatuurcomponent (d) resulteert alleen in eigenspanningen welke in evenwicht zijn met elkaar, tot een daadwerkelijke temperatuurbelasting resulteert deze component dus niet. Componenten (a) tot en met (c) kunnen wel tot een temperatuurbelasting leiden.

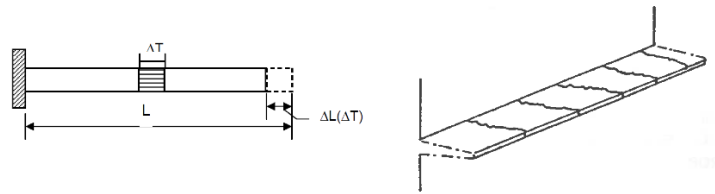


Figuur 8-1 Temperatuurcomponenten, Bron: [2]

8.1.2 Temperatuurbelasting

Temperatuurwisselingen veroorzaken alleen spanningen in elementen als de volumeveranderingen zijn verhinderd. Spanningen ten gevolge van temperatuurvervormingen zullen dus niet optreden wanneer de vervormingen vrij kunnen optreden, bijvoorbeeld door verbindingen bewegingsvrijheden te geven. In figuur 8-2 geeft de linker afbeelding een vrije vervorming weer in de richting van de uitkraging. Er zijn geen verbindingen die deze vervorming verhinderen, er zullen dus geen spanningen ontstaan. In de rechter figuur wordt krimp evenwijdig aan de oplegging weergegeven. De verbindingen zijn te stijf waardoor de vervorming wordt verhinderd en spanningen optreden. Wanneer de spanning te hoog wordt zal het balkon loodrecht op de verkortingsrichting scheuren.

De temperatuurbelasting op het balkon volgt uit het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten, ΔT . Vanuit dit temperatuurverschil kan de rek van het balkon ten opzichte van de achterliggende vloer worden bepaald met de uitzettingscoëfficiënt voor beton en de hieronder beschreven relatie. De uitzettingscoëfficiënt voor beton, α_c , is vastgesteld op $10^{-5} / ^\circ\text{C}$.



Figuur 8-2 Links: vrije vervorming, rechts: verhinderde vervorming. Bron: [1]

$$\varepsilon_{\Delta T} = \alpha_c * \Delta T$$

$$\Delta l_{\Delta T} = \alpha_c * \Delta T * l$$

ΔT wordt bepaald met behulp van vastgestelde indicatieve binnen- en buitentemperaturen, deze staan gepresenteerd in tabellen 5.2 en 5.3 van Eurocode 1-5 [2,3]. De vastgestelde indicatieve temperaturen binnen het gebouw zijn voor zomer en winter 17°C . De indicatieve buitentemperatuur hangt af van de kleur van het balkon. Een niet-geschilderd betonnen balkon heeft een lichte kleur. Dit resulteert in de volgende indicatieve buitentemperaturen:

- Zomer: $T_{\text{out}} = T_{\text{max}} + T_3 = 30 + 30 = 60^\circ\text{C}$;
- Winter: $T_{\text{out}} = T_{\text{min}} = -25^\circ\text{C}$.

Wanneer het balkon wit is, is T_3 20°C en komt T_{out} op 50°C . Voor een donkergekleurd balkon is T_3 45°C en komt T_{out} op 75°C .

Een voorbeeld van het bepalen van spanningen in een uitkragend balkon ten gevolge van temperatuurvervormingen is bijgevoegd in bijlage B als voorbeeld 1.

Vanwege de geringe dikte van een balkon-element zal de lineaire temperatuurcomponent zo klein zijn dat de invloed hiervan te verwaarlozen is (Figuur NB.4-6.2.c uit EC1-5 NB [3]). Gevolg is dat de krimp/uitzetting nagenoeg constant is over de hoogte van een doorsnede, en dus benaderd kan worden door alleen de gelijkmatige temperatuurcomponent te beschouwen, welke de waarde ΔT heeft.

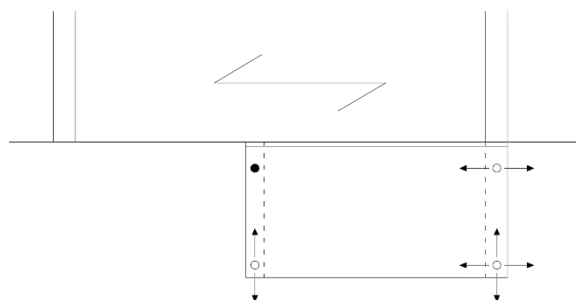


Figuur 8-3 Scheuren ten gevolge van verhinderde temperatuurvervorming. Bron: [4]

8.1.3 Verbindingen

De mate waarin de volumeverandering ten gevolge van temperatuur ook daadwerkelijk voor spanningen zorgt hangt af van hoe het balkon is bevestigd aan de achterliggende constructie. De gemakkelijkste manier om spanningen ten gevolge van temperatuur te voorkomen is het spanningsvrij opleggen van het balkon. Met andere woorden, de vrijheidsgraden van de verbindingen zo kiezen dat temperatuurvervormingen ongehinderd, of in mindere mate gehinderd, kunnen plaatsvinden. Hier ontstaat natuurlijk wel een spanningsveld met de gewenste horizontale fixatie ten behoeve van het overdragen van horizontale belastingen op het balkon.

In figuur 8-4 is een voorbeeld van een spanningsvrije oplegging weergegeven. Hierin zijn de benodigde translatievrijheden voor een spanningsvrije oplegging van een balkon op consoles weergegeven met de pijlen. Wanneer iedere vervorming vrij kan optreden, treden geen spanningen op. De manier waarop de vrijheden zijn gekozen zorgt ervoor dat vervormingen ongehinderd kunnen optreden en het balkon toch horizontaal gefixeerd is.



Figuur 8-4 Spanningsvrije oplegging

Indien het niet mogelijk is volledig spanningsvrij op te leggen is het zaak de spanningen ten gevolge van de temperatuurvervorming zo laag mogelijk te houden. Door de afstand tussen verbindingen klein te houden is de krimp of uitzetting tussen deze verbindingen klein en treden lagere spanningen op. Tevens is het nastreven van een zo laag mogelijke horizontale stijfheid van de verbindingen een optie.

Aanstortnokken, dragende aangestorte borstweringen:

Wanneer het balkon is verbonden met aanstortnokken aan de dragende constructie zal thermische krimp of uitzetting resulteren in spanningen en scheurvorming in het balkon, de nokken en de vloer. Zowel in de dimensionering van de nokken, het balkon en de dragende constructie dienen die spanningen te zijn beschouwd en dient scheurvorming beperkt te worden. Hierbij moet er zo gewaagd worden dat de breedte van de scheuren ten gevolge van de permanente en opgelegde belastingen in combinatie met de thermische belasting onder de maximale scheurbreedte blijft. In bijlage B wordt uitgelegd hoe de reactiekracht in een ongescheurde nok veroorzaakt door temperatuurvervorming te bepalen is.

Bij de toepassing van dragende borstweringen welke zijn vast gestort aan het balkon zijn temperatuurvervormingen verhinderd. In figuur 8-5 is dit in een vooraanzicht weergegeven. De uitzetting van een balkonplaat ten gevolge van een temperatuurstijging zorgt voor krachten op de borstwering, weergegeven met de pijlen. Andersom, bij een temperatuurdaling, krimpt de balkonplaat en werken de krachten op de borstwering de andere kant op. Bij krimp bestaat tevens het risico dat er scheuren ontstaan in de balkonplaat.

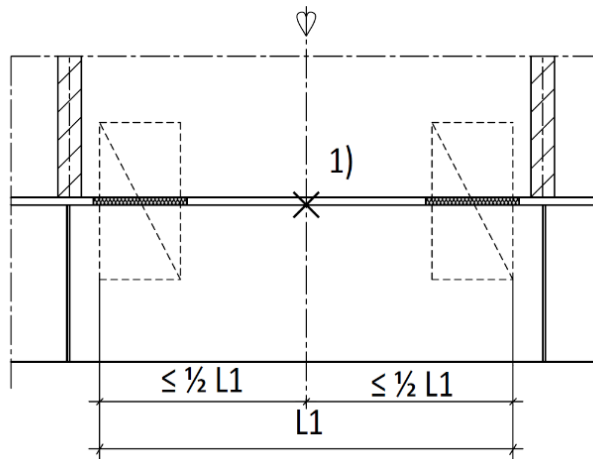


Figuur 8-5 Uitzetting van aan dragende borstweringen bevestigde balkonplaat

Wanneer de balkonplaat en borstwering niet aan elkaar zijn gestort kan de borstwering worden gezien als een console welke, indien correct uitgevoerd, vervormingen spanningsvrij kan ondergaan.

Koudebrugonderbreking:

Voor het beperken van temperatuurspanningen zijn in de technische specificatie van koudebrugonderbrekingen maximale uiterste staafafstanden opgenomen. De maximale uiterste staafafstand is weergegeven met $L1$ in figuur 8-6. In dezelfde afbeelding wordt het fictieve vaste punt weergegeven met 1). Dit fictieve vaste punt is het punt waar rekken ten gevolge van temperatuurbelastingen nul zijn en is afhankelijk van de geometrie van het balkon en de locatie en de horizontale stijfheid van de verbindingen. Meer informatie over het fictieve vaste punt en de maximale staafafstand, inclusief voorbeelden, staat in bijlage B.



Figuur 8-6 Weergave fictief vast punt en maximale staafafstand. Bron: [5]

Indien de afstand tussen de uiterste staaf van een koudebrugonderbreking en het fictieve vaste punt kleiner is dan de helft van de maximale staafafstand $L1$, kunnen horizontale vervormingen probleemloos worden opgenomen.

Horizontaal verplaatsbare oplegging:

Bijvoorbeeld hoeklijn met slobgaten. In hoeverre de vervorming vrij kan plaatsvinden hangt af van de grootte van de slobgaten. Het is van belang de opleggingen vrij te houden van andere nabijgelegen elementen en glijfolie toe te passen om onbedoeld verhinderde vervorming door wrijving te beperken.

Consoles, trekstangen, kolommen:

Zoals in de introductie van deze paragraaf al is aangegeven maakt een goede detaillering een spanningsvrije oplegging mogelijk, zoals in figuur 8-4. Indien trekstangen zijn toegepast kan op een vergelijkbare manier spanningsvrij worden opgelegd, echter vervormen zowel het balkon als de trekstang(en) onder temperatuurvervormingen. Dit kan resulteren in onvoorziene trek- en drukkrachten.

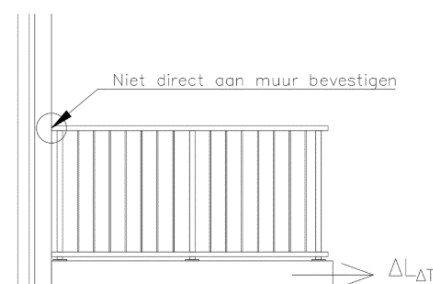
Kolommen

In het geval het balkon wordt ondersteund door kolommen dient de invloed van temperatuurswisselingen op deze elementen en de krachtswerking van de volledige constructie te worden beschouwd. Vooral bij doorlopende kolomondersteuning kan de lengteverandering dusdanig zijn dat het de volledige krachtswerking beïnvloedt. Bij verkorting van verticale elementen kan bijvoorbeeld een trekkracht aan het uiteinde van balkons worden geïntroduceerd. Daarnaast moeten de kolommen de horizontale vervormingen van het balkon moeten kunnen toelaten.

8.1.4 Vervormingsvrijheid van nabijgelegen elementen

Voorkom dat nabijgelegen bouwkundige of constructieve elementen onvoldoende afstand hebben tot het balkon. Wanneer het balkon uitzet of korter wordt kunnen deze elementen beschadigen of verhinderen zij de vervorming van het balkon waardoor onbedoeld spanningen optreden.

Tevens is het van belang elementen die met het balkon mee moeten bewegen, zoals de balustrade in figuur 8-7, nergens anders aan te bevestigen. Als het balkon uitzet, moet de balustrade mee bewegen. Bij bevestiging aan de wand is deze vervorming verhinderd en kan schade optreden.



Figuur 8-7 Balustrade aan wand

8.2 Vermoeiing

Bij vermoeiing raakt een element beschadigd of bezwijkt het onder een wisselende belasting. Dit kan al optreden terwijl de spanningen ten gevolge van de belasting ver onder de sterkte van het materiaal zijn. De vermoeiingsweerstand van een verbinding is de weerstand tegen een bepaald aantal cycli met een bepaalde spanningsamplitude. De spanningsamplitude is het verschil tussen de maximale en minimale spanning ten gevolge van de cyclische belasting.

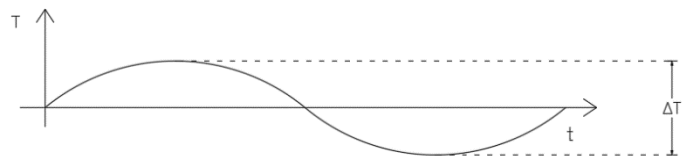
Het onderwerp vermoeiing wordt behandeld aan de hand van de volgende punten:

- 8.2.1 Temperatuur;
- 8.2.2 KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbrekingen;
- 8.2.3 Overige verbindingen;
- 8.2.4 Breedte van de verbinding;
- 8.2.5 Wapeningsdiameter;
- 8.2.6 Afstand tussen verbindingen;

8.2.1 Temperatuur

Bij balkons kan vermoeiing optreden ten gevolge van temperatuurvariaties. De variaties tussen dag en nacht, tussen seizoenen en tussen zomer en winter zorgen voor een veranderend volume van een betonnen element. In BRL0505 [4] zijn de variaties vastgesteld en gecombineerd met een hoeveelheid cycli voor een ontwerplevensduur van 50 jaar.

20.000 cycli voor $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$;
2.000 cycli voor $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$;
100 cycli voor $\Delta T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figuur 8-8 Verloop van temperatuur over de tijd.

ΔT is het verschil tussen de minimale en maximale temperatuur. Als aangenomen wordt dat ΔT fluctueert langs een spanningsloze evenwichtssituatie kan de maximale temperatuurvervorming worden gebaseerd op $0,5 * \Delta T$.

8.2.2 KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbrekingen

Het cyclische karakter van temperatuur zorgt voor een groot aantal wisselingen van spanningen in het balkon en de verbindingen. In het geval een KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbreking wordt toegepast, is deze reeds getoetst op vermoeiing naar de voorschriften in BRL0505. Mits het systeem dus volgens de voorschriften van de leverancier is toegepast, zijn deze systemen bestand tegen de vermoeiingsbelasting. Voor de systemen zijn beperkingen opgesteld met betrekking tot spouwbreedten, staafdiameters en maximale staafafstanden.

8.2.3 Overige verbindingen

Indien een verbinding anders dan een KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbreking wordt toegepast zal moeten worden aangetoond dat het systeem de temperatuurwisselingen zonder problemen kan weerstaan.

De S-N-curve voor wapeningsstaal in artikel 6.8.4 in Eurocode 2-1 [6,7] stelt dat voor het lage aantal cycli (100, 2000 of 10000) het staal een spanningsamplitude mag hebben tot de rekenwaarde van de vloeigrens. Dit houdt in dat de vervorming ten gevolge van $0,5 * \Delta T$ (de helft van 1 cyclus, zie figuur 8-8) een maximale spanning mag veroorzaken tot de helft van de rekenwaarde van de vloeigrens ($0,5 * f_{yd}$). Dat zorgt ervoor dat voor een totale cyclus ΔT de spanningsamplitude beperkt blijft tot f_{yd} .

Omdat het aantal cycli niet maatgevend is, is de spanning die volgt uit de vervorming dat wel. $\Delta T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ is dus maatgevend omdat dit de grootste vervorming zal veroorzaken.

8.2.4 Breedte van de verbinding

De vermoeiingscapaciteit van een verbinding wordt beïnvloed door de spouw- of verbinding breedte. Een grotere breedte verlaagt de horizontale stijfheid van de verbinding en vergemakkelijkt dus het horizontaal vervormen van de verbinding waardoor de spanningsamplitude lager uitvalt. Voor KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbrekingen geldt een minimale spouwbreedte van 60 mm. Voor niet gecertificeerde verbinding waarbij spanningsvrij opleggen niet mogelijk is kan een berekening met behulp van computersoftware inzicht geven in het effect van de spouw- of verbinding breedte op de vermoeiingscapaciteit.

8.2.5 Wapeningsdiameter in betonnen verbindingen

Een hoge wapeningsdiameter zorgt voor een hogere horizontale stijfheid en dus een grotere spanning bij opgelegde vervormingen. Een kleinere wapeningsdiameter zorgt voor een gemakkelijkere horizontale vervorming en verlaagt dus de spanningen.

8.2.6 Afstand tussen verbindingen

Bij een toenemende afstand tussen verbindingen neemt de op te nemen vervorming, en dus de spanningsamplitude, toe. Om vermoeiingsbelasting op de verbinding te reduceren dient de afstand tussen de verbindingen beperkt te blijven.

Het gedrag van niet-gecertificeerde verbindingen onder temperatuurcycli is complex vanwege vervormingen en scheurvorming. Een analyse met behulp van computersoftware kan meer inzicht geven in hoe de verbinding zich gedraagt onder de temperatuurwisselingen.

Bibliografie

- [1] C.R. Braam, K. van Breugel, C. van der Veen, J.C. Walraven
Concrete structures under imposed thermal and shrinkage deformations
TU Delft, Oktober 2016
- [2] NEN-EN 1991-1-5+C1 – Belastingen op constructies – Deel 1-5: Algemene belastingen – Thermische belasting
- [3] NEN-EN 1991-1-5+C1/NB – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-5: Algemene belastingen – Thermische belasting
- [4] https://berkela.home.xs4all.nl/vloeren/afbeeldingen/tn_2013extra034%20scheurvorming%20koudebrug.jpg
Geraadpleegd op 16-02-2017
- [5] BRL0505 + wijzigingsblad *Nationale beoordelingsrichtlijn voor wapeningssystemen voor onderbreking van thermische bruggen in beton*
Kiwa, maart 2013
- [6] NEN-EN 1992-1-1+C2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- [7] NEN-EN 1992-1-1+C2/NB – Nationale bijlage bij Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen

9. Duurzaamheid

In veel probleemgevallen met balkon- en galerijplaten blijkt de duurzaamheid van het gewapende beton een rol te spelen. Wanneer wapening wordt aangetast neemt de sterkte van de constructie af en neemt het risico op schade en (bros) falen toe. Dit hoofdstuk behandelt duurzaamheid aan de hand van de volgende onderwerpen:

- 9.1 Milieuklasse;
- 9.2 Dekking;
- 9.3 Scheurbeheersing;
- 9.4 Praktijkvoorbeeld.

9.1 Milieuklasse

Milieuklassen kwantificeren de invloed van omgevingsomstandigheden waarin de constructie uiteindelijk terecht komt in termen van dekking op het wapeningsstaal. Tabel 4.1 in Eurocode 2-1 [1] presenteert alle milieuklassen voor een betonconstructies, deze tabel is ook bijgevoegd in bijlage C. De voor een balkonconstructie relevante milieuklassen zijn:

XC	Corrosie ten gevolge van carbonatatie;	
XD	Corrosie ingeleid door chloriden, anders dan afkomstig uit zeewater;	Volgt uit het risico dat men strooizout gebruikt als gladheidsbestrijding.
XF	Aantasting door vorst/dooi-wisselingen, eventueel in combinatie met dooizouten;	
XS	Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater, de chloriden kunnen ook door de lucht het beton bereiken.	Alleen relevant voor balkons aan of dichtbij de kust.

In de meeste gevallen zal milieuklasse XD3 maatgevend zijn voor de bovenzijde van de balkonplaat. Deze milieuklasse staat voor een wisselend nat en droog oppervlak in combinatie met de aanwezigheid van chloriden uit bijvoorbeeld strooizout. XD3 resulteert in een relatief hoge dekking en beperkte maximale scheurwijdte om te voorkomen dat het zout de wapening kan bereiken. De chloriden uit het zout tasten de passiveringslaag op het wapeningsstaal aan waardoor corrosie kan plaatsvinden, hetgeen uiteindelijk kan leiden tot een bros falen van de constructie.

Boven- en onderzijde van het balkon hoeven niet dezelfde milieuklassen te hebben. Het is onwaarschijnlijk dat dooizouten aan de onderzijde van het balkon binnen dringen en de wapening aantasten. De benodigde dekking op de wapening aan de onderzijde van de balkonplaat kan dus lager uitvallen.

9.2 Dekking

De dekking is de afstand tussen het oppervlak van het beton en het oppervlak van de dichtstbij liggende wapening en dient ter bescherming van de wapening tegen stoffen van buiten. De dekking dient bepaald te zijn aan de hand van de eisen in hoofdstuk vier van Eurocode 2-1 [1]. De benodigde dekking is afhankelijk van de milieuklasse en de constructieklasse. De constructieklasse wordt bepaald aan de hand van de ontwerplevensduur van de constructie en kan verminderd of vermeerderd worden door:

- De kwaliteit van het betonmengsel. Onder de voorwaarde dat de sterkteklasse en de w/c-ratio met elkaar verband houden, neemt de porositeit van het beton af met een toenemende kwaliteit van het betonmengsel (en een afnemende w/c-ratio). Ten gevolge van de lagere porositeit kunnen stoffen van buiten moeilijker binnendringen.

- De elementgeometrie. Wanneer een element onder de categorie plaatgeometrie valt is het vermogen tot herverdeling van krachten groter.
- Productieproces. Wanneer een element is geprefabriceerd onder gecontroleerde omstandigheden is de kwaliteit van het beton hoger, waardoor stoffen van buiten minder snel kunnen binnendringen.

De dekking op de wapening is naast de duurzaamheid van de constructie tevens van belang voor de effectiviteit van de wapening. Bij een te kleine dekking kunnen de schuifkrachten tussen het beton en het staal niet spreiden en neemt de effectiviteit van de wapening af. Daarentegen heeft een te grote dekking nadelige gevolgen voor de sterkte van het constructieve element omdat de interne hefboomsarm relatief kleiner is en de belasting uit het materiaal boven de wapening onnodig groot.

Indien een balkon is samengesteld uit verschillende geometrieën, bijvoorbeeld het balkon in figuur 9-1, welke bestaat uit een balkonplaat en nokken, verschillen de dekkingseisen voor de verschillende onderdelen. Voor de nokken gaat bijvoorbeeld de reductie voor plaatgeometrie niet meer op, waardoor de uiteindelijke voorgeschreven dekking op de bovenzijde van de nok hoger zal uitvallen.

In bijlage C zijn de tabellen behorende bij hoofdstuk 4 van Eurocode 2-1 [1,2] bijgevoegd voor het bepalen van de dekking op de wapening. Tevens is in deze bijlage een voorbeeld van het bepalen van de dekkingshoogte te vinden.



Figuur 9-1 Bevestiging ultradun balkon. Bron: Pieters Bouwtechniek Delft

9.3 Scheurbeheersing

Voor de bovenzijde van een balkon geldt XD3 vaak als maatgevende milieuklasse. Deze milieuklasse staat voor een wisselend nat en droog oppervlak in combinatie met de aanwezigheid van chloriden uit bijvoorbeeld strooizout. Voor XD3 stelt artikel 7.3.1(7) van Eurocode 2-1 dat specifieke maatregelen, naast een minimale dekking, noodzakelijk zijn om de veiligheid van het element te waarborgen.

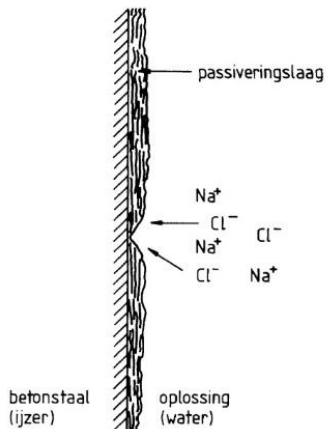
Het wisselend natte en droge oppervlak van het beton zorgt ervoor dat chloriden gemakkelijker kunnen doordringen tot het wapeningsstaal. Deze chloriden tasten de passiveringslaag op het wapeningsstaal aan en kunnen daardoor corrosie induceren/katalyseren. Tabel 7.1N in de nationale bijlage van Eurocode 2-1 [2] schrijft daarom een maximale scheurwijde onder de frequente belastingcombinatie, $w_{max,r}$, van 0,20 mm voor.

9.4 Praktijkvoorbeeld

Een uitkragende galerijplaat aan de Antillenflat in Leeuwarden is in mei 2011 naar beneden gevallen. Uit onderzoek [3] kwamen een aantal oorzaken naar voren, te weten:

- De bovenwapening lag lager dan in het ontwerp was bepaald;
- De permanente belasting op de galerijplaat was hoger dan in het ontwerp;
- Door scheurvorming zijn chloriden het beton in gedrongen en is de wapening aangetast.

Door de indringing van chloriden, waarschijnlijk afkomstig uit dooizouten, in de scheuren in het beton kon putcorrosie ontstaan. Putcorrosie vindt lokaal plaats, op de plek van een scheur, omdat alleen daar de chloriden de passiveringslaag van de wapening aantasten, zie ook figuur 9-3. Door de putcorrosie neemt de doorsnede, en dus de capaciteit, van de wapeningstaaf af en neemt de kans op een broos falen toe. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in het naar beneden vallen van de galerijplaat.



Figuur 9-3 Putcorrosie. Bron: [5]



Figuur 9-3 Galerijplaat Antillenflat, Bron: [4]

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1992-1-1+C2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- [2] NEN-EN 1992-1-1+C2/NB – Nationale bijlage bij Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
- [3] M. De Jonker, D.G. Mans, S.N.M. Wijte, *Constructieve veiligheid van uitkragende galerijplaten* SBRCURnet, oktober 2014
- [4] Galerijplaat antillenflat
<http://www.112groningen.nl/data/fotos/2011/05/23/114938/img6884.jpg>
 Geraadpleegd op 24-03-2017
- [5] Putcorrosie
<http://betonlexicon.nl/P/Putcorrosie/>
 Geraadpleegd op 24-03-2017

10. Bruikbaarheidscriteria

Bijlage A van Eurocode 0 [1,2] behandelt bruikbaarheidscriteria welke mede van toepassing zijn op balkons. De relevante criteria vallen onder de volgende onderwerpen:

- 10.1 Vervormingen;
- 10.2 Hemelwaterafvoer;
- 10.3 Trillingen.

10.1 Vervormingen

Vervormingen dienen beperkt te worden omwille van het veiligheidsgevoel van de gebruiker, het voorkomen van schade aan omliggende elementen en het uiterlijk van het balkon. Aan de hand van de paragrafen Verticale vervorming en Vervorming van de dragende constructie worden de aandachtspunten behandeld.

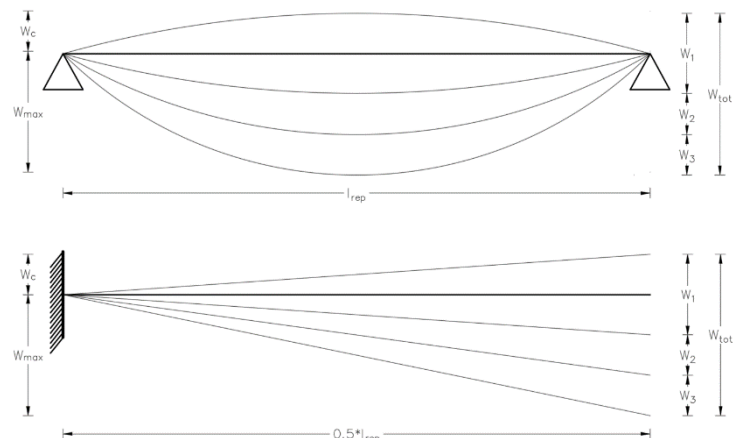
10.1.1 Verticale vervorming

De uiteindelijke totale zakking van het balkon volgt uit de sommatie van de vervorming van het balkon, de rotatie en zakking van de verbinding, de rotatie en zakking van de achterliggende draagconstructie en de initiële zeeg/opstand van het balkon.

Verticale vervormingen van constructies zijn in artikel A1.4.3 van bijlage A van de nationale bijlage van Eurocode 0 [1,2] ingedeeld in de volgende componenten:

- W_c is de zeeg/opstand van het onbelaste element;
- W_1 is de initiële doorbuiging onder permanente belasting, bepaald met de van toepassing zijnde belastingcombinatie in combinatie met de korte-duur-eigenschappen;
- W_2 is wederom een vervorming geïnduceerd door permante belasting, echter nu met het oog op de lange termijn. W_2 wordt bepaald door de vervorming ten gevolge van de permanente belasting uit de quasi-blijvende belastingcombinatie met lange-duur eigenschappen te verminderen met de vervorming uit de quasi-blijvende belastingcombinatie met korte-duur eigenschappen.
- W_3 is het korte-termijn aandeel van de veranderlijke belastingen aan de vervorming, bepaald met de van toepassing zijnde belastingcombinatie.
- W_{tot} is de totale doorbuiging, en is de som van w_1 , w_2 en w_3 .
- W_{max} is de totale doorbuiging vermindert met de initiële zeeg/opstand van het element.

De (privaat gestelde) voorschriften in de nationale bijlage van artikel A1.4.3 van Eurocode 0 kunnen op de volgende manier worden geïnterpreteerd voor balkons.



Figuur 10-1 Definitie van zakkings. Bron: [1]

Aanbeveling	Belastingcombinatie	
$w_2 + w_3 \leq 0,002 * l_{rep}$ [max 10-15mm]	Frequente, 6.15b	Wanneer het balkon tussen gevelbekleding steekt zodat wordt voorkomen dat balkon op gevelbekleding gaat rusten.
$w_2 + w_3 \leq 0,003 * l_{rep}$	Frequente, 6.15b	Wanneer balkon niet tussen gevelbekleding steekt.
$w_{max} \leq 0,004 * l_{rep}$	Karakteristieke, 6.14b	In alle gevallen omwille van het uiterlijk van de constructie.

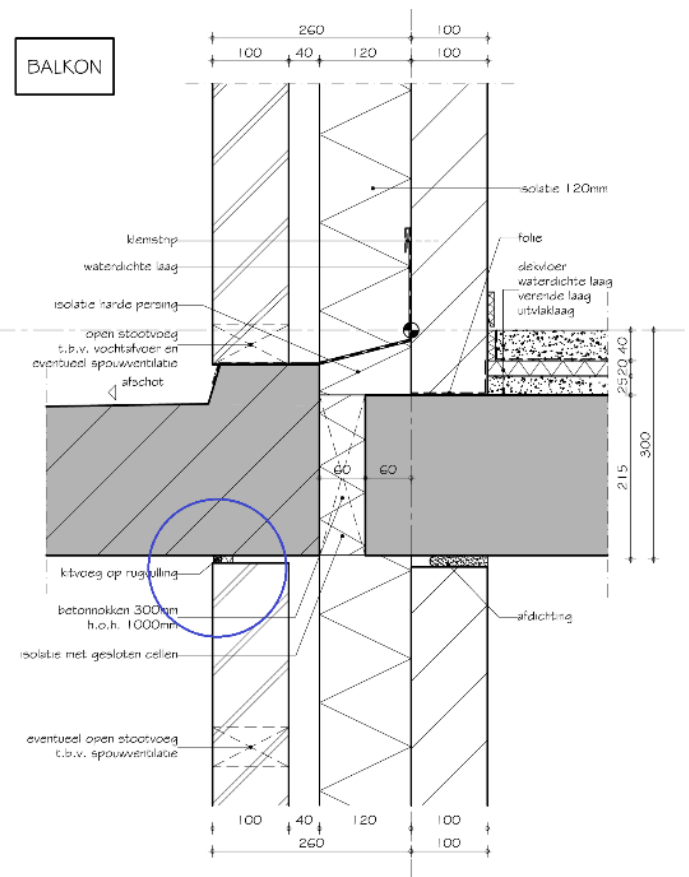
De lengte l_{rep} is hierin de lengte van de overspanning of tweemaal de lengte van de uitkraging.

10.1.2 Vervorming van dragende constructie

De draagconstructie waaraan het balkon is bevestigd vervormt onder zijn eigen gewicht, de opgelegde belasting en de belasting uit het balkon. Bij een balkon dat is bevestigd aan de draagconstructie ter plaatse van de gevel dient specifiek rekening te worden gehouden met deze vervorming.

In figuur 10-2 is het balkon tussen de gevelbekleding door aan de vloerrand bevestigd. De vervorming van de vloerrand zorgt voor een directe zakking van het balkon. Het risico in deze situatie is dat het balkon op het metselwerk komt te rusten ter plaatse van de cirkel waardoor het metselwerk of het balkon beschadigd raakt.

Beschadigingen kunnen worden voorkomen door een kitvoeg toe te passen tussen balkon en metselwerk. Hierdoor hebben het balkon en de vloerrand de ruimte om te zakken alvorens het metselwerk wordt geraakt.



Figuur 10-2 Voeg tussen balkon en metselwerk. Bron: [2]

10.2 Hemelwaterafvoer

Specifieke regels aangaande hemelwaterafvoer voor balkons zijn er niet. In dit hoofdstuk worden een aantal algemene voorschriften behandeld, gevolgd door aandachtspunten om overlast te voorkomen.

- 10.2.1 Voorschriften;
- 10.2.2 Afschot;
- 10.2.3 Aandachtspunten.

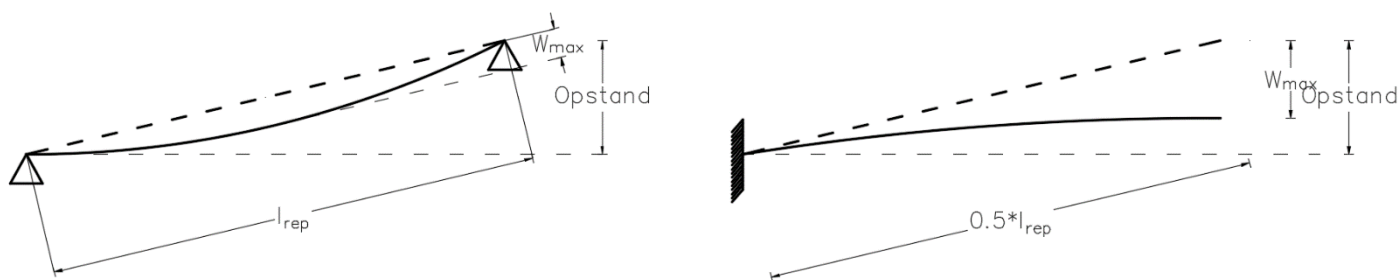
10.2.1 Voorschriften

Voorschriften aangaande hemelwaterafvoer zijn te vinden in bijlage A van de nationale bijlage van Eurocode 0 [2] en in het Burgerlijk Wetboek.

Artikel A1.4.3(8) van Eurocode 0 [1,2] stelt dat oppervlakken die normaal gesproken water afvoeren, daar na het optreden van de vervorming door de belasting nog steeds toe in staat dienen te zijn. Met andere woorden, na het optreden van de vervorming dient een afschot bewaard te blijven, zie figuur 10-3.

In het Burgerlijk Wetboek, artikel 52, is gesteld dat voorkomen moet worden dat water op een ander zijn erf loopt. Afvoeren op de openbare weg is toegestaan.

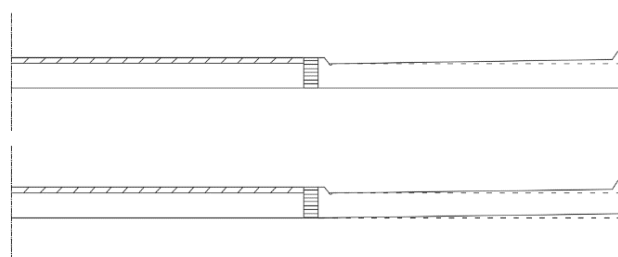
Afwijkende regels kunnen zijn opgenomen in gemeentelijke bouwverordeningen.



Figuur 10-3 Afschot na vervorming. Bron [1,2]

10.2.2 Afschot

Uitgangspunt in het ontwerp van het balkon aangaande hemelwaterafvoer moet zijn dat plasvorming en vervuiling wordt voorkomen. Dit kan door de bovenzijde van het balkon een afschot te geven, zie de bovenste afbeelding in figuur 10-4, door het balkon op te zetten (onderste afbeelding in figuur 10-4), door goten toe te passen of door een combinatie van deze opties. Hierin moet verzekerd worden dat na het optreden van de vervorming van het balkon het gekozen afwateringssysteem functioneel blijft.



Figuur 10-4 Verschil tussen afschot in balkonvloer en opzet van balkon.

Het is tevens mogelijk het afschot van het balkon zo te oriënteren dat het water van de voorzijde van het balkon af loopt, en dus niet traditioneel richting de gevel. Het voordeel aan deze constructie is dat de vervorming van het balkon de afwatering niet in gevaar kan brengen. Risico is dat de vervorming te groot wordt, het balkon moet dan opgezet worden.

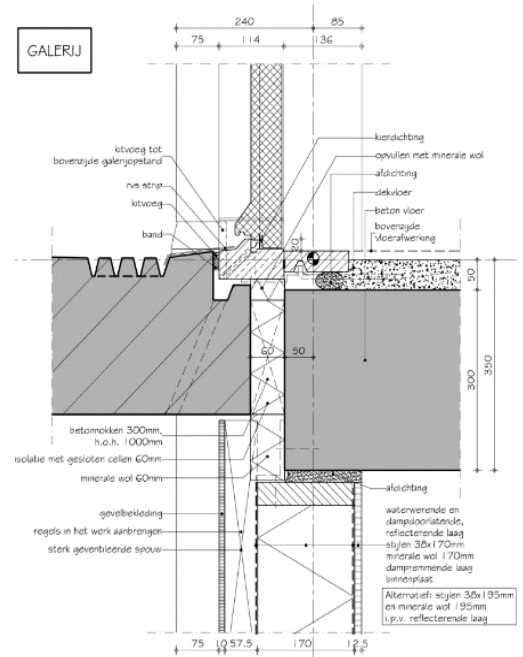
In de opmerking die volgt na artikel A1.4.3(8) in Eurocode 0 [1,2] wordt gesteld dat een afschot van 1,6% gecombineerd met een maximale vervorming door de karakteristieke belasting van $0,004 * I_{rep}$ voldoende is om een afschot te behouden. Uit een rondgang binnen de studiecél blijkt dat een afschot van 1,6% niet praktisch is voor een balkon, het afschot is dusdanig dat het voelbaar is wanneer het balkon wordt belopen.

10.2.3 Aandachtspunten

Wanneer het afschot van het balkon in de richting van de woning is uitgevoerd, dient men rekening te houden met het risico op lekkage. Daar komt bij dat een noodoverstortvoorziening gerealiseerd dient te worden voor het geval de hemelwaterafvoer verstopt raakt. Tevens is het raadzaam het hoogteverschil tussen binnen en buiten beperkt te houden ten behoeve van de bruikbaarheid van het balkon. Het toepassen van een ribbelprofiel langs de rand van het balkon voorkomt zowel lekkage als een te groot hoogteverschil, zie figuur 10-5.

Houd er in de praktijk rekening mee dat lange balkons ook in de lengterichting kunnen doorbuigen. Dit kan nadelige gevolgen hebben voor het afschot.

Ondanks het feit dat er geen specifieke regelgeving is omtrent hoe water afgevoerd moet worden vanaf een balkon, moet aandacht worden besteed aan waar het water naar toe zal gaan, hoe het daar komt en of dat een acceptabele weg is. Probeer hierbij overlast bij bijvoorbeeld benedenburen te voorkomen.



Figuur 10-5 Ribbelprofiel ter plaatse van aansluiting met gebouw. Bron: [3]

10.3 Trillingen

In de tijd wisselende belastingen met een frequentie dicht bij de eigenfrequentie kunnen zorgen voor hinderlijke trillingen of schade. Wanneer de juiste aandacht wordt besteed aan trillingen gedurende het ontwerpproces, kunnen problemen worden voorkomen. De volgende paragrafen bieden hier een handvat voor:

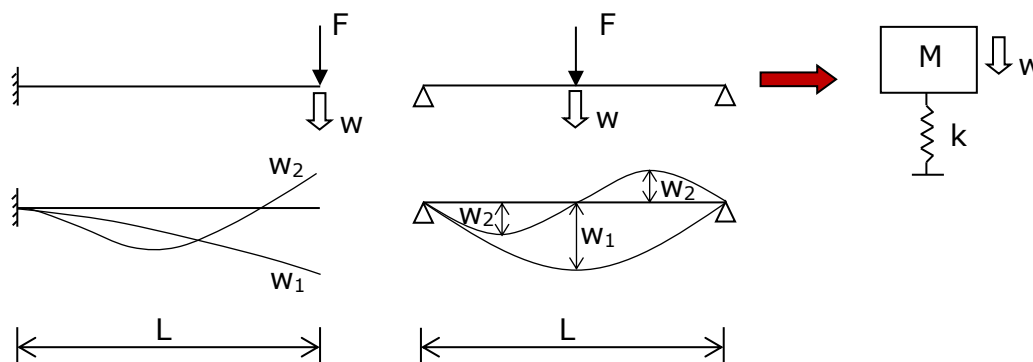
- 10.3.1 Voorschriften;
- 10.3.2 Schematisering;
- 10.3.3 Controle;
- 10.3.4 Maatregelen.

10.3.1 Voorschriften

Uitgangspunt in het voorkomen van hinderlijke trillingen is dat de eigenfrequentie van de balkonconstructie niet in de buurt ligt van de frequentie van de optredende belastingen en tevens hoger is. Om hier wat meer houvast te bieden zijn in bijlage A van Eurocode 0 [1,2] een aantal regels opgesteld voor zowel de bruikbaarheidsgrenstoestand als de uiterste grenstoestand.

In de bruikbaarheidsgrenstoestand is geen verdere dynamische analyse nodig als de eerste eigenfrequentie (de laagste) van de balkonconstructie hoger is dan 3 Hz of als de som van de karakteristieke waarden van de permanente en ψ_2 maal de opgelegde belasting tenminste 5 kN/m² bedraagt. Als de kans bestaat dat er gedanst of gesprongen wordt op het balkon moet de eerste eigenfrequentie van de balkonconstructie minstens 5 Hz bedragen.

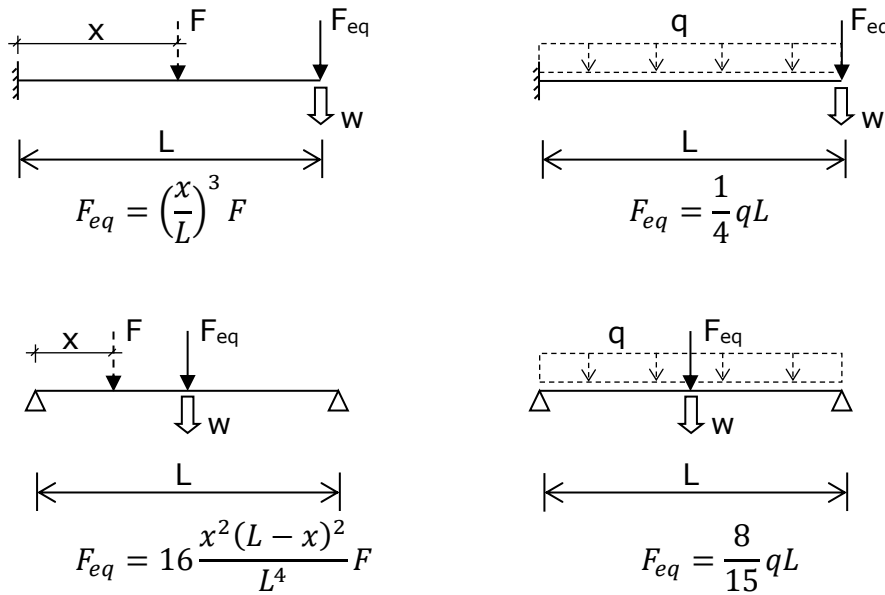
10.3.2 Schematisering



Om te bepalen of een uitgebreide dynamische analyse noodzakelijk is, kan een ongedempt één-massa-veersysteem worden aangenomen waarvan de modale massa en de eerste eigenfrequentie bepaald dienen te worden, zie ook bovenstaande schema's. Alle statische belastingen die werken op de balkonconstructie resulteren in de modale massa van het één-massa-veersysteem. De veerstijfheid van dit systeem representeert de weerstand van het balkon tegen doorbuigen en wordt dus ook bepaald door de kracht die nodig is voor een bepaalde doorbuiging te delen door die doorbuiging. In deze initiële bepaling worden ter simplificatie invloeden van de achterliggende constructie buiten beschouwing gelaten. Het is van belang te beseffen dat dit de afwijking ten opzichte van de daadwerkelijke eerste eigenfrequentie versterkt.

Alle statische belastingen op het balkon worden omgerekend naar een fictieve equivalente puntlast welke de modale massa representeert. In het geval van een uitkragend balkon bevindt deze equivalente puntlast zich op het uiteinde van de uitkraging. Bij een ligger op twee

steunpunten halverwege de overspanning. Voor het omrekenen van lasten op een andere locatie of met een andere configuratie kunnen de onderstaande relaties worden gebruikt, de afleiding is te vinden in bijlage D.



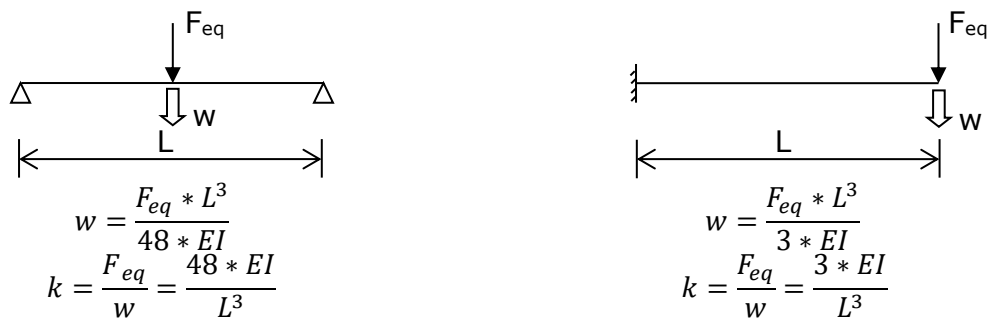
Wanneer momentvaste koudebrugonderbrekingen zijn toegepast is de stijfheid van deze verbindingen vaak van maatgevende invloed [6], zoals ook is te zien in het voorbeeld in bijlage A. In bijlage D is een voorbeeld bijgevoegd van hoe de veerconstante van een balkonconfiguratie te bepalen is.

10.3.3 Controle

Voor de eerste eigenfrequentie van een ongedempt een-massa-veersysteem geldt:

$$f_1 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} \text{ [Hz]} \quad \text{met} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{en} \quad k = \frac{F}{w} \text{ [Nm}^{-1}\text{]} \quad \text{en} \quad M = \frac{F}{g} \text{ [kg]}$$

De veerconstanten worden bepaald door de kracht die nodig is voor een doorbuiging te delen door de grootte van die doorbuiging:



Voor de buigstijfheid EI van het balkon moet rekening worden gehouden met tijdsafhankelijke effecten. De te gebruiken stijfheid is dan ook de stijfheid met in achtneming van scheurvorming en kruip.

Wanneer uit de controle blijkt dat niet aan de voorschriften wordt voldaan moet een uitgebreide dynamische analyse worden uitgevoerd met in acht neming van demping van het systeem en de overige invloeden van omliggende constructieve elementen. Deze analyse kan worden uitgevoerd met behulp van een eindige-elementenmodel.

Een voorbeeld van een controleberekening zit in het voorbeeld in bijlage A. Bij complexe balkonvormen kan een eindige-elementenmodel inzicht geven in het dynamisch gedrag.

10.3.4 Maatregelen

In het geval uit de analyse blijkt dat de eerste eigenfrequentie te laag is, is de meest voor de hand liggende maatregel het verhogen van de stijfheid met een zo klein mogelijke toename van het gewicht. De volgende maatregelen hebben een toename van de stijfheid ten gevolge:

- Vergroten van de dikte van het balkon. In de buigstijfheid is de hoogte van het balkon met een derdemacht aanwezig in de uitdrukking voor de veerstijfheid;
- Het verhogen van de betonkwaliteit;
- Het verkorten van de uitkraging of overspanning van het balkon. Deze lengte is, net als de hoogte van de doorsnede, met een derdemacht aanwezig.

$$k_{\text{uitkraging}} = \frac{F_{eq}}{w} = \frac{3 * E * \frac{1}{12} * b * h^3}{L^3} \quad k_{2 \text{ steunpunten}} = \frac{F_{eq}}{w} = \frac{48 * E * \frac{1}{12} * b * h^3}{L^3}$$

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1990+A1+A1/C2 – Grondslagen van het constructief ontwerp
- [2] NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB – Nationale bijlage bij Grondslagen van het constructief ontwerp
- [3] SBR-referentiedetails Balkons en galerijen
- [4] NEN-EN 1991-1-1+C1 – Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen.
- [5] NEN-EN 1991-1-1+C1/NB – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen
- [6] Technische informatie Schöck Isokorf
April 2016, Schöck Nederland BV

11. Robuustheid

Een balkon behoort meestal niet tot de hoofddraagconstructie. Om die reden kan het bezwijken van het balkon ten gevolge van bijzondere omstandigheden voor de geldende normen (art. 3.2(2) van Eurocode 1-7 [1,2]) aanvaardbaar zijn, mits het de algehele stabiliteit van de constructie niet in gevaar brengt of leidt tot het bezwijken van een aanzienlijk deel van de constructie. Falen is wel onaanvaardbaar wanneer het balkon boven een vluchtroute hangt of er onderdeel van is. Desondanks biedt de Eurocode geen strategie voor het verkrijgen van een robuuste constructie van het balkon.

Het bezwijken van een balkon beperkt zich vaak niet tot enkel het betreffende balkon. Het is daarom raadzaam een balkon zorgvuldig te dimensioneren, waarbij extra aandacht wordt besteed aan het realiseren van een robuuste constructie. In dit hoofdstuk worden handvatten geboden om de risico's in kaart te brengen en hiervoor preventieve maatregelen te nemen aan de hand van de volgende punten:

- 11.1 Tweede draagweg vs. Robuustheid;
- 11.2 Strategie;
- 11.3 Balkonconfiguraties.

11.1 Tweede draagweg vs. robuustheid

Robuust ontwerpen is iets anders dan zorgen voor een tweede draagweg. Het gaat om de vergevingsgezindheid van een constructie. Vooral in het geval van balkonconstructies is juist deze vergevingsgezindheid van belang gezien het feit dat een tweede draagweg vaak niet gerealiseerd kan worden. De vergevingsgezindheid van een constructie is de mate waarin de constructie buitengewone situaties kan weerstaan. Buitengewone situaties bestaan uit buitengewone belastingen of onvoorziene situaties zoals een veranderd mechanicaschema. Het mechanicaschema kan bijvoorbeeld veranderen door een bouwfout. Als het balkon in staat is dat soort situaties te weerstaan zonder te bezwijken, kan het als robuust beschouwd worden. Schade door (plastische) vervorming bij dit soort buitengewone situaties is toelaatbaar.

11.2 Strategie

In het rapport *Constructieve samenhang van bouwconstructies* [3] staat de strategie voor een kwalitatieve risicoanalyse beschreven aan de hand van de stappen oorzaak, mechanisme en gevolgen. Deze strategie kan ook voor balkons gebruikt worden, waarbij vanuit deze kwalitatieve risicoanalyse maatregelen kunnen worden genomen ter preventie of reductie van de effecten.



De eerste stap behelst het inventariseren van mogelijke buitengewone belastingen/situaties welke de oorzaak zouden kunnen zijn van faalmechanismen. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Toevallig of onvoorzien hoge waarden van belastingen;
- Bijzondere belastingen, bijvoorbeeld een stootbelasting, brand of explosie;
- Aantasting van beton en/of wapening, bijvoorbeeld door dooizouten of chloor uit schoonmaakmiddelen;
- Bouwfouten, bijvoorbeeld verkeerd ingebouwde verbindingssystemen;
- Schade door menselijk handelen, bijvoorbeeld het doorboren van een wapeningsstaaf bij een verbinding;
- Slechte communicatie en samenwerking, zie hoofdstuk 15.
- Volledig onvoorziene belasting.

Voor de verschillende oorzaken kunnen faalmechanismen worden bepaald. Denk bijvoorbeeld aan het wegvallen van een kolom door een stootbelasting, het verlies van de draagkracht van een aanstortnok door corrosie van de wapening of een onverwachte oplegging van het balkon op een bouwkundig element door grote vervormingen. Allen hebben een verandering van het mechanicschema tot gevolg.

Afhankelijk van de ernst van de gevolgen en in hoeverre zij kunnen worden geaccepteerd, kunnen preventieve of reducerende maatregelen genomen worden.



Figuur 11-1 Onvoorziene belasting

1) Voorkomen van oorzaak:

- a) Ter voorkoming van (vroegtijdig) falen door brand: zorg voor een voldoende weerstand tegen brand van minstens 30 minuten (lid 2.1 artikel 2.10 van Bouwbesluit 2012 [4]). Meer over brandveiligheid in hoofdstuk 12.
- b) Voorkom stootbelastingen, bijvoorbeeld een aanrijding tegen een kolom, door de kolom af te schermen van wegen.
- c) Voorkom bouwfouten door in het ontwerp rekening te houden met een gemakkelijk bouwproces en tijdens het bouwproces regelmatig inspecties uit te voeren.
- d) Regelmatige inspectie en onderhoud om te voorkomen dat het beton of de wapening aangetast wordt.
- e) Eenduidige afspraken over samenwerking en controle in het ontwerpproces ter voorkoming van ontwerpfouten.

2) Reduceren of weerstaan van het effect:

- a) Ontwerp verbindingen en het balkon met een zekere ductiliteit zodat ruim voor het falen een duidelijke visuele waarschuwing zichtbaar is.
- b) Door verbindingen en dragende elementen niet volledig uit te nutten krijgt de constructie het vermogen onvoorziene situaties of hoge belastingen te weerstaan.
- c) Voer verbindingen zo uit dat verticale krachten in zowel positieve als negatieve richtingen overgedragen kunnen worden. Een verandering in het mechanicschema door bijvoorbeeld het wegvallen van een steunpunt kan dan in veel gevallen worden weerstaan.

11.3 Balkonconfiguraties

Aan de hand van de in hoofdstuk 3 gepresenteerde balkonconfiguraties worden aandachtspunten uiteengezet per categorie. Bij een aantal configuraties wordt gesproken over het overdimensioneren van verbindingen. Hierbij kan een unity check van 0,8 al voldoende zijn om falen onder buitengewone belasting te voorkomen. In bijlage E is deze waarde onderbouwd.

Categorie A: Uitkragend balkon, ondersteund op twee punten

Vanwege het beperkte aantal verbindingen in combinatie met het feit dat verbindingen maar aan één zijde zitten is het lastig een tweede draagweg te realiseren. Het is dan ook aanvaardbaar dat onder buitengewone belasting het balkon plastisch vervormt. Uitgangspunt in het robuust maken van deze configuraties is dat het balkon na falen moet kunnen blijven hangen aan de wapening en dat de integrale stabiliteit van de hoofdconstructie niet wordt beïnvloed bij falen van het balkon. Als meer dan twee verbindingen zijn toegepast kan onderzocht worden of het haalbaar is dat de overgebleven verbindingen het verlies van een verbinding kunnen opvangen.

Categorie B & C: Balkon op drie punten ondersteund

Onder normale omstandigheden kan deze configuratie af met alleen dwarskrachtverbindingen voor het overdragen van de verticale lasten en de opwaartse kracht ten gevolge van de rotatie van het balkon. Echter, om vervormingen te beperken kan de verbinding aan de zijde zonder kolom momentvast uitgevoerd worden. Dit vergroot ook de capaciteit van de constructie voor buitengewone situaties.

Categorie B & C: Balkon op vier punten ondersteund

Het wegvallen van een van de ondersteuning kan worden opgevangen door alle verbindingen uit te voeren met een positieve en een negatieve dwarskrachtcapaciteit. Wanneer een ondersteuning weg valt, wil het balkon gaan roteren over de stippellijn in figuur 11-3. Deze rotatie kan verhinderd worden door een positieve dwarskracht in de ondersteuning diagonaal van de weggevallen ondersteuning, in de afbeelding aangeduid met V_{+-} . Door het wegvallen van de ondersteuning ontstaat tevens een negatief buigend moment diagonaal over de plaat welke moet kunnen weerstaan.

Categorie D: Balkon meerzijdig aan dragende constructie bevestigd

Voor deze configuraties is het zaak de verbindingen over te dimensioneren en is het raadzaam de verbindingen geschikt te maken voor het overdragen van positieve en negatieve dwarskrachten. Bij het wegvallen van een verbinding blijft dan een stabiel systeem over, zoals ook het geval is bij het balkon met twee ondersteuning aan de vloerrand in de categorieën B & C. Met de overcapaciteit van de overgebleven verbindingen kan voorkomen worden dat het balkon bezwijkt.

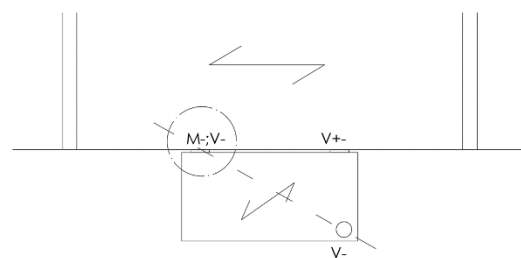
Categorie E: Balkon met een hoek

Het balkon met een hoek bestaat in principe uit twee los uitkragende balkons. Om die reden geldt ook dezelfde strategie als voor een uitkragend balkon voor het verkrijgen van een robuust balkon.

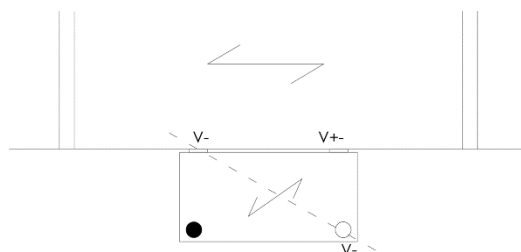
11.4 Praktijkvoorbeeld

Dit voorbeeld betreft een balkonplaat welke is opgelegd door middel van een koudebrugonderbreking, een console en een strip zoals is weergegeven in figuur 11-5. Het balkon wil over de gestippelde lijn roteren, hetgeen wordt voorkomen door de strip. Het mechanicaschema voor deze rotatie is naast de bovenaanzichten weergegeven en is een weergave van een snede loodrecht op de stippellijn.

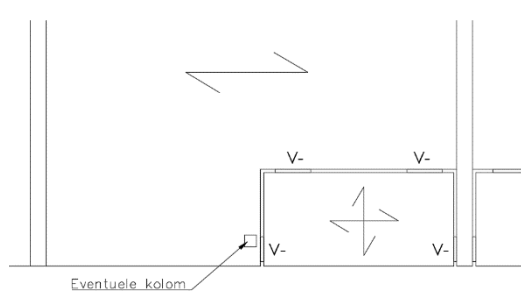
Na uitvoering van dit balkon bleek dat door vervormingen het buitenste opleggingspunt van de plaat op de console verder naar binnen kwam te liggen, zoals ook is te zien in het onderste bovenaanzicht van figuur 11-5.



Figuur 11-2 Op drie punten ondersteund balkon



Figuur 11-3 Op vier punten ondersteund balkon

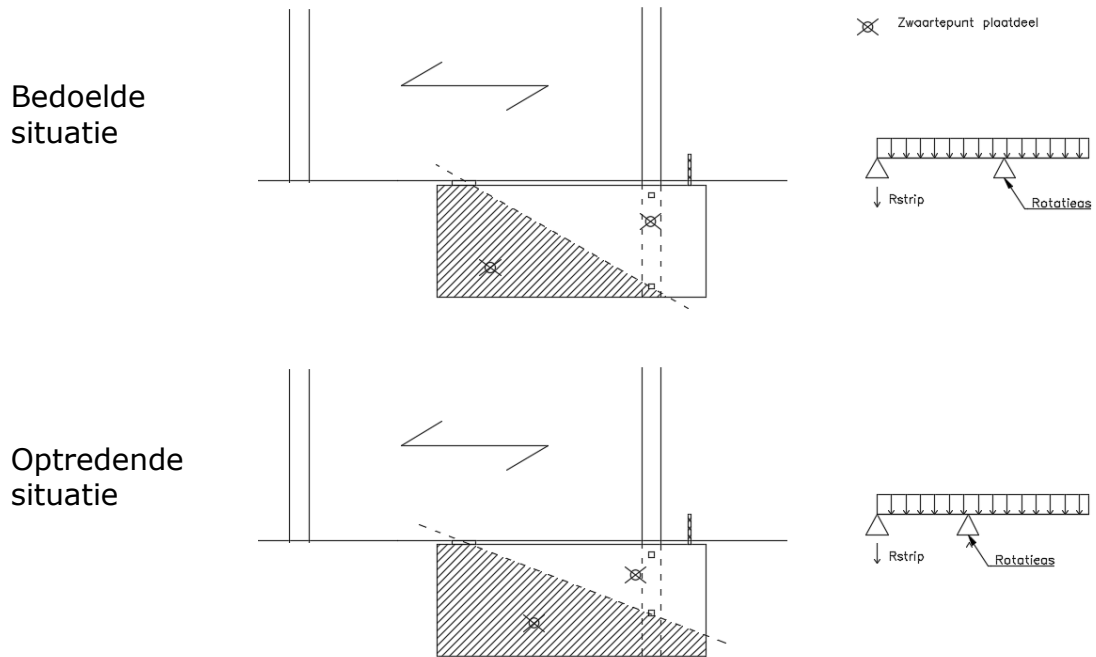


Figuur 11-4 Meerzijdig aan vloerrand bevestigd balkon

Deze verschuiving van het opleggingspunt had een aantal zaken ten gevolge:

- Het 'uitkragende' deel (gearceerd) van de balkonlaaf werd groter;
- Het tegenwerkende deel (niet-gearceerd) werd kleiner;
 - Het zwaartepunt van dit deel kwam dichterbij de rotatie-as te liggen en werd dus minder effectief.
- De tegenwerkende kracht uit de strip, R_{strip} in de schema's, kwam dichterbij de rotatie-as te liggen en werd dus minder effectief.

Voor evenwicht is een grotere opwaartse kracht in de strip nodig, alwaar deze niet op ontworpen was.



Figuur 11-5 Overzicht en schematisering balkon

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1991-1-7+C1 – Belastingen op constructies – Deel 1-7: Algemene belastingen: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
- [2] NEN-EN 1991-1-7+C1/NB – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-7: Algemene belastingen: Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen
- [3] R. Sagel, S.J. De Boer, S.N.M. Wijte, et al. *Stufib rapport 8: Constructieve samenhang van bouwconstructies*
Stufib, september 2006
- [4] Bouwbesluit 2012

12. Brandveiligheid

De balkonconstructie dient te voldoen aan de in het Bouwbesluit 2012 gestelde eisen aan gaande brandveiligheid. In het bouwbesluit worden constructieve eisen gesteld aan de weerstand tegen brand van de constructie. Tevens worden bouwkundige eisen gesteld in de Weerstand tegen Branddoorslag en Brandoverslag (WBDBO). De constructieve eisen gelden voor de gehele balkonconstructie, dus zowel de verbinding als de balkonplaat.

Het hoofdstuk brandveiligheid wordt aan de hand van de volgende onderwerpen behandeld:

- 12.1 Sterkte bij brand;
- 12.2 WBDBO;
- 12.3 KOMO-Gecertificeerde verbindingen;
- 12.4 Overige verbindingen.

12.1 Sterkte bij brand

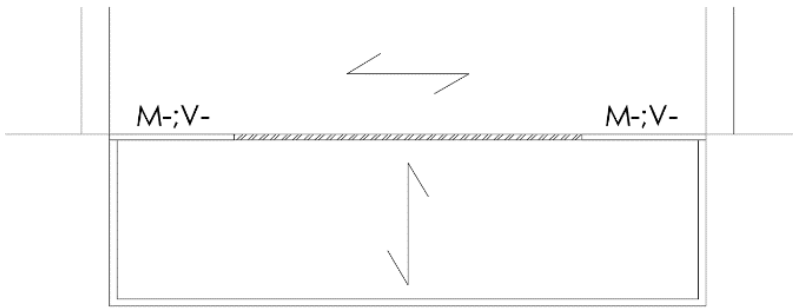
Indien het balkon onderdeel is van de hoofddraagconstructie zal de weerstand van het balkon tegen brand gelijk moeten zijn aan de weerstand van de volledige constructie. Lid 2 van artikel 2.10 uit het Bouwbesluit stelt eisen aan de weerstand tegen brand van een constructie.

Het balkon zal in de meeste gevallen echter geen onderdeel zijn van de hoofddraagconstructie. Wel is het mogelijk dat het balkon onderdeel is van een vluchtroute of een vluchtroute onder zich heeft. Lid 1 in artikel 2.10 van het Bouwbesluit stelt dat het balkon dan niet mag bezwijken binnen 30 minuten. In de overige gevallen geldt de laatste zin van hetzelfde lid. Deze zin stelt dat de eis niet opgaat voor de vloer van een buitenruimte van een woonfunctie.

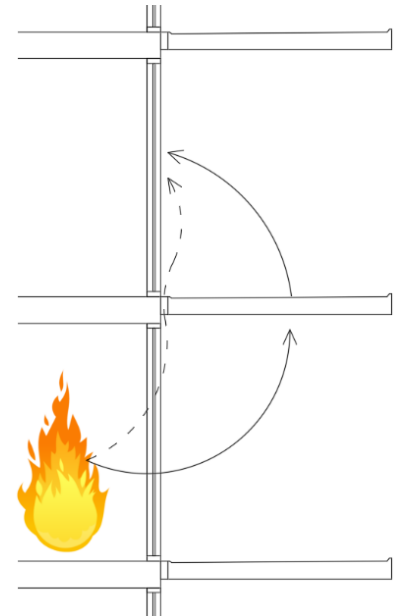
12.2 WBDBO

Artikel 2.84 van het Bouwbesluit, Weerstand tegen Branddoorslag en Brandoverslag (WBDBO), stelt eisen aan de kortste tijd die een brand nodig heeft om zich uit te breiden van de ene naar de andere ruimte. Met brandoverslag wordt overslag door de buitenlucht van het ene naar het andere brandcompartiment bedoeld. Branddoorslag is uitbreiding van de brand door een constructiedeel heen. Het is mogelijk het balkon te gebruiken voor het behalen van deze WBDBO-eis.

Indien het balkon helpt in de WBDBO, zoals in het voorbeeld in figuur 12-2, moeten alle onderdelen van het balkon ook daadwerkelijk deze weerstand tegen en sterkte bij brand hebben. Wanneer bijvoorbeeld de ruimte tussen de verbindingen, het gearceerde stuk in de figuur 12-1, deze weerstand niet heeft, zal de WBDBO niet gehaald worden. Het vuur zal dan de gestippelde lijn in figuur 12-2 volgen en de beschermende werking van het balkon is tenietgedaan.



Figuur 12-1 Bovenaanzicht brandveiligheid isolatiestrook



Figuur 12-2 Doorsnede brandoverslag door isolatiestrook

12.3 KOMO-gecertificeerde verbindingen

KOMO-gecertificeerde koudebrugonderbrekingen zijn gecontroleerd op een minimale weerstand tegen brand van 30 minuten. Met extra maatregelen vanuit de leverancier is het mogelijk een koudebrugonderbreking met een hogere weerstand tegen brand te vervaardigen.

12.4 Overige verbindingen

Bij niet-gecertificeerde verbindingen kan een onderscheid gemaakt worden tussen betonnen en stalen verbindingen.

Betonverbindingen

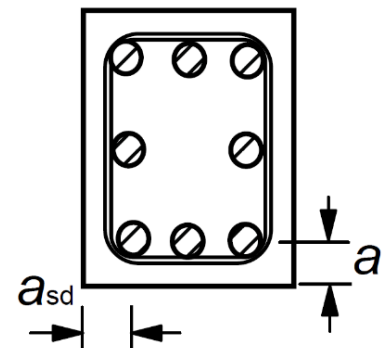
De gewenste brandwerendheid wordt verkregen door de verbindingen te dimensioneren conform Eurocode 2-1-2 [1,2].

De juiste mate van brandwerendheid wordt bereikt door rekening te houden met verminderde materiaaleigenschappen onder hoge temperatuurbelasting en een minimale nominale wapeningsafstand op de hoofdwapening, gemeten vanaf de as van de hoofdwapening.

Bij de toepassing van hogesterktebeton zijn aanvullende maatregelen nodig om spatten van het beton te voorkomen. Hoofdstuk 6 van Eurocode 2-1-2 beschrijft de eisen aan hogesterktebeton bij brand [2,3].

Staalverbindingen

Onder staalverbindingen vallen handjes, trekstangen en stalen kolommen. Alle stalen elementen dienen dusdanig behandeld, bekleed of gedimensioneerd te zijn dat de benodigde brandwerendheid wordt gehaald. De voorschriften in Eurocode 3-1-2 dragen hieraan bij.



Figuur 12-1 Nominale wapeningsafstand. Bron: [1]

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1992-1-2+C1 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-2: Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand
- [2] NEN-EN 1992-1-2+C1/NB – Nationale bijlage bij Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-2: Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand

- [3] NEN-EN 1993-1-2+C2 – Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-2: Algemene regels- Ontwerp en berekening van constructies bij brand
- [4] NEN-EN 1993-1-2+C2/NB – Nationale bijlage bij Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-2: Algemene regels- Ontwerp en berekening van constructies bij brand

13. Balustrade

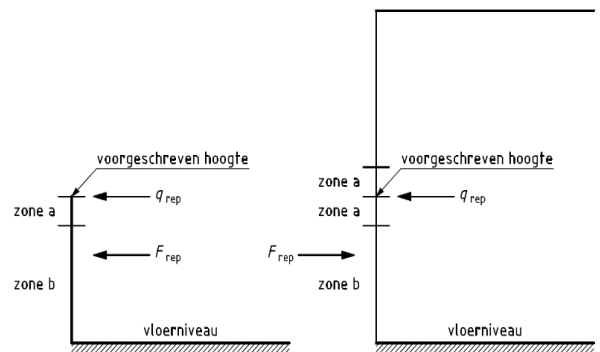
De balustrade is in veel gevallen geen onderdeel van de draagconstructie van het balkon. Desalniettemin zijn er eisen waaraan de balustrade moet voldoen.

13.1 Voorgeschreven hoogte

De in de figuur 13-1 voorgeschreven hoogte volgt uit artikel 2.18 uit het Bouwbesluit 2012. Indien het hoogteverschil tussen balkon en aangrenzende vloer meer dan 13 m bedraagt, is de voorgeschreven hoogte 1,2 m. Wanneer dit minder dan 13 m bedraagt, is een hoogte van 1 m afdoende.

13.2 Voorgeschreven belasting

Artikel NB.A.1(1) in de nationale bijlage van Eurocode 1-1 [1,2] schrijft voor dat er tenminste afzonderlijk een lijnlast q_k en een geconcentreerde belasting F_k op de balustrade moet zijn gerekend, zie figuur 13-1. De beide belastingen kunnen in beide horizontale richtingen loodrecht op de balustrade werken. De waarden van de belastingen zijn afhankelijk van de functie van het balkon en zijn terug te vinden in tabel NB.6 van Eurocode 1-1 en in bijlage F.



Figuur 13-1 Belastingen op balustrade. Bron: [1]

Balustrades dienen bestand te zijn tegen het vallen of stoten van mensen of objecten tegen de balustrade. Uitgangspunt hierin is dat het object dat botst met de balustrade niet van het balkon mag vallen. De balustrade mag door de stoot wel beschadigd raken. SBRCURnet heeft de eisen aangaande de belasting op een balustrade uit Eurocode 1 [1,2] verwerkt in een rapport [3] waarin wordt gesteld dat de balustrade een stootbelasting van 500 Nm op elke willekeurige plaats moet kunnen weerstaan. In bijlage F is weergegeven hoe de berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Tevens kan voor de verificatie van de balustrade een slingerproef worden uitgevoerd. Dit proces staat beschreven in artikel B.2.2 in de nationale bijlage van Eurocode 1.

Afsluitend belast de wind de balustrade. De hoogte van deze belasting is afhankelijk van hoe open de balustrade is, de zogenaamde dichtheidsverhouding ϕ . Volgens artikel 7.4.1 in Eurocode 1-4 [6,7] is voor een gesloten balustrade $\phi=1$. Indien het oppervlak van de balustrade voor 20% open is, is $\phi=0,80$. Wanneer meer dan 20% van de balustrade open is, dient de balustrade te zijn behandeld als een vlak vakwerk volgens artikel 7.11 in Eurocode 1-4.

13.3 Doorbuiging

Artikel A1.4.3(7) stelt eisen aan de horizontale doorbuiging van de balustrade. De doorbuiging kan worden veroorzaakt door de zojuist beschreven belastingen en de windbelasting. De doorbuiging van de balustrade moet aan de volgende eisen voldoen:

- De bijkomende verticale doorbuiging w_2+w_3 van de bovenrand, de bovenregel en de onderregel mag niet groter zijn dan $1/150 \cdot l_{rep}$;
- De horizontale doorbuiging van de baluster en de bovenrand samen, bepaald met de karakteristieke belastingcombinatie 6.14b [4,5], mag niet groter zijn dan 20 mm.

13.4 Gevolgklasse

Artikel B3.1(3) in bijlage B van Eurocode 0 [4,5] stelt dat afhankelijk van het constructietype en de besluiten genomen tijdens het ontwerp en de berekening, bepaalde constructieve ele-

menten mogen worden ingedeeld in dezelfde, een hogere of een lagere gevolgklasse dan de-
gene die geldt voor de gehele constructie. Deze stelling kan gebruikt worden om de gevolg-
klasse van de balustrade lager uit te laten vallen dan het balkon zelf. Echter, het falen van de
balustrade kan eveneens desastreuze gevolgen hebben en mag dus niet onderschat worden.
Een gedegen afweging of het verantwoord is de gevolgklasse te verlagen is dus raadzaam.

Bibliografie

- [1] NEN-EN 1991-1-1+C1 – Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen
- [2] NEN-EN 1991-1-1+C1/NB – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen
- [3] P.W. De Winter, N.P.M. Scholten, A.C.W.M. Vrouwenvelder *Belasturaden: richtlijnen voor het ontwerpen en berekenen* SBRCURnet, 2003
- [4] NEN-EN 1990+A1+A1/C2 – Grondslagen van het constructief ontwerp
- [5] NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB – Nationale bijlage bij Grondslagen van het constructief ontwerp
- [6] NEN-EN 1991-1-4+A1+C2 – Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
- [7] NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/nb – Nationale bijlage bij Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting

14. Uitvoering

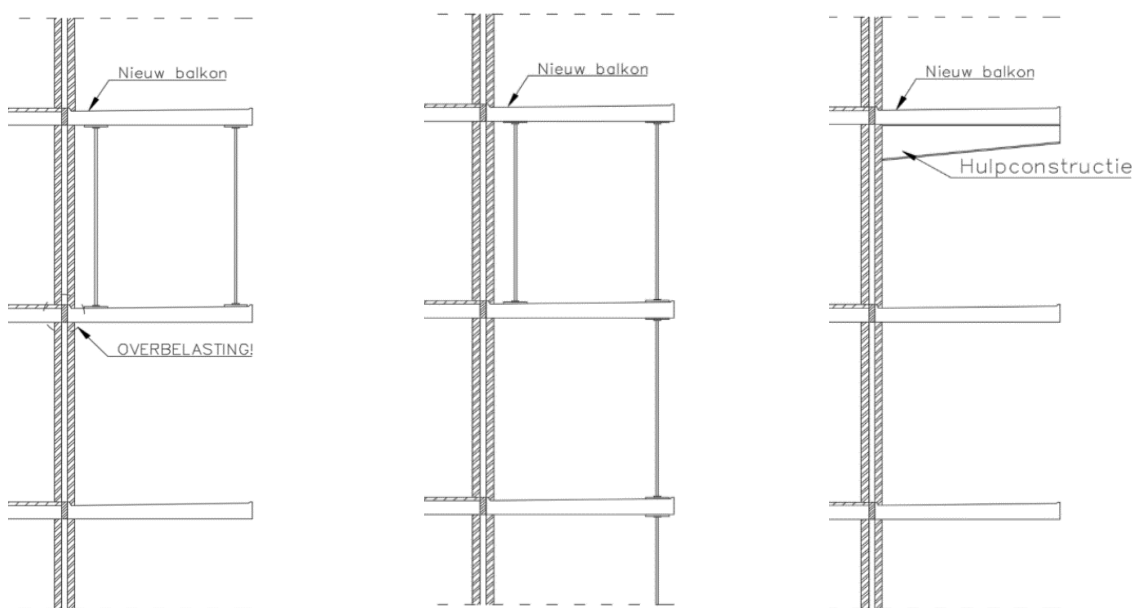
Dit hoofdstuk behandelt de onderwerpen stempelen, tunnelgietbouw, koudebrugonderbrekingen, stortoriëntatie en de uitlijning van vloer en balkon met het oog op de uitvoeringsfase.

14.1 Stempelen

Tijdens het monteren van geprefabriceerde balkons is een tijdelijke draagconstructie benodigd. Tot de verbinding en de achterliggende permanente draagconstructie genoeg draagkracht en stijfheid hebben dient deze tijdelijke draagconstructie gehandhaafd te blijven. In het Stubeco-rapport Doorstempeling Vloeren [1] is een volledig hoofdstuk gewijd aan wanneer en hoe de stempels onder een balkon het beste verwijderd kunnen worden opdat de onderstempelde periode zo kort mogelijk is. De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is dat wanneer balkons boven elkaar geplaatst zijn er met grote zorg en in goed overleg een plan moet worden gemaakt over hoe de stempels verwijderd worden. Tevens worden een aantal aanbevelingen gedaan, te weten:

- Het in z'n geheel verwijderen van stempels wanneer de vloer de juiste sterkte heeft bereikt, zoals in de linker afbeelding in figuur 14-1, wordt afgeraden omdat de kans aanwezig is dat de verbinding in het onderliggende balkon wordt overbelast. De situatie als in de middelste afbeelding van figuur 14-1, waarbij de stempels aan de gevelzijde worden verwijderd is wel een optie. Hierbij dient wel met zorg uitgerekend te worden tot hoever de stempels op welk moment verwijderd kunnen worden. Wanneer een uitkragende hulpligger of een ander soort hulpconstructie wordt toegepast die niet op onderliggende balkons afdragen kunnen deze, wanneer de vereiste sterkte van het balkon is bereikt, worden verwijderd (rechter afbeelding in figuur 14-1).
- Stempels over de gehele hoogte laten staan wordt afgeraden wegens verzakking van de fundering van de onderste stempel en elastische vervorming van stempels onder de belasting. Als de stempels verwijderd worden, werk dan van boven naar onder.
- Wanneer het beton de minimale sterkte heeft is het raadzaam de stempels los en daarna handvast te draaien. Dit voorkomt overbelasting op de stempels of de onderliggende constructie.

Belangrijkste conclusie is dat altijd moet worden berekend of het geplande stempelproces constructief gezien veilig en haalbaar is.



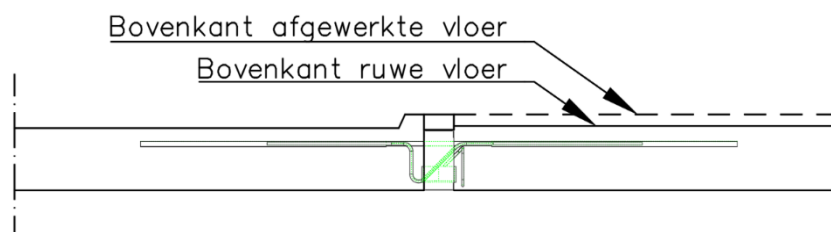
Figuur 14-1 Stempelstrategiën bij prefab balkons

Indien stempels zowel onder het balkon als onder de vloer (waaraan het balkon bevestigd is) zijn geplaatst, is het van belang eerst de stempels onder het balkon te verwijderen. Wanneer de stempels in omgekeerde volgorde worden verwijderd, kan dit resulteren in het hangen van de vloer aan het balkon met eventuele overbelasting tot gevolg.

14.2 Tunnelgietbouw

De tunnelbekisting bij tunnelgietbouw wordt na maximaal 16 uur verwijderd, het beton zou dan, volgens de inmiddels vervallen NEN 6722, een minimale druksterkte van 14 N/mm^2 moeten bezitten. Echter is de sterkteontwikkeling afhankelijk van veel omgevingsfactoren waardoor in de praktijk de sterkteontwikkeling nog weleens kan afwijken van hetgeen berekend is [3]. In het artikel Stoeien met balkonplaten [4] komen een aantal zaken naar voren die bij de toepassing van geprefabriceerde betonnen balkons in combinatie met tunnelgietbouw specifieke aandacht behoeven, te weten:

- Het balkon moet ergens op rusten omdat het tijdens het storten nog niet aan de vloer kan hangen. Om die reden moet de tunnel dus langer gemaakt worden zodat minstens $2/3$ van het balkon op de tunnel rust. Een andere oplossing is het toepassen van een bevestigingssysteem dat het toelaat het balkon achteraf te monteren (naspanningssysteem).
- Om vervormingen na het ontkisten te compenseren heeft de tunnelbekisting een toeg. Het is ingewikkeld een recht balkon aan te sluiten op een getoogde vloer. De oplossingen die in het artikel worden geboden zijn het gebruik van wiggen bij het stellen van het balkon en het vullen van naden tussen het balkon en de vloer met purschuim.
- De tunnelkist wordt alleen gebruikt voor de ruwe vloer, dit resulteert in een hoogteverschil tussen balkonvloer en ruwe vloer waar de tunnel niet overheen gereden kan worden. Zeker wanneer aan beide zijden van de tunnel een balkon wordt geplaatst is dit problematisch. Een oplossing is het uitzagen van de opstand ter plaatse van de plekken waar de wielen moeten passeren en ze daarna weer terug lijmen.



Figuur 14-2 Ruwe betonvloer lager dan rand balkon, tunnel kan niet uitgereden worden.

Vanwege het vroege ontkisten zijn de kruipvervormingen van de met de tunnelkist gestorte constructie groter dan normaal. Aangezien het balkon aan deze constructie is bevestigd, zal ook de vervorming van het balkon groter zijn. Dit resulteert in een aantal aandachtspunten:

- Controleer of de totale doorbuiging nog wel binnen de gestelde grenzen van de bruikbaarheidsgrenscriteria valt zoals deze zijn gesteld in bijlage A van Eurocode 0 en de bijbehorende nationale bijlage.
- Controleer of de vervorming niet dusdanig is dat het afschot niet meer voldoende is voor een goede afvoer van water.
- Controleer of de zakking van de vloerrand bij de verbinding met het balkon niet dusdanig groot is dat druk ontstaat op onderliggende bouwkundige elementen zoals een kozijn of een gevel.

14.3 Koudebrugonderbrekingen

Koudebrugonderbrekingen worden geleverd met uitgestoken roestvaste wapeningsstaven, zie figuur 14-3. Indien het tijdens de uitvoeringsfase gewenst is de staven te verbuigen, dient contact opgenomen te worden met de leverancier van de koudebrugonderbreking. Het verbuigen van de staven te dicht bij de verbinding kan nadelige gevolgen hebben voor de koudebrugonderbreking.

Wanneer koudebrugonderbrekingen worden toegepast in combinatie met tunnelbekistingen is het van belang te beseffen dat de in de productspecificatie vermelde sterkte en stijfheid pas gehaald wordt als het beton in de dragende constructie de in de productspecificatie vermelde minimale sterkte heeft. Bij producten van de meeste leveranciers is een minimale sterkte vergelijkbaar met betonkwaliteit C20/25 benodigd alvorens de verbinding volledig belast kan worden. Raadpleeg hiervoor altijd de productspecificaties.



Figuur 14-3 Schöck Isokorf. Bron: [5]

14.4 Stortoriëntatie

Het is gebruikelijk geprefabriceerde balkons met de onderzijde als stortzijde te storten. Dit heeft een aantal voordelen, te weten:

- De kans op het insluiten van lucht, resulterend in brosse gebieden, is klein door de geringe hoogte;
- De onderzijde is de stortzijde en dus minder vlak dan de malzijden, echter wordt deze niet belopen;

Een nadeel aan de onderzijde als stortzijde is het grote oppervlak dat de bekisting in de fabriek in beslag neemt. Een voor de hand liggende oplossing zou zijn het element staand te storten, echter brengt dit ook een aantal nadelen met zich mee, te weten:

- Grote kans op insluiting van lucht;
- Mindere kwaliteit van betonoppervlak aan de voorzijde van het balkon of bij de aansluiting met de achterliggende draagconstructie;
- Een groter bekistingsoppervlak is benodigd.

Beide opties hebben zowel voor- als nadelen en zullen in verschillende situaties wel of niet voordelig zijn. Door rekening te houden met kosten, kwaliteit van oppervlakten en de kwaliteit van het beton kan een gedegen afweging voor de stortoriëntatie gemaakt worden.

14.5 Uitlijnen bovenzijde vloer en balkon

Er zijn geen wettelijke eisen gesteld aan hoogteverschillen tussen een vloer en een aangrenzend balkon, echter is het voor de bruikbaarheid van het balkon van belang het hoogteverschil beperkt te houden. Om te voorkomen dat gedurende de uitvoering aan het licht komt dat hoogteverschillen toch groot zijn is het raadzaam gedurende de volledige ontwerpfase al rekening te houden met de hoogte van de dekvloer.

Bibliografie

- [1] A.J. Jeurdink, H. Kleijer, R. Bekhof, P.J.M. Bruineberg, R.J. Cornelis, G.F.A.J.M. Joor-
dens, L. Zwetheul, L. Verboom
Doorstempeling vloeren
Stubeco, Februari 2014
- [2] A.J. Jeurdink, *Wanneer mogen de stempels weg?*
Bentoniek 1-2014
- [3] R. Van Nalta, T. Baek Hansen, *Ultradunne balkons*
Cement 6-2012
- [4] *Stoeien met Balkonplaten*
GietbouwNieuws 4 2006
- [5] Schöck Isokorf, [https://www.schock.nl/cache/media_BIL_IK_PRO_Isokorb-K35-
Produkt-ohne-Brand- V1_16z9_FHD_avenit_mzag_schoeckmedia_image_
croppedthumbnailscheme_1170x658.jpg](https://www.schock.nl/cache/media_BIL_IK_PRO_Isokorb-K35-Produkt-ohne-Brand-V1_16z9_FHD_avenit_mzag_schoeckmedia_image_croppedthumbnailscheme_1170x658.jpg)
Geraadpleegd op 30-03-2017
- [6] J. Sint Nicolaas, *Neerstorten balkon mogelijk door afbreken bevestiging*
Cobouw, 13 december 2013
- [7] Metro nieuws
[http://www.metronieuws.nl/binnenland/2013/12/fotos-bouwvakkers-gewond-door-in-
gestort-balkon-dordrecht](http://www.metronieuws.nl/binnenland/2013/12/fotos-bouwvakkers-gewond-door-in-gestort-balkon-dordrecht)
Geraadpleegd op 16-04-2017

15. Samenwerking

Er zijn reeds vele onderzoeken uitgevoerd naar oorzaken achter het (bijna) falen van bouwconstructies en constructieve veiligheid in het algemeen. Nagenoeg alle uitgevoerde onderzoeken hebben twee overeenkomende uitkomsten [3]:

1. Er is altijd sprake van een samenloop van omstandigheden. Het (bijna) falen is een combinatie van fouten op meerdere gebieden. [3,4,5,6]
2. Heel veel fouten zijn geïnduceerd door een gebrekkige organisatie van het ontwerp- en bouwproces. [3,4,5,6,7]

Dit hoofdstuk geeft een advies over maatregelen die genomen kunnen worden in het proces zodat fouten en problemen voorkomen kunnen worden.

15.1 Persoonlijke fouten

Fouten in de constructie van een balkon komen vroeg of laat aan het licht doordat er vaak maar een draagrichting is en er moeilijk geprofiteerd kan worden van reserves van omliggende constructieve elementen [1]. Om deze reden is het van belang berekeningen en tekeningen intern op juistheid en volledigheid te controleren, alvorens ze worden gedeeld met de rest van het projectteam. Deze interne kwaliteitsbewaking dient iedere partij voor zich te organiseren. Bij voorkeur worden stukken intern door een onafhankelijke collega gecontroleerd. Door voldoende aandacht te besteden aan de interne controle kunnen persoonlijke fouten op tijd worden ontdekt en gecorrigeerd.

15.2 Constructieve samenhang

Tegenwoordig worden balkon, verbinding en draagconstructie vaak geconstrueerd door verschillende deelconstructeurs. Echter, zoals behandeld in het hoofdstuk over krachtswerking, is ook het gedrag van deze drie elementen tezamen relevant.

Uit het rapport van de afstudeeropdracht van Elst [9] blijkt bijvoorbeeld dat de vervorming van de achterliggende vloer van significante invloed is op de uiteindelijke zakking van het balkon. Wanneer het volledige systeem wordt beschouwd kan dit dus resulteren in grotere zakkingen van het balkon dan wanneer alle elementen individueel worden beschouwd.

Vanwege de samenwerking tussen de verschillende elementen is het wenselijk dat de hoofdconstructeur, wanneer de deelconstructeurs hun werk hebben verricht, alles samenvoegt en het totale plaatje beschouwd. Een aandachtspunt is dan bijvoorbeeld de invloed van de vervorming van de vloerrand op de zakking van het balkon, zowel aan de rand van het balkon als ter hoogte van de verbinding. Het aandeel van de vervorming van de vloer en/of vloerrand kan net tot gevolg hebben dat niet meer wordt voldaan aan bruikbaarheidsgrenscriteria of dat bouwkundige elementen onbedoeld worden belast of niet meer passen.

15.3 Informatie-uitwisseling

Gedurende het ontwerpproces veranderen uitgangspunten regelmatig. In verschillende rapporten [3,5,6] wordt gesteld dat deze veranderingen vaak resulteren in fouten. Tevens resulteert het wijzigen van uitgangspunten in veranderingen van het ontwerp. Wanneer dit met enige regelmaat gebeurt, komt het voor dat partijen niet met het meest recente materiaal werken.

Ter voorkoming van dit probleem dient een lid uit het projectteam als coördinator te fungeren. Deze coördinator moet ervoor zorgen dat uitgangspunten eenduidig bij iedereen bekend zijn, dat wijzigingen goed gedocumenteerd en overgebracht worden en dat eenieder de meest recente tekeningen en berekeningen in zijn bezit heeft.

15.4 Controle

Zowel gedurende het ontwerpproces als tijdens de uitvoering is het wenselijk dat er controles worden uitgevoerd. Hiervoor dient bij aanvang van een project het projectteam een heldere taakverdeling op te stellen waarin verantwoordelijkheden voor eenieder duidelijk zijn vastgelegd, hierbij kan gebruik worden gemaakt van Criteria 73/06 [10].

Ten eerste is de interne kwaliteitsbewaking van belang, zoals beschreven in de paragraaf Persoonlijke fouten. Daarnaast is het van belang dat de constructeur van de hoofddraagconstructie de stukken van de deelconstructeurs controleert. De deelconstructeur heeft vaak geen contextbesef en werkt op een eiland [3]. De hoofdconstructeur weet welke rol het individuele element speelt in het geheel en kan beoordelen of het op de juiste manier is ontworpen door de deelconstructeur.

Daarnaast kan de deelconstructeur van zijn eiland afgehaald worden door hem meer dan alleen de randvoorwaarden te geven. Wanneer hem ook vorm- en wapeningstekeningen van de achterliggende draagconstructie en een principedetail van de verbinding wordt gegeven, draagt dit bij aan het contextbesef.

Ook wanneer gedurende de uitvoeringsfase het balkon wordt bevestigd is controle van een partij uit het projectteam gewenst. Het controleren van bijvoorbeeld wapening of de inbouwrichting van een koudebrugonderbreking kan veel onveilige situaties voorkomen.

Wanneer zowel de interne controles bij de verschillende partijen op orde zijn, alsmede de externe controles door een andere meewerkende partij, wordt de kans dat een fout op tijd ontdekt wordt groter.

15.5 Rol van de constructeur

Uit de eerdergenoemde onderzoeken volgt het advies om de constructeur van de hoofddraagconstructie te betitelen als hoofdconstructeur. Deze hoofdconstructeur heeft een aantal taken en verantwoordelijkheden, te weten:

- Ontwerpen van de hoofddraagconstructie;
- Controleren van deelconstructeurs, zorgen dat deelconstructeur aan zijn verplichtingen uit Criteria 73/06 [10] voldoet;
- Zorgen voor constructieve samenhang tussen de verschillende elementen;
- Faciliteren van uitgangspunten-, tekeningen- en berekeningenbeheer zodat architectonisch, installatietechnisch en constructief ontwerp correct op elkaar zijn afgestemd;
- Uitvoeren van controles tijdens het bouwproces.

De reden die wordt opgegeven om al deze taken weg te halen bij de wettelijk verantwoorde lijke, de opdrachtgever, is dat de opdrachtgever vaak niet over de juiste kennis beschikt, bijvoorbeeld op het gebied van constructieve veiligheid [3].

Bibliografie

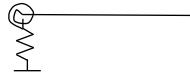
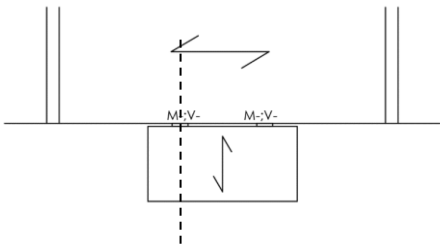
- [1] Thomas van Belzen, *Nieuwe generatie balkons op het randje ontworpen*, 10-08-2007
<http://www.cobouw.nl/artikel/733871-nieuwe-generatie-balkons-op-het-randje-ontworpen>
Geraadpleegd op 21-03-2017
- [2] G.J. Van Tol, *Veilig en duurzaam thermisch ontkoppelen*
Cement 04-2007, pg. 55-58
- [3] Ministerie van VROM, *Kasteel of kaartenhuis, een discussiestuk over constructieve (on)veiligheid*
VROM 7457, Oktober 2007
- [4] F. van Herwijnen, *Leren van instortingen*
Bouwen met Staal, 2009
ISBN: 978-90-72830-84-5
- [5] D. Spekkink et al., *Compendium aanpak constructieve veiligheid*
Uitgeverij Amsterdam, 2011
ISBN: 978-90-5959-052-6
- [6] M.F.A. Derkink, A.F. Hamerlinck, H.R. van der Sluis, *Leren van instortingen*
CUR, juni 2005
- [7] R. Sagel, et al., *Stufib-rapport 8, Constructieve samenhang van bouwconstructies*
Stufib studiecél 2
Stufib, September 2008
- [8] D. Spekkink, *Gedragscodex constructieve veiligheid*
NEPROM, oktober 2008
- [9] R. Elst, *Afstudeeropdracht MSEng*
Studiejaar 2011-2012
- [10] Kiwa CvD Constructief Beton, *Criteria 73/06*
Wijzigingsblad, november 2012

Bijlagen

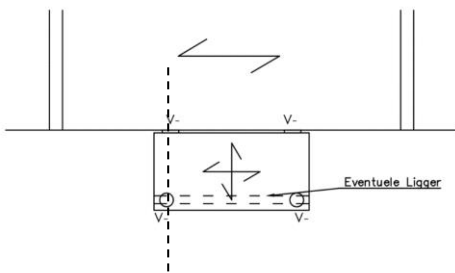
A. Krachtswerking

De gebruikte snede voor de schematisering is weergegeven met een stippellijn.

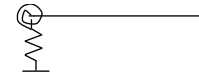
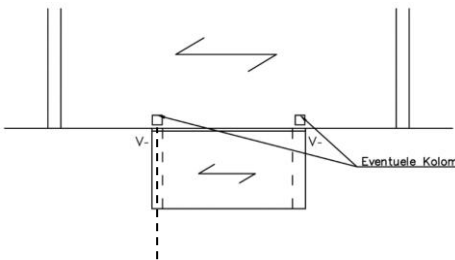
Schematiseringsvoorbeelden



De vervormingen van de vloerrand en de verbinding worden geschematiseerd als rotatie- en translatieveren. Hierin spelen rotatie van de vloerrand, zakking van de vloerrand en rotatie van de verbinding een rol. De rotatieveer representeert de vervorming van de verbinding en de rotatie van de vloerrand. De translatieveer representeert de weerstand van de vloerrand tegen zakken. De ligger heeft de eigenschappen van de balkonplaat.



De verbinding tussen vloer en balkon is geschematiseerd met een translatieveer. De rotatie van de vloerrand beïnvloedt de vervorming of krachtswerking van het balkon niet. Het balkon zakt mee wanneer de vloerrand zakt, dit wordt gemodelleerd met de linker translatieveer. De rechter translatieveer representeert de vervorming van de kolommen.



De totale zakking van het balkon wordt beïnvloed door de vervorming van de consoles. De rotatieveer representeert hierin de rotatie van de verbinding van de console aan de kolom en de translatieveer de zakking van het balkon onder de dwarskracht uit de console. De ligger is in dit schema de console en heeft dus ook de eigenschappen van de console.

Rotatieveerconstante als translatieveerconstante

Stappenplan:

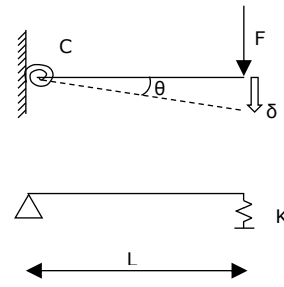
1. Bepaal moment in verbinding door puntlast;
2. Bereken rotatie van verbinding;
3. Bereken zakking ten gevolge van rotatie;
4. Deel de kracht door de zakking;

1. $M = F * L$ [Nm]

2. $\frac{M}{C} = \theta$ [rad]

3. $\theta * L = \delta$ [m]

4. $\delta = \frac{F * L^2}{C} \rightarrow K = \frac{C}{F * L^2}$ [N/m]



Bepaling koudebrugonderbreking, contralengte, dombelasting, benodigde bovendwarswapening, eerste eigenfrequentie

Uitgangspunten

Balkondikte 230 mm, C45/55

Vloerdikte 300 mm, C25/30

Breedte balkon $b_b = 2,0$ m

Lengte balkon $l_b = 7,2$ m

Balkon aan vloer met twee Isokorf-elementen. De invloed van de wanden wordt ter simplificatie genegeerd.

Betondekking bovenzijde: 30 mm

Belastingen balkon:

$$\begin{aligned} G_{\text{balkon}} &= 0,23 \cdot 25 = 5,75 \text{ kN/m}^2; \\ G_{\text{balust.}} &= 1,0 \text{ kN/m}; \\ Q_{\text{balkon}} &= 2,5 \text{ kN/m}^2; \\ \text{Lijnlast} &= 5,0 \text{ kN/m (niet maatgevend)} \end{aligned}$$

Belastingen vloer:

$$\begin{aligned} G_{\text{vloer}} &= 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ kN/m}^2 \\ Q_{\text{vloer}} &= 1,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Moment en dwarskracht uit balkon per verbinding

$$\begin{aligned} V_{\text{rep}} &= (1/2 l_b b_b) G_{\text{balkon}} + (b_b + 1/2 l_b) G_{\text{balust.}} + (1/2 l_b b_b) Q_{\text{balkon}} \\ &= (1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 5,75 + (2 + 0,5 \cdot 7,2) \cdot 1 + (1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 2,5 = 65 \text{ kN} \\ V_{\text{Ed}} &= 1,2 \cdot (1/2 l_b b_b) G_{\text{balkon}} + 1,2 \cdot (b_b + 1/2 l_b) G_{\text{balust.}} + 1,5 \cdot (1/2 l_b b_b) Q_{\text{balkon}} \\ &= 1,2 \cdot (1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 5,75 + 1,2 \cdot (2 + 0,5 \cdot 7,2) \cdot 1 + 1,5 \cdot (1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 2,5 = 83,4 \text{ kN} \\ M_{\text{rep}} &= (1/4 l_b b_b^2) G_{\text{balkon}} + (1/2 b_b^2 + 1/2 l_b b_b) G_{\text{balust.}} + (1/4 l_b b_b^2) Q_{\text{balkon}} \\ &= (1/4 \cdot 7,2 \cdot 2^2) \cdot 5,5 + (1/2 \cdot 2^2 + 1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 1 + (1/4 \cdot 7,2 \cdot 2^2) \cdot 2,5 = 68,6 \text{ kNm} \\ M_{\text{Ed}} &= 1,2 \cdot (1/4 l_b b_b^2) G_{\text{balkon}} + 1,2 \cdot (1/2 b_b^2 + 1/2 l_b b_b) G_{\text{balust.}} + 1,5 \cdot (1/4 l_b b_b^2) Q_{\text{balkon}} \\ &= 1,2 \cdot ((1/4 \cdot 7,2 \cdot 2^2) \cdot 5,5 + (1/2 \cdot 2^2 + 1/2 \cdot 7,2 \cdot 2) \cdot 1) + 1,5 \cdot (1/4 \cdot 7,2 \cdot 2^2) \cdot 2,5 = 87,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Keuze voor Isokorf K70ES-CV30-H200-L1500, met de volgende eigenschappen

$$\begin{aligned} M_{\text{Rd}} &= 93,45 \text{ kNm} \\ V_{\text{Rd}} &= 149,25 \text{ kN} \\ L_{\text{iso}} &= 1500 \text{ mm} \\ H_{\text{iso}} &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Moment en dwarskracht uit balkon per meter verbinding

$$\begin{aligned} V_{\text{Ed};\text{balkon}} &= V_{\text{Ed}}/L_{\text{iso}} = 83,4/1,5 = 55,6 \text{ kN/m} \\ M_{\text{Ed};\text{balkon}} &= M_{\text{Ed}}/L_{\text{iso}} = 87,7/1,5 = 58,5 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Bepaling strookbreedte vloerrand

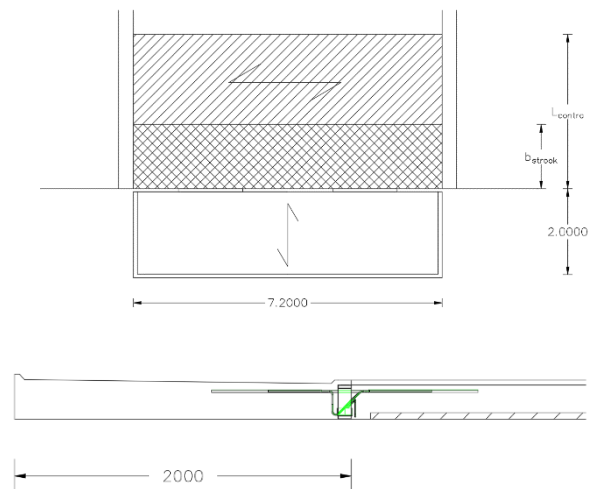
Met behulp van het voorschrift uit art. 7.5.4 in NEN6720 wordt de strookbreedte van de vloerrand bepaald:

$$a_1 = 3300 \text{ mm}, a_2 = 2240 \text{ mm}, l_0 = 5540 \text{ mm}, d = 300 \text{ mm}, e = b/2 + M_{\text{Ed}}/V_{\text{Ed}} = b/2 + 1052$$

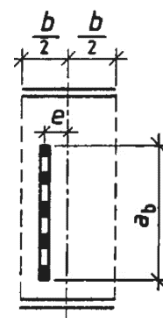
$$a + d \leq b \leq a + d + \frac{4a_1 a_2}{l_0} - 2e$$

$$0,3 \leq b \leq 1,76 \text{ m.}$$

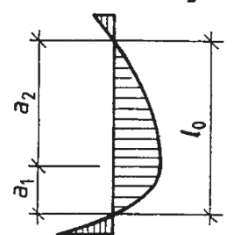
Keuze voor $b_{\text{strook}} = 1,5$ m.



oplegreactie verdeling



momenten-verdeling



Bepaling belasting contralengte en belastingtoename vloerrand

De belasting op de vloer werkt gunstig en wordt als dusdanig meegenomen door middel van belastingfactor 0,9, er wordt een strook van 1 m breed beschouwd.

(vgl. 6.10a, gunstig werkend)

$$q_{vloer;Ed} = 0,9 * G_{vloer} * 1 \\ = 0,9 * (25 * 0,3) * 1 = 6,75 \text{ kN/m}^1$$

In de evenwichtsbeschouwing wordt de belasting op de vloerstrook buiten beschouwing gelaten onder de aanname dat deze belasting naar de opleggingen van de vloerstrook wordt afgedragen.

$$V_{contra} = (L_{contra} - b_{strook}) * q_{vloer;Ed} \\ L_1 = 0,5 * b_{strook} \\ L_2 = 0,5 * b_{strook} + 0,5 * (L_{contra} - b_{strook})$$

Evenwicht:

$$M_{Ed;balkon} + V_{Ed;balkon} * L_1 = V_{contra} * L_2 \\ 58,5 + 55,6 * 0,5 * 1,5 = (L_{contra} - 1,5) * 6,75 * (0,5 * 1,5 + 0,5 * (L_{contra} - 1,5)) \\ L_{contra} = 6,25 \text{ m}$$

Toename belasting uit dump:

$$V_{Ed;contra} = ((L_{contra} - b_{strook}) * q_{vloer;Ed}) / b_{strook} = ((6,25 - 1,5) * 7,8) / 1,5 = 24,7 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed;totaal} = V_{Ed;balkon} + V_{Ed;contra} = 55,6 / 1,5 + 24,7 = 61,8 \text{ kN/m}$$

Bepaling benodigde bovendwarswapening in vloerstrook ter activering dump

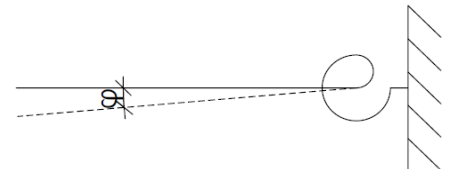
$$M_{Ed;strook} = M_{Ed;balkon} + V_{Ed;balkon} * L_1 = 58,5 + 55,6 * 0,5 * 1,5 = 100,2 \text{ kNm/m} \\ A_s = (100,2 * 10^6) / (435 * 0,9 * (300 - 30)) = 947 \text{ mm}^2/\text{m}$$

De bovendwarswapening dient te worden toegepast over de contralengte plus de verankeringslengte.

Bepalen rotatie Isokorf

$$C = 1,5 * 7192 = 10788 \text{ kNm/rad/m}$$

$$\varphi = \frac{M_{rep}}{C} = \frac{68,6}{10788} = 0,00636 \text{ rad} \\ w = 0,00636 * 2000 = 12,7 \text{ mm}$$



Bepaling eigenfrequentie

Voor het bepalen van de zakking is $E_{c,eff}$ van het balkon gesteld op $E_{c,eff} = 15100 \text{ N/mm}^2$.³

Voor een eerste indicatie van het dynamische gedrag wordt de invloed van de achterliggende constructie buiten beschouwing gelaten.

F_{eq} :

$$0,25 * (G_{balkon} * 0,5 * l_b) * b_b = 0,25 * (5,75 * 3,6) * 2 = 10,35 \text{ kN} \\ 0,25 * (Q_{balkon} * 0,5 * l_b) * b_b = 0,25 * (2,5 * 3,6) * 2 = 4,5 \text{ kN} \\ 0,25 * G_{balust} * b_b = 0,25 * 1 * 2 = 0,5 \text{ kN} \\ \underline{G_{balust} * 0,5 * l_b = 1 * 0,5 * 7,2 = 3,6 \text{ kN} +} \\ F_{eq} = 18,95 \text{ kN}$$

³ Afkomstig uit berekeningen Schöck

Eigenfrequentie onder aanname dat verbinding stijf is:

$$\delta_1 = \frac{F_{eq} * b_b^3}{3 * EI} = \frac{18,95 * 10^3 * 2000^3}{3 * 15100 * \frac{1}{12} * 3600 * 230^3} = 0,92 \text{ mm}$$

$$k_1 = \frac{F_{eq}}{\delta_1} = \frac{18950}{0,92} = 20669 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1}{F_{eq}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{20669}{18,95}} = 5,26 \text{ Hz} \geq 5 \text{ Hz} \quad \text{OK}$$



Met in achtneming dat verbinding niet volledig stijf is:

$$\delta_2 = \frac{F_{eq} * b_b}{C} * b_b = \text{zakking ten gevolge van rotatie verbinding}$$

$$k_2 = \frac{C}{b_b^2} = \frac{10788}{2^2} = 2697 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{1}{k_{totaal}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{1}{20669} + \frac{1}{2697} \rightarrow k_{totaal} = 2385,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{totaal}}{F_{eq}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2385}{18,95}} = 1,8 \text{ Hz} \leq 5 \text{ Hz} \quad \text{NIET OK}$$

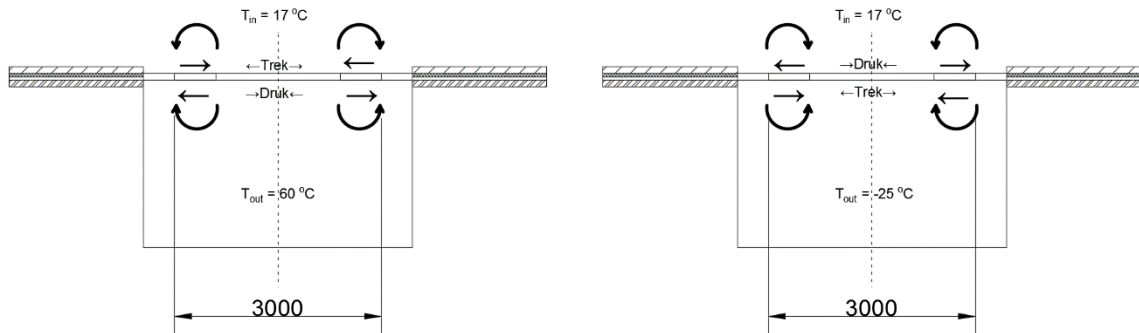


De invloed van de verbinding is groot. De verbinding zal stijver moeten worden uitgevoerd om hinderlijke trillingen op het balkon te voorkomen.

B. Temperatuur & Vermoeding

Bepalen temperatuurvervorming en -spanning.

Balkon op twee punten bevestigd aan achterliggende vloer door middel van nokken. Betonkwaliteit van het balkon is C35/45, $E_c = 34000 \text{ N/mm}^2$. Uitzetting van balkonplaat langs de grens met de vloer verhinderd door aanstortnokken. Rekverschil treedt op door temperatuurverschil tussen vloer en balkon.



Zomer

Rek tussen opleggingen:

$$\begin{aligned}\Delta l &= \alpha_c * \Delta T * l = \\ 10^{-5} * (60 - 17) * 3000 &= \\ &+ 1,29 \text{ mm}\end{aligned}$$

Spanning in balkon tussen bevestigingen ten hoogte van hartlijn:

$$\begin{aligned}\sigma &= E * \varepsilon \\ \sigma &= 34000 * (10^{-5} * 43) = \\ &-14,62 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Ten gevolge van de uitzetting van het balkon zullen trekspanningen optreden in de achterliggende vloer. Wapening dient te worden aangebracht.

Winter

Rek tussen opleggingen:

$$\begin{aligned}\Delta l &= \alpha_c * \Delta T * l = \\ 10^{-5} * (17 + 25) * 3000 &= \\ &- 1,26 \text{ mm}\end{aligned}$$

Spanning in balkon tussen bevestigingen ter hoogte van hartlijn:

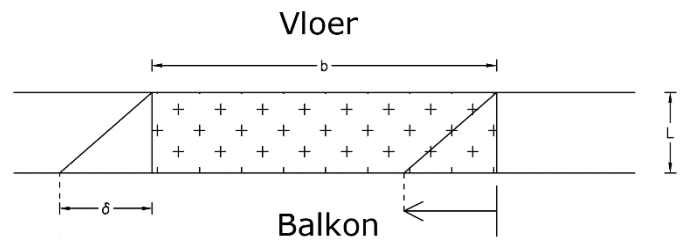
$$\begin{aligned}\sigma &= E * \varepsilon \\ \sigma &= 34000 * (10^{-5} * 42) = \\ &+ 14,28 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

De spanning bij volledige verhindering is groter dan de treksterkte ($f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$) van alleen het beton, dit dient afgewapend te worden!

Conclusie: Als de verbindingen de berekende verplaatsingen vrij kunnen ondergaan zal een nagenoeg spanningsvrije situatie ontstaan. Indien dat niet het geval is, zullen de trekspanningen in de vloer of het balkon voor scheuren zorgen. Om de trekspanningen op te nemen en scheurvorming te beperken dient wapening toegepast te worden. Door scheurvorming in de nokken, het balkon, de vloer of alle drie zal niet de volledige temperatuurvervorming verhinderd worden, een deel zal kunnen optreden. Houd bij het bepalen van de wapening rekening met de maximale scheurwijdte.

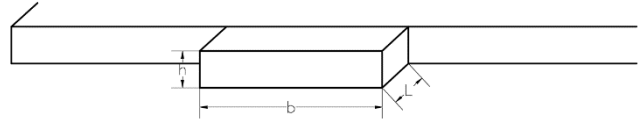
Reactiekracht betonnen aanstortnok

De stijfheid van een betonnen aanstortnok is afhankelijk van de fase waarin de nok zich bevindt, gescheurd of ongescheurd. In de afbeelding hiernaast is een bovenaanzicht van een aanstortnok te zien.



Bovenaanzicht aanstortnok

Een ongescheurde betonnok kan worden geschematiseerd als een tweezijdig ingeklemde korte en hoge ligger waarbij de vervorming lineair elastisch optreedt, zoals is te zien in het bovenaanzicht van de verbinding.



Vooraanzicht aanstortnok

Vanwege de grote breedte ten opzichte van de lengte van de nok mag dwarskrachtvervorming niet genegeerd worden, zoals we wel doen bij de gebruikelijke Euler-Bernoulli balktheorie. In de theorie van Timoshenko wordt de dwarskrachtvervorming wel meegenomen, met het volgende resultaat, waarin F de reactiekracht is ten gevolge van de horizontale vervorming:

$$F = \frac{\delta}{\frac{L^3}{12 * EI} + \frac{L}{G * \kappa * A}}$$

δ : Verplaatsing ten gevolge van temperatuurverandering

L : lengte van nok tussen vloer en balkon

G : Afschuifmodulus van ongescheurd beton

κ : Timoshenko's dwarskrachtcoëfficiënt; 5/6 voor rechthoekige doorsneden

A : Oppervlak van de doorsnede van de nok, in dit geval $b * h$, waarbij h de hoogte van de nok is (zie afbeeldingen).

De horizontale krachten zijn al bij kleine vervormingen groot, een gescheurde nok is dus aannemelijk.

Een nok met $b=700$ mm, $L=80$ mm, en $h=270$ mm, uitgevoerd met betonkwaliteit C35/45 ($E=34100$ N/mm² en $G=34100/(2*(1+0,2))=14200$ N/mm²) heeft dan al een stijfheid van:

$$\frac{F}{\delta} = \frac{1}{\frac{L^3}{12 * EI} + \frac{L}{G * \kappa * A}} = \frac{1}{\frac{80^3}{34100 * 270 * 700^3} + \frac{80}{14200 * \frac{5}{6} * 270 * 700}} = 27830 \text{ kN/mm}$$

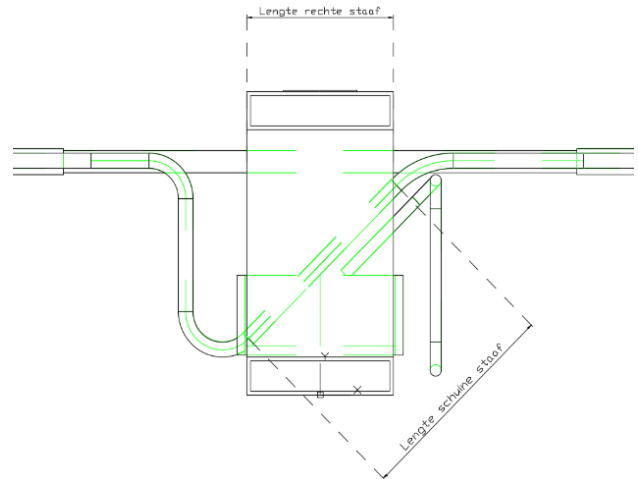
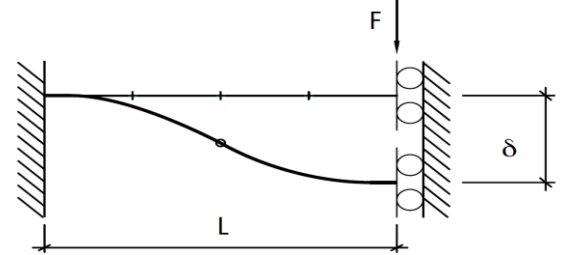
Bepalen horizontale vergelijkingsstijfheden en het fictieve vaste punt

De horizontale vergelijkingsstijfheid van een koudebrugonderbreking is de som van de horizontale stijfheden van de afzonderlijke staven in die onderbreking. Voor het bepalen van de stijfheid van een staaf wordt de staaf geschematiseerd als een dubbelzijdig ingeklemde ligger welke aan een zijde rollend is opgelegd. De afstand tussen beide opleggingen, L , representeert in het geval van rechte staven de spouwbreedte.

De stijfheid per staaf kan bepaald worden middels de volgende vergelijking:

$$C_H = \frac{12}{(L + \varnothing)^3} * E_{RVS} * \frac{\pi}{64} * \varnothing^4 \text{ [kN/m]}$$

Rechte en schuine staven hebben een verschillende horizontale stijfheid vanwege de verschillende lengtes. Zie de onderste figuur hiernaast voor een verduidelijking van de lengte per staaf.

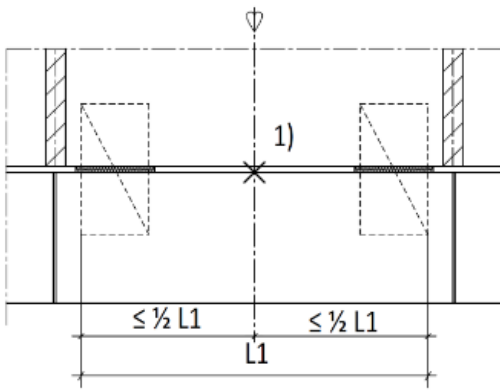


Dwarsdoorsnede koudebrugonderbreking, lengte schuine staaf

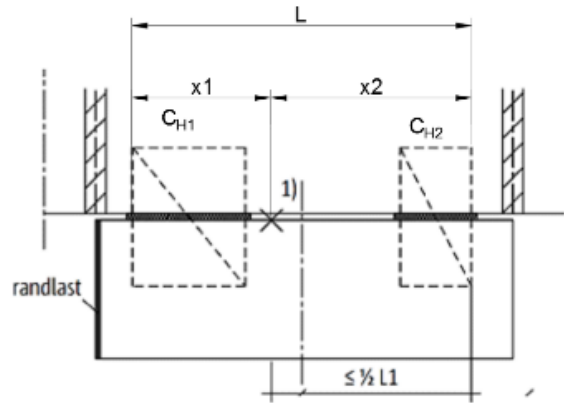
Fictief vast punt, maximale uiterste staafafstand

Het fictieve vaste punt (aangeduid met 1) in de afbeeldingen op de volgende pagina) is het punt waar rekken ten gevolge van temperatuurbelastingen nul zijn. De locatie van dit punt is afhankelijk van de configuratie van de balkons en de horizontale vergelijkingsstijfheden van de toegepaste verbindingen. Een aantal uitgewerkte voorbeelden is op de volgende pagina's te vinden.

De afstand tussen de buitenste staaf en het fictieve vaste punt dient kleiner te zijn dan de helft van de maximale afstand tussen de uiterste staven. De maximale afstand tussen de uiterste staven is bepaald door de leverancier van het systeem en beschermt de verbindingen onder andere tegen vermoeiing. Als deze afstand wordt overschreden worden de rekken tussen de opleggingen te groot, zijn de spanningen hoger en is de vermoeiingscapaciteit lager.



Symmetrische situatie want beide systemen hebben dezelfde horizontale vergelijkingsstijfheid. Het fictieve vaste punt bevindt zich in het hart van de balkonplaat exact tussen beide koudebrugonderbrekingen in.



De beide connectiesystemen hebben een verschillende horizontale vergelijkingsstijfheid waardoor een verschuiving van het fictieve vaste punt naar de stijvere verbinding plaats vindt. De locatie van het fictieve vaste punt 1) ten opzichte van de linker uiterste staaf kan als volgt bepaald worden:

Horizontale stijfheid linker connectie: C_{H1}
 Horizontale stijfheid rechter connectie: C_{H2}
 Afstand tussen uiterste staven L ($\leq L1$)

$$C_{H1} * x1 = C_{H2} * x2$$

$$x1 = L - x2$$

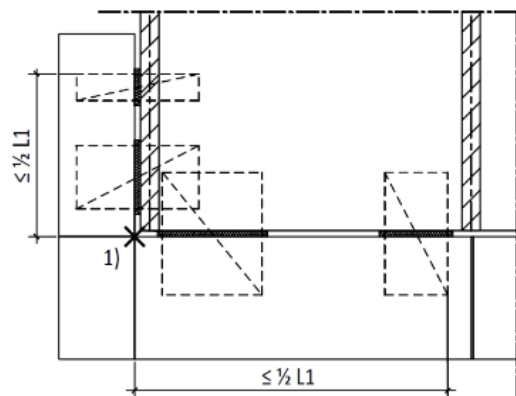
$$C_{H1} * (L - x2) = C_{H2} * x2$$

$$x2 = \frac{C_{H1} * L}{C_{H1} + C_{H2}}$$

$$x1 = L - x2$$

Controle: $x1$ en $x2$ kleiner dan $0.5 * L1$

In het geval het balkon aan meerdere zijden is opgelegd dient berekend te worden welk punt niet zal verplaatsen ten gevolge van uitzetting of krimp. Bij een balkon opgelegd aan twee zijden, zoals bovenstaande afbeeldingen, is dit punt het virtuele snijpunt van de hartlijnen van de elementen. Wanneer het balkon op meer dan twee randen is opgelegd ontstaan er meer snijpunten. Als bepaalde connecties dan geen bewegingsvrijheid hebben treden erg grote trek- en drukspanningen op. Deze spanningen kunnen worden voorkomen door het balkon te dilateren.



C. Duurzaamheid

VOORBEELD BEPALEN DEKKINGSHOOGTE

De dekkingshoogte wordt, naar de eisen uit hoofdstuk 4 van Eurocode 2-1, bepaald middels de volgende relaties:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \text{ waarbij:}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \text{ en } \Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$\Delta c_{dur,\gamma}$, $\Delta c_{dur,st}$ en $\Delta c_{dur,add}$ zijn nominaal vastgesteld op 0 mm in de nationale bijlage van Eurocode 2-1. $c_{min,b}$ representeert een dekkingshoogte die minstens gelijk is aan de wapeningsdiameter ter garandering van een voldoende aanhechting en is gelijk aan de wapeningsdiameter.

Voor een gebouw met een ontwerplevensduurklasse van 50 jaar is het uitgangspunt in het bepalen van de dekkingshoogte constructieklasse S4. In dit voorbeeld wordt een geprefabriceerde balkonplaat beschouwd van nagenoeg constante dikte, de betonkwaliteit is C40/50. Vanwege het feit dat het element een plaatgeometrie heeft en het geprefabriceerd is onder gecontroleerde omstandigheden mag de constructieklasse met 2 klassen verminderd worden. De betonkwaliteit is niet hoog genoeg voor een vermindering.

Voor constructieklasse S2 en maatgevende milieuklasse XD3 wordt $c_{min,dur}$ op 30 mm gesteld door tabel 4.4N in de nationale bijlage van Eurocode 2-1. De totale dekkingshoogte wordt dan:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 + 5 = 35 \text{ mm}$$

Tabel 4.1 uit NEN-EN 1992-1-1+C2:2011; verband tussen milieuklassen en omstandigheden.

Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu	Informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen
1 Geen risico op corrosie of aantasting		
X0	Voor beton zonder wapening of ingestorte metalen: alle milieus, behalve bij vorst/dooi, afslijting of chemische aantasting. Voor beton met wapening of ingesloten metalen: zeer droog	Beton binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie		
XC1	Droog of blijvend nat	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water
XC2	Nat, zelden droog	Betonoppervlakken langdurig in contact met water Veel funderingen
XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschermt tegen regen
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken in contact met water, maar die niet onder milieuklasse XC2 vallen
3 Corrosie ingeleid door chloriden *		
XD1	Matige vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht
XD2	Nat, zelden droog	Zwembaden Beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater
XD3	Wisselend nat en droog	Bruggdelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen Vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
XS1	Blootgesteld aan zout uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	Constructies bij of aan de kust
XS2	Blijvend onder zeewater	Delen van constructies in zee
XS3	Getijde-, spat- en stuifzones	Delen van constructies in zee
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen		
XF1	Niet volledig verzadigd met water, zonder dooizouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	Niet volledig verzadigd met water, met dooizouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde dooizouten
XF3	Verzadigd met water, zonder dooizouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeide dooizouten en vorst Spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst
6 Chemische aantasting		
XA1	Zwak agressief chemisch milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
XA2	Matig agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
XA3	Sterk agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater

* Nationale voetnoot: EN 206-1 geeft hier aan, dat het gaat om corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater.

Tabel 4.3N uit NEN-EN 1992-1-1+C2/NB:2011; Constructieve classificatie.

Constructieklasse							
Criterium	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Ontwerplevensduur 100 jaar	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen
Ontwerplevensduur 75 jaar	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse
Sterkteklasse ^{1), 2)}	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C35/45 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C45/55 vermindering met 1 klasse
Element met plaatgeometrie (plaats van de wapening niet beïnvloed door het bouwproces)	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse
Specifieke kwaliteitsbeheersing van de betonproductie gewaarborgd	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse

¹⁾ Aangenomen is dat de sterkteklasse en de w/c-factor met elkaar verband houden. Een specifieke samenstelling (type cement, w/c-factor, fijne vulmiddelen) met de bedoeling een lage permeabiliteit te verkrijgen, mag zijn overwogen.

²⁾ De grens mag zijn verminderd met één sterkteklasse indien luchtinsluiting van meer dan 4 % is toegepast.

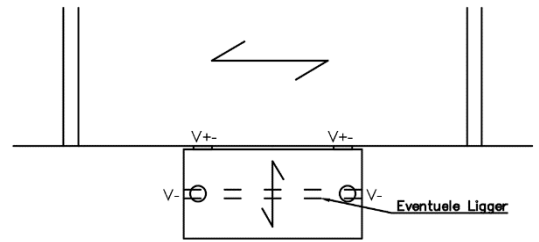
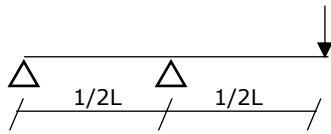
Tabel 4.4N uit NEN-EN 1992-1-1+C2/NB:2011; omgevingseisen voor $c_{min,dur}$

Omgevingseisen voor $c_{min,dur}$ mm							
Constructie-klasse	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	25
S2	10	10	15	20	25	30	30
S3	10	10	20	25	30	35	35
S4	10	15	25	30	35	40	40
S5	15	20	30	35	40	45	45
S6	20	25	35	40	45	50	50

D. Bruikbaarheidscriteria

Voorbeeld bepaling veerconstante

De veerconstante van het systeem kan bepaald worden over een snede in de richting van de uitkraging van het balkon, resulterend in het onderstaande schema.



Door twee afzonderlijke situaties te combineren wordt uiteindelijk de stijfheid verkregen. Ten eerste de weerstand tegen roteren van het linkerdeel door de puntlast onder de aanname dat het rechterdeel volledig stijf is. Deze weerstand kan worden uitgedrukt in een rotatieveer met rotatieveerconstante C. Met behulp van deze rotatieveer kan een zakkings van de uitkraging onder de puntlast bepaald worden, hetgeen uiteindelijk resulteert in de benodigde translatieveerconstante.

Vervolgens, in stap twee, wordt de buigstijfheid van het uitkragende stuk van de ligger bepaald. Deze twee stijfheden gecombineerd resulteert in de totale stijfheid van het systeem.

$$1) \theta = \frac{M \cdot \frac{1}{2}L}{3 \cdot EI} \rightarrow C = \frac{6 \cdot EI}{L}$$

$$\delta = \frac{F \cdot \frac{1}{2} \cdot L}{C} \cdot \frac{1}{2}L = \frac{F \cdot \frac{1}{2} \cdot L}{\frac{6EI}{L}} \cdot \frac{1}{2}L = \frac{F \cdot \frac{1}{4} \cdot L^3}{6 \cdot EI}$$

$$\frac{F}{\delta} = k_1 = \frac{6 \cdot EI}{\frac{1}{4}L^3} = \frac{24EI}{L^3}$$

$$2) \delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot EI} = \frac{F \cdot (\frac{1}{2}L)^3}{3 \cdot EI}$$

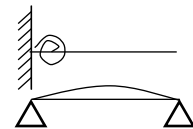
$$k_2 = \frac{24EI}{L^3}$$

De totale stijfheid is dan:

$$\frac{1}{k_{\text{totaal}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{L^3}{24EI} + \frac{L^3}{24EI}$$

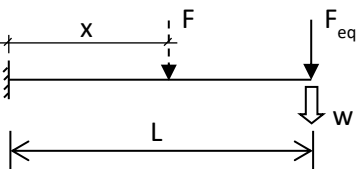
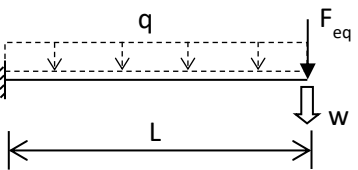
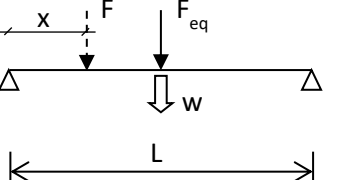
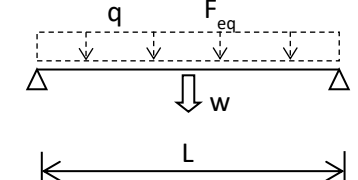
$$k_{\text{totaal}} = \frac{12EI}{L^3}$$

Het blijkt dat deze configuratie zo'n 4 keer minder stijf is dan een ligger op twee steunpunten maar 4 keer stijver is dan een uitkraging.



Afleiding uitdrukkingen equivalente puntlast

Het uitgangspunt bij het bepalen van de uitdrukkingen voor de equivalente lasten is dat zowel de daadwerkelijke last als de equivalente last een gelijke eigenperiode, en dus eigenfrequentie, ten gevolge hebben. In de afleiding is de ligger aangenomen zonder massa. De massa wordt toegevoegd middels een q-last.

	<p>Zakking door F op locatie x:</p> $\delta_F = \frac{Fx^3}{3EI} \rightarrow k_F = \frac{3EI}{x^3} \rightarrow \omega_F = \sqrt{\frac{k_F}{F}} = \sqrt{\frac{3EI}{x^3 * F}}$ <p>Zakking door F_{eq} op x=L</p> $\delta_{F_{eq}} = \frac{F_{eq}L^3}{3EI} \rightarrow k_{F_{eq}} = \frac{3EI}{L^3} \rightarrow \omega_{F_{eq}} = \sqrt{\frac{k_{F_{eq}}}{F_{eq}}} = \sqrt{\frac{3EI}{L^3 * F_{eq}}}$ <p>Gelijkstellen van eigenperioden levert een uitdrukking voor F_{eq}</p> $\omega_F = \omega_{F_{eq}} \rightarrow F_{eq} = F * \left(\frac{x}{L}\right)^3$
	<p>Wanneer lijnlast q wordt gezien als een reeks puntlasten, kan de uitdrukking uit de vorige afleiding worden gebruikt in een integraal om de uitdrukking voor F_{eq} te vinden.</p> $F_{eq} = \int_0^L q * \left(\frac{x}{L}\right)^3 dx = \frac{8}{15}qL$
	<p>Zakking door F op locatie x:</p> $\delta_F = \frac{F(L-x)x}{6L * EI} (L^2 - x^2 - (L-x)^2) \rightarrow$ $k_F = \frac{6 * L * EI}{(L-x)x(L^2 - x^2 - (L-x)^2)} \rightarrow$ $\omega_F = \sqrt{\frac{k}{F}} = \sqrt{6} * \sqrt{\frac{L * EI}{(L-x)x(L^2 - x^2 - (L-x)^2)F}} \rightarrow$ <p>Zakking door F_{eq} op x=1/2L</p> $\delta_{F_{eq}} = \frac{F_{eq}L^3}{48EI} \rightarrow k_{F_{eq}} = \frac{48EI}{L^3} \rightarrow \omega_{F_{eq}} = \sqrt{\frac{k_{F_{eq}}}{F_{eq}}} = \sqrt{\frac{48EI}{L^3 * F_{eq}}}$ <p>Gelijkstellen van eigenperioden levert een uitdrukking voor F_{eq}</p> $\omega_F = \omega_{F_{eq}} \rightarrow F_{eq} = \frac{16x^2(L-x)^2}{L^4} * F$
	<p>Wederom kan lijnlast q worden beschreven in de integraal over de volledige breedte, waardoor een uitdrukking voor F_{eq} vastgesteld kan worden.</p> $F_{eq} = \int_0^L \frac{16x^2(L-x)^2}{L^4} * q dx = \frac{8}{15}qL$

Bron: <http://www.eng.uwo.ca/people/esavory/study%20note%20on%20dynamics.doc>

Geraadpleegd op 27-03-2017

E. Robuustheid

Om de kans op falen onder buitengewone belasting te beperken kunnen verbindingen overgedimensioneerd worden. De mate van overdimensionering wordt bepaald door drie factoren, te weten:

1. Materiaalfactoren;
2. Belastingcombinaties;
3. Toename van belasting door wegvallen verbinding;

1. In dit voorbeeld wordt de mate van overdimensionering bepaald aan de hand van het voorbeeld in de afbeelding hiernaast. De bovenste afbeelding geeft een plaat op vier steunpunten weer waarbij de belasting evenredig over de vier steunpunten wordt verdeeld. Wanneer steunpunt D weg valt wordt de belasting op verbindingen A en C minstens 200% ten opzichte van de beginsituatie. Tevens zal bij een stabiel evenwicht zowel een opwaartse als een neerwaartse kracht kunnen optreden ter plaatse van verbinding D.

2. Onderstaande tabel, tabel 2.1N uit de nationale bijlage van Eurocode 2-1, geeft partiële materiaalfactoren weer voor verschillende situaties. In buitengewone situaties zijn deze materiaalfactoren lager, waardoor de rekenwaarde van de sterkte van de materialen hoger uitvalt.

Beton: $1,2/1,5 = 0,8$
 Staal: $1,0/1,15 = 0,87$

Dit levert een gemiddelde reductie van 17% op.

Ontwerpsituaties	γ_c voor beton	γ_s voor betonstaal	γ_s voor voorspanstaal
Blijvend en tijdelijk	1,5	1,15	1,1
Buitengewoon	1,2	1,0	1,0

Tabel 2.1N uit de nationale bijlage van Eurocode 2-1. Weergave van partiële materiaalfactoren voor verschillende situaties en materialen.

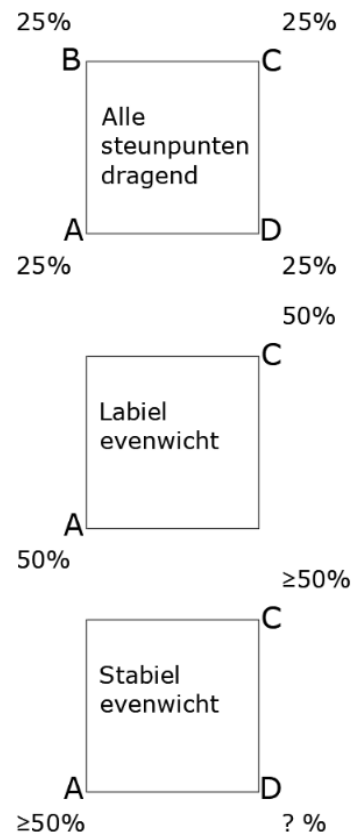
3. In de normale situatie zijn in de UGT belastingcombinaties 6.10a en 6.10b uit Eurocode 0 maatgevend. Wanneer een buitengewone ontwerpsituatie wordt beschouwd zijn dit belastingcombinaties 6.11a en 6.11b.

6.10a/b: $1,2G + 1,5Q$
 6.11a/b: $1,0G + 1,0Q$

Dit levert een gemiddelde reductie van 26% op.

Het resultaat van belastingtoenames en reducties door materiaalfactoren en belastingcombinatie is als volgt:

Belastingtoename*(100-reductiemateriaal)*(100-reductiebelastingcombinatie)*P=
 $2*(1-0,17)*(1-0,26)*P=1,22 P$
 $1/1,22 = 0,81$ maximale unity check.



Schematisering wegvallen verbindingen met weergave belastingtoename

F. Balustrade

Tabel NB.6 uit NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2011; Horizontale belasting op afscheidingen bij een hoogteverschil gecategoriseerd op gebruiksruimten

Ruimten	q_{rep}	F_{rep}		
	Voorgeschreven hoogte of zone a ^a	Voorgeschreven hoogte of zone a ^a	Zone b	Zone a + b
Niet-gemeenschappelijke ruimten met een woonfunctie	0,3 kN/m ^c 1 min	0,5 kN ^c 1 min	0,35 kN ^{cd} 10 s	0,2 kN ^{bcd} 24 h
Gemeenschappelijke ruimten met een woonfunctie	0,5 kN/m ^c 1 min	1 kN ^c 1 min	0,35 kN ^{cd} 10 s	0,2 kN ^{bcd} 24 h
Niet-gemeenschappelijke ruimten van een cellfunctie, niet gelegen in een cellengebouw en van een logiesfunctie ^{e f}	0,5 kN/m 1 min	1 kN 1 min	0,5 kN 10 s	0,3 kN ^b 24 h
Vlieringen en zolders van bovengenoemde functie, niet bereikbaar langs vaste trap en met vrije hoogte van minder dan 2,2 m				
Overige gebruiksfuncties voor het personenvervoer, bijeenkomstfuncties, sportfuncties en de gebruiksfunctie "bouwwerk, geen gebouw zijnde" met een gedeelte mede bestemd voor bezoekers ^{e g}	3 kN/m 5 min	1 kN 5 min	0,7 kN 5 min	0,5 kN ^b 7 × 24 h
Ter plaatse van oppervlakken waar zitplaatsen vast aan de vloer verbonden zijn ^{e g}				
Overige ruimten	0,8 kN/m 5 min	1 kN 5 min	0,7 kN 5 min	0,5 kN ^b 7 × 24 h

^a Voor zones zie figuur NB.1.

^b Deze belasting is niet van toepassing op afscheidingen langs trappen.

^c Zie voetnoot b uit tabel NB.20 – B.1 van NB bij NEN-EN 1990.

^d In zone b mag bij plaatconstructies een afstand van 250 mm tussen de rand van de plaat en het zwaartepunt van de last worden aangehouden, op voorwaarde dat zich op een afstand van maximaal 100 mm van de rand van de plaat een balustrade of ander draagkrachtig element bevindt.
Bij plaatconstructies met één of meer afmetingen kleiner dan 500 mm moet worden aangenomen dat het zwaartepunt van de last in het midden van deze kleine afmeting ligt.

^e Waarbij de groep van niet-gemeenschappelijke ruimten, gelegen binnen de omhullende ruimte van een andere gebruiksruimte die bijdraagt aan het functioneren van de beschouwde gebruiksfunctie, buiten beschouwing blijft.

^f Daaronder mede begrepen een buitenbergruimte of een garage.

^g Bij tribunes moet bovendien rekening zijn gehouden met een veranderlijke gelijkmatig verdeelde horizontale belasting die kan optreden als gevolg van de bewegende mensenmassa. Deze horizontale belasting bedraagt 10 % van de verticale belasting en moet wat betreft de richting zijn beschouwd als een vrije belasting.

Stootbelasting balustrade

In NEN-EN 1991-1-1 (NB), B2.3, staat aangegeven dat het effect van de stootbelasting op de balustrade op twee manieren kan worden berekend, elastisch en plastisch.

Elastisch

$$F_{rep} = \sqrt{\frac{C_{el}}{u}}$$

Waarin:

- F_{rep} het statisch equivalent van de stoobelasting is in kN;
- U de doorbuiging van de balustrade onder een belasting van 1 kN op een hoogte van 0,7 m boven de vloer in mm is;
- C_{el} een factor is welke afhankelijk is van de stijfheid van de balustrade en de botsenergie. C_{el} heeft een waarde van 1000 (kN)²mm.

Plastisch

$$u = \frac{C_{pl}}{M_{pl}}$$

Waarin:

- U de getalwaarde van de doorbuiging van de balustrade is op 0,7 m die de balustrade nog zonder bezwijken kan ondergaan in mm;
- C_{pl} de getalwaarde is die afhankelijk is van de hoogte waarop de vervorming wordt gemeten en de bosingsenergie. $C_{pl} = 350 \text{ mm} \times \text{kNm}$
- M_{pl} het plastisch moment ter plaatse van de inklemming van de balustrade op de vloer is in kNm.

