

DIMENSIONERING VAN EEN DRIJVEND FUNDAMENT VAN GEWAPEND BETON

BACHELOREINDWERK VAN: EVELIJN VINK
4096207

ONDERZOEKSGROEP: CONSTRUCTIMECHANICA

BEGELEIDERS: DR.IR. P.C.J. HOOGENBOOM
DR.IR. S.A.A.M. FENNIS

VOORWOORD

Beste lezer,

Voor u ligt het eindrapport van mijn bacheloreindwerk over de dimensionering van een drijvend fundament van gewapend beton. Het onderwerp van dit bacheloreindwerk is afkomstig van Josje en Hans Borsboom, die deze fundering willen gebruiken voor hun nieuw te bouwen woning op Texel.

In dit rapport wordt stap voor stap naar een dimensionering toegewerkt. Het begint met de inleiding, waarin de gebruikte begrippen worden toegelicht en de eisen, wensen en uitgangspunten voor het ontwerp worden geformuleerd. Vervolgens worden de belastingen op de constructie bepaald en worden belastingcombinaties gedefinieerd. Daarna begint het eerste deel van de dimensionering met het bepalen van de afmetingen. Via een globale handberekening en een nauwkeurigere eindige elementen berekening wordt tot een wapeningsontwerp gekomen. Hierna is er nog aandacht voor de maakbaarheid van het ontwerp en wordt het geheel afgesloten met de conclusies en aanbevelingen.

Ik wil mijn begeleiders, dr.ir. P.C.J. Hoogenboom en dr.ir. S.A.A.M. Fennis, heel erg bedanken voor hun begeleiding bij mijn bacheloreindwerk. Ik had dit rapport niet kunnen maken zonder hun kennis, adviezen, meedenkendheid en nuchtere blik wanneer ik vast liep. Bedankt dat de deur altijd open stond!

Daarnaast wens ik Josje en Hans Borsboom succes en vooral veel plezier bij de volgende stappen naar het realiseren van hun droomhuis!

Delft, juni 2013
Evelijn Vink

INHOUD

Voorwoord	2
Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Doelstelling	6
1.2 Onderdelen	6
1.3 Eisen, wensen en uitgangspunten	9
2 Belastingen	10
2.1 Grootte belastingen	10
2.2 Belastingcombinaties	11
2.3 Grenstoestanden	14
3 Dimensionering – Deel I	15
3.1 Watercompartimenten	15
3.2 Dikten van de elementen	16
3.3 Diepgang	17
4 Globale handberekening	18
4.1 Begane grondvloer	18
4.2 Wanden binnenbak	23
4.3 Buis	24
4.4 Binnenbakkvloer	25
4.5 Wandliggers	25
4.6 Keldervloer	27
4.7 Wanden buitenbak	27
4.8 Buitenbakkvloer	28
4.9 Conclusie.....	28
5 Berekening EEM	29
5.1 Het model	29
5.2 Berekening.....	31
5.3 Resultaten.....	31
5.4 Conclusie.....	38
6 Dimensionering – Deel II	39
7 Maakbaarheid	42
7.1 Verbindingen	42
7.2 Oplegging binnenbak op buitenbak.....	43
7.3 Bouwvolgorde.....	43
8 Conclusies en aanbevelingen	46
8.1 Conclusies	46
8.2 Aanbevelingen	46

Literatuur	48
Bijlagen	50
A Overzichtstekening van ORIO architecten	50
B Referentieprojecten	51
C Berekening windbelasting	52
D Berekening sneeuwbelasting	55
E Zwaartepunt belasting eigen gewicht	56
F Indeling watercompartimenten.....	58
G Diepgang bepalen	59
H Handberekening wapening.....	60
I Input Scia Engineer	61

SAMENVATTING

Josje en Hans Borsboom willen een milieuvriendelijke woning bouwen. Een van de milieuvriendelijke aspecten van deze woning is dat hij moet kunnen draaien. Op de woning met weinig energie te kunnen draaien, moet het een drijvende woning worden. De woning wordt onderkelderd met een betonnen bak. Deze binnenbak zal drijven in water in een tweede, iets grotere betonnen bak. De wens is dat deze bakken worden gemaakt van prefab silo-elementen.

De bovenbouw van de woning is reeds door een architect ontworpen. Dit rapport is een voorstudie in de dimensionering van de betonnen fundering. Het doel van dit bacheloreindwerk is het ontwerpen, dimensioneren en toetsen van de binnen- en buitenbak. De focus ligt hierbij op het ontwerp van de binnenbak.

De belastingen op de binnen- en buitenbak zijn bepaald volgens de Eurocode. Vervolgens zijn een negental mogelijke belastingcombinaties bedacht. Een hiervan is uit uitgekozen als de belangrijkste combinatie, die voor de meeste onderdelen maatgevend is. In deze belastingcombinatie is er veel wind, maar is er geen water in de buitenbak. De binnenbak hangt dan met zijn uitkragende rand op de rand van de buitenbak. Bij storm zal de eigenaar namelijk kiezen het water uit de buitenbak te pompen in verband met het wooncomfort.

Voor de eerste dimensionering is berekend hoeveel trimgewicht onderin de binnenbak nodig is om de woning waterpas te houden. Hiervoor zijn negen 0,7 m hoge watercompartimenten ontworpen. Op basis van vuistregels zijn vervolgens de dikten van de verschillende elementen geschat. Met deze dikten is een gewichtsberekening uitgevoerd volgens de richtlijn Drijvend Bouwen, om de minimaal vereiste diepgang te bepalen. Er bleek een wandhoogte van maar liefst 5 m nodig te zijn. De onderkeldering heeft dan een diepgang van 4,49 m in de bruikbaarheidsgrenstoestand en een vrijeboord van 0,93 m. De vrijeboord is ruim boven de minimaal vereiste 0,3 m gekozen, omdat de het eigengewicht van de bovenbouw alleen nog met kentallen berekend kon worden.

Voor alle elementen is een globale handberekening gedaan. Hieruit kwam naar voren dat het niet mogelijk is de wanden van de binnenbak van de standaard prefab silo-elementen te maken. Zowel de begane grondvloer als de vloer van de binnenbak zullen zeer sterk gewapend moeten worden, met een wapeningspercentage van 1,69% respectievelijk 2,36%.

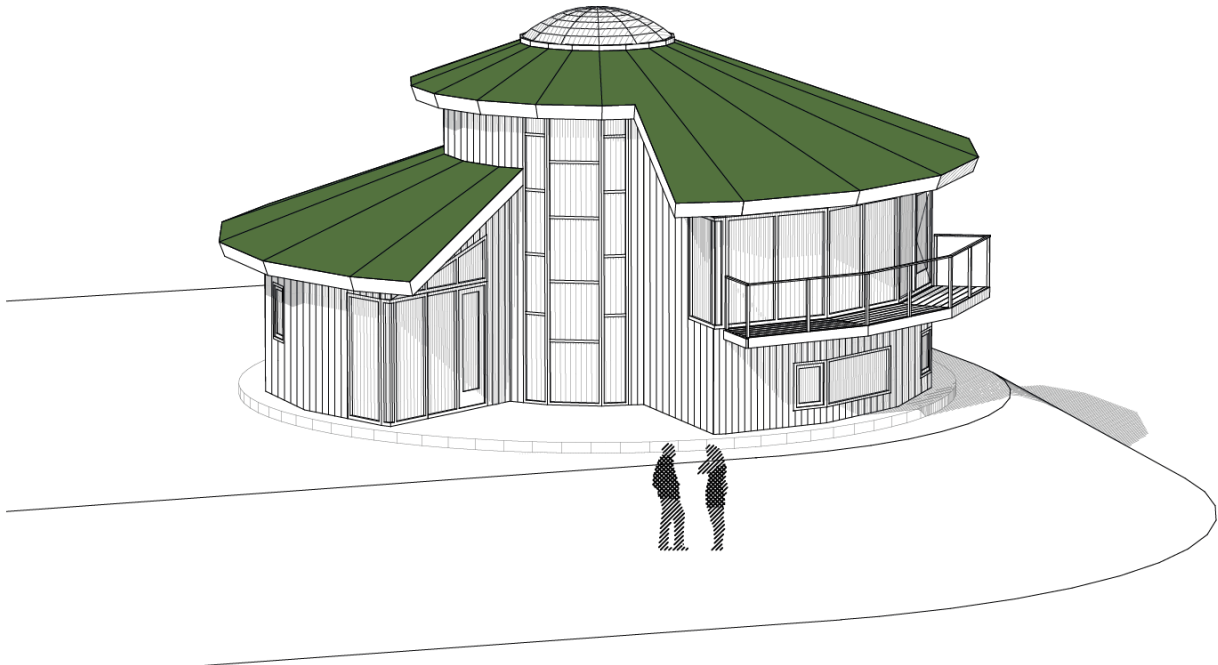
De begane grondvloer is wegens zijn complexe vorm beter onderzocht met een eindige elementen berekening in het programma Scia Engineer. Hieruit bleek dat het model zich in 3D erg stijf gedraagt. De vloer kan gewapend worden met een basis wapeningsnet Ø8-100 aan de onderzijde en een net Ø8-125 aan de bovenzijde, met radiale bijlegwapening in de uitkragende wand en bijlegwapening langs de uitsparingen van onder andere het trapgat. Langs de uitkragende rand is ook schuifwapening nodig.

De gewenste verbindingen tussen de elementen zijn maakbaar, maar de benodigde haarspelden en dergelijken zitten niet aan de standaard silo-elementen. De oplegging van de binnenbak op de buitenbakrand kan niet zomaar beton op beton. Om schokken en spanningsconcentraties bij oneffenheden te voorkomen moeten drukplaten worden bevestigd op de rand van de buitenbak. Het bouwproces kent in totaal zeven stormmomenten en drie momenten van grondverzet.

De belangrijkste conclusie van dit rapport is dat de standaard silo-elementen niet geschikt zijn voor dit ontwerp. Met enige aanpassingen kan een op maat gemaakte variant wel uitkomst bieden. Voor de begane grondvloer en de vloer van de binnenbak is het aan te bevelen voorspanning te overwegen. De vloeren kunnen dan een stuk lichter wordt uitgevoerd. De uitkragende rand van de binnenbak kan het best verdikt worden in verband met de hoge dwarskracht.

1 INLEIDING

De ecologisch hoogwaardige woning die te zien is in afbeelding 1.1 is een project van Josje en Hans Borsboom. Met deze woning willen zij laten zien dat een milieuvriendelijk huis en een mooi huis prima te verenigen zijn. Het huis zal worden uitgevoerd als houtskeletbouw, met muren van strobalen en een groen dak begroeid met sedum. Ook de keuzen voor gerecyclede bouwmaterialen en een grijswatersysteem dragen bij aan de duurzaamheid. (1)



Afbeelding 1.1: Perspectieftekening woning (2)

Daarnaast hebben de eigenaren voor nog een – iets minder gebruikelijke – eigenschap gekozen om de woning duurzaam te maken: het huis zal kunnen draaien. Op deze manier kan er gebruik gemaakt worden van passieve zonne-energie. Wanneer het binnen koud is, wordt een glasgevel richting de zon gedraaid. Is het binnen warm, dan wordt een gevel met minder glas naar de zon gedraaid.

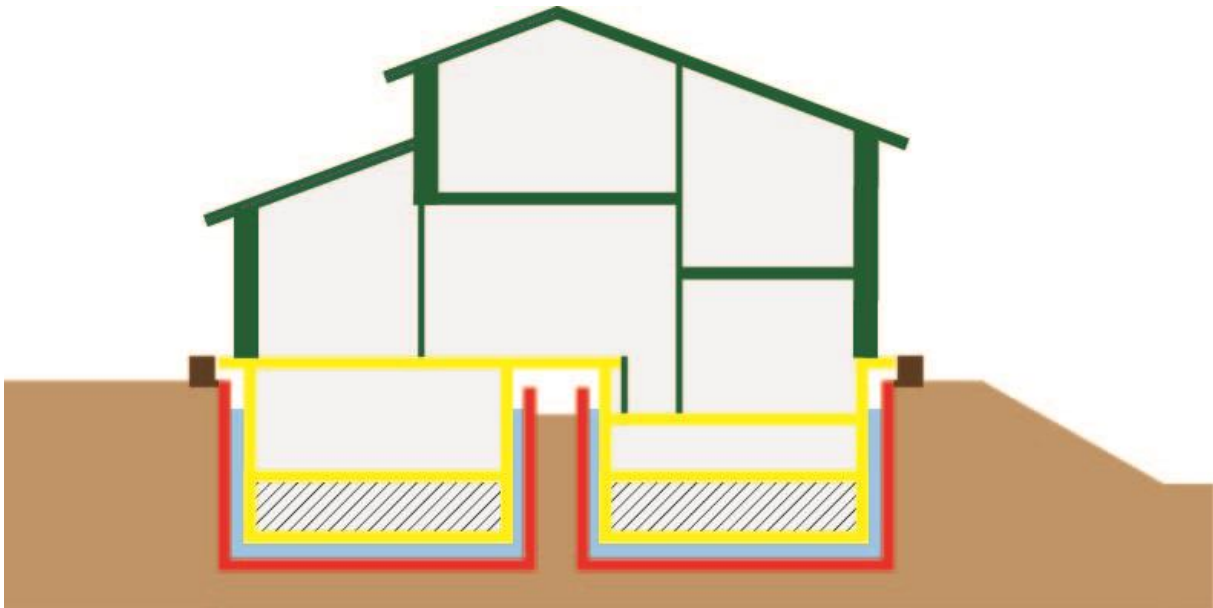
Om dit draaien mogelijk te maken wordt het huis onderkelderd met een betonnen bak. Deze bak drijft in water in een tweede betonnen bak. Door het water tussen de binnen- en buitenbak ondervindt de woning bij het draaien zeer weinig wrijving. Het draaien kost hierdoor dus weinig energie.

1.1 DOELSTELLING

Het doel van dit bacheloreindwerk is het ontwerpen, dimensioneren en toetsen van de binnen- en buitenbak. De focus ligt hierbij op het ontwerp van de binnenbak. Het is de bedoeling dat het eindproduct als voorstudie gebruikt kan worden voor een bouwaanvraag.

1.2 ONDERDELEN

Hoewel de woning zelf al helemaal ontworpen is, bestaat voor de fundering alleen nog een concept. Dit concept is te zien in afbeelding 1.2.1. De belangrijkste onderdelen van het ontwerp zullen hieronder beschreven worden. Er wordt daarbij ingegaan op hun vorm, functie en relevantie voor het project.



Afbeelding 1.2.1: Doorsnede woning met in groen de woning, in geel de binnenbak, in rood de buitenbak, gearceerd de watercompartimenten en in donkerbruin het rotatiesysteem.

WONING

Zoals eerder gezegd wordt de bovenbouw van de woning uitgevoerd als houtskelet. De wanden worden opgetrokken uit strobalen, afgewerkt met leem en aan de buitenkant met hout. Het dak wordt uitgevoerd als sedumdak.

Het volledige ontwerp van de woning is weergegeven in bijlage A *Overzichtstekening van ORIO architecten*. Wat opvalt is dat de plattegronden bestaan uit cirkels en cirkelsegmenten. De vloeren verspringen in hoogte. Zo is liggen de slaapkamers op de begane grond bijvoorbeeld 1 m lager dan de woonkeuken. De gehele woning komt op een terp te staan. Deze terp wordt gemaakt van de weggegraven grond voor de onderkeldering en zal 2 m hoog worden.

De woning is van belang voor het project omdat hij belastingen op de binnen- en dus ook de buitenbak geeft. Deze belastingen zijn onder andere wind, sneeuw, eigengewicht en de variabele vloerbelasting.

BINNENBAK

Onder de binnenbak valt de betonnen onderkeldering van de woning, inclusief de begane grondvloer. Deze begane grondvloer is geen volledige schijf, $5/18^\circ$ van de cirkel ligt 1 m lager. In de binnenbak bevindt zich een vloer 2,2 m onder de begane grond. Deze verdieping zal gebruikt worden als berging. In het onderste gedeelte van de binnenbak zullen watercompartimenten gemaakt worden, welke hieronder apart besproken worden.

Rond de as van de binnenbak bevindt zich een buisvormige uitsparing voor kabels en leidingen. De rand van de binnenbak is horizontaal. Wanneer er te weinig water in de tussenruimte aanwezig is, komt te binnenbak met deze uitkragende rand in de buitenbak te hangen.

BUITENBAK

De buitenbak herbergt het water waar de binnenbak in drijft. De bak heeft een rond grondvlak met een iets grotere diameter dan de binnenbak. Ook de buitenbak bevat een centrale buis voor kabels en leidingen.

WATERCOMPARTIMENTEN

In het onderste deel van de binnenbak zullen watercompartimenten worden gerealiseerd. De functie van deze watercompartimenten is de woning waterpas houden; ze bevatten het trimgewicht. Dit is niet alleen belangrijk voor het woongenot, maar ook om het draaien gemakkelijk te maken.

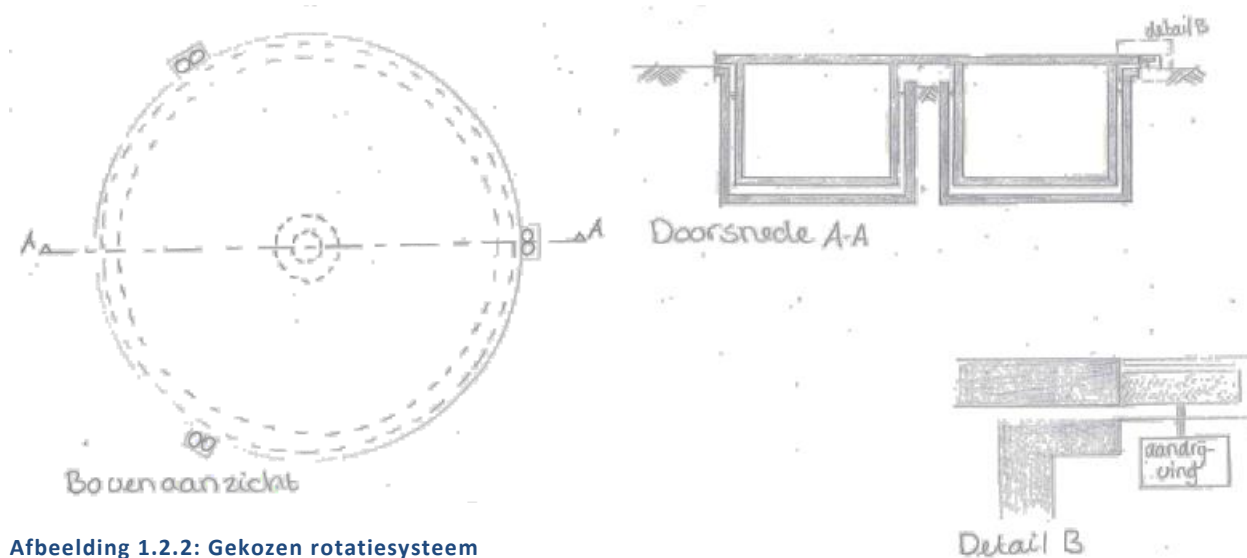
Om dit te bereiken zullen de compartimenten deels gevuld worden met water, afhankelijk van de belastingen op de woning. Omdat niet alle belastingen constant zijn, zullen de waterpeilen in de loop van de tijd aangepast moeten worden. De pompen en regeltechniek die hiervoor nodig is vallen buiten de scope van dit project.

Er wordt wel gekeken naar de capaciteit van de watercompartimenten. Deze moet voldoende zijn in om de woning in balans kunnen te houden. De indeling in compartimenten wordt gerealiseerd door vier onderling haakse wandliggers die langs de centrale buis lopen. De benodigde hoogte van de compartimenten zal invloed hebben op de hoogte van de binnenbak.

ROTATIESYSTEEM

In het oorspronkelijke voorstel zou de centrale betonnen buis als as dienen voor het rotatiesysteem en zou de woning met de hand gedraaid worden. Uit een grove berekening bleek echter dat de maatgevende wind een horizontale belasting van ± 100 kN geeft. De buis van de binnenbak wordt dan tegen die van de buitenbak aangedrukt. Dit geeft een wrijvingskracht voor beton op beton (3) van ± 80 kN ter plaatse van de betonnen buizen; wat overeenkomt met een kracht van ± 12 kN wanneer geduwd wordt aan de rand van het huis. Bij een zwakke wind (2 Bt) zal ongeveer 1/10 van deze kracht optreden en is dus ± 1 kN nodig op de wrijving te overwinnen. Om het huis in beweging te zetten is dus nog meer dan 1 kN kracht nodig. Dit komt overeen met het tillen van meer dan 100 kg en is dus te veel om eenvoudig met de hand te doen.

Daarom is gekeken naar een alternatief waarbij minder wrijving optreedt. Een systeem met minimaal drie geleidewielen kwam al snel naar boven als gunstig, wegens de kleine rolwrijving. Dit rotatiesysteem is weergegeven in afbeelding 1.2.2. Voor de krachtsverdeling zijn meer wielen gunstiger. Ook kunnen een of meerdere wielen eventueel aangedreven worden (bv. met windenergie). Voor deze wielen kunnen bijvoorbeeld auto- of kruiwagenbanden gebruikt worden. Wegens de kwetsbaarheid van de bewegende delen is gekozen de wielen op een goed bereikbare plek te plaatsen. Dit maakt onderhoud en reparaties eenvoudig.



Afbeelding 1.2.2: Gekozen rotatiesysteem

Naast kunnen draaien, zal de woning ook stil moet kunnen blijven liggen onder bijvoorbeeld de windbelasting. Er zal dus een rem op het mechanisme moeten zitten om te zorgen dat de woning niet anders draait dan gewenst. Een verdere uitwerking van het rotatiesysteem valt buiten de scope van dit project.

Wat belangrijk is voor het ontwerp van de bakken, is dat het rotatiesysteem ook fungeert ook als geleidesysteem. Het houdt de bakken concentrisch, waardoor er geen wrijving beton op beton is. De wielen dragen dus de horizontale belasting naar de buitenbak.

1.3 EISEN, WENSEN EN UITGANGSPUNTEN

Ten aanzien van het ontwerp zijn enkele eisen, wensen en uitgangspunten geformuleerd. Sommige van deze eisen en wensen zijn reeds toegepast onder het kopje *Rotatiemechanisme*.

EISEN

Uit de bruikbaarheid en de realiseerbaarheid komen de volgende eisen naar voren:

- De binnen- en buitenbak moeten waterdicht zijn.
- Rotatie van de woning moet weinig energie kosten.
- De constructie moet maakbaar en goed te onderhouden zijn.
- De constructie moet zo goedkoop mogelijk zijn.

Om de ligging van woning in de hoogte vast te leggen is het van belang dat het waterniveau in de buitenbak constant is. Hoewel er waarschijnlijk een pomp aanwezig zal zijn om het water niveau aan te veranderen, lijkt het toch verstandig deze bakken waterdicht te maken. Dit voorkomt ook dat er grondwater, met de eventuele verontreiniging in de bak stroomt. Daarom zal de buitenbak, en de bijbehorende centrale betonnen buis, waterdicht moeten zijn. De binnenbak moet waterdicht zijn om het drijfvermogen van de woning te kunnen garanderen en omdat een gedeelte gebruikt zal worden als berging.

Omdat het een duurzame woning betreft is het van belang dat de rotatie niet veel energie kost. Dit zou immers het duurzame idee achter de woning teniet doen.

De constructie moet uitvoerbaar zijn. Daarnaast moet er ook nagedacht worden over het onderhoud. Er moet gezorgd worden dat de onderdelen die relatief snel slijten, gemakkelijk onderhouden kunnen worden.

De woning moet als geheel niet te duur worden. Omdat de bovenbouw van de woning al duurder is uitgevallen dan verwacht, is het zaak de kosten van de bakken, buis en bijbehorende onderdelen zo laag mogelijk te houden.

WENSEN

De eigenaar heeft de volgende wensen te kennen gegeven:

- Het gebruik van prefab silo-onderdelen voor de bakken
- Het met de hand kunnen draaien van de constructie

Voor beide bakken bestaat de wens dat er gebruikt wordt gemaakt van prefab beton silo onderdelen. Mileusystemen Tiel zal deze silo's leveren. Deze wens vloeit voort uit het feit dat de woning zo goedkoop mogelijk moet zijn.

De wens om met de hand te draaien is reeds eerder genoemd. Met het rotatiesysteem zoals gegeven in afbeelding 1.2.2 is dit mogelijk.

UITGANGSPUNTEN

Om dit bacheloreindwerk tot een succesvol einde te brengen zijn er enkele uitgangspunten bij het ontwerp. Deze zijn hieronder opgesomd met daarna een toelichting

- De woning zal maximaal 360° draaien.
- De woning zal gecentreerd en geroteerd worden aan de bovenranden van de bakken.

Het uitgangspunt ten aanzien van draaiing is voornamelijk om te zorgen dat de kabels en de leidingen door de centrale schacht niet in de knoop raken. Daarnaast is ook bij het ontwerp van het rotatie mechanisme het belangrijk om te weten hoe ver de woning draait. Omdat de functie van de rotatie is om de woning in of uit de zon te plaatsen voldoet een rotatie van maximaal 360° ruim.

De woning zal een systeem nodig hebben om te roteren en om te zorgen dat de bak gecentreerd blijft. Hiervoor wordt het systeem uit afbeelding 1.2.2 aangehouden.

2 BELASTINGEN

In dit hoofdstuk zullen alle belastingen en belastingcombinaties waarop de fundering moet worden gedimensioneerd worden besproken. In de eerste paragraaf zullen de belastingen worden gekwantificeerd. In de tweede paragraaf worden verschillende belastingcombinatie gepresenteerd. In de laatste paragraaf worden de grenstoestanden, waarin op de belastingcombinaties getoetst zal worden, toegelicht.

2.1 GROOTTE BELASTINGEN

GROND EN GRONDWATER

De plaatselijke grondwaterstand is onbekend. Wel is bekend dat nabij een stroompje loopt, welke een indicatie van de grondwaterstand kan geven. De waterstand in dit stroompje wordt geschat op 0,5 m onder het maaiveld. Omdat de woning op een terp van 2,0 m komt te staan, wordt de waterstand aangenomen als -2,5 m ten opzichte van het lokale maaiveld. De waterdruk op diepte $d > 2,5$ m is dus $p = (d - 2,5) \cdot \gamma_{water}$.

De plaatselijke grondsoort is zand (4). Hiervoor geldt $\gamma_{droog} = 18 \text{ kN/m}^3$ en $\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$. De verticale gronddruk op diepte d is:

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \gamma_{droog} \cdot d && \text{voor } d < 2,5 \text{ m} \\ \sigma_v &= 2,5 \cdot \gamma_{droog} + (d - 2,5) \cdot \gamma_{nat} && \text{voor } d > 2,5 \text{ m}\end{aligned}$$

De grond levert een actieve horizontale gronddruk op wanden. De horizontale korreldruk is $\frac{1}{3}$ van de verticale korreldruk. De horizontale waterdruk is gelijk aan de verticale waterdruk. Er geldt dus: $\sigma_h = \frac{1}{3} \cdot \sigma_v' + p$, waarin $\sigma_v' = \sigma_v - p$.

EIGEN GEWICHT WONING

Om het eigengewicht van de woning te kunnen schatten wordt uitgegaan van een kengetal voor houtskeletbouw. Bij deze bouwwijze kan $q_{G,houtskelet} = 1,5 \text{ kN/m}^2$ (5) per verdiepingslaag worden gerekend. Het verschil tussen standaard houtskeletbouw en deze woning is dat de wanden niet van multiplex worden gemaakt, maar van stobalen. Er wordt vanuit gegaan dat de afwerking hetzelfde is. De soortelijke massa van multiplex is $7,0 \text{ kN/m}^3$, van stobalen $1,5 \text{ kN/m}^3$ (6). Van multiplex worden gewoonlijk twee lagen van 18 mm gebruikt. Wanneer stobalen worden gestapeld ontstaat een muur van 0,48 m dik (7). Dit betekent dat een multiplex wand $7,0 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 0,25 \text{ kN/m}^2$ weegt en een stobalenmuur $1,5 \cdot 0,48 = 0,72 \text{ kN/m}^2$. De wanden zijn dus bijna drie keer zo zwaar, en zouden kunnen worden meegenomen als een extra lijnlast van $0,72 \cdot 3 \text{ m}$ hoogte + afwerklaag $\approx 3 \text{ kN/m}$. Het houtskelet, de vloeren, ramen en deuren zijn echter wel hetzelfde. Daarom wordt voor de vlaklast volstaan het kengetal op te hogen tot $q_{G,strobouw} = 2,0 \text{ kN/m}^2$.

Een ander aandachtspunt is het sedumdak. Een sedumdak wordt over een gewone dakconstructie heen gelegd. Het is dus een extra belasting. Verschillende fabrikanten noemen verschillende gewichten, van $40\text{--}80 \text{ kg/m}^2$ (8) tot $30\text{--}100 \text{ kg/m}^2$ (9) of $40\text{--}150 \text{ kg/m}^2$ (10). Omdat dit een drijvende woning betreft, is het van belang het gewicht laag te houden. Het is dus verstandig te kiezen voor een relatief licht sedumdak. Hier wordt dan ook vanuit gegaan in de dimensionering van de fundering. Aangehouden wordt dat het sedumdak 50 kg/m^2 zal wegen, oftewel $q_{G,sedumdak} = 0,5 \text{ kN/m}^2$.

Voor de verdiepingvloer is in het kengetal voor houtskeletbouw het gewicht meegenomen. Voor de begane grondvloer en de keldervloer is dit nog niet het geval. Hiervoor moet nog een afwerkvloer worden meegerekend. Hiervoor wordt een belasting van $q_{G,afwerkvloer} = 1,0 \text{ kN/m}^2$ aangehouden.

EIGEN GEWICHT BETONNEN BAKKEN

Voor het eigengewicht van de betonnen bakken wordt uitgegaan van een soortelijk gewicht $\gamma_{gewapendbeton} = 25 \text{ kN/m}^3$. (6)

WATER IN TUSSENRUIMTE

Voor de waterdruk in de tussenruimte wordt uitgegaan van een soortelijk gewicht $\gamma_{water} = 10 \text{ kN/m}^3$.

VARIABELE VLOERBELASTING

Voor de woonruimten, balkon en terras wordt uitgegaan van een variabele belasting van $q_{Q,woon} = 1,75 \text{ kN/m}^2$ (11). Voor de berging is dit $q_{Q,opslag} = 7,5 \text{ kN/m}^2$ (6). Voor het deel van de berging dat veel lager is, wordt dit gecorrigeerd naar de hoogte met $1200/2200 \cdot 7,5 = 4,1 \text{ kN/m}^2$. Variabele belasting op het dak wordt voor het ontwerp van de fundering niet meegenomen.

Merk op dat de variabele belasting voor de berging veel hoger is dan voor woonruimten. Wanneer gekozen wordt deze ruimte een andere bestemming te geven, wordt de belasting waarmee gerekend dient te worden veel lager.

WINDBELASTING

Voor de bijzondere vorm van de woning geeft de norm geen methode om de windbelasting te bepalen. Deze kan alleen bepaald worden door testen of simulaties. Om toch tot een redelijke waarde voor de windbelasting te komen wordt de woning benaderd als een cilinder en als rechthoekig blok. De cilinder heeft een hoogte van 7,5 m en een diameter van 13 m. Dit is een groter volume dan de werkelijke woning, maar heeft wel een gunstigere vorm. Het blok heeft een hoogte van 5,5 m, een diepte van 11 m en een breedte van 13 m. Dit is een vergelijkbaar volume en een ongeveer even gunstige vorm.

De locatie van de woning, Texel, valt in windgebied I. De woning staat in een weiland met af en toe bomen of huizen. Dit is terreincategorie II. Omdat de terp waarop de woning komt te staan zeer lokaal is, wordt deze meegenomen in de hoogte voor de stuwdruk en niet in de orografie. De bovenzijde van de nok van het huis bevindt zich op 7,24 m boven peil. Dit peil is de bovenzijde van de begane grondvloer. Deze bevindt zich op $\pm 0,3 \text{ m}$ boven de terp, welke nog eens 2,0 m hoog word. Totaal geeft dit een $z_e = 9,5 \text{ m}$.

Met de cilinderbenadering van de woning wordt een windbelasting van 93 kN gevonden. Met de blokbenadering wordt een windbelasting van 104 kN gevonden. Zie bijlage C *Berekening windbelasting*. Als schatting voor de windbelasting wordt $F_w = 100 \text{ kN}$ aangehouden. Merk op dat deze belasting erg hoog is, maar niet heel nauwkeurig is bepaald.

SNEEUWBELASTING

Sneeuwbelasting wordt meegenomen op het dak, het balkon, het terras en de volledige rand van de binnenbak. Voor het bepalen van de sneeuwbelasting op het dak wordt het dak beschouwd als zadeldak. De hoek van het dak met de horizontaal is voor alle delen gelijk, namelijk $\alpha = \tan^{-1}((4500-2905)/4000) = 22^\circ$ (linker dakdeel in doorsnede A-A). De hoek van het balkon, terras e.d. is 0° . Dit levert voor alle delen een sneeuwbelasting van $0,56 \text{ kN/m}^2$, zie bijlage D *Berekening sneeuwbelasting*.

2.2 BELASTINGCOMBINATIES

De mogelijke belastingcombinaties worden opgedeeld in drie groepen. De eerste groep betreft de situaties waarbij de binnenbak drijft, de tweede betreft de situaties waarbij de binnenbak op de rand van de buitenbak hangt en de derde de situaties in de bouwfase. Deze combinaties worden in de komende paragrafen toegelicht. De belangrijkste acht belastingcombinaties zijn ook gevisualiseerd in afbeelding 2.2.1.

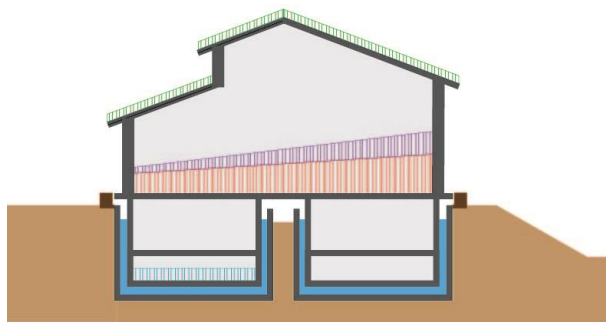
BINNENBAK DRIJFT

Voor de drijvende woning worden de volgende vier belastingcombinaties bekeken.

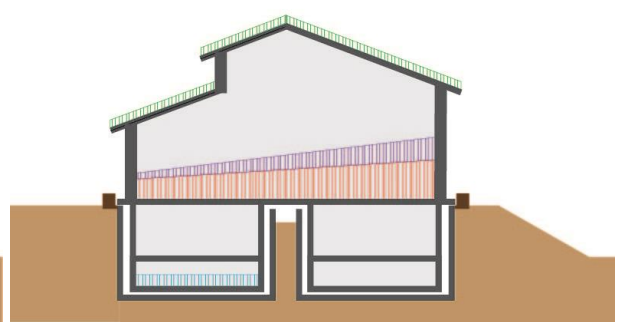
BELASTINGCOMBINATIE 1: IDEALE SITUATIE

De eerste belastingcombinatie (BC1) betreft de ideale situatie. In deze situatie werken de variabele vloerbelasting en het eigengewicht over de hele woning hetzelfde. De watercompartimenten corrigeren in dit geval precies voor de scheefstand. In deze situatie wordt ook de sneeuwbelasting op het dak meegenomen.

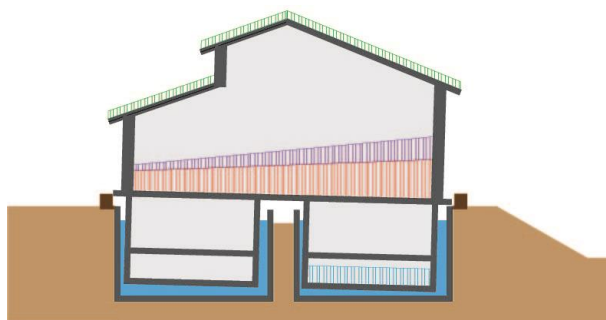
Daarnaast werkt er op de binnen- en buitenbak natuurlijk de waterdruk van het water in de ruimte tussen hun in. Op de buitenbak werkt ook het eigengewicht en de grondruk van buiten.



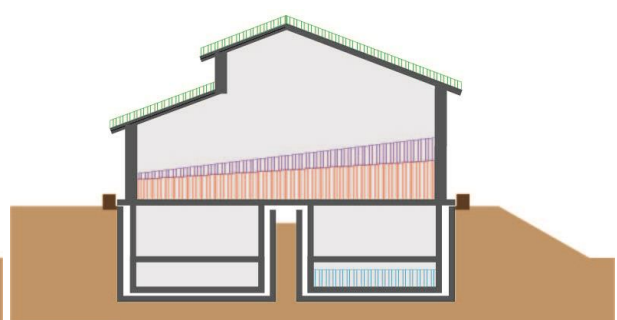
a. Belastingcombinatie 1



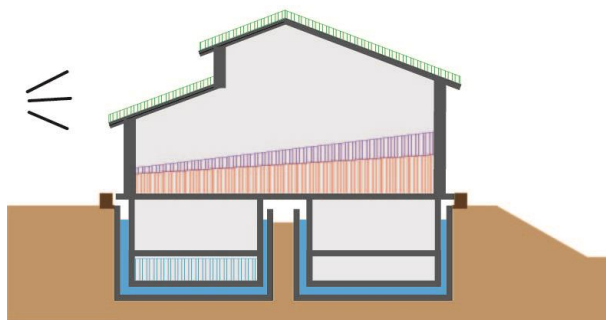
e. Belastingcombinatie 5



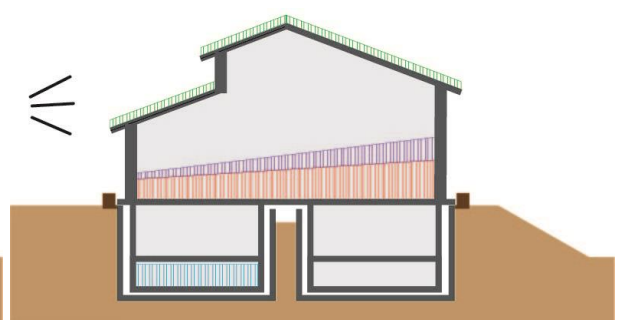
b. Belastingcombinatie 2



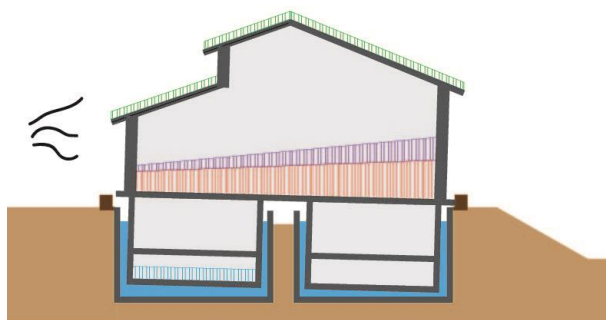
f. Belastingcombinatie 6



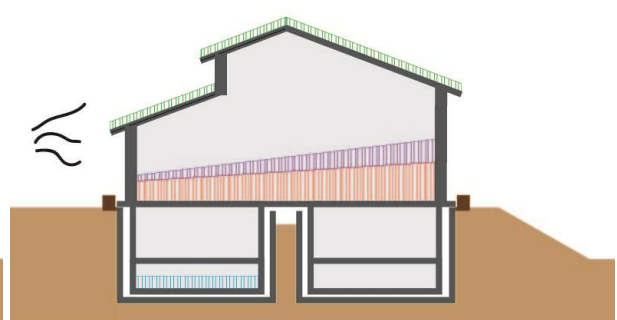
c. Belastingcombinatie 3



g. Belastingcombinatie 7



d. Belastingcombinatie 4



h. Belastingcombinatie 8

Afbeelding 2.2.1: Overzicht belangrijkste belastingcombinaties, met in groen de sneeuwbelasting, in paars de variabele vloerbelasting, in rood het eigengewicht, in blauw het trimgewicht en met zwart de wind.

BELASTINGCOMBINATIE 2: ONGUNSTIGE VERTICALE BELASTING

In de tweede belastingcombinatie (BC2) werkt de variabele vloerbelasting slechts op één helft van de woning. Deze helft wordt zo ongunstig mogelijk uitgekozen. Het eigengewicht op de andere helft wordt als gunstig in rekening gebracht. De watercompartimenten worden nu meegerekend alsof ze precies ongunstig gevuld zijn. Dit zou het geval kunnen zijn wanneer het pompsysteem kapot is.

Door deze asymmetrische belasting zal de woning scheef komen te staan. Het zou dan kunnen dat de binnenbak op één punt op de buitenbak komt te steunen. Het kan ook zijn dat de tussenruimte ruim genoeg is om contact tussen de binnen en buitenbak te voorkomen. Dit is afhankelijk van de veroorzaakte scheefstand en de gekozen tussenruimte.

In deze belastingcombinatie wordt de sneeuwbelasting ook meegenomen. De waterdruk in de tussenruimte is hetzelfde als in belastingcombinatie 2. Op de buitenbak werkt weer het eigengewicht en de grondruk, maar nu ook een eventuele verticale puntlast uit de binnenbak.

In dit bacheloreindwerk wordt er vanuit gegaan dat de binnenbak de buitenbak niet zal raken. Er wordt aangenomen dat het pompsysteem dusdanig goed werkt dat de scheefstand altijd klein zal blijven.

BELASTINGCOMBINATIE 3: CONSTATE WIND

De derde belastingcombinatie (BC3) gaat uit van een constante wind. Het eigengewicht en de variabele vloerbelasting worden meegenomen. De watercompartimenten worden verondersteld voor de scheefstand ten gevolge van het eigengewicht, de variabele vloerbelasting en de wind te corrigeren.

In deze situatie werkt de waterdruk als oplegging voor de verticale belasting. De horizontale windbelasting moet worden afgedragen aan het geleidesysteem. Dit systeem brengt de horizontale kracht over op de buitenbak. Op de buitenbak werken naast deze horizontale kracht ook weer de waterdruk, de grondruk en het eigengewicht.

BELASTINGCOMBINATIE 4: WINDVLAGEN

De vierde belastingcombinatie (BC4) is hetzelfde als BC3, behalve dat de watercompartimenten nu niet corrigeren voor de scheefstand ten gevolge van de wind. De woning kan dus scheef komen te staan, waardoor de binnenbak in contact kan komen met de buitenbak, zie ook BC2.

BINNENBAK HANGT OP RAND BUITENBAK

Voor het geval dat de binnenbak op de rand van de buitenbak hangt, worden dezelfde vier combinaties bekeken als voor het geval van een drijvende woning. Hieronder worden de verschillen met respectievelijk belastingcombinatie 1, 2, 3 en 4 toegelicht.

BELASTINGCOMBINATIE 5: IDEALE SITUATIE

Het verschil met BC1 is dat de waterdruk voor zowel de binnen- als de buitenbak ontbreekt. In plaats daarvan is een gelijkmatig over de gehele omtrek (/buitenrand) verdeelde verticale belasting van de binnenbak op de buitenbak.

BELASTINGCOMBINATIE 6: ONGUNSTIGE VERTICALE BELASTING

Het verschil met BC2 is hier ook dat de waterdruk voor zowel de binnen- als de buitenbak ontbreekt. In plaats daarvan is een over de gehele omtrek verdeelde verticale belasting van de binnenbak op de buitenbak. Deze belasting is groter aan de helft met de variabele vloerbelasting.

BELASTINGCOMBINATIE 7: CONSTATE WIND

Het verschil met BC3 is dat de waterdruk voor zowel de binnen- als de buitenbak ontbreekt. In plaats daarvan is een gelijkmatig over de gehele omtrek verdeelde verticale belasting van de binnenbak op de buitenbak.

BELASTINGCOMBINATIE 8: WINDVLAGEN

Het verschil met BC4 is dat de waterdruk voor zowel de binnen- als de buitenbak ontbreekt. In plaats daarvan is een over de gehele omtrek verdeelde verticale belasting van de binnenbak op de buitenbak. Deze belasting is groter aan de lijzijde.

Voor deze belastingcombinatie wordt voor de UGT ook de belasting van (per ongeluk) volle watercompartimenten meegenomen. Voor de BGT wordt deze belasting niet meegenomen.

BOUWFASE

In de bouwfase wordt slechts één belastingcombinatie bekeken.

BELASTINGCOMBINATIE 9: LEGE BUITENBAK

In belastingcombinatie 9 (BC9) wordt de lege buitentank beschouwd. Deze wordt alleen belasting door zijn eigengewicht en de gronddruk van buiten.

2.3 GRENSTOESTANDEN

De belastingcombinaties 1, 2, 3, 5, 6, 7 en 8 zijn allen veel voorkomend of redelijk te verwachten. Voor deze belastingcombinaties zal de constructie dus zowel in de BGT als in de UGT moeten voldoen. In belastingcombinatie 9 zijn scheurwijdten en vervormingen niet van belang, dus hoeft de constructie hiervoor alleen in de UGT te voldoen.

De eigenaar heeft aangegeven dat bij heftige wind de woning niet hoeft te kunnen draaien. Hij wil de woning dan op de buitenbak laten zakken door water uit de tussenruimte weg te pompen. Voor belastingcombinatie 4 hoeft de constructie dus niet aan de vervormings- en scheefstandseisen van de BGT te voldoen. Omdat echter niet zeker is dat dit laten zakken altijd gebeurt (in geval van vakantie of bij een volgende eigenaar), moet de constructie voor deze belastingcombinatie wel in de UGT voldoen. Ook aan de scheurwijdte-eis moet worden voldaan in verband met de waterdichtheid.

BUIKBAARHEIDSGRENSTOESTAND (BGT)

In de bruikbaarheidsgrenstoestand moet de constructie voldoen aan de gebruikseisen. Dit geeft een beperking aan de vervormingen en de scheefstand. Ook de waterdichtheid valt hieronder. Voor de BGT wordt gerekend met de verwachte belastingen, de veiligheidsfactoren zijn dus allen 1,0.

DOORBUIGING

Voor de doorbuigingseisen worden de eisen aangehouden zoals gegeven in de Eurocode. De maximale doorbuiging van vloeren en liggers is $w_{\max} = 0,004\ell$. Voor vloeren geldt de aanvullende eis dat $w_{bij} \leq 0,003\ell$ en voor vloeren die een steenachtige scheidingswand dragen $w_{bij} \leq 0,002\ell$. (12)

DUURZAAMHEID

Met betrekking tot de duurzaamheid moet de scheurwijdte voor alle onderdelen maximaal 0,3 mm zijn.

SCHEEFSTAND

In verband met de bruikbaarheid en het wooncomfort mag de woning niet te scheef komen te staan. Hiervoor wordt aangehouden van de scheefstand maximaal 4° mag bedragen (13).

WATERDICHTHEID

Uit de eisen komt naar voren dat de binnenbak waterdicht moet zijn. Om dit te kunnen verzekeren moet de drukzone minimaal $\frac{1}{3}$ van de dikte van de wand beslaan. (14) De ontwerpvuistregel luidt dat een dikte van minimaal 0,15 m gekozen moet worden (14).

Volgens Lohmeyer hangt de maximale scheurwijdte waarbij verwacht mag worden dat de scheuren dichtgroeien af van de hoogte van de vloestofkolom en de dikte van de wand. Aangenomen wordt nu dat in de BGT de diepgang $h_D = 4,5$ m bedraagt en de wanddikte $h_W = 160$ mm is (zie hoofdstuk 3 *Dimensionering – Deel I*). Uit de grafiek van Lohmeyer volgt dan een maximale scheurwijdte van $w_{crit} = 0,04$ mm. (15)

UITERSTE GRENSTOESTAND (UGT)

In de uiterste grenstoestand moet de constructie voldoen op sterkte. Hiervoor worden de belastingen vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor. De te gebruiken factoren zijn gegeven in tabel 2.3.1.

Tabel 2.3.1: Veiligheidsfactoren UGT

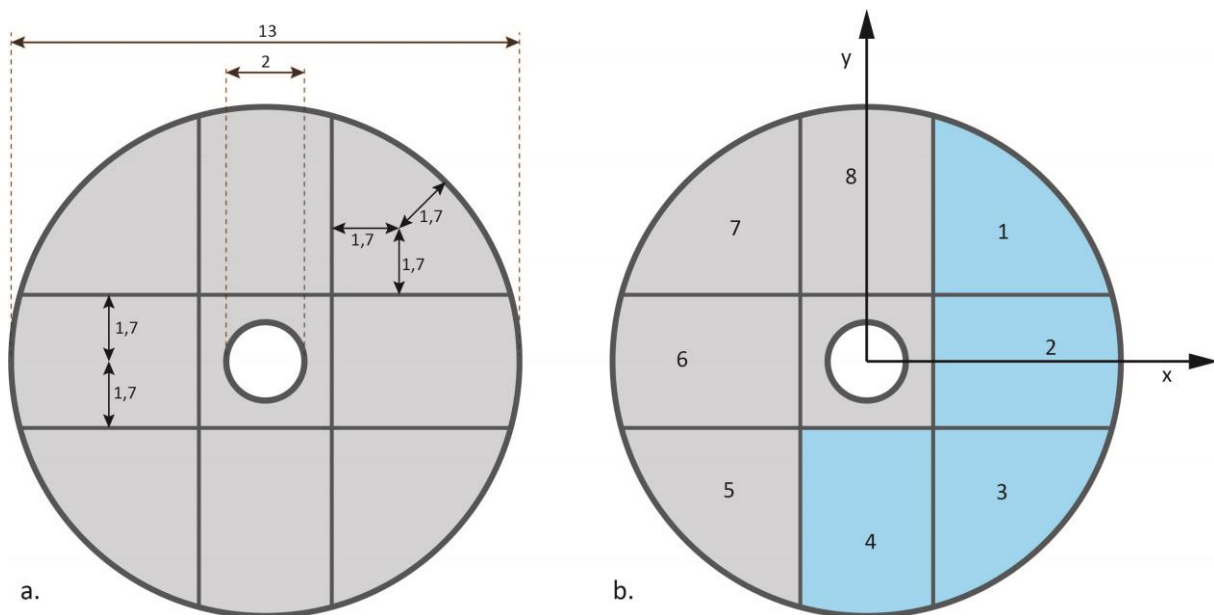
	Permanente belasting	Variabele belasting
Ongunstig werkend	$\gamma = 1,2$	$\gamma = 1,5$
Gunstig werkend	$\gamma = 0,9$	$\gamma = 0$

3 DIMENSIONERING – DEEL I

In dit hoofdstuk wordt een begin gemaakt aan de dimensionering. Eerst wordt de indeling en de benodigde hoogte van de watercompartimenten bepaald. Vervolgens worden alle dikten geschat met behulp van vuistregels. Hierna zal de benodigde diepgang worden bepaald. Het hoofdstuk resulteert in een eerste schatting van alle afmetingen.

3.1 WATERCOMPARTIMENTEN

De watercompartimenten worden, zoals in de Inleiding werd genoemd, gerealiseerd door vier loodrecht op elkaar staande wandliggers. Er is gekozen deze liggers 1,7 m uit het midden van de vloer te plaatsen. Op deze manier wordt de maximale draagweg voor alle compartimenten gelijk, zie afbeelding 3.1.1a. De totale lengte van de vier wanden samen bedraagt 50 m.



Afbeelding 3.1.1: De indeling van de watercompartimenten, met a. de maximale draagwegen in [m] en b. het gekozen assenstelsel en nummering van de compartimenten.

De watercompartimenten moeten hoog genoeg zijn om te kunnen compenseren voor de scheefstand ten gevolge van het eigengewicht, de wind en de variabele belasting. Het kenterende moment ten gevolge van het eigengewicht wordt bepaald door over elke verdieping de belasting-gewogen weerstandsmomenten te sommeren. Dit is te lezen in bijlage E *Kentering door eigengewicht*. Het eigen gewicht levert een kenterend moment van 561 kNm met $\tan(\alpha_M) = -0,72$, met de x-as op r1.

Voor het kenterende moment ten gevolge van de wind moet de windbelasting vermenigvuldigd worden met zijn excentriciteit. Hiertoe wordt het zwaartepunt van de constructie aangenomen zich 1 m onder de begane grondvloer te bevinden. De wind grijpt aan op ongeveer 3 m boven de begane grond. De excentriciteit is dus 4 m, wat een kenterend moment geeft van $4 \cdot 100 = 400$ kNm.

Het kenterende moment ten gevolge van variabele belasting wordt volgens (13) berekend als het gewicht van 40 personen die zich in een (excentrische) ruimte bevinden. Als voor deze ruimte het terras aan de entreezijde gekozen wordt, werkt dit moment in hetzelfde vlak als het moment ten gevolge van het eigen gewicht. De grootte ervan is dan $40[\text{personen}] \cdot 75 [\text{kg/persoon}] \cdot 9,81 [\text{N/kg}] \cdot 5[\text{m}] / 1000 = 147$ kNm.

Het totaal te compenseren kenterende moment bedraagt dus $561 + 400 + 147 = 1108$ kNm. Dit is te compenseren door vier aan elkaar grenzende compartimenten te vullen met 0,64 m water. De berekening hierachter is te vinden in bijlage F *Hoogte watercompartimenten*. Wanneer gekozen wordt voor compartiment 1 tot en met 4 (zie afbeelding 3.1.1b) gebeurt dit met $\tan(\alpha_M) = 0,66$. Dit is dus in tegengestelde richting als het te compenseren kenterende moment.

Om een waterhoogte van 0,64 m in de compartimenten mogelijk te maken, worden de wandliggers 0,7 m hoog gemaakt.

3.2 DIKTEN VAN DE ELEMENTEN

WANDEN

De dikte van de wanden staan al vast, omdat hiervoor de standaard prefab mestilo delen voor gebruikt worden. De dikte van deze prefab onderdelen bedraagt 0,16 m. (16) Dit geldt voor zowel de binnen als de buitenbak.

BUIZEN

Voor de buis van de binnenbak wil de eigenaar graag een geryclede rioolbuis gebruiken. Omdat de afmetingen hiervan niet beken zijn, worden deze geschat. De doorsnede van de buis kan het best groot gekozen worden, in verband met de bereikbaarheid van de kabels en leidingen in de buis van de buitenbak voor onderhoud. Daarom wordt in dit rapport uitgegaan van een buisdiameter van 2 m. Voor de wanddikte wordt 0,16 m aangehouden.

In het concept van de fundering werd de buis van de buitenbak ook in beton te worden uitgevoerd. Dit is niet nodig, aangezien deze buis door het nieuwe rotatiesysteem niet meer als rotatie-as werkt. De buis kan dus uitgevoerd worden als een niet-constructieve, smalle kunststof buis.

VLOEREN

BEGANE GRONDVLOER

De dikten van de vloeren wordt geschat met behulp van vuistregels. Deze vuistregels zijn gebaseerd op de maximale doorbuigingseis van $w_{\max} = 0,004\ell$.

Voor de begane grondvloer wordt gekeken naar een overspanning van 5,5 m, waarbij de ene zijde ingeklemd is en de andere zijde scharnierend opgelegd. Dit is het geval wanneer de binnenbak drijft. De vloer steunt dan immers op de buitenwanden en op de centrale buis. Omdat de vloer doorloopt over de centrale buis, wordt deze zijde als ingeklemd gezien. De vuistregel voor dit geval zegt dat voor $\ell \leq 7,00$ m een dikte gekozen moet worden zodat $\ell/d = 32$. Dit betekent voor een overspanning van $\ell = 5,5$ m dat de nuttige hoogte $d = 0,17$ m moet zijn.

Wanneer de binnenbak op de buitenbak hangt, is een ander geval van toepassing. Dan kan gekeken worden naar een ligger met een overspanning van 13 m die aan beide zijde scharnierend opgelegd is. De vuistregel voor dit geval zegt dat voor $\ell \geq 7,00$ m een dikte gekozen moet worden zodat $\ell/d = 175/\ell$. Dit betekent voor $\ell = 13$ m dat $d = 0,97$ m.

Dit is geen realistische waarde. Door de cirkelvorm van de vloer draagt deze niet alleen over een middellijn af, maar wordt de belasting net zo veel naar al de zijanten afgedragen. Ook werkt de kelderbak onder de vloer verstijvend. Daarom wordt bij benadering gekozen deze waarde te verkleinen met een factor 4. Dit levert $d = 0,97/4 = 0,24$ m en $h \approx 0,24/0,9 = 0,27$ m.

KELDERVLOER

Voor de keldervloer wordt uitgegaan van een overspanning van 5,5 m waarbij beide zijden scharnierend zijn opgelegd. Hiervoor geldt voor $\ell \leq 7,00$ m dat $\ell/d = 25$. Dit levert $d = 0,22$ m en $h \approx 0,22/0,9 = 0,24$ m.

VLOER BINNENBAK

Aan de vloer aan de onderzijde van de binnenbak zijn geen vervormingseisen. De overspanningen zijn klein, maximaal 3,4 m. Toch wordt in verband met de waterdichtheid een dikte $h = 0,15$ m gekozen.

VLOER BUITENBAK

Aan de vloer van de buitenbak worden geen vervormingseisen gesteld. Ook is hier een minder grote waterdichtheid vereist. Daarom wordt de standaarddikte van de mestilobouwer aangehouden: $h = 0,13$ m. (16)

WANDLIGGERS

Aan de wandliggers worden geen vervormings- of waterdichtheidseisen gesteld. Voor deze liggers wordt een dikte van 0,10 m aangehouden.

3.3 DIEPGANG

BEPERKTE WANDHOOGTE

De te gebruiken prefab-wandonderdelen zijn verkrijgbaar tot een lengte van 6 m, met stappen van 1 m. (16) Omdat de buitenbak een hogere wand moet hebben dan de binnenbak (de binnenbak moet immers op de rand van de buitenbak kunnen hangen zonder de bodem te raken), betekent dit dat voor de binnenbak wanden van maximaal 5 m kunnen worden gebruikt

BELASTING

Volgens de richtlijn 'Drijvende Bouwerken' (13) moet voor het bepalen van de rechtstandige zakking berekend worden aan de hand van de verticale kracht $F_{\Sigma;d} = 1,0 \cdot G_{rep,1} + 1,0 \cdot Q_{1,rep} + \sum_{i \geq 2}^n 1,0 \cdot \psi_i \cdot Q_{i,rep}$. Opvallend is dat de veiligheidsfactoren in deze uitdrukking 1,0 zijn. Veiligheid is in deze richtlijn geïmplementeerd in de eis dat de vrijeboord minimaal 300 mm moet bedragen. Met het vrijeboord wordt de 'droge' hoogte van het drijflichaam boven het waterpeil bedoeld.

Met de belastingen zoals bepaald in het hoofdstuk 2 *Belastingen* zijn het totale eigengewicht G en de verschillende variabele belastingen Q uitgerekend. Deze zijn te zien in tabel 3.3.1. Voor het bepalen van het eigengewicht zijn alle afmetingen uit de voorgaande paragrafen gebruikt. Voor de lengte van de wanden van de binnenbak is 5 m gekozen. De volledige tabellen hierachter zijn te vinden in bijlage G *Diepgang bepalen*.

Tabel 3.3.1: Verticale belastingen voor het bepalen van de diepgang

		kracht [kN]	ψ_0 -factor
Eigengewicht	G	3922	
Variabele vloerbelasting kelder	Q_{-1}	849	1,0
Variabele vloerbelasting begane grond	Q_0	269	0,4
Variabele vloerbelasting 1 ^e verdieping	Q_1	113	0,4
Sneeuwbelasting	Q_{sn}	134	0

De meest ongunstige situatie die hiermee te krijgen is, is wanneer Q_0 gekozen wordt als $Q_{1,rep}$. De totale belasting wordt dan 5086 kN.

VRIJEBOORD

Om de 5086 kN belasting te dragen, dient 509 m³ water verplaatst te worden. Dit komt overeen met een diepgang van 4,49 m. Het vrijeboord bedraagt dan nog (hoogte wanden + dikte vloer binnenbak + dikte begane grondvloer – diepgang) $5 + 0,15 + 0,27 - 4,49 = 0,93$ m. Dit vrijeboord voldoet aan de minimeis van de richtlijn 'Drijvend bouwen'. Daarnaast is er nog wat spelingsruimte voor het geval dat in een gedetailleerde berekening blijkt dat de belastingen toch hoger uitpakken.

WANDHOOGTEN

Voor de binnenbak wordt een wandhoogte van 5 m gekozen. Voor de buitenbak wordt één maat groter, 6 m, gekozen. Omdat de onderkeldering totaal 5 m hoog wordt, is er zat ruimte de keldervloer 1 m lager te plaatsen. Dit is zeker aan te raden. Niet alleen ontstaat er zo meer ruimte in de berging, het zwaartepunt van de constructie komt zo ook lager te liggen. Dat is gunstig voor de stabiliteit van de woning.

4 GLOBALE HANDBEREKENING

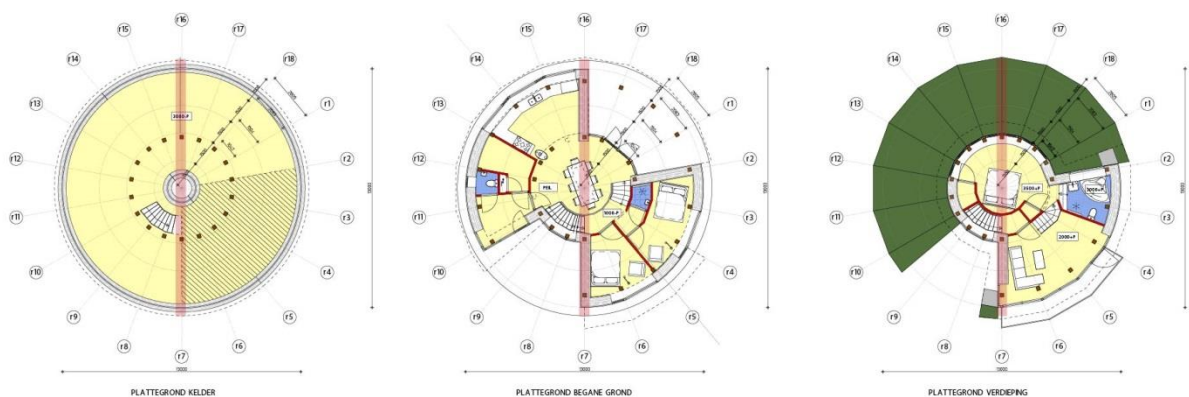
In de handberekening wordt vanwege de hoeveelheid werk gefocust op enkele belastingcombinatie. Er is gekozen vooral te kijken naar belastingcombinatie 8, omdat dit de meest extreme belastingcombinatie is. Waarschijnlijk zal dit dus ook de maatgevende belastingcombinatie zijn. Daarnaast wordt voor de meeste onderdelen ook gekeken naar belastingcombinatie 1, waar de waterdruk aanwezig is. Voor de buitenbak wordt ook gekeken naar de horizontale windbelasting uit belastingcombinatie 3.

4.1 BEGANE GRONDVLOER

De begane grondvloer kan niet berekend worden als een standaard ronde vloer. Dit komt doordat de slaapkamers (r2-r7) zich 1 m lager bevinden dan de rest van de begane grond. Praktisch gezien zit er daar dus een gat in de begane grondvloer. Om deze reden wordt gekeken naar een radiale strook van de begane grondvloer.

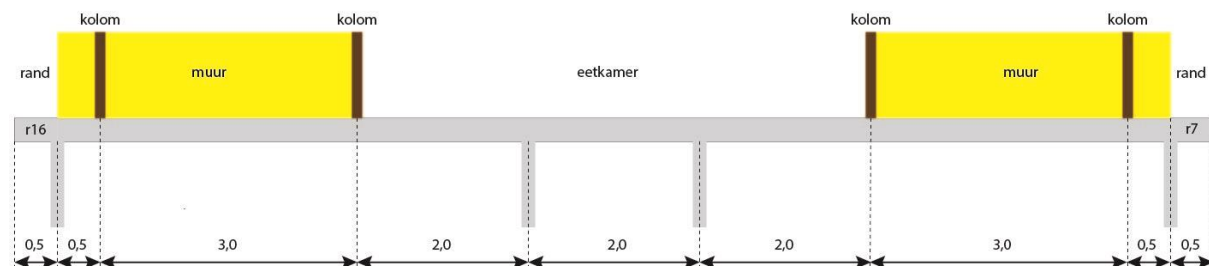
BELASTINGEN OP DE BEGANE GRONDVLOER

Er is gekozen te kijken naar de strook r7-r16, te zien in afbeelding 4.1.1. Deze strook is het zwaarst belast, omdat deze het gewicht van twee strobalen muren draagt. Ook zullen deze muren werken als windverbanden, wat extra belastingen op de houten kolommen geeft. Het is nuttig alleen naar de zwaarst belaste strook te kijken, omdat voor de uitvoerbaarheid waarschijnlijk toch gekozen wordt over de gehele vloer dezelfde wapening te leggen. Er wordt van uitgegaan dat alle radiale muren een windverband bevatten. De wapening die nodig is voor het windverband op r7 kan zo ook toegepast worden op vergelijkbare radiaal r2 en de wapening die nodig is voor het windverband r16 op de overige radialen r5, r10, en r13.



Afbeelding 4.1.1: De plattegronden van de woning, met in rood gearceerd de betreffende strook r7-r16. Bewerking van (2)

Om de belastingen gemakkelijk te kunnen bepalen is gekozen voor een strookbreedte van 0,5 m. Dit is namelijk precies de breedte van de muren. Voor het bepalen van de belastingen kan de strook worden opgedeeld in 5 delen: rand, muur, eetkamer, muur en rand. In elke muur bevinden zich ook twee kolommen van het houtskelet. Dit is te zien in afbeelding 4.1.2.



Afbeelding 4.1.2: Schematisering strook r7-r16

Tabel 4.1.1. Belastingen op de begane grondvloer, voor een strook van 0,5 m over r7-r16.

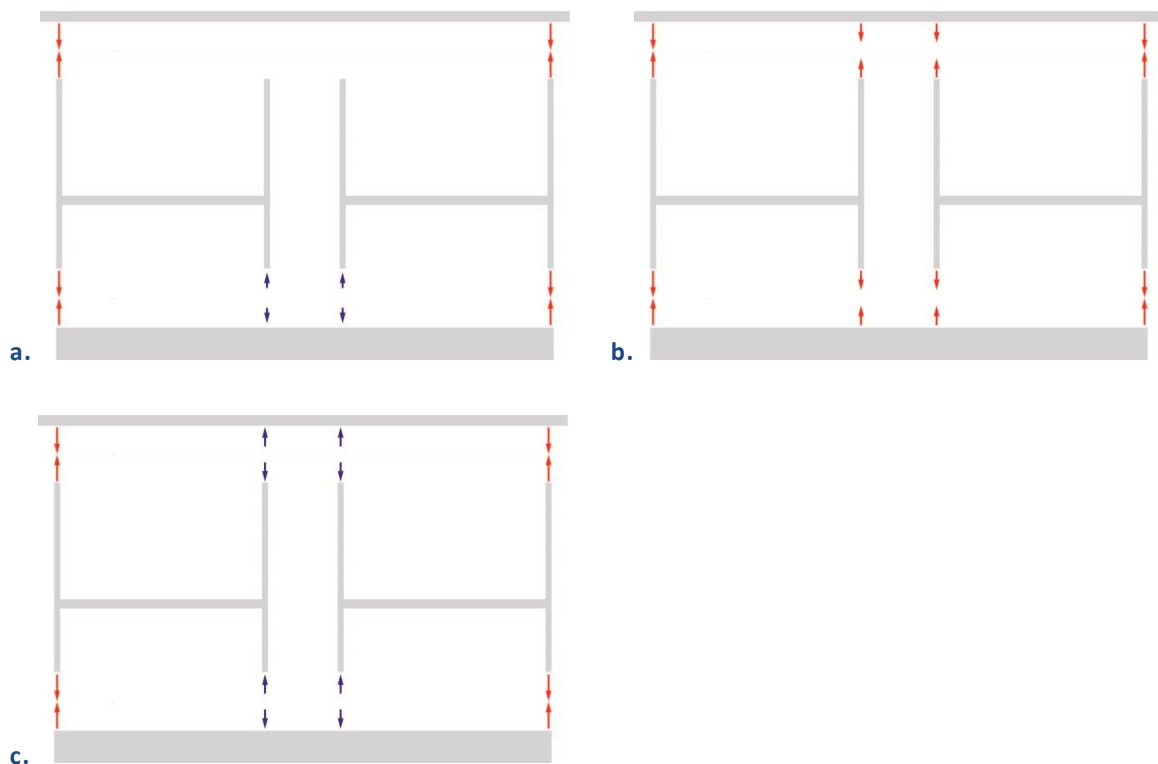
		r16					r7			
		0-0.5	0.5-4	1	4	4-10	10	13	10-13.5	13.5-14
		rand	muur	kolom	kolom	eetkamer	kolom	kolom	muur	rand
		q [kN/m]	q [kN/m]	F [kN]	F [kN]	q [kN/m]	F [kN]	F [kN]	q [kN/m]	q [kN/m]
e.g. begane grondvloer	7.75 [kN/m ²]	3.88	3.88			3.88			3.88	3.88
e.g. muur	3 [kN/m]		3.00						3.00	
e.g. houtskelet begane grond	1.5 [kN/m ²]			1.88	3.38		3.38	1.88		
e.g. strobouw 1e verdieping	2 [kN/m ²]				3.50		4.50	2.50		
e.g. sedumdak	0.5 [kN/m ²]			0.63	1.25		1.13	0.63		
totale eigengewicht		3.88	6.88	2.50	8.13	3.88	9.00	5.00	6.88	3.88

	ψ_o									
var. vloerbel. begane grond	0.4	1.75 [kN/m ²]	0.88	0		0.88			0	0.88
var. vloerbel. 1e verdieping	0.4	1.75 [kN/m ²]			2.63		2.63			
sneeuwbelasting	0	0.56 [kN/m ²]	0.28		0.70		1.26	0.70		0.28
windbelasting	0	300 [kNm]			50.0		50.0	-50.0		

In tabel 4.1.1 staan de belastingen op deze onderdelen weergegeven. In de tweede kolom staan voor de variabele belastingen de momentaanfactoren ψ_0 weergegeven conform (11). In derde kolom staan de belastingen zoals bepaald in paragraaf 2.1 *Grootte belastingen*. Het eigengewicht van de begane grondvloer is hierin $q_{e.g., begane_grondvloer} = h \cdot \gamma_{beton} + q_{afwerkvloer} = 0,27 \cdot 25 + 1,0 = 7,75 \text{ kN/m}^2$.

HET EFFECT VAN DE ONDERKELDERING

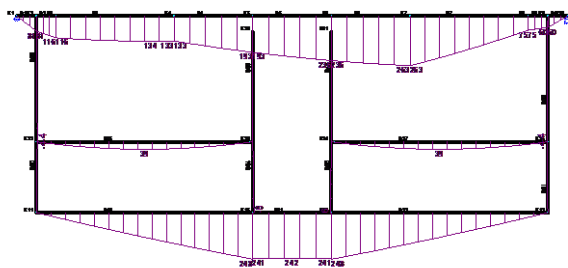
De onderkeldering kan, afhankelijk van de uitvoering, de begane grondvloer belasten en/of ondersteunen. Wanneer de centrale buis de begane grondvloer niet raakt, hangt de binnenbak alleen met zijn wanden aan de begane grondvloer. Wanneer de buis wel verbonden is aan de begane grondvloer, zijn er twee mogelijkheden. Als de vloer stijver is dan de wandliggers onderin de binnenbak, hangt de binnenbak via de buis en via de wanden aan de begane grondvloer. Als juist de wandliggers stijver zijn, steunt de begane grondvloer via de buis op de wandliggers. Deze kracht wordt vervolgens via de wanden weer naar de begane grondvloer geleid. Deze drie opties zijn weergegeven in afbeelding 4.2.1.



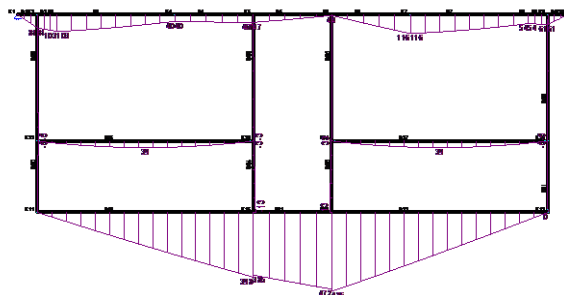
Afbeelding 4.2.1: De krachtsafdracht van de onderkeldering, met a. buis niet-dragend, b. buis dragend, begane grondvloer stijver dan wandligger en c. buis dragend, wandliggers stijver dan begane grondvloer

De belasting vanuit de onderkeldering is dus niet eenvoudig te bepalen, omdat deze afhangt van het stijfheidsverschil. Daarom is een vergelijking gemaakt in MatrixFrame tussen de twee gevallen: de middenbuis als dragend en de middenbuis als niet-dragend. Hierbij is gerekend met een strookbreedte van 0,5 m en zijn de belastingen uit tabel 4.1.1 gebruikt. Daarnaast is de variabele vloerbelasting van de kelder, het eigengewicht van de wanden, de buis, de keldervloer, de binnenbakkvloer en de wandliggers meegenomen. In de UGT is ook de belasting van volle watercompartimenten meegenomen. De resultaten hiervan zijn te zien in afbeelding 4.2.2.

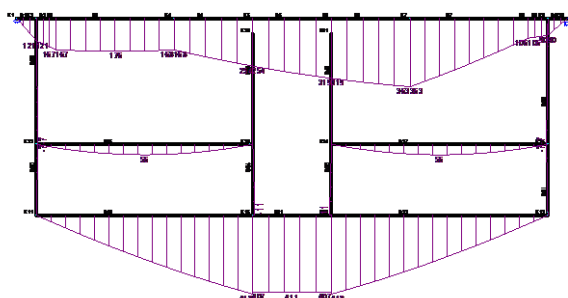
Hieruit kan geconcludeerd worden dat het voor de dimensionering van de begane grondvloer slimmer is de buis dragend te maken. De wandliggers dragen dan het grootste deel van de belasting. Dit is gunstig, aangezien deze toch al hoog zijn. De begane grondvloer hoeft alleen zijn belastingen af te dragen naar de buis en de buitenbak.



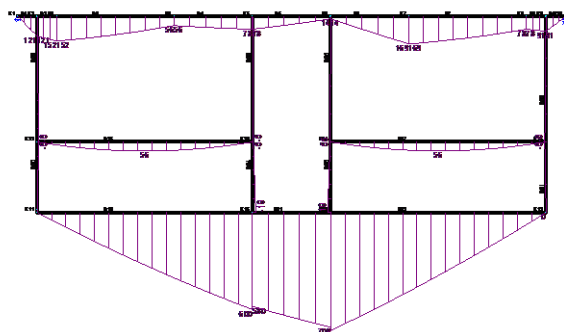
Afbeelding 4.2.2a: Buis niet dragend, BGT:
maximale moment begane grondvloer = 263 kNm
maximale moment wandligger = 248 kNm



Afbeelding 4.2.2b: Buis dragend, BGT:
maximale moment begane grondvloer = 116 kNm
maximale moment wandligger = 485 kNm



Afbeelding 4.2.2c: Buis niet dragend, UGT:
maximale moment begane grondvloer = 363 kNm
maximale moment wandligger = 418 kNm



Afbeelding 4.2.2b: Buis dragend, UGT:
maximale moment begane grondvloer = 169 kNm
maximale moment wandligger = 729 kNm

INVLOED STROOKBREEDTE

Bij deze paragraaf moet worden opgemerkt dat de strookbreedte van invloed is op het stijfheidsverschil tussen de wandliggers en de begane grondvloer. Bij de strook van 0,5 m is deze verhouding 12. Bij een bredere strook is deze verhouding uiteraard lager.

Een realistische strookbreedte is bijvoorbeeld een breedte die net als een wandligger $\frac{1}{4}$ van de vloer beslaat. Het strookoppervlak moet dan gelijk zijn aan de oppervlakte van twee tegenover elkaar liggende $\frac{1}{8}$ -partjes. Hiervoor is 2,6 m een goede benadering. Voor deze strookbreedte is de stijfheidsverhouding slechts 3. Merk hierbij op dat voor deze strookbreedte de belasting wel minder extreem is. De windbelasting uit de kolommen bijvoorbeeld zijn in totaal nog steeds vier lasten van 50 kN, en geen vijf keer zo grote lasten.

Bij een lagere stijfheidsverhouding gaat de vloer meer zelf dragen dan waar rekening mee gehouden is. Dit is voor de UGT (sterkte) gelukkig niet erg. Het is in een plastische bezwijkanalyse immers alleen van belang of de twee lagen samen de totale belasting kunnen dragen. Voor de BGT zou dit nog wel gecheckt moeten worden.

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

In de UGT is een eerste berekening van de benodigde langswapening gemaakt aan de hand van de momenten uit het MatrixFrame-model. Hiermee is alleen de benodigde langswapening aan de onderzijde bepaald. Bij de opleggingen moet rekening worden gehouden met een toevallig inklemmingsmoment. Hier moet een percentage van de berekende wapening aan de bovenzijde worden toegevoegd.

Hieronder wordt de berekening van de benodigde wapening toegelicht. De bijbehorende Excelsheet is te vinden in bijlage H *Handberekening wapening*. Voor de overige onderdelen is dezelfde methode gebruikt. Deze zal in de rest van dit hoofdstuk zonder toelichting worden toegepast.

Voor de wapening wordt geschat dat $\varnothing 25$ de benodigde diameter is. De dekking wordt gekozen op basis van de duurzaamheid. In een vochtig milieu moet de minimale dekking 25-30 mm zijn. Voor vloeren mag dit 5 mm minder zijn, dus wordt hier de ondergrens gekozen (pag. 13-4) (12). Voor de nuttige hoogte betekent dit $d = h - c - \frac{1}{2}\varnothing = 270 - 25 - \frac{1}{2} 25 = 233$ mm.

De inwendige hefboomsarm z wordt benaderd met $z = 0,9d$, dus $z = 209$ mm. Omdat de normaalkracht in de begane grondvloer 0 is, volgt uit het horizontale evenwicht dat de betondrukkracht gelijk is aan de staaltrekkracht: $N_c = F_s$. Het opneembare moment is dus $M_{rd} = z \cdot F_s = z \cdot A_s \cdot f_{yd}$. Andersom is de benodigde

hoeveelheid wapening $A_{s,benodigd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}}$. Voor standaard wapeningsstaal B500B is de vloeisterkte $f_{yd} = 435$

N/mm². In de vloer is het maximale moment 169 kNm. Hier is een wapening voor nodig van

$A_{s,benodigd} = \frac{169 \cdot 10^6}{216 \cdot 435} = 1799$ mm²/strookbreedte = 3579 mm²/m. Dit is een wapeningspercentage van

$\rho_{benodigd} = \frac{A_{s,benodigd}}{1000 \cdot d} = \frac{3579}{1000 \cdot 240} = 1,50\%$. Er wordt gekozen voor en net met Ø25-125, wat overeenkomt met $A_s = 3927$ mm²/m en een wapeningspercentage van 1,69%.

Er wordt nu uitgegaan van een betonsterkteklasse C35/45. Deze sterkteklasse is redelijk hoog voor een woning. Hij wordt gekozen wegens de grote overspanningen en de strenge waterdichtheidseisen aan andere onderdelen. Voor het gemak wordt namelijk voor alle onderdelen dezelfde sterkteklasse gebruikt.

Het minimum wapeningspercentage ter voorkoming van brosse breuk bedraagt voor deze betonsterkteklasse $\rho_{min} = 0,18\%$ (tabel 8.I). Het maximumwapeningspercentage ten behoeve van het waarschuwen bij bezwijken bedraagt $\rho_{max} = 2,35\%$ (tabel 8.III) (12). Het bepaalde wapeningspercentage van 1,69% ligt hiertussen, dus de dimensionering van 0,27 m is mogelijk. Wel is dit wapeningspercentage erg hoog voor een vloer, het past meer bij een balk. De berekende strook is echter wel een zeer zwaar belaste strook, dus het zou slechts een wapeningsstrook met dit percentage kunnen betreffen.

LANGSWAPENING: BGT (DOORBUIGING, SCHEURWIJDTE)

DOORBUIGING

De maximale doorbuiging in de begane grondvloer in de BGT is te halen uit MatrixFrame. Dit geeft voor de uiteindelijke doorbuiging $w_{max} = 49$ mm en als directe doorbuiging $w_{inst} = 25$ mm, dus de bijkomende doorbuiging is $w_{bij} = 49 - 25 = 24$. De uiteindelijke doorbuiging mag maximaal $w_{max} \leq 0,004\ell = 0,004 \cdot 14 = 56$ mm bedragen, de bijkomende doorbuiging maximaal $w_{bij} \leq 0,002\ell = 0,002 \cdot 14 = 28$ mm, want op deze vloer komen gestucte wanden. De begane grondvloer voldoet dus aan de doorbuigingseisen.

SCHEURWIJDTE: DUURZAAMHEID

De scheurwijdte wordt berekend conform de Eurocode, met behulp van (vgl 15.20) (12). Deze vergelijking geeft de scheurwijdte in de fase van voltooide scheurvorming op de lange duur en luidt als volgt:

$w_{max} = \frac{\sigma}{4\rho E_s} \{ \sigma_s - 0,3 \frac{f_{ctm}}{\rho} (1 + \alpha_E \rho) + \epsilon_{cs} E_s \}$. Hierin is ρ het effectieve wapeningspercentage. Voor een element

op trek is dit gelijk aan het 'normale' wapeningspercentage. Voor een element op buiging is dit $\rho = \frac{A_s}{h_{eff} b}$ met

$h_{eff} = \min\{2,5(h-d); ((h-x)/3; h/2)\}$. Voor de begane grondvloer levert dit $h_{eff} = 0,062$ m en $\rho = 6,30\%$.

E_s is de elasticiteitsmodulus van staal, waarvoor 200.000 N/mm² wordt aangehouden. De staalspanning is gelijk

aan $\sigma_s = \frac{N_s}{A_s} = \frac{M}{z \cdot A_s} = \frac{116 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{209 \cdot 3927} = 282$ N/mm². f_{ctm} is de treksterkte van beton, welke voor C35/45 gelijk is

aan 3,2 N/mm². α_E geeft de verhouding tussen E_s en E_{cm} weer, en is gelijk aan $\alpha_E = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200.000}{34.000} = 2,88$. In

verband met de vochtige omgeving wordt er verondersteld dat er geen krimp optreedt, dus $\epsilon_{sc} = 0$.

Omdat deze formule alleen geldig is in de fase van voltooide scheurvorming, wordt gecontroleerd of $M_{Ed} > M_{cr}$. Hiervoor wordt het scheurmoment bepaald met $M_{cr} = \frac{1}{6} b h^2 \cdot f_{ctm,fl} = \frac{1}{6} b h^2 \cdot (1,6-h) f_{ctm} = 26$ kNm. Het optredende moment in de BGT $M_{Ed} = 116$ kNm is groter dan dit scheurmoment, dus de formule voor de scheurwijdte is geldig.

De optredende scheurwijdte in de begane grondvloer wordt hiermee $w_{\max} = \frac{25}{4 \cdot 6,30\% \cdot 200.000} \{282 - 0,3 \frac{3,2}{6,30\%} (1 + 5,88 \cdot 6,30\%) + 0\} = 0,13 \text{ mm}$. Dit ligt ruim onder de duurzaamheidseis van $w_{\max} = 0,3 \text{ mm}$.

DWARSKRACHTCONTROLE

De afschuifcapaciteit zonder schuifwapening kan conform de Eurocode berekend worden met de formule $V_{Rd,c} = v_{Rd,c} b d$ waarin $v_{Rd,c} = 0,12 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/4}$ met een minimumwaarde van $v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$. Hierin is b de breedte, d de nuttige hoogte, ρ_l het langswapeningspercentage met $\rho_l \leq 2\%$, f_{ck} de karakteristieke druksterkte en $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$. Voor de begane grondvloer is $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{233}} \leq 2 = 1,93$. $\rho_l = 1,69\%$ en $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$. Dit geeft $v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,93 \cdot (100 \cdot 1,69\% \cdot 35)^{1/4} = 0,90 \text{ N/mm}^2$ met $v_{\min} = 0,035 \cdot 1,93^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,55 \text{ N/mm}^2$. Dit geeft een afschuifcapaciteit zonder schuifwapening van $V_{Rd,c} = 0,90 \cdot 500 \cdot 233 = 105 \text{ kN}$.

De grootste optredende dwarskracht volgt uit het MatrixFrame-model. Deze bedraagt $V_{Ed} = 244 \text{ kN}$ voor alleen het uitkragende deel van de begane grondvloer. Dit is meer dan de afschuifcapaciteit, dwarswapening is dus vereist. De hoeveelheid wapening kan worden berekend met de formule $\text{ben.} \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot \cot \theta \cdot f_{ywd}}$ (blz.X-30) (12).

Deze hoeveelheid is $\text{ben.} \frac{A_{sw}}{s} = \frac{105 \cdot 10^3}{0,209 \cdot 1 \cdot 435} = 2681 \text{ mm}^2/\text{m}$. Over het uitkragende deel is dus $2681 \cdot 0,5 = 1340 \text{ mm}^2$ nodig, bijvoorbeeld 6 beugels $\emptyset 12$ met $A_{sw} = 6 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 = 1357 \text{ mm}^2$.

4.2 WANDEN BINNENBAK

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

Wanneer de binnenbak volledig in het water drijft, levert het water horizontale druk op de wanden. Deze druk is voor elke hoogte constant over de omtrek. De waterdruk wordt door de wanden dan ook opgenomen door ringwerking. (De wanddelen hoeven dus niet afzonderlijk als buigligger bekeken worden!) Aan de onderzijde ontstaat de grootste ringkracht. De waterdruk is hier maximaal 5 m, als het de woning zo zwaar belast wordt dat deze niet meer kan drijven. De waterdruk is dan $p = 5 \cdot 10 = 50 \text{ kN/m}^2$, dus $p_{Ed} = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ kN/m}^2$. Dit geeft een ringdrukkracht van $N = \sigma_w \cdot r \cdot b = 60 \cdot 6,5 \cdot 1 = 390 \text{ kN/m}$, oftewel $\sigma_{cc} = \frac{N}{d \cdot b} = \frac{390 \cdot 10^3}{160 \cdot 1000} = 2,4 \text{ N/mm}^2$. Dit ligt ruim onder de druksterkte van $f_{cd} = 35/1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2$.

BELASTINGCOMBINATIE 8

De tweede situatie die maatgevend kan zijn, is de situatie dat de binnenbak op de buitenbak hangt. Een bovengrens voor de verticale normaalkracht in de wanddelen is te halen uit dezelfde MatrixFrame als die gebruikt is in paragraaf 4.1 *Begane grondvloer*. Deze normaalkracht bedraagt 203 kN in UGT en 132 kN in BGT.

In de UGT is een minimale wapening nodig van $A_s = \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{203 \cdot 10^3}{435} = 467 \text{ mm}^2$ voor de strook van 0,5 m. In de standaard silo-elementen is zowel aan de binnen als aan de buitenzijde $\emptyset 7-100$ (17). Dit is een totale oppervlakte $A_s = 2 \cdot \left(\frac{7}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{500}{100} = 384 \text{ mm}^2$. De wapening van een standaard silo-element voldoet dus niet. In plaats hiervan wordt gekozen voor $\emptyset 10-150$, met een oppervlakte van $A_s = 2 \cdot \left(\frac{10}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \frac{500}{150} = 524 \text{ mm}^2$.

LANGSWAPENING: BGT (SCHEURWIJDTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

In belastingcombinatie 1 zijn de wanden in alle richtingen gedrukt. Er is dus geen sprake van scheurvorming. Deze worden dan ook niet gecheckt.

BELASTINGCOMBINATIE 8

Voor het geval dat de binnenbak hangt zijn de eisen aan de scheurwijdte zijn niet de strenge 0,04 mm voor waterdichtheid, maar de gebruikelijke 0,3 mm voor duurzaamheid. De buitenbak is in deze situatie immers leeg, dus waterdichtheid is niet nodig. Wel moet de staalspanning ver beneden de vloeispanning blijven, om te garanderen dat de in BC8 ontstane scheuren weer dicht gedrukt worden wanneer BC1 weer optreedt.

De wanden zijn een element op trek. Hier geldt dus $\rho_{eff} = \rho = 0,78\%$. De scheurtrekkkracht is gelijk aan $N_{cr} = h \cdot b \cdot f_{ctm} = 160 \cdot 500 \cdot 3,2 = 256 \cdot 10^3$ N. Hier geldt dat $N_{Ed} < N_{cr}$, dus is er nog sprake van de scheurvormingsfase. In deze fase geldt de formule $w_{max} = \frac{\sigma}{8\rho E_s} \left\{ \frac{f_{ctm}}{\rho} (1 + \alpha_E \rho) \right\}$. Dit geeft voor de wanden dat

$$w_{max} = \frac{10}{8 \cdot 0,78\%} \frac{1}{200.000} \left\{ \frac{3,2}{0,78\%} (1 + 5,88 \cdot 0,78\%) \right\} = 0,32 \text{ mm.}$$

Dit is hoger dan de toegestane 0,3 mm met betrekking tot de duurzaamheid. Daarom is gekozen de wapening te verhogen naar $\emptyset 10-125$ aan beide zijden van de wand. Met deze wapening wordt de scheurwijdte maximaal 0,23 mm en voldoet deze wel aan de eisen.

De staalspanning in BC8 in BGT bedraagt $\sigma_s = \frac{N_s}{A_s} = \frac{132 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{1047} = 252 \text{ N/mm}^2$. Dit ligt ver beneden de vloeispanning $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$. Er mag dus aangenomen worden dat deze scheuren weer dichtgedrukt kunnen worden.

DWARSKRACHTCONTROLE

In BC1 wordt de waterdruk opgenomen door de ringwerking. Er is dan dus geen dwarskracht. In BC8 geeft het MatrixFrame-model geen dwarskracht aan. Er hoeven dus geen maatregelen genomen te worden voor de dwarskracht in de wanden van de binnenbak.

4.3 BUIS

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

Wanneer de binnenbak drijft, werken op de buis dezelfde horizontale waterdrukken als op de wanden. Voor de buis levert dit nu alleen juist een ringtrekkkracht op. De grootte hiervan is $N = \sigma_w \cdot r \cdot b = 60 \cdot 1 \cdot 1 = 60 \text{ kN/m}$.

Hiervoor is een ringwapening nodig van $A_s = \frac{N}{f_{yd}} = \frac{60 \cdot 10^3}{435} = 138 \text{ mm}^2/\text{m}$. Hiervoor wordt $\emptyset 6-100$ gekozen, met

een doorsnede $A_s = 283 \text{ mm}^2/\text{m}$. Hierdoor komt het wapeningspercentage op 0,21%, net boven het minimum vereiste van 0,20%.

BELASTINGCOMBINATIE 8

Voor de hangende situatie kunnen wederom de snedekrachten uit het MatrixFrame-model van paragraaf 4.1 *Begane grondvloer* gebruikt worden. Deze waarden vormen een bovengrens van de werkelijke drukkracht. De buis wordt volgens dit model belast op een normaalkracht van -172 kN in UGT en -124 kN in BGT. Dit komt

overeen met een betondrukspanning van $\sigma_{cc} = \frac{N}{A} = \frac{172 \cdot 10^3}{\pi \cdot (1080^2 - 920^2)} = 0,17 \text{ N/mm}^2$. Dit ligt ruim onder de betondruksterkte van $f_{cd} = 23,3 \text{ N/mm}^2$.

LANGSWAPENING: BGT (SCHEURWIJDTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

Een ring van de buis wordt benaderd als trekelement. De scheurtrekkkracht van dit element is $N_{cr} = 512 \text{ kN}$. De aanwezige trekkkracht is een orde kleiner dan deze scheurkracht. Daarom wordt verondersteld dat er zeker geen scheuren optreden.

BELASTINGCOMBINATIE 8

In belastingcombinatie 8 wordt de buis alleen op druk belast, en is van scheurvorming dus geen sprake.

DWARSKRACHTCONTROLE

Voor de buis geldt hetzelfde als voor de wanden van de binnenbak. Er hoeven dus geen maatregelen genomen te worden voor de dwarskracht.

4.4 BINNENBAKVLOER

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

De vloer draagt in de meest extreme toestand een belasting van 50 kN/m^2 waterdruk omhoog, en een belasting van $25 \cdot 0,15 = 3,75 \text{ kN/m}^2$ eigengewicht omlaag. In UGT is dit totaal $q_{Ed} = 1,2 \cdot 50 - 0,9 \cdot 3,75 = 56,6 \text{ kN/m}^2$ omhoog. Dit geeft een moment van maximaal $M_{Ed} = \frac{1}{8} q_{Ed} \ell^2 = \frac{1}{8} \cdot 56,6 \cdot 3,4^2 = 81,8 \text{ kNm/m}$. Hiervoor is een wapening nodig van $A_{s, \text{benodigd}} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{81,8 \cdot 10^6}{105 \cdot 435} = 1786 \text{ mm}^2$. Er wordt gekozen voor $\emptyset 16-100$ met $A_s = 2011 \text{ mm}^2$.

BELASTINGCOMBINATIE 8

In belastingcombinatie 8 werkt op de vloer in de UGT het eigen gewicht en een laag van 70 cm water. Dit is $q_{Ed} = 1,2 \cdot 3,75 + 1,5 \cdot 7 = 15,0 \text{ kN/m}^2$. Hiervoor is een wapening nodig van $A_{s, \text{benodigd}} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{15,0 \cdot 10^6}{105 \cdot 435} = 315 \text{ mm}^2$. Er wordt gekozen voor $\emptyset 7-100$ met $A_s = 385 \text{ mm}^2$.

LANGSWAPENING: BGT (SCHEURWIJDTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

In belastingcombinatie 1 moet de scheurwijdte voldoen aan de eisen voor waterdichtheid, ofwel $w_{max} = 0,04 \text{ mm}$. In BGT is de belasting $q_{Ed} = 50 - 3,75 = 46,3 \text{ kN/m}^2$ en dus $M_{Ed} = \frac{1}{8} q_{Ed} \ell^2 = \frac{1}{8} \cdot 46,3 \cdot 3,4^2 = 66,9 \text{ kNm/m}$. Het scheurmoment bedraagt $17,4 \text{ kNm}$, dus het gaat om de voltooide scheurvorming. Hieruit volgt dat de lange duur scheurgrootte gelijk is aan $w_{max} = 0,10 \text{ mm}$. Dit is meer dan de toegestane scheurwijdte. De scheurwijdte kan gereduceerd worden tot $w_{max} = 0,034 \text{ mm}$ als meer wapening wordt geplaatst, $\emptyset 16-60$. Dan wordt het maximale wapeningspercentage echter overschreden ($\rho = 2,86\%$). Om deze reden wordt de dikte verhoogd tot $0,17 \text{ m}$ en wordt een wapening $\emptyset 16-65$ toegepast. Dit levert een scheurwijdte $w_{max} = 0,039 \text{ mm}$ en een wapeningspercentage van $\rho = 2,26\%$. Merk op dat dit wapeningspercentage is toegestaan, maar het is voor een vloer wel erg hoog.

BELASTINGCOMBINATIE 8

In belastingcombinatie 8 moet de scheurwijdte voldoen aan de eisen voor duurzaamheid, ofwel $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$. In BGT is de belasting $q_{Ed} = 4,25 + 7 = 11,25 \text{ kN/m}^2$ en dus $M_{Ed} = \frac{1}{8} q_{Ed} \ell^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,25 \cdot 3,4^2 = 16,3 \text{ kNm/m}$. Het scheurmoment bedraagt met de gewijzigde dikte $22,0 \text{ kNm}$. Omdat het optredende $\frac{3}{4}$ is van het scheurmoment, wordt aangenomen dat er geen scheuren optreden.

DWARSKRACHTCONTROLE

De maximale dwarskracht treedt op in BC1. De dwarskracht is dan $V_{Ed} = 66,9 \cdot 3,4/2 = 96 \text{ kN}$. De afschuifcapaciteit zonder schuifwapening bedraagt $V_{Rd,c} = 136 \text{ kN}$. Deze capaciteit is voldoende, dus er is geen schuifwapening nodig.

4.5 WANDLIGGERS

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

Wanneer de binnenbak drijft, dragen de wandliggers de waterdruk op de binnenbakvloer. De wandliggers dragen overspannen van de wand van de binnenbak tot de betonnen buis, over een lengte van $4,6 \text{ m}$. Aan beide kanten draagt de ligger ongeveer $\frac{1}{3}$ van de belasting op het compartiment. Met de gewijzigde dikte van de binnenbakvloer is dit $q_{Ed} = 1,2 \cdot 50 - 0,9 \cdot 4,25 = 56,2 \text{ kN/m}^2$. Dit is dus

$2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 15 \text{ m}^2 \cdot 56,2 \text{ kN/m}^2 / 4,6 \text{ m} = 122 \text{ kN/m}$ belasting uit de binnenbalkvloer omhoog. Het eigen gewicht levert nog eens $0,9 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ kN/m}$ omlaag. Samen is dit een $q_{Ed} = 120 \text{ kN/m}$ omhoog. Dit geeft een moment van maximaal $M_{Ed} = \frac{1}{8} q_{Ed} \ell^2 = \frac{1}{8} \cdot 120 \cdot 4,6^2 = 317 \text{ kNm}$.

Hiervoor is een wapening nodig van $A_{s, \text{benodigd}} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{317 \cdot 10^6}{753 \cdot 435} = 967 \text{ mm}^2$. Er is gekozen voor 5 staven $\varnothing 16$, wat gelijk is aan $A_s = 1005 \text{ mm}^2$.

BELASTINGCOMBINATIE 8

Het MatrixFrame-model zoals gepresenteerd in de paragraaf 4.1 *Begane grondvloer* geeft ook een bovengrens voor de wandliggers. Het maximale moment bedraagt 729 kNm . Hiervoor is een wapening aan de onderzijde nodig van $A_s = 2434 \text{ mm}^2$. Deze wapening mag verdeeld worden over de volledige effectieve breedte van de T-ligger.

Deze effectieve breedte kan berekend worden volgens (vgl. 8.24 en 8.25) (12). De te hanteren lengte is het kleinst nabij de opleggingen, $l_0 = 0,15 \cdot (l_1 + l_2) = 0,15 \cdot (3,4 + 6,1) = 1,425 \text{ m}$. De kleinste lengte geeft een ondergrens voor de effectieve breedte, en is dus een veilige keuze. De breedten van de overspanningen naast de wandliggers zijn $b_1 = (3,4 - 0,1) / 2 = 1,65 \text{ m}$ en $b_2 = (6,1 - 0,1) / 2 = 3,0 \text{ m}$. De effectieve breedten worden hiermee $b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,65 + 0,1 \cdot 1,425 = 0,4725$, met $b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 3,0 + 0,1 \cdot 1,425 = 0,7425$, waarbij $b_{eff,2} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,425 = 0,285 \text{ m}$. De totale effectieve breedte wordt daarmee $b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + w = 0,4725 + 0,285 + 0,1 = 0,8575 \text{ m}$.

De benodigde wapening is bijvoorbeeld 8 $\varnothing 20$ ($A_s = 2513 \text{ mm}^2$). Deze wapening kan met een tussenruimte van 90 mm gemakkelijk over de effectieve breedte aangebracht worden.

LANGSWAPENING: BGT (SCHEURWIJDTE)

BELASTINGCOMBINATIE 1

De wandliggers hoeven in belastingsgeval 1 niet te voldoen aan de scheurwijdte-eis voor waterdichtheid. Wanneer zich immers scheuren vormen in de wandliggers, vormen deze zich aan de trekzijde. Dit is in BC1 de bovenkant, dus het lijf van de liggers. Deze hoeven niet waterdicht te zijn, alleen de vloer hoeft waterdicht te zijn. Daarom wordt voor dit onderdeel alleen op de duurzaamheid gecheckt.

Het scheurmoment voor een negatief buigend moment in de T-liggers is $M_{cr} = 46 \text{ kNm}$. De belasting in BGT is vanuit de vloer is $q_{Ed} = 50 - 4,25 = 45,8 \text{ kN/m}^2$, dus de lijnlast vanuit de vloer op de wandligger is $2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 15 \text{ m}^2 \cdot 45,8 \text{ kN/m}^2 / 4,6 \text{ m} = 99,6 \text{ kN/m}$ omhoog. Uit de wandligger zelf komt nog een eigen gewicht van $25 \cdot 0,7 \cdot 0,1 = 1,8 \text{ kN/m}$ omlaag. Samen is dit $97,8 \text{ kN/m}$ omhoog. Het maximale moment bedraagt dan $M_{Ed} = \frac{1}{8} q_{Ed} \ell^2 = \frac{1}{8} \cdot 97,8 \cdot 4,6^2 = 259 \text{ kNm}$. Dit is hoger dan het scheurmoment, dus er is sprake van de voltooide scheurvormingsfase.

De maximale scheurwijdte is dan $w_{max} = 0,40 \text{ mm}$. Dit is meer dan de toegestane $0,3 \text{ mm}$ voor duurzaamheid. Daarom wordt gekozen de wapening te verhogen naar 5 staven $\varnothing 20$. Hiermee wordt de maximale scheurwijdte $w_{max} = 0,21 \text{ mm}$.

BELASTINGCOMBINATIE 8

Het scheurmoment voor een positief moment in de T-liggers is $M_{cr} = 86 \text{ kNm}$. De belasting in BGT volgt uit het MatrixFrame-model in de paragraaf 4.1 *Begane grondvloer* en is $M_{Ed} = 485 \text{ kNm}$. Hier is dus weer sprake van de voltooide scheurvormingsfase. Hieruit volgt een scheurwijdte $w_{max} = 0,41 \text{ mm}$.

Dit is meer dan de toegestane $0,3 \text{ mm}$. Daarom is de wapening verhoogd naar 7 staven $\varnothing 25$. De scheurwijdte wordt dat $w_{max} = 0,29 \text{ mm}$.

DWARSKRACHTCONTROLE

De maximale dwarskracht in BC1 is $V_{Ed} = 120 \cdot 4,6 / 2 = 276 \text{ kN}$. In BC8 is de maximale dwarskracht uit het MatrixFrame-model te halen: $V_{Ed} = 151 \text{ kN}$. De afschuifcapaciteit zonder schuifwapening bedraagt $V_{Rd,c} = 307 \text{ kN}$. Deze capaciteit is voldoende, dus er is geen schuifwapening nodig.

4.6 KELDervLOOR

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

De keldervloer is in het MatrixFrame-model scharnierend opgelegd. Voor beide belastinggevallen volgt dus hetzelfde resultaat: $M_{Ed} = 56 \text{ kNm}$ voor de UGT en $M_{Ed} = 39 \text{ kNm}$ voor de BGT. Hiervoor is een wapening nodig

van $A_{s, \text{benodigd}} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{56 \cdot 10^6}{186 \cdot 435} = 1192 \text{ mm}^2/\text{m}$. Er is gekozen voor $\varnothing 16-125$, wat een wapening van $A_s = 1608 \text{ mm}^2/\text{m}$ geeft.

LANGSWAPENING: BGT (DOORBUIGING, SCHEURWIJDTE)

Dikte van de keldervloer is in paragraaf 3.2 *Dikten van de elementen* zo gekozen dat de zakking $w_{\max} \leq 0,004\ell$. Dit is namelijk het uitgangspunt waarmee de gebruikte vuistregel is afgeleid. Aan de keldervloer worden geen aanvullende eisen gesteld, er staan immers geen steenachtige wanden op. Daarom wordt hier zonder verdere berekening gesteld dat de keldervloer voldoet aan de doorbuigingseisen.

De keldervloer moet voldoen aan de scheurwijdte-eis met betrekking tot duurzaamheid. Het scheurmoment bedraagt $M_{cr} = 42 \text{ kNm}$. Er is dus sprake van de scheurvormingsfase. De scheurwijdte die hieruit volgt is $w_{\max} = 0,17 \text{ mm}$.

DWARSKRACHTCONTROLE

De maximale dwarskracht in de keldervloer is uit het MatrixFrame-model te halen: $V_{Ed} = 40 \text{ kN}$. De afschuifcapaciteit zonder schuifwapening bedraagt $V_{Rd,c} = 74 \text{ kN}$. Deze capaciteit is voldoende, dus ook hier er is geen schuifwapening nodig.

4.7 WANDEN BUITENBAK

LANGSWAPENING: UGT (STERKTE)

BELASTINGCOMBINATIE 8

Uit het MatrixFrame-model blijkt dat de wanden van de buitenbak een oplegkracht van $N_{Ed} = 244 \text{ kN}$ moeten

leveren. Dit geeft een drukspanning in het beton van $\sigma_{cc} = \frac{N}{d \cdot b} = \frac{244 \cdot 10^3}{160 \cdot 500} = 3,1 \text{ N/mm}^2$. Dit ligt ver onder de druksterkte van $f_{cd} = 35/1,5 = 23,3 \text{ N/mm}^2$.

Naast de binnenbak, werkt ook de gronddruk op de buitenbak. De verticale gronddruk bedraagt onderaan de bak, op $d = 6 \text{ m}$, $\sigma_v = 2,5 \cdot \gamma_{\text{droog}} + (6 - 2,5) \cdot \gamma_{\text{nat}} = 2,5 \cdot 20 + (6 - 2,5) \cdot 18 = 63 \text{ MPa}$. De grondwaterdruk is hier $p = (6 - 2,5) \cdot \gamma_{\text{water}} = (6 - 2,5) \cdot 10 = 35 \text{ MPa}$. De verticale korreldruk is dus $\sigma'_v = \sigma_v - p = 63 - 35 = 28 \text{ MPa}$. Dit levert een horizontale druk van $\sigma_h = \frac{1}{3} \cdot \sigma'_v + p = \frac{1}{3} \cdot 28 + 35 = 44,3 \text{ MPa}$. In de onderste ring heerst dus dan een normaaldrukkracht van $N = 1,5 \cdot \sigma_w \cdot r \cdot b = 1,5 \cdot 44,3 \cdot 7 \cdot 1 = 465 \text{ kN/m}$. Dit levert een betonspanning van

$\sigma_{cc} = \frac{N}{d \cdot b} = \frac{465 \cdot 10^3}{160 \cdot 500} = 5,8 \text{ N/mm}^2$. Ook deze drukspanning ligt ver onder de druksterkte.

De standaard wandelementen kunnen deze belastingen prima afdragen.

LANGSWAPENING: BGT (SCHEURWIJDTE)

De wanden van de buitenbak worden gedrukt. Er is dus geen sprake van scheurvorming.

DWARSKRACHTCONTROLE

BELASTINGCOMBINATIE 3

Uitgaande van minimaal 6 geleidewielen, hoeft elk geleidewiel maximaal de helft van de horizontale windbelasting op te kunnen vangen. Dit levert een dwarskracht van maximaal $V_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 100 = 75 \text{ kN}$ in het bijbehorende wandelement. De afschuifcapaciteit zonder schuifwapening van een element (breedte 1,50 m) is $V_{Rd,c} = 130 \text{ kN}$. Deze capaciteit is voldoende, dus ook hier er is geen schuifwapening nodig.

4.8 BUITENBAKVLOER

De buitenbakvloer wordt door de fabrikant normaal gesproken gebruikt voor mestilo's. Daar is de vloer op ontworpen. De buitenbakvloer wordt in geen van de belastingcombinatie anders belast dan een standaard mestilo belast wordt. Deze wordt hij hier daarom niet nogmaals doorgerekend.

4.9 CONCLUSIE

Uit de handberekening blijkt dat de in hoofdstuk 3 gemaakte dimensionering realistisch is. Alleen de dikte van de binnenbakvloer is aangepast. Deze zelfde dimensionering zal dus gebruikt worden voor de berekening met het eindige elementenprogramma Scia Engineer, met de aanpassing van de dikte van de binnenbakvloer.

Ook komt nu naar voren dat voor deze variant de standaard wandelementen niet voldoen. Deze moeten speciaal worden besteld met extra verticale wapening.

Ook de reeds aangeschafte ongewapende betonnen buis voldoet niet. Hij is niet lang genoeg, en bevat geen minimale wapening. Met het oog op de verbindingen kan deze buis misschien beter op maat gemaakt worden. De verbindingen met de buis kunnen dan hetzelfde uitgevoerd worden als de wandelementen.

Omdat in de handberekening van de begane grondvloer nog een grote foutmarge zit, zal deze nogmaals nader bekeken worden met behulp van het eindige elementen programma Scia Engineer. Voor de overige onderdelen wordt de handberekening als voldoende nauwkeurig beschouwd.

Het wapeningspercentage van de begane grondvloer is erg hoog. Mocht uit de eindige elementen berekening blijken dat dit wapeningspercentage over de gehele vloer vereist is, dan is het aan te raden om voorspanning in de begane grondvloer te overwegen. Voor de binnenbakvloer geldt hetzelfde. De mogelijkheid tot voorspanning valt echter buiten de scope van dit Bacheloreindwerk.

5 BEREKENING EEM

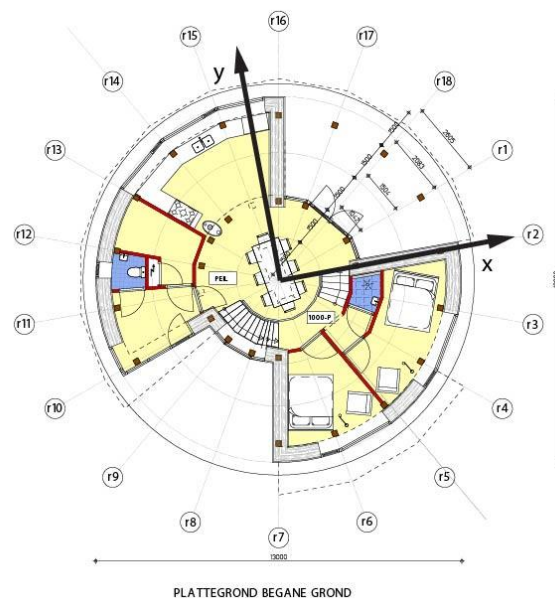
In dit hoofdstuk wordt de eindige elementen berekening besproken. Deze berekening is gemaakt met het programma Scia Engineer. Hierin is een model gemaakt van de binnenbak, voor het bepalen van de wapening in de begane grondvloer en het lagere deel, de vloer van de slaapkamers. Achtereenvolgens worden hier het model, de berekening en de resultaten besproken.

5.1 HET MODEL

In deze paragraaf wordt het gebruikte model toegelicht.

ASSENSTELSEL

Om de geometrie te kunnen invoeren, is een assenstelsel gedefinieerd. Het punt (0,0,0) is gekozen aan de onderzijde van het midden van de begane grondvloer. De z-as wijst omhoog, de x-as loopt over r2. Zie hiervoor ook afbeelding 5.1.1.



Afbeelding 5.1.1: Het gebruikte assenstelsel voor het model in Scia Engineer, met de x-as op r2. Bewerking van (2)

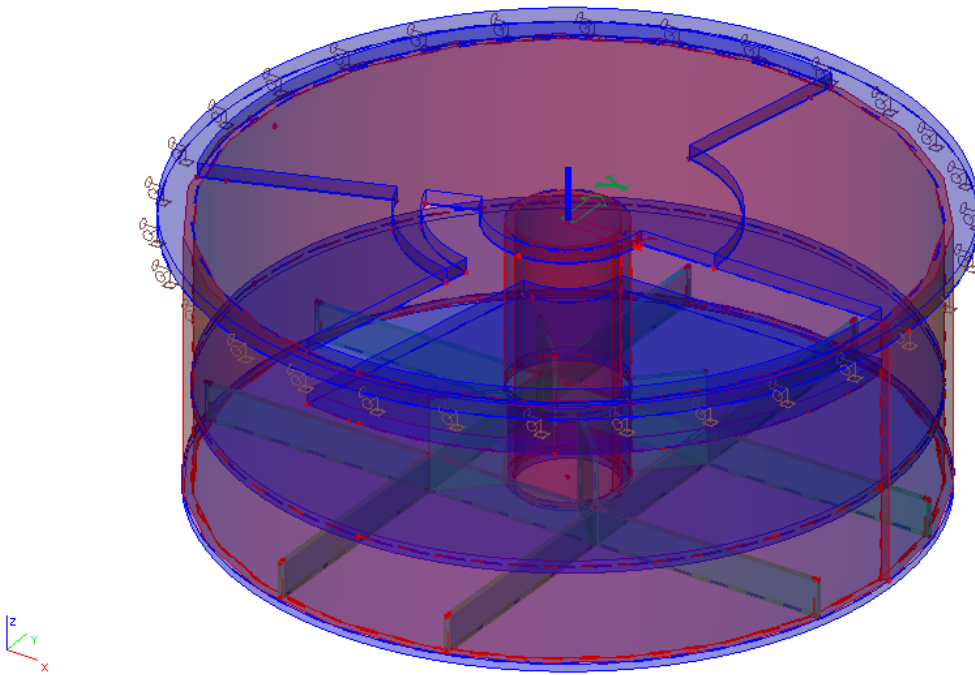
ELEMENTEN

Alle bekende elementen (de begane grondvloer, de slaapkamervloer, de keldervloer, de binnenbakkvloer, de wanden, de buis, de wandliggers) zijn ingevoerd met de dikten en afmetingen zoals besproken in hoofdstuk 3 *Dimensionering – Deel I*. Daarnaast zijn nog vier schotjes toegevoegd tussen de onderkant van de buis en de wandliggers. Deze dienen voor de krachtsoverdracht van de buis op de wandliggers, zie hoofdstuk 7 *Maakbaarheid*. Deze schotjes hebben een dikte van 100 mm gekregen.

Daarnaast is een subregio aangemaakt in de begane grondvloer, daar waar de woning zal komen. Deze zone is later gebruikt voor het definiëren van de belastingen. Een en ander is te zien in afbeelding 5.1.2.

OPLEGGING

In het model is een scharnierende oplegging ingevoerd op de buitenrand van de begane grondvloer. Deze oplegging heeft rotatievrijheid in x- en y-richting. Dit staat model voor een gelijkmatige ondersteuning over de gehele omtrek door de buitenbak. Deze oplegging is ook te zien in afbeelding 5.1.2.



Afbeelding 5.1.2: Transparante parallelprojectie van de elementen in Scia Engineer

BELASTINGGEVALLEN

In het model zijn acht belastinggevallen gedefinieerd om BC8 uit paragraaf 2.2 *Belastingcombinaties* te modelleren. BC8 is namelijk maatgevend voor de begane grond.

Belastinggeval 1 omvat het eigengewicht van de ingevoerde elementen, wat door het programma wordt uitgerekend. Belastinggeval 2 omvat het eigengewicht van de woning bovenop de binnenbak. Deze bestaat uit een oppervlakte belasting van 1 kN/m^2 (de afwerkvloer), lijnlasten van 3 kN/m (de strobale muren) en zevenentwintig puntlasten uit de kolommen, variërend van 8 tot 43 kN. De puntlasten op r2 en r7 zijn hierbij op de slaapkamervloer geplaatst. De exacte puntlasten zijn terug te lezen in bijlage I *Input Scia Engineer*.

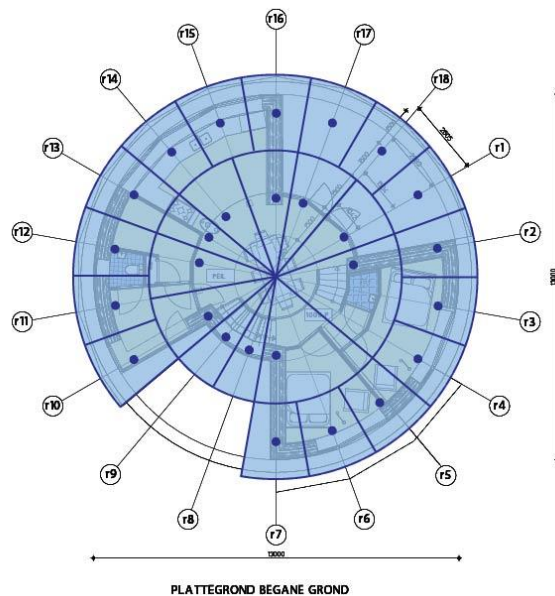
De puntlasten zijn gevonden door aan elke kolom een deel van de oppervlakte belasting op de eerste verdieping en het dak toe te kennen. De verdeling van deze lasten is te zien in afbeelding 5.1.3. Omdat de kolommen niet op elke radiaal staan, dragen sommige kolommen meer dan anderen. Vooral de binnenste kolommen op r2 en r7 krijgen opvallend veel belasting te dragen.

Belastinggevallen 3, 4 en 5 bevatten de variabele vloerbelasting op respectievelijk de begane grond, de kelder en de eerste verdieping. De eerste twee zijn ingevoerd als oppervlakte belasting van $1,75$ respectievelijk $7,5 \text{ kN/m}^2$. De variabele belasting op de eerste verdieping is volgens afbeelding 5.1.3 omgezet in puntlasten variërend van 3 tot 8 kN.

Belastinggeval 6 is de sneeuwbelasting. Deze bestaat uit een oppervlakte belasting van $0,56 \text{ kN/m}^2$ op de begane grondvloer, behalve op de subregio, en uit puntlasten variërend van 1 tot 6 kN. Belastinggeval 7 is de windbelasting, wanneer de wanden in r7-r16 het moment overdragen. Deze bestaat uit vier puntlasten van elk 50 kN. Belastinggeval 8 is het geval dat de watercompartimenten volledig gevuld zijn. Dit is een oppervlakte belasting van 7 kN/m^2 op de vloer van de binnenbak.

CONSTRUCTIE-ENTITEITEN VERBINDEN

Met de optie constructie-entiteiten verbinden zijn alle elementen die elkaar raken aan elkaar vast gemaakt. Anders dan in het eerder gebruikte MatrixFrame-model zijn in dit model alle verbindingen dus momentvast.



Afbeelding 5.1.3: Verdeling van vlaklasten naar kolomlasten. Bewerking van (2)

5.2 BEREKENING

BELASTINGCOMBINATIES

Voor de belastingcombinaties is gebruik gemaakt van de mogelijkheid om Scia Engineer de combinaties te laten berekenen. Hiertoe zijn in de modelgegevens de norm ingesteld op 'EC-EN' en de nationale bijlage op 'Nederlandse NEN-EN NA'. Vervolgens zijn twee belastingcombinaties aangemaakt. Voor de UGT zijn alle 8 de belastinggevallen gecombineerd, met als type 'EN-UGT (STR/GEO) Set B'. Deze automatische combinatie omvat 140 lineaire combinaties. Voor de BGT zijn belastinggevallen 1 tot en met 7 gecombineerd met als type 'Omhullende – bruikbaarheid'. Deze automatische combinatie bevat 32 lineaire combinaties.

NET

Voor de berekening is een net gegenereerd. De vuistregel luidt dat de netgrootte 1 à 2 keer de dikte van de plaat moet zijn. Aangezien de dikte van de begane grondvloer 0,27 m is gekozen voor een gemiddelde grootte van een 2d element van 0,3 m.

BEREKENINGSMETHODE

Als berekeningsmethode is de enige beschikbare optie in de studentversie van Scia Engineer, 'Lineaire berekening', gebruikt. Voor de instellingen zijn de standaardinstellingen aangehouden.

5.3 RESULTATEN

FOUTMELDINGEN

Nadat de subregio was toegevoegd aan de begane grondvloer, gaf het programma de bij berekening de melding dat de geometrie van het 2D-element begane grondvloer niet juist was. Vervolgens werd de berekening wel uitgevoerd. In de resultaten leek het alsof er 'gaten' in het net zaten. Op drie plekken in de vloer werd een stukje wit getoond, met daaromheen een spanning van nul. Wanneer later de berekening herhaald werd – zonder dat er iets aan het model gewijzigd was-, kwam de melding niet meer en waren er ook geen 'gaten' meer te zien in de resultaten.

Wanneer de functie gebruikt werd om Scia Engineer de benodigde wapening te laten bepalen, '2D-wapeningsontwerp UGT+BGT', kwam de volgende melding:

Aantal berekende macro's: 15

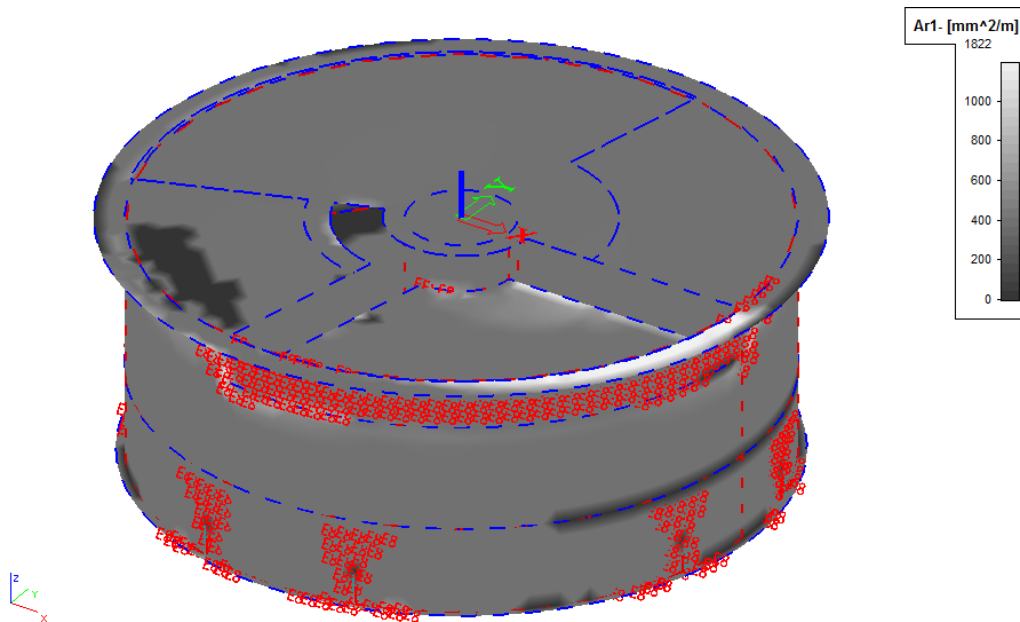
Aantal fouten: 576

Het bleek hier te gaan om de fout E8. Deze fout omschrijft Scia Engineer als volgt:

Dwarskracht: betonstuikcapaciteit overschreden.

De dwarskrachtcontrole van niet succesvol beëindigd worden. Probeer een hogere betondoorsnede of een hogere betonsterkteklasse. In speciale gevallen kan ook een hogere hoeveelheid langswapening helpen, e.g. door de gebruikte gedefinieerde (praktische) wapening.

In afbeelding 5.3.1 is te zien waar deze foutmelding optreedt. De foutmelding treedt voornamelijk op in de wanden van de binnenbak, waar de wandliggers verbonden zijn en waar de slaapkamervloer opgelegd is. Ook bij de verbinding van de slaapkamervloer met de centrale buis zijn drie foutmeldingen zichtbaar. De foutmeldingen staan alleen op knopen die binnen de elementen 'wanden binnenbak' en 'buis' vallen. Daarom wordt er hier aangenomen dat het probleem niet in de elementen 'begane grondvloer' en 'vloer slaapkamers' zit. Omdat in dit hoofdstuk alleen naar deze twee elementen wordt gekeken, wordt deze foutmelding genegeerd.



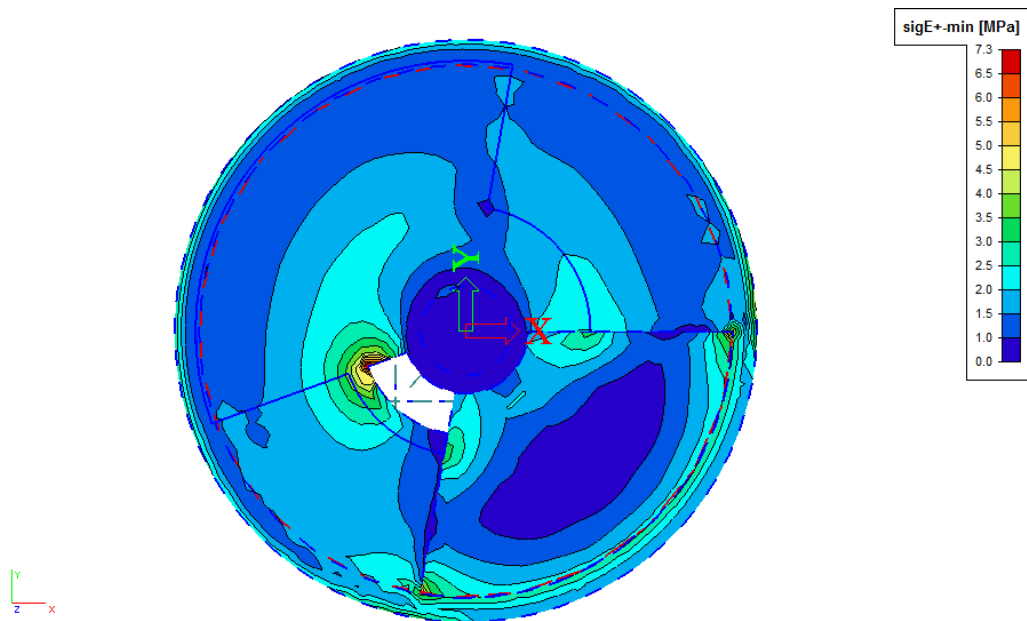
Afbeelding 5.3.1: Parallelprojectie van het resultaat van 2D-wapeningsontwerp UGT+BGT, met in rood de fout E8

AANDACHTSGEBIEDEN

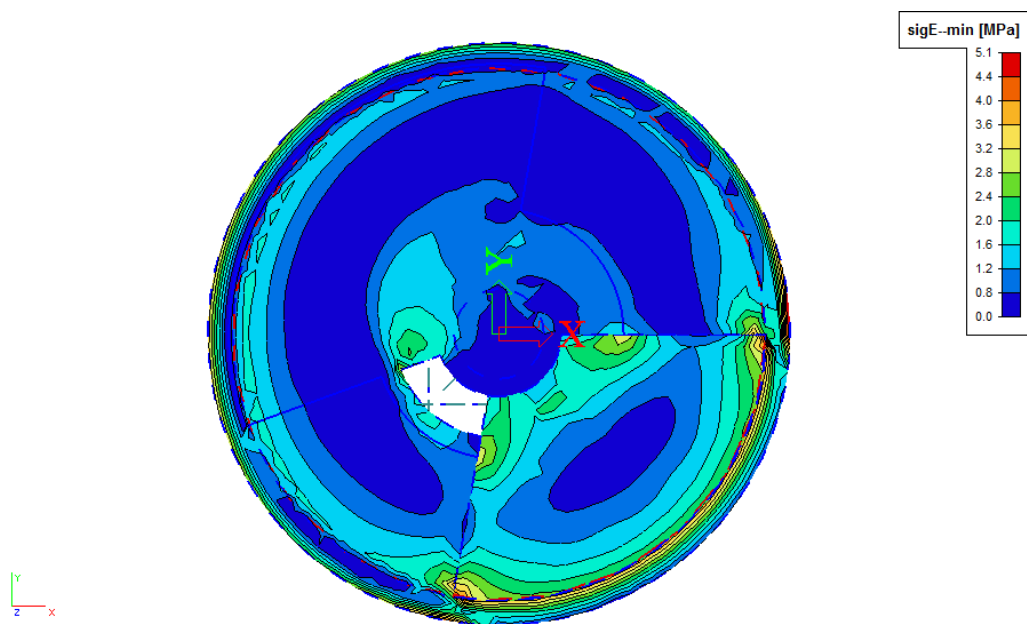
Om een algemene indruk van het gedrag van het model te krijgen, is eerst gekeken naar het spanningsverloop van de equivalenten spanning. Dit geeft een goed beeld van de grootte van de spanningen. In afbeelding 5.3.2 is de equivalenten spanning aan de bovenzijde van de begane grondvloer en de slaapkamervloer afgebeeld. Hierin is de te zien dat vooral bij de interne hoek van het trapgat (links onder het midden van de afbeelding) een hoge spanningsconcentratie optreedt. Ook ter plaatse van de hoeken van de slaapkamervloer zijn zowel in de slaapkamervloer als in de begane grondvloer hoge spanningen te zien. Op de locatie waar de kolommen grote lasten inleiden (net rechts en net onder het midden) zijn verhogingen van de spanning te zien.

In afbeelding 5.3.3 is de equivalenten spanning aan de onderzijde van de begane grondvloer en de slaapkamervloer te zien. Hier zijn vooral hoge spanningen te zien langs de rand waar de slaapkamervloer verbonden is met de wanden van de binnenbak, zowel in de slaapkamervloer als in de begane grondvloer. Bij de hoeken is dit nog meer.

Ook bij de interne hoek bij het trapgat en de locatie van de grote kolomlasten zijn weer verhoogde spanningen waarneembaar. Daarnaast is de spanning aan de onderzijde van de begane grondvloer langs de hele buitenomtrek verhoogd. Dit is het uitkragende deel van de binnenbak, waaraan hij hangt.

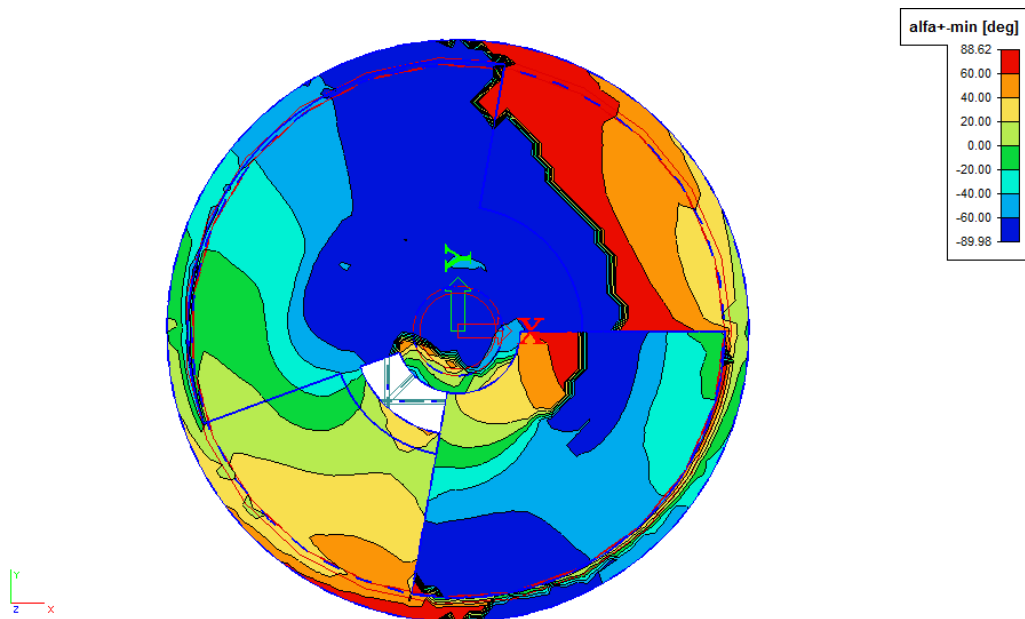


Afbeelding 5.3.2: Equivalente spanning aan de bovenzijde, omhullende van de combinatie UGT, in MPa.



Afbeelding 5.3.3: Equivalente spanning aan de onderzijde, omhullende van de combinatie UGT, in MPa.

Naast de grootte van de spanningen, is ook de richting interessant. Daarom is ook gekeken naar de hoek α die de eerste hoofdrichting van de spanning maakt met de x-as. De eerste hoofdrichting is de richting waarin de grootste spanningen optreden. De tweede hoofdrichting staat hier loodrecht op. De hoek α verschilt per locatie, zoals te zien is in afbeelding 5.3.4. In de rode en donkerblauwe zones is de hoofdrichting bijna verticaal $||$, in de groene zones is deze bijna horizontaal $==$. In de oranje en gele gebieden is de hoofdrichting ongeveer schuin omhoog $//$ en in de licht blauwe gebieden ongeveer schuin omlaag $\backslash\backslash$. De hoofdrichtingen lopen dus ongeveer radiaal.



Afbeelding 5.3.4: De hoek α die de eerste hoofdrichting van de spanningen maakt met de x-as, in graden.

ONTWERP WAPENING

In het programma Scia Engineer kan een wapeningsontwerp gemaakt worden. Dit is gedaan met de optie '2D-wapeningsontwerp UGT+BGT'. Het programma bepaald dan de benodigde langswapening in de eerste hoofdrichting A_{s1} en in de tweede hoofdrichting A_{s2} , voor beide zijden van elk 2D-element. Daarnaast berekend het programma de benodigde schuifwapening A_{sw} . De eerste hoofdrichting voor de wapening loopt voor de gehele vloer in de x-richting. De tweede hoofdrichting loopt in de y-richting.

LANGSWAPENING ONDERZIJDE BEGANE GROND VLOER

Het grootste deel van de begane grondvloer is lichtblauw van kleur ($A_{s,ben} = 300-400 \text{ mm}^2/\text{m}$). Ook zijn relatief grote delen zeegroen ($A_{s,ben} = 400-500 \text{ mm}^2/\text{m}$). Dit geldt voor beide richtingen. Daarom is gekozen een basis net te kiezen $\varnothing 8-100$ ($A_s = 503 \text{ mm}^2/\text{m}$). Alle gebieden in de kleuren donkerblauw tot zeegroen zijn hiermee voldoende gewapend. In de overige gebieden wordt een bijlegwapening gekozen.

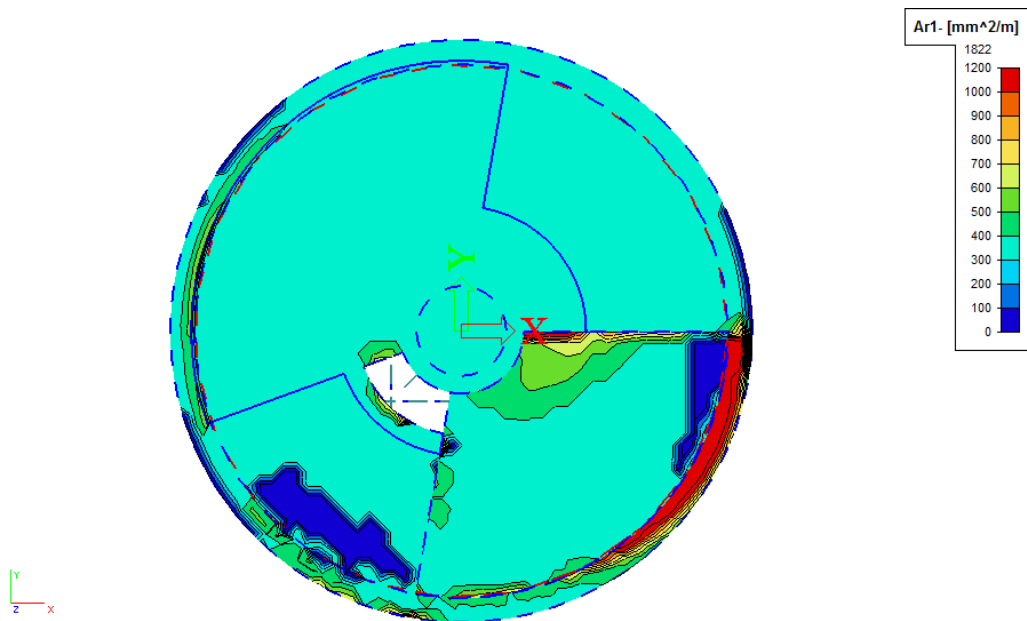
Op de buitenrand, van r7-r2, komen vlekken groen en groengeel ($A_{s,ben} = 600-700 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor. Op de buitenrand is gekozen voor een radiale bijlegwapening van $\varnothing 8-200$ ($A_s = 251 \text{ mm}^2/\text{m}$). Ter plaatse van de slaapkamervloer, van r2-r7, komen (tweede band) rode vlekken ($A_{s,ben} = 1200-2561 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor. Hier is gekozen voor een radiale bijlegwapening $\varnothing 20-150$ ($A_s = 2094 \text{ mm}^2/\text{m}$).

Aan het kopse eind van het trapgat is een band groen en groengeel ($A_{s,ben} = 600-700 \text{ mm}^2/\text{m}$) van minder dan 20 cm te zien. Er is gekozen voor de strook van 20 cm een staaf $\varnothing 8$ ($A_s = 251 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen in de langsrichting. Langs de buitenste kromme rand van het trapgat zijn vlekken tot en met rood ($A_{s,ben} = 1000-1200 \text{ mm}^2/\text{m}$) te zien. Hier is gekozen over een strook van 25 cm twee staven $\varnothing 12$ ($A_s = 905 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen.

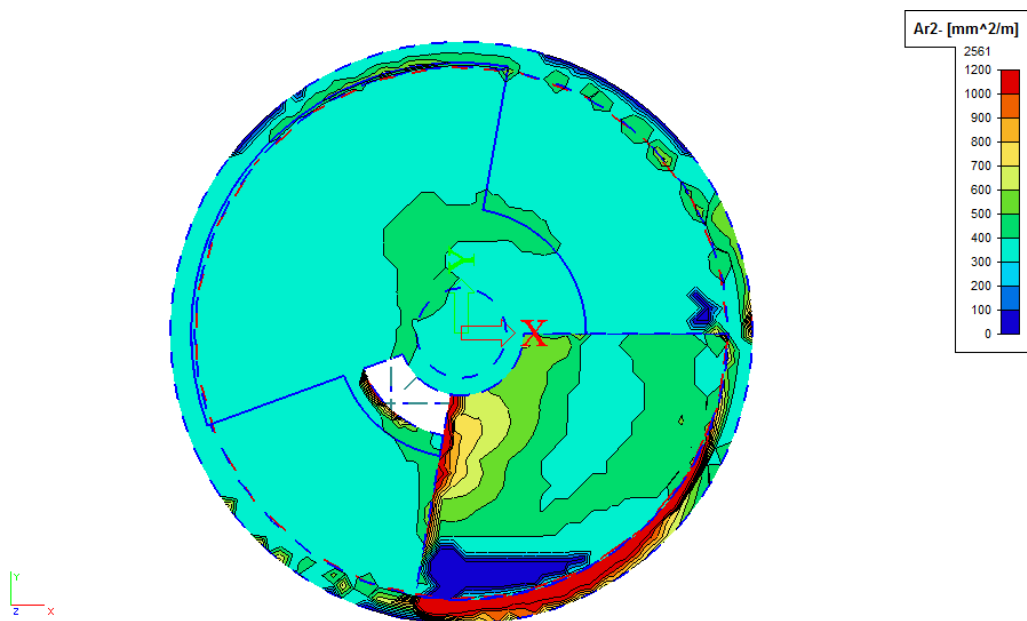
LANGSWAPENING ONDERZIJDE SLAAPKAMERVLOER

Het grootste deel van de slaapkamervloer is lichtblauw, zeegroen of groen ($A_{s,ben} = 500-600 \text{ mm}^2/\text{m}$), in beide richtingen. Daarom is hier gekozen voor een basis net van $\varnothing 10-125$ ($A_s = 628 \text{ mm}^2/\text{m}$). Alle gebieden in de kleuren donkerblauw tot groen zijn hiermee voldoende gewapend. In de overige gebieden wordt een bijlegwapening gekozen. In de overige gebieden wordt weer een bijlegwapening gekozen.

Aan de rechte randen van de slaapkamervloer komen bij elke rand in de richting van die rand kleuren tot (tweede band) rood ($A_{s,ben} = 1200-2561 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor. Voor beide randen wordt gekozen in een wapeningsstrook van 50 cm vijf staven $\varnothing 16$ ($A_s = 2011 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen. In de 50 cm daarnaast komen nog groen en groengele ($A_{s,ben} = 600-700 \text{ mm}^2/\text{m}$) vlekken voor, dus hier wordt nog eens twee staven $\varnothing 8$ ($A_s = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$) bijgelegd.



Afbeelding 5.3.5: De benodigde wapening in de eerste hoofdrichting, aan de onderzijde van de begane grondvloer, in mm^2/m .



Afbeelding 5.3.6: De benodigde wapening in de tweede hoofdrichting, aan de onderzijde van de begane grondvloer, in mm^2/m .

LANGSWAPENING BOVENZIJDIGE BEGANE GRONDVLOER

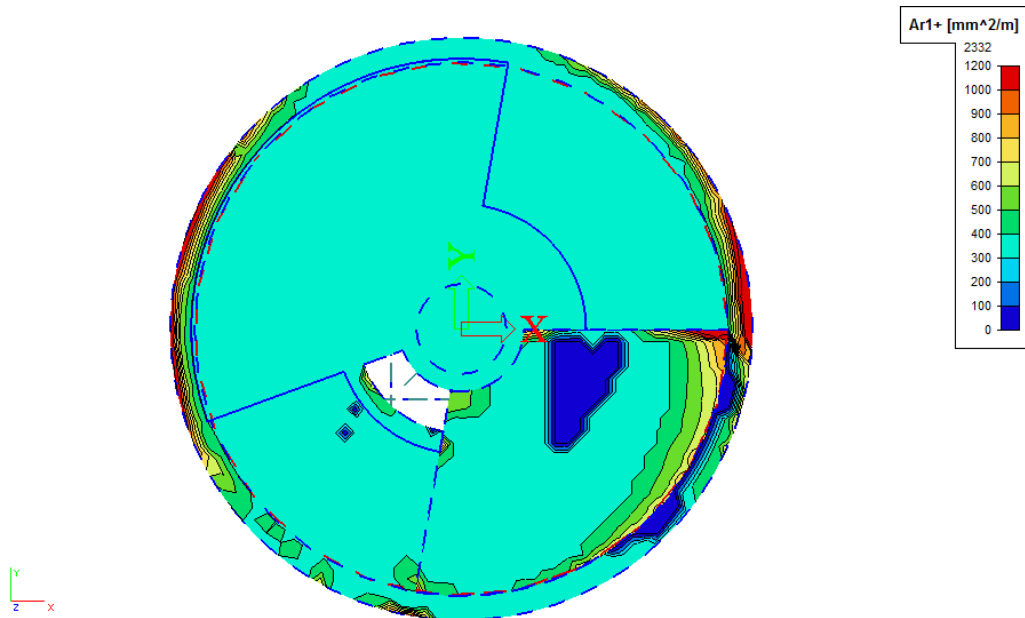
De bovenzijde van de begane grondvloer is overheersend lichtblauw ($A_{s,ben} = 300\text{-}400 \text{ mm}^2/\text{m}$). Hier wordt gekozen voor een wapeningsnet van $\text{Ø}8\text{-}125$ ($A_s = 402 \text{ mm}^2/\text{m}$). Alle gebieden in de kleuren donkerblauw tot lichtblauw zijn hiermee voldoende gewapend. In de overige gebieden wordt weer een bijlegwapening gekozen.

Aan de buitenrand is de hoogste voorkomende kleur (tweede band) rood ($A_{s,ben} = 1200\text{-}2332 \text{ mm}^2/\text{m}$). Hier wordt weer gekozen voor een radiale bijlegwapening van $\text{Ø}20\text{-}150$ ($A_s = 2094 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor de gehele omtrek.

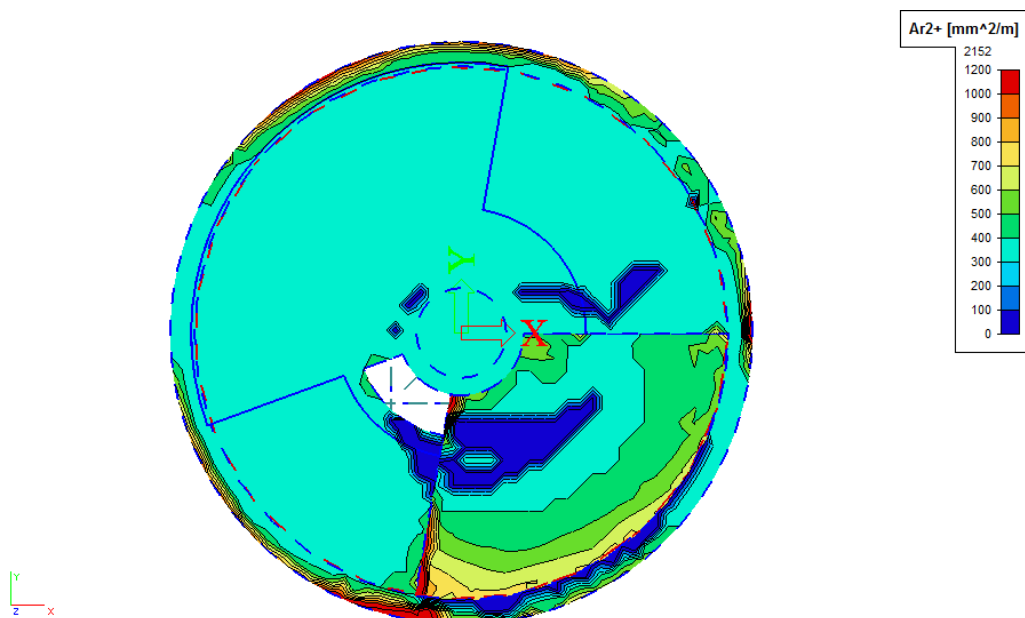
Aan het kopse eind van het trapgat is een band zeegroen ($A_{s,ben} = 400\text{-}500 \text{ mm}^2/\text{m}$) van minder dan 20 cm te zien. Het is hier voldoende in de strook van 20 cm een staaf $\text{Ø}6$ ($A_s = 251 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen in de langsrichting. Langs de buitenste kromme rand van het trapgat zijn vlekken tot en met groengeel ($A_{s,ben} = 600\text{-}$

700 mm²/m) te zien. Het is hier voldoende in de een strook van 25 cm een staaf Ø10 ($A_s = 314 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen.

Ter plaatse van de randen van de slaapkamervloer zijn nog zeegroene ($A_{s,ben} = 400\text{-}500 \text{ mm}^2/\text{m}$) vlekken zichtbaar over een strook van minder van 1 m. Er is hier gekozen over een strook van 1 m twee staven Ø8 ($A_s = 101 \text{ mm}^2/\text{m}$) bij te leggen. Dit moet bij beide randen, in verband met andere windbelastingen.



Afbeelding 5.3.7: De benodigde wapening in de eerste hoofdrichting, aan de bovenzijde van de begane grondvloer, in mm²/m.



Afbeelding 5.3.8: De benodigde wapening in de tweede hoofdrichting, aan de bovenzijde van de begane grondvloer, in mm²/m.

LANGSWAPENING BOVENZIJDDE SLAAPKAMERVLOER

Het grootste deel van de slaapkamervloer is lichtblauw, zeegroen of groen ($A_{s,ben} = 500-600 \text{ mm}^2/\text{m}$), in beide richtingen. Daarom is hier weer gekozen voor een basis net van $\emptyset 10-125$ ($A_s = 628 \text{ mm}^2/\text{m}$). Alle gebieden in de kleuren donkerblauw tot groen zijn hiermee voldoende gewapend. In de overige gebieden wordt een bijlegwapening gekozen. In de overige gebieden wordt weer een bijlegwapening gekozen.

Aan de rechte randen van de slaapkamervloer komen bij elke rand in de richting van die rand kleuren tot (tweede band) rood ($A_{s,ben} = 1200-2332 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor. Voor beide randen wordt gekozen in een wapeningstrook van 50 cm vijf staven $\emptyset 16$ ($A_s = 2011 \text{ mm}^2/\text{m}$). bij te leggen

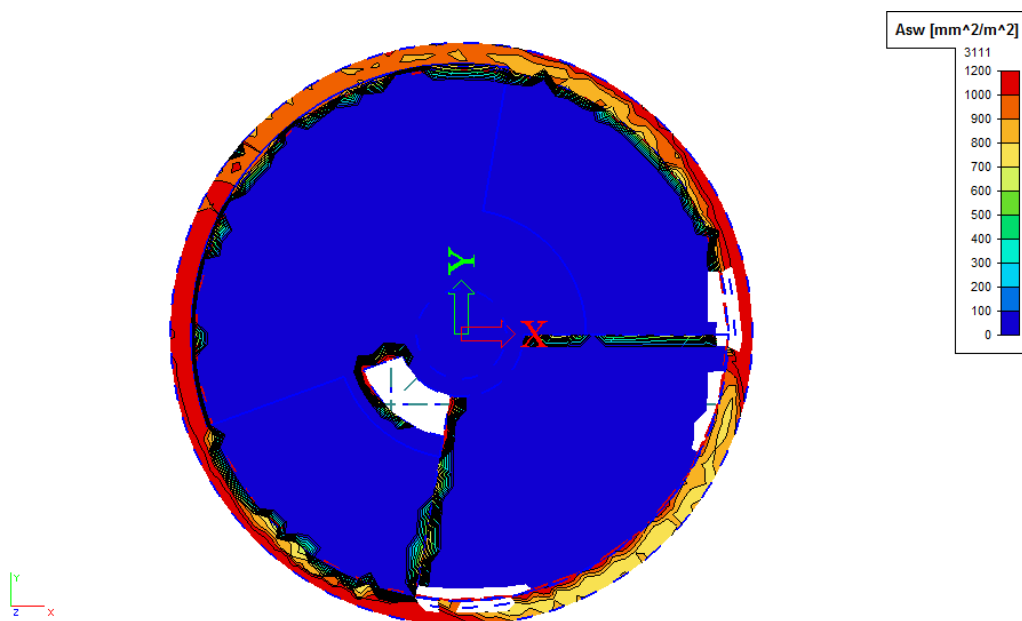
Aan de buitenrand komen ook vlekken tot oranjegeel ($A_{s,ben} = 800-900 \text{ mm}^2/\text{m}$) voor. Hier wordt gekozen voor een radiale bijlegwapening van $\emptyset 6-100$ ($A_s = 283 \text{ mm}^2/\text{m}$).

SCHUIFWAPENING BEGANE GRONDVLOER

In het grootste deel van de begane grondvloer is geen wapening nodig. Dit geeft Scia Engineer over het gehele donkerblauwe deel aan met waarschuwing 200: *Dwarskrachtwapening niet vereist*.

In de randen is deze wapening wel nodig. In de buitenste strook van 50 cm komt tot (tweede band) rood ($A_{sw,ben} = 3111 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) voor. Met een effectieve nuttige hoogte $d_{eff} = h - c_{nom} - \emptyset = 270 - 25 - 8 = 237 \text{ mm}$ is de maximale beugelafstand namelijk $0,75d = 0,75 \cdot 237 = 177 \text{ mm}$. Daarom wordt hier gekozen om 55 beugels $\emptyset 6$ per m^2 toe te passen ($A_{sw} = 3111 \text{ mm}^2/\text{m}^2$). De gemiddelde afstand tussen de beugels is dan 135 mm. Over een strook van 20 cm hierbinnen komt tot de kleur oranje ($A_{sw,ben} = 1000 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) voor. Hier zou kwa capaciteit 18 beugels $\emptyset 6$ per m^2 ($A_{sw} = 1000 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) genoeg zijn, maar vanwege de maximale afstand moeten 32 beugels $\emptyset 6$ per m^2 ($A_{sw} = 1800 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) worden toegepast.

De vlekken die aan de randen van de schijven te zien zijn, zijn als volgt de verklaren. De puntlasten en lijnlasten voor de kolommen en muren zijn in Scia Engineer exact op de rand van de schijven geplaatst. In werkelijkheid moeten de schijven iets overlappen, zodat de punt- en lijnlasten binnen de rand van de schijf komen te staan in plaats van op de rand.



Afbeelding 5.3.9: De benodigde schuifwapening in de begane grondvloer, in mm^2/m^2 .

Over een strook van 50 cm rondom het trapgat en de beide randen van de slaapkamer komt maximaal de kleur rood ($A_{sw,ben} = 1200 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) voor. Hier wordt eveneens deze 32 beugels $\emptyset 6$ per m^2 aangebracht.

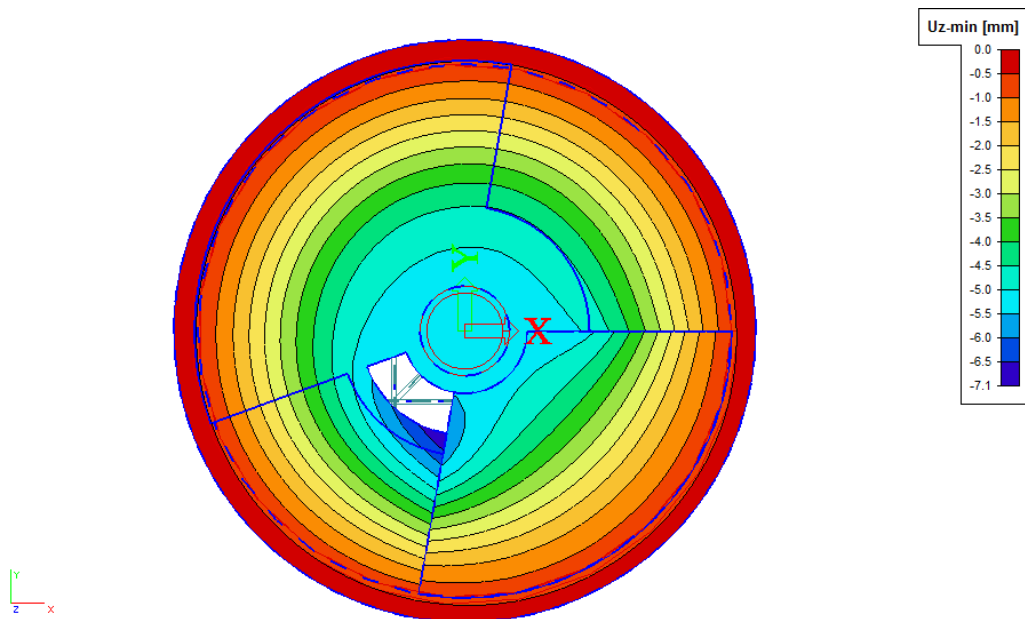
SCHUIFWAPENING SLAAPKAMERVLOER

In het donkerblauwe deel van de slaapkamervloer is, net als in de begane grondvloer, geen dwarskrachtwapening nodig. Aan de rechte randen wordt over 50 cm wederom 32 beugels $\emptyset 6$ per m^2 gekozen.

NB: De witte vlekken in afbeelding 5.3.9 worden veroorzaakt door de foutmelding E8 in de knopen die samenvallen met het element 'wanden binnenbak'. Voor de berekening van de dwarskrachtwapening in de vloeren zijn deze witte vlekken genegeerd.

CONTROLE DOORBUIGING

Scia heeft de wapening berekend voor de BGT en de UGT. Natuurlijk kan ook gemakkelijk gecheckt worden of het ontwerp aan de duidelijkste BGT-eis voldoet: de doorbuigingseis. In afbeelding 5.3.10 is de totale zakking van de begane grondvloer en de slaapkamer vloer te zien. De maximale zakking is $w_{max} = 7,1$ mm. Dit is veel kleiner dan de grenswaarden $w_{max} \leq 0,004\ell = 0,004 \cdot 14 = 56$ mm en $w_{bij} \leq 0,002\ell = 0,002 \cdot 14 = 28$ mm. De constructie is dus stijf genoeg om aan de doorbuigingseis te voldoen.



Afbeelding 5.3.10: De verplaatsing van knopen van de begane grondvloer, omhullende van de combinatie BGT, in mm.

5.4 CONCLUSIE

Uit de berekening met Scia Engineer volgt een lagere wapening dan uit de handberekening kwam, maximaal $A_{s,ben} = 2561 \text{ mm}^2/\text{m}$ tegenover $A_{s,ben} = 3579 \text{ mm}^2/\text{m}$. Ook is de maximale zakking veel kleiner, $w_{max} = 7,1$ mm tegenover $w_{max} = 49$ mm. De constructie gedraagt zich dus stijver. Dit is deels te danken aan de schijfwerving in het 3D-model. Daarnaast zijn ook de verbindingen in de eindige elementenberekening anders gedefinieerd dan in het MatrixFrame-model. De elementen zijn in de eindige elementenberekening allen momentvast verbonden. In het Matrix-Frame-model waren de meeste verbindingen als scharnieren gemodelleerd. Uit de uiteindelijke detaillering zal moeten blijken wat realistischer is.

Uit de eindige elementenberekening bleek, zoals verwacht, dat de dwarskracht in de uitkragende rand van de begane grondvloer zeer hoog is. Het is aan te raden te overwegen deze rand dikker te maken, zodat minder schuifwapening vereist is.

In de eindige elementenberekening kwam ook naar voren dat de overige, niet expliciet beschouwde, elementen zich in 3D ook anders gedragen dan in de strookbenadering. Door de vele verbindingen tradt ook onverwachte krachtoverdracht op. Vooral de dwarskracht in de wanden, wandliggers en buis bleek een probleem te zijn. Al deze onderdelen moeten dan ook nog goed bekeken worden in een eindige elementenprogramma.

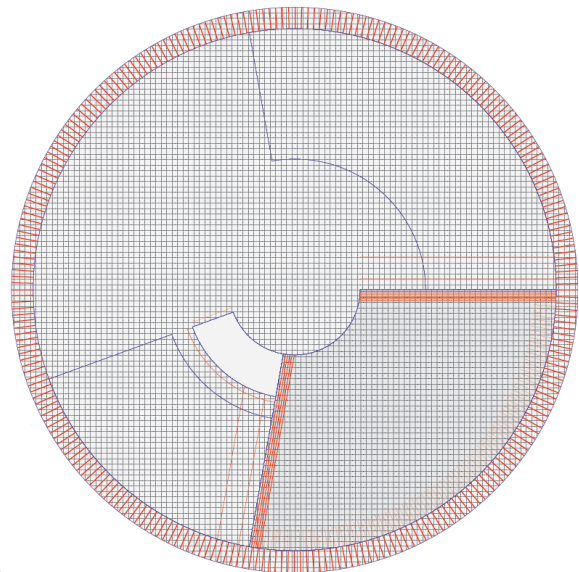
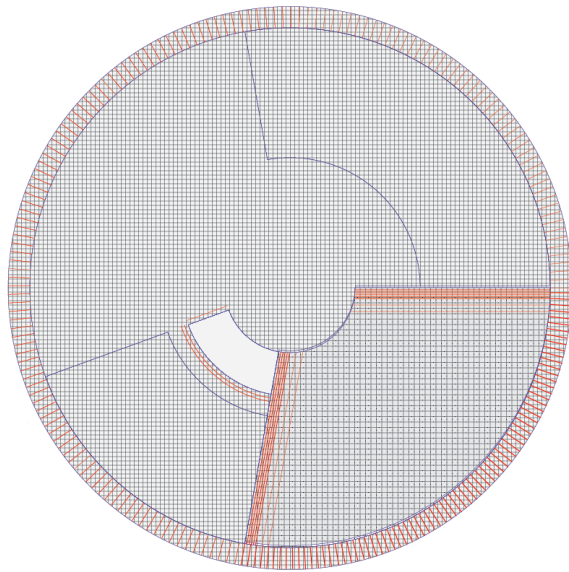
6 DIMENSIONERING – DEEL II

In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van alle bekeken elementen. In tabel 6.1 staat van elk element kort de vorm en de gekozen wapening beschreven. Ter verduidelijking zijn van de begane grondvloer en de slaapkamervloer tekeningen van de wapening gemaakt. Deze zijn te zien in afbeelding 6.1 en 6.2.

Tabel 6.1: Overzicht van de vorm en gekozen wapening van alle elementen

Element	Vorm	Wapening
Begane grondvloer	Cirkelvormige schijf met $\varnothing 13$ m, met een uitsparing ter plaatse van de slaapkamers (r2 tot r7) en het trapgat naar de kelder. Dikte 270 mm.	<i>Langswapening onder</i> net $\varnothing 8-100$ in twee richtingen radiale bijlegwapening buitenste 50 cm r7-r2: $\varnothing 8-100$ radiale bijlegwapening buitenste 50 cm r2-r7: $\varnothing 25-125$ kopse kant trapgat: 1 staaf $\varnothing 8$ over een strook van 20 cm kromme zijde trapgat: 2 staven $\varnothing 12$ over een strook van 25 cm <i>Langswapening boven</i> net $\varnothing 8-125$ in twee richtingen radiale bijlegwapening buitenste 50 cm: $\varnothing 20-150$ kopse kant trapgat: 1 staaf $\varnothing 6$ over een strook van 20 cm kromme zijde trapgat: 1 staaf $\varnothing 10$ over een strook van 25 cm randen slaapkamervloer: 2 staven $\varnothing 8$ over een strook van 50 cm <i>Schuifwapening</i> buitenste 50 cm: 55 beugels $\varnothing 6$ per m² volgende 20 cm: 32 beugels $\varnothing 6$ per m²
Slaapkamervloer	Puntvormige schijf van r2 tot r7, 1 m onder de begane grondvloer. Dikte 270 mm.	<i>Langswapening onder</i> net $\varnothing 10-125$ in twee richtingen rechte randen: 5 staven $\varnothing 16$ over 1^e strook van 50 cm rechte randen: 2 staven $\varnothing 8$ over 2^e strook van 50 cm <i>Langswapening boven</i> net $\varnothing 10-125$ in twee richtingen rechte randen: 5 staven $\varnothing 16$ over een strook van 50 cm radiale bijlegwapening buitenste 1 m: $\varnothing 6-100$ <i>Schuifwapening</i> buitenste 50 cm: 32 beugels $\varnothing 6$ per m²
Keldervloer	Cirkelvormige schijf met $\varnothing 12$ m, met een uitsparing $\varnothing 1$ m in het midden, 3 m onder de begane grondvloer. Dikte 240 mm.	<i>Langswapening onder</i> net $\varnothing 16-125$ in twee richtingen <i>Langswapening boven</i> minimale wapening <i>Schuifwapening</i> geen
Binnenbakkvloer	Cirkelvormige schijf met $\varnothing 12$ m, met een uitsparing $\varnothing 1$ m in het midden, 5 m onder de begane grondvloer. Dikte 170 mm.	<i>Langswapening onder</i> net $\varnothing 7-100$ in twee richtingen <i>Langswapening boven</i> net $\varnothing 16-65$ in twee richtingen <i>Schuifwapening</i> geen

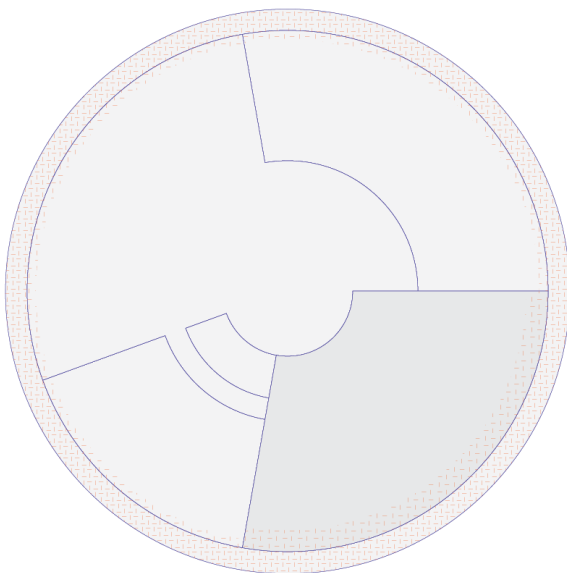
Element	Vorm	Wapening
Wanden binnenbak	Koker met Ø12 m, 5 m hoog. Dikte 160 mm.	<i>Langswapening verticaal</i> Ø10-125 aan de binnen- en buitenzijde <i>Langswapening horizontaal</i> minimale wapening <i>Schuifwapening</i> geen
Buis binnenbak	Koker met Ø1 m, 5 m hoog. Dikte 160 mm.	<i>Langswapening verticaal</i> minimale wapening <i>Langswapening horizontaal</i> Ø6-100 aan de buitenzijde <i>Schuifwapening</i> geen
Wandliggers	Liggers 12,6 m lang en 0,7 m hoog, geplaatst op 1,7 m uit het hart van de buis, met de onderzijde op de binnenbakkvloer. Dikte 100 mm.	<i>Langswapening onder</i> 7 staven Ø25 <i>Langswapening boven</i> 5 staven Ø20 <i>Schuifwapening</i> geen
Buitenbakkvloer	Cirkelvormige schijf met Ø13 m. Dikte 150 mm.	<i>Langswapening onder</i> als standaard prefab silo-element <i>Langswapening boven</i> als standaard prefab silo-element <i>Schuifwapening</i> als standaard prefab silo-element
Wanden buitenbak	Koker met Ø13 m, 6 m hoog. Dikte 160 mm.	<i>Langswapening onder</i> als standaard prefab silo-element <i>Langswapening boven</i> als standaard prefab silo-element <i>Schuifwapening</i> geen



a.

b.

Afbeelding 6.1: Schematische weergave van de langswapening onderin (a.) en bovenin (b.) de begane grondvloer en de slaapkamer vloer, met in zwart de wapeningsnetten en in rood de bijlegwapening. Verankeringslengten zijn niet meegenomen.



Afbeelding 6.2: Schematische weergave van de schuifwapening in de begane grondvloer en de slaapkamer vloer, met in rood de beugels.

7 MAAKBAARHEID

In dit hoofdstuk wordt aandacht geschonken aan de maakbaarheid van het ontwerp. Allereerst zullen enkele verbindingen toegelicht worden. Vervolgens wordt gekeken naar een geschikte uitvoering van de oplegging van de binnenbak op de buitenbak. Ten slotte wordt een voorstel gedaan voor een mogelijke bouwvolgorde.

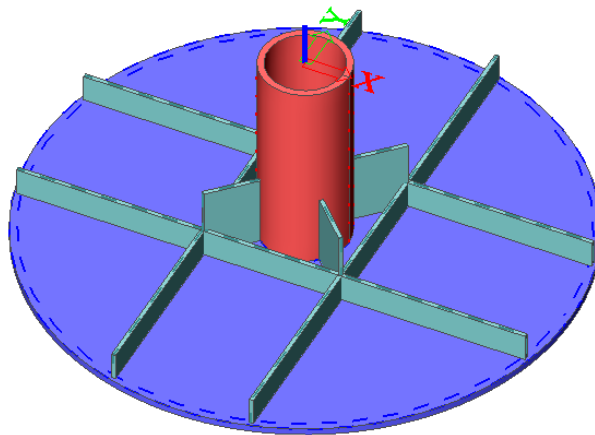
7.1 VERBINDINGEN

In deze paragraaf wordt gekeken naar de verbindingen tussen de elementen. De verbinding tussen de binnenbakkvloer en de wanden van de binnenbak staat al vast. Deze wordt uitgevoerd zoals de firma Milieusystemen Tiel dit altijd doet. Voor de verbinding van de buitenbakkvloer en de wanden van de buitenbak geldt hetzelfde.

Voor de verbindingen tussen de buis en de wandliggers, tussen de begane grondvloer en de wandelementen en tussen de keldervloer en de wandelementen wordt hieronder een voorstel gedaan.

BUIS EN WANDLIGGERS

Om de normaalkracht uit de buis over te kunnen dragen als dwarskracht op de wandliggers, worden vier schotjes geplaatst. Dit is eerder al gebruikt in het hoofdstuk 5 *Berekening EEM*. De schotjes lopen radiaal aan de buis naar het snijpunt van twee wandliggers. Ze worden 1,8 m hoog en reiken daarmee tot de keldervloer. De schotjes zijn te zien in afbeelding 7.1.1.



Afbeelding 7.1.1: Gerenderde parallelprojectie van de binnenbakkvloer, de wandliggers, de buis en de schotjes in Scia Engineer

BEGANE GRONDVLOER EN WANDELEMENTEN

De verbinding tussen de begane grondvloer en de wandelementen kan op dezelfde wijze worden gemaakt als de verbinding tussen de binnenbakkvloer en de wandelementen. Hiervoor wordt het standaarddetail toegepast. De wapening uit de wandelementen loopt door in lussen, die met het wapeningsnet van de begane grondvloer vervlochten worden.

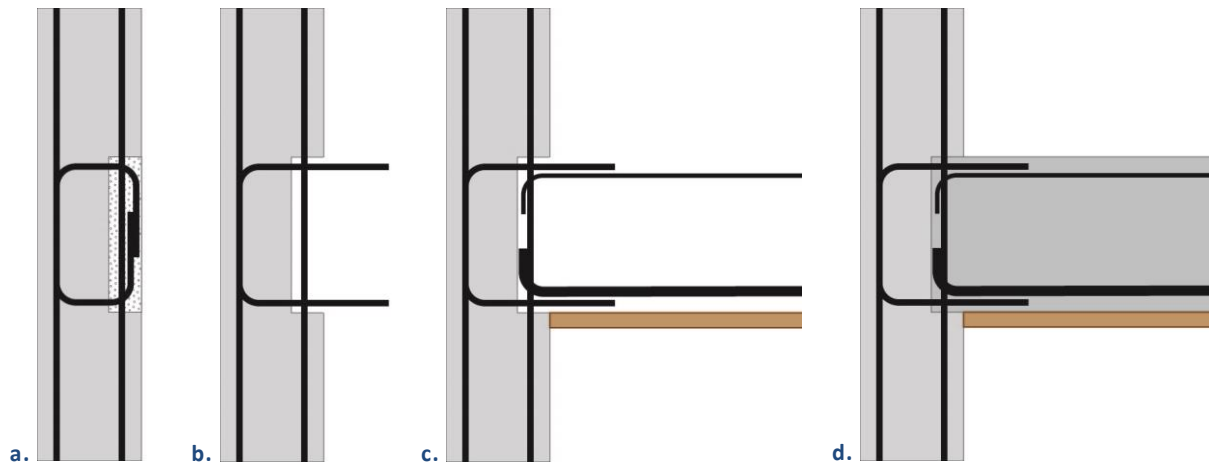
KELDervloer OF SLAAPKAMERVloer EN WANDELEMENTEN

Om de keldervloer te kunnen verbinden aan de wandelementen, wordt een techniek toegepast die bekend is van gebruik bij damwanden. Voor de verbinding met de slaapkamervloer kan deze techniek op dezelfde wijze worden toegepast.

Aan de wapening van de wandelementen worden extra haarspelden toegevoegd op ter hoogte van de keldervloer. Deze worden dichtgevouwen binnen de contouren van de mal. Met piepschuim wordt gezorgd dat bij het storten van de wandelementen rondom de dichtgevouwen haarspelden geen beton komt, zie afbeelding 7.1.2a.

Wanneer de keldervloer gestort kan worden, wordt het piepschuim uit de wandelementen verwijderd. Dit kan eenvoudig door het weg te branden. Vervolgens worden de haarspelden uitgevouwen, zie afbeelding 7.1.2b.

De bekisting wordt aangelegd en de wapening van de keldervloer wordt geïnstalleerd, zie afbeelding 7.1.2c. Het beton voor de keldervloer kan dan gestort worden, zie afbeelding 7.1.2d. In het eindresultaat zorgen de extra haarspelden voor de verbinding tussen de wandelementen en de keldervloer.



Afbeelding 7.1.2: Vier fasen van de verbinding tussen de keldervloer en de wandelementen

7.2 OPLEGGING BINNENBAK OP BUITENBAK

In de berekeningen is er vanuit gegaan dat de binnenbak over de gehele omtrek scharnierend opgelegd is op de buitenbak. Wanneer de binnenbak beton-op-beton wordt opgelegd op de buitenbak, is dit niet het geval. Door onregelmatigheden of vuil zullen slechts enkele contactpunten ontstaan. Rond deze contactpunten treden dan hoge piekspanningen op, wat natuurlijk zeer ongunstig is.

Om deze piekspanningen te voorkomen moet op de rand van de buitenbak een materiaal worden aangebracht dat de oneffenheden – en dus de spanningen – uitvlakt. Een geschikt materiaal hiervoor is bijvoorbeeld rubber. Beter nog zijn speciale drukplaten, gemaakt van lagen rubberen en stalen. Deze worden veel gebruikt bij beweegbare bruggen.

Met behulp van drukplaten kan de belasting niet alleen gelijkmatig verdeeld worden, maar wordt ook de schok opgevangen wanneer de woning vanuit drijvende toestand langzaam op de buitenbakrand zakt. Dit is gunstig voor het wooncomfort, en zeker ook voor de levensduur van alle constructieve onderdelen van de woning.

7.3 BOUWVOLGORDE

In deze paragraaf wordt ingegaan op de bouw van het ontwerp. Hierbij zal stapsgewijs een bouwvolgorde worden gepresenteerd, waarbij de belangrijkste aandachtspunten aan bod komen.

INSTALLEREN BUITENBAK

De eerste fase betreft het installeren van de buitenbak. Hiervoor moet eerst de grond worden afgegraven tot 4 meter onder maaiveld, zie afbeelding 7.3.1. Zeer waarschijnlijk ligt dit peil onder de grondwaterstand. De bouwput zal dan bemalen moeten worden.



Afbeelding 7.3.1: De afgegraven bouwput, met in het midden de kabels en leidingen

Afbeelding 7.3.2: De installatie van de buitenbak

Alle benodigde kabels en leidingen moeten worden omgelegd naar het toekomstige midden van de buitenbak. Hier moeten ze door de centrale kunststof buis van de buitenbak gevoerd worden.

In de bouwput kan de buitenbak worden geïnstalleerd op de gebruikelijke wijze van de firma Milieusystemen Tiel. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar hun website (18). Het installeren van de buitenbak omvat twee stortmomenten. Eerst worden de panelen aan elkaar verbonden, daarna wordt de vloer gestort. In

deze vloer moet de centrale buis waterdicht worden ingestort. Dit is te zien in afbeelding 7.3.2. Tussen de stortmomenten hoeven, vanwege de hoge betonsterkteklasse C35/45, slechts enkele dagen te zitten.



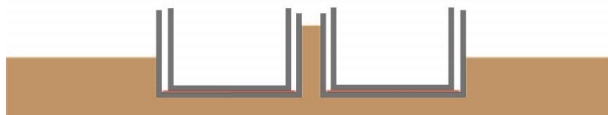
Afbeelding 8.1.3: De grond teruggestort tot maaiveld

Wanneer de buitenbak is geïnstalleerd, kan een deel van de grond worden teruggestort zodat het maaiveld weer vlak wordt, zie afbeelding 7.3.3.

INSTALLEREN BINNENBAK

De tweede fase is het installeren van de binnenbak. Deze wordt zoveel mogelijk op dezelfde wijze gebouwd als de buitenbak. Er zijn echter wel enkele aanpassingen nodig, aangezien de binnenbak direct in de buitenbak gerealiseerd zal worden. Dit is te zien in afbeelding 7.3.4.

Waar de ondergrond voor de buitenbak diende als bekisting, zal de buitenbak dit moeten doen voor de binnenbak. Omdat de binnenbak uiteindelijk los moet kunnen komen van de buitenbak, wordt eerst een dubbele laag folie aangebracht op de buitenbakvloer. Zo kan er later gemakkelijk water tussen de twee bakken stromen, zelfs als het folie erg blijft plakken aan het beton.



Afbeelding 7.3.4: De installatie van de binnenbak, met in het rood het folie

Normaal gesproken worden de wandelementen op een ringfundatie uitgelijnd. Voor de binnenbak is dit niet mogelijk. De elementen kunnen gelukkig wel eenvoudig tegen de buitenbak worden uitgelijnd. Ook de centrale betonnen buis van de binnenbak kan worden uitgelijnd tegen de buitenbak.

De rest van het installeren van de binnenbak kan weer op de standaard manier gebeuren. Dit zijn dus weer twee stortmomenten.

WANDLIGGERS EN VLOEREN BINNENBAK

De derde fase omvat alle onderdelen in de binnenbak. Wanneer de vloer van de binnenbak is uitgehard, kan de bekisting voor de wandliggers worden gemaakt. Tegelijk met de wandliggers kunnen ook de schuine schotjes rond de centrale buis worden gerealiseerd. Dit combineren beperkt het aantal stortmomenten.

Nadat de wandliggers ontkist zijn, volgt de keldervloer. Het piepschuim in de vernauwing kan worden verwijderd en de wapeningsstaven uitgebogen. De bekisting voor de keldervloer kan gesteund worden op de binnenbakvloer en de wandliggers. Dit alles is samengevat in afbeelding 7.3.5.



Afbeelding 7.3.5: Het plaatsen van de wandliggers, de schotjes en de keldervloer

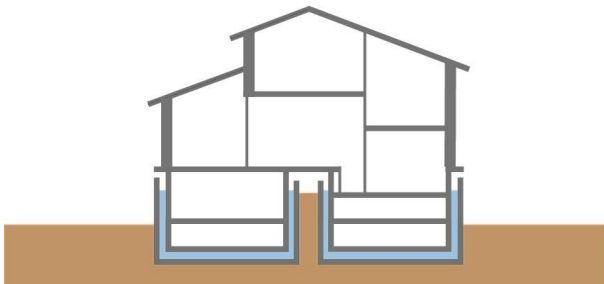


Afbeelding 7.3.6: Het maken van de begane grondvloer wanneer de binnenbak drijft

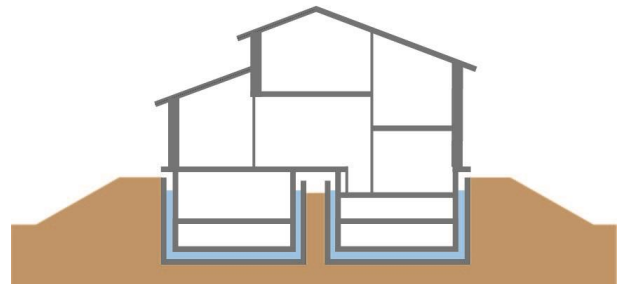
Voordat de begane grondvloer gestort kan worden, moet de gehele binnenbak van de buitenbak vloer gelift worden. Dit kan het eenvoudigst gedaan worden door de tussenruimte te vullen met water, zoals te zien is in afbeelding 7.3.6. Merk op dat het beton hiervoor al voldoende sterk moet zijn. Tijdens het storten van de begane grondvloer is de constructie drijvend. Hier moet dus extra goed opgelet worden of de binnenbak precies waterpas is. Het is een mogelijkheid het pompsysteem voor het trimgewicht al in deze fase te realiseren.

GEREEDMAKEN WONING

In de vierde fase valt het overige deel van de woning. Nadat de alle beton van de binnenbak gereed is, kan de rest van de woning op de binnenbak worden gebouwd. Dit is te zien in afbeelding 7.3.7. Het geheel kan worden afgewerkt en de pompsystemen worden in werking gesteld (als dat niet in de vorige fase al gebeurd was).

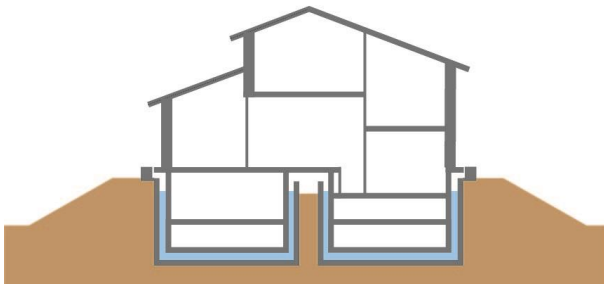


Afbeelding 7.3.7: Het maken bovenbouw van de woning



Afbeelding 7.3.8: De grond teruggestort tot terp

Wanneer er geen materieel meer bij de woning hoeft te komen, kan de rest van de afgegraven grond als terp tegen de buitenbak worden aangebracht. Zie hiervoor afbeelding 7.3.8. Hierbij moet goed worden opgepast dat er geen grond in de buitenbak terecht komt.



Afbeelding 7.3.9: De installatie van het rotatiesysteem

Als het terp gereed is, kan het rotatiesysteem worden aangelegd. Ook de drukplaten kunnen nu gemakkelijk op de buitenbak worden gemonteerd. Dit is te zien in afbeelding 7.3.9. Hierna is de woning af en klaar om in gebruik te worden genomen.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het hoofdstuk 6 *Dimensionering: deel II* is al een overzicht gegeven van de uitkomsten van de berekeningen. In dit hoofdstuk worden de uitkomsten en hun totstandkoming van een concluderend commentaar voorzien. Vervolgens worden aanbevelingen gedaan over hoe met deze inzichten om kan worden gegaan.

8.1 CONCLUSIES

NAUWKEURIGHEID BEREKENING

De berekende windbelasting is met 100 kN aan de hoge kant. Daarnaast is dit getal slecht een benadering, het is niet erg nauwkeurig.

Voor de bergingsruimte is de variabele belasting voor opslag toegepast. Dit heeft een groot effect op de totale belasting voor het bepalen van de diepgang. Dit komt niet alleen doordat de belasting voor opslag vier keer zo groot is als die voor woongebruik, maar ook doordat de ψ -factor 1 is.

Het 3D-model liet bij berekening in Scia Engineer een veel stijver gedrag zien dan het 2D-model in MatrixFrame. Dit is gedeeltelijk te wijten aan de anders gedefinieerde verbindingen.

TOEPASBAARHEID PREFAB ELEMENTEN

De belangrijkste conclusie die getrokken kan worden uit dit ontwerpproces is dat het voor de binnenbak niet mogelijk is om standaard prefab elementen te gebruiken. Een standaard betonnen rioolbuis voldoet niet aan de eisen. Hij heeft niet de benodigde lengte en wapening.

De standaard silo-elementen hebben niet genoeg verticale wapening om te dienen als binnenbakwanden. Daarnaast bieden ze niet de nodige verbindingsmogelijkheden. Ook de vloer moet dikker worden uitgevoerd, voorzien van meer wapening dan standaard.

De standaard silo-oplossing voldoet qua sterkte wel voor de buitenbak. Hier moeten echter wel verbindingsmogelijkheden voor het rotatiesysteem worden gerealiseerd.

UITVOERING OVERIGE ELEMENTEN

De binnenbakkvloer en de begane grondvloer zijn gedimensioneerd met een toegestaan, maar ongebruikelijk hoog wapeningspercentage.

In de uitragende rand van de binnenbakkvloer is een erg grote hoeveelheid schuifwapening nodig.

8.2 AANBEVELINGEN

NAUWKEURIGHEID BEREKENING

Het is zeker aan te raden de windbelasting nog eens nauwkeurig te berekenen. En windtunneltest zou ideaal zijn, maar misschien te duur.

Het zou veel schelen als de kelder in het ontwerp een woonbestemming krijgt. Dan kan met de variabele vloerbelasting voor woongebruik worden gerekend en is een kleinere diepgang vereist.

Alle onderdelen moeten nog eens in een eindige elementen programma nader bekeken worden. Wanneer de verbindingsdetails gekozen zijn, kunnen de verbindingen meer naar de werkelijkheid gemodelleerd worden.

TOEPASBAARHEID PREFAB ELEMENTEN

Er moet een speciale buis op maat gemaakt worden. Eventueel kan dit met dezelfde techniek als de prefab silo-elementen.

De standaard silo-elementen kunnen met enkele aanpassingen aan het ontwerp ervan wel gebruikt worden als wanden voor de binnenbak. Ze moeten hiervoor speciaal op bestelling gemaakt worden.

De standaard silo-oplossing kan met een kleine aanpassing voor de verbinding van het geleidesysteem gebruikt worden. Ook deze elementen moeten op bestelling gemaakt worden.

UITVOERING OVERIGE ELEMENTEN

Voor de binnenbakvloer en de begane grondvloer is het raadzaam om voorspanning te overwegen. De onderdelen kunnen daarmee beduidend lichter worden uitgevoerd.

De uitkragende rand van de binnenbakvloer kan beter iets dikker worden gemaakt, zodat de vele schuifwapening niet nodig is. Dit scheelt waarschijnlijk gewicht , maar vooral een hoop arbeid.

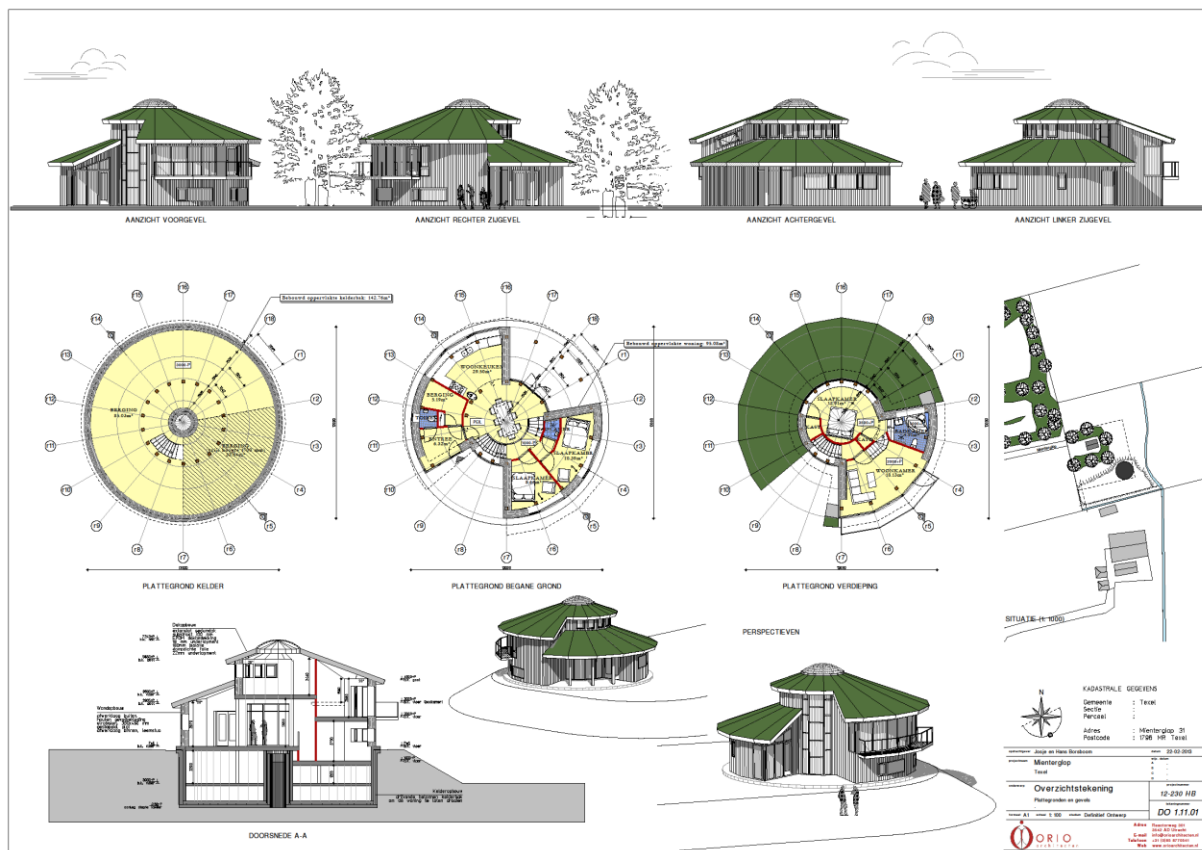
LITERATUUR

1. **Borsboom, Josje en Hans.** Projecten - Toekomstig - Texel. *www.strobouw.nl*. [Online] [Citaat van: 26 april 2013.] <http://www.strobouw.nl/Projecten/Toekomstig/Texel/>.
2. **Overzichtstekening - Plattegronden en gevels.** ORIO architecten, Utrecht : 2013.
3. **Concrete Construction Staff.** Friction Factor for Concrete on Concrete. *Concrete Construction*. [Online] 1 september 1992. [Citaat van: 26 april 2013.] <http://www.concreteconstruction.net/concrete-articles/friction-factor-for-concrete-on-concrete.aspx>.
4. **Kaart Nederland - Landschap, grond en bodem - Grondsoorten.** sl : EduGIS.
5. **Kuijper, Maarten.** *De drijvende fundering - Een stabiele basis voor waterwonen in de 21ste eeuw.* 2006.
6. **Normcommissie 351 001 'Technische Grondslagen voor Bouwconstructies'.** *NEN-EN 1991-1-1+C1 - Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen.* Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
7. **Strobouw Nederland.** Technieken - Technische Eigenschappen. *www.strobouw.nl*. [Online] [Citaat van: 1 mei 2013.] <http://www.strobouw.nl/Technieken/Eigenschappen/>.
8. **Groenedaken.net.** Waar moet uw dak aan voldoen? *www.groenedaken.net*. [Online] 2013. [Citaat van: 5 mei 2013.] <http://www.groenedaken.net/c-2052662/bouwkundige-eisen/>.
9. **btech nv.sa.** DAKU Groendak. *www.omniroof.be*. [Online] [Citaat van: 1 mei 2013.] <http://www.omniroof.be/PDF/DAKUgroendakfolder.pdf>.
10. **Universal Greenfields.** Groendak systemen. *www.ug-daktuinen.nl*. [Online] 2008. [Citaat van: 1 mei 2013.] <http://www.ug-daktuinen.nl/page/groenedaken>.
11. **Normcommissie 351 001 'Technische Grondslagen voor Bouwconstructies'.** *NEN-EN 1991-1-1+C1/NB - Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1+C1: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen.* Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
12. **Walraven, Prof.dr.ir. J.C.** *Dictaat CT2052/3150 - Gewapend beton.* Delft : TU Delft, 2011.
13. **Normcommissie 349 111 'Drijvend bouwen'.** *NTA 8111 - Drijvende bouwwerken.* Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
14. **Fennis, dr.ir. S.A.A.M.** Persoonlijke mededeling. Delft : sn, 25 april 2013.
15. **Braam, C.R.** 6 Case study: gewapend cilindrisch reservoir. *Betonnen reservoirs*. 2008.
16. **Milieusystemen Tiel BV.** Standaard afmetingen en inhoud betonsilo's. *Milieusystemen.nl*. [Online] Milieusystemen Tiel BV. [Citaat van: 5 maart 2013.] <http://www.milieusystemen.nl/afmbeton.htm>.
17. **Van der Schaaf & Nieuwboer Bouwtechnisch Adviesbureau BV.** *Statische berekening Silo type 12 - 53/400.* 2011.
18. **Milieusystemen Tiel BV.** Opbouw van een betonnen mestsilo. *milieusystemen.nl*. [Online] [Citaat van: 6 juni 2013.] <http://www.milieusystemen.nl/opbouwbetonsilo.htm>.
19. [Online] <http://www.spaceneedle.com/discover/history.html>.
20. **Blain, Loz.** The world's first floating, rotating (floatating?) hotel building. *www.gizmag.com*. [Online] 2009 september 2009. [Citaat van: 24 april 2013.] <http://www.gizmag.com/rotating-hotel-marmara-antalya-turkey/12875/>.

21. **Normcommissie 351 001 'Technische Grondslagen voor Bouwconstructies'**. *NEN-EN 1991-1-4+A1+C2 - Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting*. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
22. —. *NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/NB - Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene bealstingen - Windbelsting*. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
23. —. *NEN-EN 1991-1-3+C1 - Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting*. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
24. —. *NEN-EN 1991-1-3+C1/NB - Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-3+C1: Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting*. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.

BIJLAGEN

A OVERZICHTSTEKENING VAN ORIO ARCHITECTEN



B REFERENTIEPROJECTEN

Hoewel de woning op Texel een vrij unieke constructie betreft, zijn er toch enige referenties gevonden. Deze hebben geholpen om inzicht te krijgen in de mogelijkheden en de obstakels bij het ontwerp van de drijvende en roterende woning.

SPACE NEEDLE, SEATTLE, USA

De Space Needle is een bekend gebouw in Seattle. Bij dit gebouw draait een deel van de 'schotel' om de rest van de toren. Dit kost relatief weinig kracht omdat de 'schotel' perfect is gebalanceerd. De motor die voor het draaien gebruikt wordt heeft slecht een vermogen van 1pk (19).



Afbeelding 11.2.1: De Space Needle

HOTEL MARMARA, ANTALYA, TURKIJE

Te Antalya, Turkije is een hotel gebouwd op dezelfde wijze als de woning te Texel. Bij het Hotel Marmara is een gebouw met 24 hotelkamers aangelegd dat drijft in een speciaal aangelegde bak met water. Het 2750 ton zware gebouw drijft in een bak met 470 ton water. Het gebouw bevat vier verdiepingen boven maaiveld en drie verdiepingen onder maaiveld (20).

Het gebouw draait in 22 uur 360° rond en draait dan in 2 uur weer terug. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van zes elektromotoren van elk 1kWh (20). Bij dit gebouw is het draaien eenvoudig omdat er nagenoeg geen wrijving is. Dit laat zien dat het zeker mogelijk is om een deze bouwmethode toe te passen.



Afbeelding 11.2.2: Het Marmara hotel

C BEREKENING WINDBELASTING

Alle formules en waarden in deze bijlage zijn afkomstig uit de Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Windbelasting (NEN-EN 1991-1-4+A1+C2) (21) of de nationale bijlage (NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/NB) (22).

EXTREME STUWDRIK

Indien $c_0 = 1,0$ geeft de nationale bijlage de extreme stuwdruk als functie van de hoogte. Voor gebied I, onbebouwd geeft de tabel $q_p(9) = 0,98$ en $q_p(10) = 1,02$. De stuwdruk op 9,5 meter hoogte is dus ongeveer $q_p(9,5) = \frac{1}{2} \cdot (q_p(9) + q_p(10)) = 1,00$.

BENADERING CILINDER

In deze berekening is de woning geschematiseerd als een cilinder met een hoogte van 7,5 m en een diameter van 13 m.

DRUKCOËFFICIËNTEN CIRKELVORMIGE CILINDER

Het reynoldsgetal Re wordt gegeven door $Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu}$

waarin: b is de diameter = 13 m

$v(z_e)$ is de piekwindsnelheid op $z_e = 9,5$ m, $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$

waarin ρ is de dichtheid van lucht, $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

ν is de kinematische viscositeit van de lucht, $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Dit geeft voor $v(z_e) = 40 \text{ m/s}$ en voor $Re = 3,47 \cdot 10^7 \approx 10^7$.

Voor $Re = 10^7$ geeft de norm de waarden:

$\alpha_{\min} = 75$ is de positie van de minimale druk in [°]

$c_{p0,\min} = -1,5$ is de waarde van de minimale drukcoëfficiënt

$\alpha_A = 105$ is de positie van de stromingsafscheiding in [°]

$c_{p0,h} = -0,8$ is de basisdrukcoëfficiënt

De uitwendige drukcoëfficiënt voor cirkelvormige cilinders wordt bepaald door $c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha}$

waarin: $c_{p,0}$ is de uitwendigedrukcoëfficiënt zonder eindeffecten

$\psi_{\lambda\alpha} = 1$ voor $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\min}$

$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right)$ voor $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_A$

$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_{\lambda}$ voor $\alpha_A \leq \alpha \leq 180$

waarin: ψ_{λ} is de eindeffectfactor

Voor cirkelvormige cilinders met $\ell < 15$ m dat $\lambda = \min\{\ell / b; 70\} = \min\{7,5 / 13; 70\} = 0,577$.

De volheidsgraad ϕ wordt voor een cilinder gegeven door $\phi = \frac{A}{A_c} = 1,0$.

Uit de ontwerpgrafiek volgt dan een indicatieve waarde voor de eindeffectfactor $\psi_{\lambda} = 0,675$.

Voor de volgende waarden van α worden de uitwendige drukcoëfficiënten hiermee:

α	c_{pe}		
0	$c_{p0} \cdot 1$	$= 1,0 \cdot 1$	$= 1$
15	$c_{p0} \cdot 1$	$= 0,7 \cdot 1$	$= 0,7$
30	$c_{p0} \cdot 1$	$= 0 \cdot 1$	$= 0$
45	$c_{p0} \cdot 1$	$= -0,7 \cdot 1$	$= -0,7$
75	$c_{p0,min} \cdot [\psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos(\frac{\pi}{2} \cdot (\frac{\alpha - \alpha_{min}}{\alpha_a - \alpha_{min}}))]$	$= -1,5 \cdot [0,675 + (1 - 0,675) \cdot \cos(0)]$	$= -1,5$
>105	$c_{p0,h} \cdot \psi_\lambda$	$= -0,8 \cdot 0,675$	$= -0,54$

KRACHTCOËFFICIËNTEN

De krachtcoëfficiënt voor een eindige cirkelvormige cilinder c_f wordt berekend als: $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$

waarin: $c_{f,0}$ is de krachtcoëfficiënt voor cilinders zonder eindeffect, $c_{f,0} = 1,2 + \frac{0,18 \cdot \log(10 \cdot k / b)}{1 + 0,4 \cdot \log(\text{Re} / 10^6)}$

waarin: k is de ruwheidshoogte, voor deze woning geldt $k = 0,5$ mm (geschaafd hout).

Dit geeft $c_{f,0} = 0,82$ en daarmee $c_f = 0,55$.

WRIJVINGSCOËFFICIËNTEN

De houten betimmering van de woning is zeer ruw. Dit geeft een wrijvingscoëfficiënt $c_{fr} = 0,04$.

Het referentie oppervlakte A_{fr} voor wrijving is niet gedefinieerd. Hiervoor zal $A_{fr} = 2 \cdot \ell \cdot b + 0,25 \cdot \pi \cdot b^2 = 228 \text{ m}^2$ worden aangehouden.

WINDDRUK OP WANDEN

De winddruk op de buitenzijde is $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$. Evenals de drukcoëfficiënt c_{pe} is deze niet constant over de omtrek.

De winddruk op de binnenzijde van de wanden is $w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$

waarin: c_{pi} is de meest ongunstige waarde van +0,2 en -0,3

$$q_p(z_i) = q_p(z_e)$$

WINDKRACHTEN

De windkracht F_w op de gehele constructie wordt gegeven door: $F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementen}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$

waarin: $c_s c_d$ is de bouwwerkfactor, $c_s c_d = c_s \cdot c_d$

waarin: $c_d = 1$ omdat $h < 50$ m en $h/b < 5$

c_s is niet te berekenen volgens de nationale bijlage van de norm, omdat de norm alleen voorziet voor rechthoekige gebouwen. De algemene Eurocode geeft echter $c_s c_d = 1$ omdat $h < 15$ m, dus dit zal worden aangehouden.

c_f is de krachtcoëfficiënt

$q_p(z_e)$ is de extreme stuwdruk

A_{ref} is het referentieoppervlak

De wrijvingskracht F_{fr} op de gehele constructie wordt gegeven door: $F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$

waarin: c_{fr} is de wrijvingscoëfficiënt

$q_p(z_e)$ is de extreme stuwdruk

A_{fr} is het deel van de buitenzijde parallel met de wind

TOTALE WINDBELASTING

In de berekening van de netto windbelasting wordt de interne druk niet meegenomen, omdat deze zich over de gehele cilinder uitmiddelt

De totale wrijvingskracht is $F_{w,fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} = 0,04 \cdot 1,00 \cdot 328 = 13 \text{ kN}$.

De totale drukkracht is $F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementen}} c_{pe} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$

De drukcoëfficiënt c_{pe} is gegeven als variabele over en loodrecht op de omtrek. Omdat de verdeling symmetrisch is, is de component van de resultante loodrecht op de windrichting 0. De component in de windrichting wordt benaderd door de c_{pe} voor $0 < \alpha < 45$ en voor $135 < \alpha < 180$ mee te rekenen. Voor $0 < \alpha < 45$ wordt deze lineair zone benaderd. De totale drukkracht wordt dan

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \left[\sum_{\alpha=0}^{45} c_{pe} / 45 - \sum_{\alpha=135}^{180} c_{pe} / 45 \right] \cdot q_p(z_e) \cdot \ell \cdot b = 1 \cdot [((15 - 0) \cdot (1 + 0,7) / 2 + (30 - 15) \cdot (0,7 + 0) / 2 + (45 - 30) \cdot (0 - 0,7) / 2) / 45 - (-0,54)] \cdot 1,00 \cdot 7,5 \cdot 13 = 80 \text{ kN}.$$

De netto windbelasting is dan $F_w = F_{w,fr} + F_{w,e} = 13 + 80 = 93 \text{ kN}$.

BENADERING RECHTHOEKIG BLOK

In deze berekening is de woning benaderd als een rechthoek met breedte 13 m, hoogte 5,5 m en diepte 11 m.

DRUKCOËFFICIËNTEN

De nationale bijlage geeft voor de voorzijde (zone D) een $c_{pe,10} = +0,8$ en voor de achterzijde (zone E) $c_{pe,10} = -0,5$. De drukcoëfficiënten op de overige zones zijn niet van belang voor de netto horizontale kracht. Het referentieoppervlak is gelijk aan de voorkant, $A_{ref} = b \cdot h = 13 \cdot 5,5 = 71,5 \text{ m}^2$.

WRIJVINGSCOËFFICIËNTEN

Ook in deze benadering geldt $c_{fr} = 0,04$. Het referentieoppervlak bestaat voor wrijving uit de zijanten en het dak: $A_{fr} = 2 \cdot d \cdot h + d \cdot b = 2 \cdot 11 \cdot 5,5 + 11 \cdot 13 = 264 \text{ m}^2$.

TOTALE WINDBELASTING

De totale wrijvingskracht is $F_{w,fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} = 0,04 \cdot 1,00 \cdot 264 = 11 \text{ kN}$.

De totale drukkracht is $F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementen}} c_{pe} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1 \cdot (0,8 - (-0,5)) \cdot 1,00 \cdot 71,5 = 93 \text{ kN}$.

De netto windbelasting is dan $F_w = F_{w,fr} + F_{w,e} = 11 + 93 = 104 \text{ kN}$.

D BEREKENING SNEEUWBELASTING

Alle formules en waarden in deze bijlage zijn afkomstig uit de Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelasting (NEN-EN 1991-1-3+C1) (23) of de nationale bijlage (NEN-EN 1991-1-3+C1/NB) (24).

De sneeuwbelasting op het dak wordt gegeven door: $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$

waarin: μ_i is de sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt, voor $\alpha = 22^\circ$ of $\alpha = 0^\circ$ en schematisering als een zadeldak

geldt $\mu_i = \mu_i(22^\circ) = \mu_i(0^\circ) = 0,8$.

s_k is de karakteristieke waarde van sneeuwbelasting op de grond, de nationale bijlage geeft dat $s_k = 0,7$ kN/m² voor elke locatie in Nederland.

C_e is de blootstellingscoëfficiënt, de nationale bijlage geeft dat $C_e = 1$ voor alle locaties in Nederland.

C_t is de warmtecoëfficiënt, de nationale bijlage geeft dat $C_t = 1$ voor elk gebouw in Nederland met uitzondering van tuinbouwkassen.

De resulteert in $s = 0,56$ kN/m². Deze belasting is verticaal en per horizontale projectie van het dak of terras.

Wegens het grote afschot wordt belasting door regenwateraccumulatie niet beschouwd.

E KENTERING DOOR EIGENGEWICHT

Om het zwaartepunt van het eigen gewicht te bepalen, is gebruik gemaakt van de oppervlakten en eerste orde oppervlakte momenten van vlakjes. Omdat de vlakjes puntvormig zijn, is gekozen om dit in poolcoördinaten te doen.

De oppervlakte van een vlakje is gelijk aan :

$$A = \int_A dA = \int_r^R \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} r dr d\varphi = \int_r^R r dr \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) (\varphi_2 - \varphi_1)$$

Het oppervlakte moment in x-richting is gelijk aan:

$$S_x = \int_A x dA = \int_r^R \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} r^2 \sin \varphi dr d\varphi = \int_r^R r^2 dr \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin \varphi d\varphi = \frac{1}{3} (R^3 - r^3) (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)$$

Het oppervlakte moment in y-richting is gelijk aan:

$$S_y = \int_A y dA = \int_r^R \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} r^2 \cos \varphi dr d\varphi = \int_r^R r^2 dr \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos \varphi d\varphi = \frac{1}{3} (R^3 - r^3) (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

Deze waarden zijn bepaald voor alle vlakjes die bebouwd zijn met strobouw en voor alle vlakjes waar dak boven zit. Dit zijn dus vlakjes op de begane grond en de 1^e verdieping. Alle eigengewicht onder de begane grond is symmetrisch en is dus niet van belang voor het kenterende moment. Dit is te zien in tabellen E1 en E2.

Vervolgens zijn als deze oppervlakten en oppervlaktemomenten gewogen met de bijbehorende belasting. Voor strobouw is dit $q = 2 \text{ kN/m}^2$ en voor het dak nog eens $q = 0,5 \text{ kN/m}^2$. De resultaten staan in tabel E3. Het kenterende moment is $q \cdot S$ en de belasting is $q \cdot A$.

Vervolgens zijn alle kenterende momenten en de belasting opgeteld. Dit levert $M_x = -297 \text{ kNm}$, $M_y = 475 \text{ kNm}$, dus $M = 561$ en $\tan \alpha_M = -0,72 \text{ rad}$.

Tabel E.1: Begane grond

		Bebouwd						Dak					
part van	tot	φ_1 [rad]	φ_2 [rad]			Opperv- vlakte A [m ²]	Opperv- vlakte moment S_y [m ³]	Opperv- vlakte moment S_x [m ³]			Opperv- vlakte A [m ²]	Opperv- vlakte moment S_y [m ³]	Opperv- vlakte moment S_x [m ³]
				r	R				r	R			
r1	r2	-0,35	0,00	0	3	1,6	-0,5	3,1	3	7	7,0	-6,4	36,0
r2	r3	-0,70	-0,35	0	6,5	7,4	-15,9	27,5	0	0	0,0	0,0	0,0
r3	r4	-1,05	-0,70	0	6,5	7,4	-24,4	20,4	0	0	0,0	0,0	0,0
r4	r5	-1,40	-1,05	0	6,5	7,4	-29,9	10,9	0	0	0,0	0,0	0,0
r5	r6	-1,75	-1,40	0	6,5	7,4	-31,8	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
r6	r7	-2,09	-1,75	0	6,5	7,4	-29,9	-10,9	0	0	0,0	0,0	0,0
r7	r8	-2,44	-2,09	0	3	1,6	-2,4	-2,0	0	0	0,0	0,0	0,0
r8	r9	-2,79	-2,44	0	3	1,6	-1,6	-2,7	0	0	0,0	0,0	0,0
r9	r10	-3,14	-2,79	0	3	1,6	-0,5	-3,1	0	0	0,0	0,0	0,0
r10	r11	-3,49	-3,14	0	6,5	7,4	5,5	-31,3	3	7	7,0	6,4	-36,0
r11	r12	-3,84	-3,49	0	6,5	7,4	15,9	-27,5	3	7	7,0	18,3	-31,7
r12	r13	-4,19	-3,84	0	6,5	7,4	24,4	-20,4	3	7	7,0	28,0	-23,5
r13	r14	-4,54	-4,19	0	6,5	7,4	29,9	-10,9	3	7	7,0	34,4	-12,5
r14	r15	-4,89	-4,54	0	6,5	7,4	31,8	0,0	3	7	7,0	36,6	0,0
r15	r16	-5,24	-4,89	0	6,5	7,4	29,9	10,9	3	7	7,0	34,4	12,5
r16	r17	-5,59	-5,24	0	3	1,6	2,4	2,0	3	7	7,0	28,0	23,5
r17	r18	-5,93	-5,59	0	3	1,6	1,6	2,7	3	7	7,0	18,3	31,7
r18	r1	-6,28	-5,93	0	3	1,6	0,5	3,1	3	7	6,98	6,35	36,03

Tabel E.2: 1^e verdieping

				Bebouwd					Dak				
part van	tot	$\varphi 1$ [rad]	$\varphi 2$ [rad]	r	R	Oppervlakte A [m ²]	Oppervlakte moment S_y [m ³]	Oppervlakte moment S_x [m ³]	r	R	Oppervlakte A [m ²]	Oppervlakte moment S_y [m ³]	Oppervlakte moment S_x [m ³]
r1	r2	-0,35	0,00	0	3	1,6	-0,5	3,1	0	3,5	2,1	-0,9	4,9
r2	r3	-0,70	-0,35	0	6,5	7,4	-15,9	27,5	0	7	8,6	-19,9	34,4
r3	r4	-1,05	-0,70	0	6,5	7,4	-24,4	20,4	0	7	8,6	-30,4	25,5
r4	r5	-1,40	-1,05	0	7,5	9,8	-45,9	16,7	0	7	8,6	-37,3	13,6
r5	r6	-1,75	-1,40	0	7,5	9,8	-48,8	0,0	0	7	8,6	-39,7	0,0
r6	r7	-2,09	-1,75	0	7,5	9,8	-45,9	-16,7	0	7	8,6	-37,3	-13,6
r7	r8	-2,44	-2,09	0	3	1,6	-2,4	-2,0	0	3,5	2,1	-3,8	-3,2
r8	r9	-2,79	-2,44	0	3	1,6	-1,6	-2,7	0	3,5	2,1	-2,5	-4,3
r9	r10	-3,14	-2,79	0	3	1,6	-0,5	-3,1	0	3,5	2,1	-0,9	-4,9
r10	r11	-3,49	-3,14	0	3	1,6	0,5	-3,1	1,5	3,5	1,7	0,8	-4,5
r11	r12	-3,84	-3,49	0	3	1,6	1,6	-2,7	1,5	3,5	1,7	2,3	-4,0
r12	r13	-4,19	-3,84	0	3	1,6	2,4	-2,0	1,5	3,5	1,7	3,5	-2,9
r13	r14	-4,54	-4,19	0	3	1,6	2,9	-1,1	1,5	3,5	1,7	4,3	-1,6
r14	r15	-4,89	-4,54	0	3	1,6	3,1	0,0	1,5	3,5	1,7	4,6	0,0
r15	r16	-5,24	-4,89	0	3	1,6	2,9	1,1	1,5	3,5	1,7	4,3	1,6
r16	r17	-5,59	-5,24	0	3	1,6	2,4	2,0	1,5	3,5	1,7	3,5	2,9
r17	r18	-5,93	-5,59	0	3	1,6	1,6	2,7	1,5	3,5	1,7	2,3	4,0
r18	r1	-6,28	-5,93	0	3	1,6	0,5	3,1	1,5	3,5	1,7	0,8	4,5

Tabel E.3: Belasting en gewogen oppervlaktmomenten

part van	tot	Belasting [kN]	Kenterende moment M_y [kNm]	Kenterende moment M_x [kNm]
r1	r2	10,8	-5,8	32,8
r2	r3	33,8	-73,5	127
r3	r4	33,8	-113	94,5
r4	r5	38,7	-170	61,9
r5	r6	38,7	-181	0,0
r6	r7	38,7	-170	-61,9
r7	r8	7,35	-11,5	-9,6
r8	r9	7,35	-7,49	-13,0
r9	r10	7,35	-2,60	-14,8
r10	r11	22,3	15,7	-89,0
r11	r12	22,3	45,2	-78,3
r12	r13	22,3	69,3	-58,1
r13	r14	22,3	85,0	-30,9
r14	r15	22,3	90,4	0,0
r15	r16	22,3	85,0	30,9
r16	r17	10,6	25,3	21,3
r17	r18	10,6	16,5	28,6
r18	r1	10,6	5,74	32,6

F HOOGTE WATERCOMPARTIMENTEN

Van elk compartiment is de oppervlakte A en de positie van het zwaartepunt (a_x , a_y) bepaald. Deze zijn te zien in tabel F1. Vervolgens zijn de oppervlakte momenten uitgerekend volgens $S = a \cdot A$. Hiermee zijn de kenterende momenten bepaald volgens $M = S \cdot h \cdot \gamma_{\text{water}}$. De momenten van de vlakjes zijn opgeteld. Het totale

moment is $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 1119 \text{ kNm}$ en $\tan \alpha_M = \frac{M_x}{M_y} = 0,66 \text{ rad}$.

Tabel F.1: Kenterende momenten uit watercompartimenten

	$A \text{ [m}^2\text{]}$	$a_x \text{ [m]}$	$a_y \text{ [m]}$	$S_x \text{ [m]}$	$S_y \text{ [m]}$	$h \text{ [m]}$	$\gamma_{\text{water}} \text{ [kN/m}^3\text{]}$	$M_x \text{ [kNm]}$	$M_y \text{ [kNm]}$
1 punt	14,6	3,4	3,4	49,6	49,6	0,64	10	317	317
2 rechthoek	15,7	4,05	0	63,7	0,0	0,64	10	407	0
3 punt	14,6	3,4	-3,4	49,6	-49,6	0,64	10	317	-317
4 rechthoek	15,7	0	-4,05	0,0	-63,7	0,64	10	0	-407
5 punt	14,6	-3,4	-3,4	-49,6	-49,6	0	10	0	0
6 rechthoek	15,7	-4,05	0	-63,7	0,0	0	10	0	0
7 punt	14,6	-3,4	3,4	-49,6	49,6	0	10	0	0
8 rechthoek	15,7	0	4,05	0,0	63,7	0	10	0	0
								1042	-407

G DIEPGANG BEPALEN

Tabel G.1: Enkele afmetingen

h binnenbak [m]	5
l compartimentwanden	50
h compartimentwanden [m]	0,7

Tabel G.2: Berekening onderdelen G, Q-1, Q0, Q1 en Qsneeuw

oppervlak grasdak [m ²]	171	q _{dak} [kN/m ²]	0,5	G1 [kN]	85
oppervlak grasdak [m ²]	171	q _{sneeuw} [kN/m ²]	0,56	Q _{sneeuw1} [kN]	96
woon oppervlak (incl. balkon) [m ²]	65	q _{woon} [kN/m ²]	1,75	Q ₁ [kN]	113
bebouwd oppervlak [m ²]	65	q _{strobouw} [kN/m ²]	2	G2 [kN]	129
balkon [m ²]	7	q _{sneeuw} [kN/m ²]	0,56	Q _{sneeuw2} [kN]	4
woon oppervlak (incl. terras) [m ²]	154	q _{woon} [kN/m ²]	1,75	Q ₀ [kN]	269
bebouwd oppervlak [m ²]	92	q _{strobouw} [kN/m ²]	2	G3 [kN]	184
terras en rand [m ²]	62	q _{sneeuw} [kN/m ²]	0,56	Q _{sneeuw3} [kN]	35
gereduceerd oppervlak berging [m ²]	113	q _{bergig} [kN/m ²]	7,5	Q ₁ [kN]	849
begane grondvloer [m ²]	154	d begane grondvloer [m]	0,27	G4 [kN]	1039
		γ _{beton} [kN/m ³]	25		
keldervloer [m ²]	113	d keldervloer [m]	0,24	G5 [kN]	679
		γ _{beton} [kN/m ³]	25		
binnenbakkvloer [m ²]	113	d binnenbakkvloer [m]	0,15	G6 [kN]	425
		γ _{beton} [kN/m ³]	25		
wanden binnenbak [m ²]	236	d wanden [m]	0,16	G7 [kN]	942
		γ _{beton} [kN/m ³]	25		
wandliggers watercompartimenten [m ²]	35	d wandliggers [m]	0,1	G8 [kN]	88
		γ _{beton} [kN/m ³]	25		
volume trimgewicht [m ³]	35	γ _{water} [kN/m ³]	10	G9 [kN]	350

Tabel G.3: Belastingcombinaties

G [kN]	3922		
Q ₁ [kN]	849	1	4924
Q ₀ [kN]	269	0,4	5086
Q ₁ [kN]	113	0,4	4879
Q _{sneeuw} [kN]	134	0	5059

Tabel G.4: Benodigde verplaatste water

oppervlakte [m ²]	113,2
γ _{water} [kN/m ³]	10

Tabel G.5: Effect of maten en hun grenswaarden

vereiste diepgang drijven in BGT	4,49	<=?	5
vrijeboord	0,93	>=?	0,3
hoogte onderste kelder	2,8	>=?	0,7

H HANDBEREKENING WAPENING

Belastingen UGT

M [kNm]	169
N [kN] $\approx$	0
V [kN]	244

BGT

M [kNm]	116
N [kN] $\approx$	0

Geometrie

h [m]	0,27	d [mm]	232,5
b [m]	0,5	z [mm] $\approx$	209

Langswapening

$\emptyset$ [mm]	25
f_{yd} [N/mm ²]	435

benodigd

A_s [mm ² /m]	3713
ρ	1,60%

om de

gekozen

125

3927

1,69%

Beton

sterkteklasse	C35/45
f_{cd} [N/mm ²]	23,3
f_{ctm} [N/mm ²]	3,2
$f_{cm,fl}$ [N/mm ²]	4,3

ρ_{min}	0,18%
ρ_{max}	2,35%

E_s [N/mm ²]	200000
E_{cm} [N/mm ²]	34000
α_E	5,88

σ_s [N/mm ²]	282
ϵ_{cs}	0,0E+00

Effectieve rho

x [m]	0,083
h_{eff} [m]	0,062
ρ_{eff}	6,30%

Scheurwijdte

M_{cr} [kNm]	25,9 => SCS
w_{max} [mm]	0,13

Dwarskracht

k	1,927478	$V_{Rd,c}$ [kN]	104,745
$v_{Rd,c}$ [N/mm ²]	0,901029		
v_{min} [N/mm ²]	0,554097		

ben A_{sw}/s [mm ² /m]	2680,62
--	---------

I INPUT SCIA ENGINEER

Tabel I.1: Berekening van de puntlasten

straal	alpha	r	x	y	opp hout- skelet	opp stro- bouw	opp dak	G [kN]	opp vb	Qvb [kN]	opp dak	Qsn
r1	0,35	3	6,500	1,026	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	0,35	6	5,638	2,052	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r18	0,70	3										
	0,70	6	4,596	3,857	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r17	1,05	3	1,500	2,598	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	1,05	6	3,000	5,196	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r16	1,40	3	0,521	2,954	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	1,40	6	1,042	5,909	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r15	1,75	3										
	1,75	6	-1,042	5,909	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r14	2,09	3	-1,500	2,598	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	2,09	6	-3,000	5,196	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r13	2,44	3	-2,298	1,928	3,53	2,14	4,10	11,63	1,57	2,75	4,10	2,30
	2,44	6	-4,596	3,857	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r12	2,79	3	-2,819	1,026	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	2,79	6	-5,638	2,052	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r11	3,14	3										
	3,14	6	-6,000	0,000	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r10	3,49	3	-2,819	-1,026	5,30	3,21	6,15	17,44	2,36	4,12	6,15	3,45
	3,49	6	-5,638	-2,052	5,02		5,02	10,04			5,02	2,81
r9	3,84	3	-2,298	-1,928	1,57	2,14	2,14	7,70	1,57	2,75	2,14	1,20
	3,84	6										
r8	4,19	3	-1,500	-2,598	1,57	2,14	2,14	7,70	1,57	2,75	2,14	1,20
	4,19	6										
r7	4,54	3	-0,521	-2,954	9,62	10,60	10,60	40,94	4,71	8,25	10,60	5,94
	4,54	6	-1,042	-5,909	2,51	6,28	5,02	18,84			5,02	2,81
r6	4,89	3										
	4,89	6	1,042	-5,909	5,02	6,28	5,02	22,60			5,02	2,81
r5	5,24	3										
	5,24	6	3,000	-5,196	5,02	6,28	5,02	22,60			5,02	2,81
r4	5,59	3										
	5,59	6	4,596	-3,857	5,02	6,28	5,02	22,60			5,02	2,81
r3	5,93	3										
	5,93	6	5,638	-2,052	5,02	5,02	5,02	20,07			5,02	2,81
r2	6,28	3	3,000	0,000	10,60	10,60	11,30	42,76	4,71	8,25	11,30	6,33
	6,28	6	6,000	0,000	5,02	5,02	7,53	21,33			7,53	4,21