

Drijvende woning Betonnen drijflichaam

Carla Smulders

Delft University of Technology



Auteur: Carla Smulders 4211855

Begeleiders: Ir. P. Lagendijk & Ir. P.C.J. Hoogenboom

Vak: CTB3000 Bachelor Eindwerk

22 juni 2015

Drijvende woning Betonnen drijflichaam

Carla Smulders
4211855

22 juni 2015

Voorwoord

Het laatste deel van de bachelor fase van Civiele Techniek bestaat uit het bachelor eindwerk. Hierin wordt de kennis die opgedaan is in de eerste drie jaar in de praktijk gebracht. Er kan bij dit eindwerk gekozen worden voor alle verschillende disciplines binnen de Civiele Techniek. Het kan zowel als de afsluiting van de bachelor en het opstapje naar de master worden gezien.

In dit geval is de keuze gevallen op de richting Structural Engineering. Nog specifieker wordt er ingegaan op de subrichting Beton binnen deze masterrichting. Binnen dit bachelor eindwerk wordt er gezocht naar een optimaal ontwerp voor de betonnen onderbouw van een drijvende woning. Hierbij wil ik Ir. P. Lagendijk en Dr. Ir. P.C.J. Hoogenboom bedanken voor hun waardevolle ondersteuning en begeleiding tijdens dit bachelor eindwerk.

Inhoudsopgave

1. Samenvatting	6
2. Inleiding	7
3. Belastingen vanuit de bovenbouw	8
3.1. Hoe de belasting op de onderbouw werkt	8
4. Algemene eigenschappen	10
4.1. Betonsterkte	10
4.2. Oplegging	10
4.3. Modellen met ribben	11
4.4. Aannee dikte wanden en vloer drijflichaam	11
4.5. Horizontale belasting	11
4.6. Stabiliteit	12
4.7. Elasticiteitsmodulus onder langdurig aanwezige belasting	13
4.8. Eigenschappen overzicht	13
4.9. Conclusie	14
5. Interne krachten	15
5.1. Vervormingen	15
5.1.1. Modellen zonder ribben	15
5.1.2. Modellen met ribben	16
5.2. Resultaten en vloer- en wanddikte optimalisatie	16
5.3. Dunne modellen	17
5.3.1. Interne krachten	17
5.3.2. Vervormingen	21
5.4. Conclusie	22
6. Wapening	23
6.1. Wapening per model	23
6.2. Wapeningspercentages	28
7. Kosten	29
7.1. Kosten per model	29
8. Conclusie	30
9. Aanbevelingen	32
Bibliografie	34
A. Belasting vanuit de bovenbouw	35
A.1. Gevels	35

A.2. Vloeren	35
A.3. Belastingen per model	36
B. Algemene eigenschappen	38
B.1. Elasticiteitsmodulus	38
B.2. Afmetingen drijflichaam elementen	39
B.3. Minimum en maximum staafafstanden	41
B.4. Stabiliteit	43
C. Model 60²	45
C.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting	45
C.2. Stabiliteit	46
D. Model 90 m²	51
D.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting	51
D.2. Stabiliteit	51
D.3. Interne krachten	54
E. Model 120 m²	57
E.1. Gegevens bij eerste model 120	57
E.1.1. Lokale assenstelsels	64
E.2. Controle ordegrootte gevonden momenten	65
E.3. Wapening	70
E.4. Gegevens bij nieuw model 120	77
E.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte	80
E.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting	87
E.7. Kosten	89
F. Model 150 m²	90
F.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting	90
F.2. Stabiliteit	91
F.3. Interne krachten	93
G. Model 180 m²	96
G.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting	96
G.2. Stabiliteit	97
G.3. Interne krachten	99
H. Model met 1 rib	102
H.1. Gegevens bij eerste model met 1 rib	102
H.2. Wapening	108
H.3. Gegevens bij dunner model	115
H.4. Controle ordegrootte momenten, model met rib	118
H.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte	122
H.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting	134
H.7. Kosten	135
I. Model met 2 ribben	136
I.1. Gegevens bij eerste model met 2 ribben	136

I.2.	Wapening	142
I.3.	Gegevens bij dunner model	149
I.4.	Controle ordegrootte momenten, model met 2 ribben	153
I.5.	Nieuwe wapening bij kleinere dikte	156
I.6.	Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting	166
I.7.	Kosten	167
J.	Model met 2 gekruiste ribben	168
J.1.	Gegevens bij eerste model met 2 gekruiste ribben	168
J.2.	Wapening	174
J.3.	Gegevens bij dunner model	181
J.4.	Controle ordegrootte momenten, model met 2 gekruiste ribben	185
J.5.	Nieuwe wapening bij kleinere dikte	189
J.6.	Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting	200
J.7.	Kosten	201
K.	Model met 4 gekruiste ribben	202
K.1.	Gegevens bij eerste model met 4 gekruiste ribben	202
K.2.	Wapening	208
K.3.	Gegevens bij dunner model	215
K.4.	Controle ordegrootte momenten, model met 4 gekruiste ribben	219
K.5.	Nieuwe wapening bij kleinere dikte	223
K.6.	Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting	234
K.7.	Kosten	235

1. Samenvatting

In dit rapport wordt er gezocht naar een kosten optimalisatie voor het betonnen drijflichaam van een tweelaags drijvende woning van 10 bij 12 meter. Het doel van dit onderzoek is bepalen of het vergroten of verkleinen van het drijflichaam ten opzichte van de woning of het toevoegen van ribben in de bodem van het drijflichaam een gunstige invloed kan hebben op de belastingverdeling in de constructie en daarmee ook voor de kosten. Tijdens dit onderzoek zal er gebruik gemaakt worden van het eindige elementen programma SCIA Engineer.

Er is begonnen met voor ieder model (60 m², 90 m², 120 m², 150 m² en 180 m²) de belasting vanuit de bovenbouw te bepalen. Deze belasting moet voor ieder model op eenzelfde wijze berekend worden, zodat de modellen wel onderling vergelijkbaar blijven. Ook andere eigenschappen van de modellen zijn bepaald, zoals de betonsterkte, de veerstijfheid van de verende oplegging die het water modelleert, de dikte van de constructie-elementen, de diepgang, de hoogte en de grootte van de horizontale belasting en de elasticiteitsmodulus onder langdurig aanwezige belasting.

Er is een korte stabiliteitstoets uitgevoerd op de verschillende modellen. Het kleinste model bleek hier niet aan te voldoen. Door de verzwaring die dit model nodig heeft om aan de stabiliteit te voldoen, kan er geconcludeerd worden dat dit model geen gunstig resultaat op zal leveren ten opzichte van de overige modellen.

De modellen zijn met de gevonden eigenschappen in SCIA engineer gebouwd. Aan de hand van de resultaten kunnen twee belangrijke conclusies worden getrokken. Ten eerste, alle modellen zonder ribben blijken te grote vervormingen in de vloer te hebben, waardoor de vloerdikte groter dan 200 mm moet worden om aan de gestelde eis voor maximaal toelaatbare vervorming te voldoen. Deze verdikking zal zorgen voor een grotere diepgang, dus een grotere hoogte en dus hogere kosten voor het benodigde extra materiaal. Alle modellen zonder ribben vervallen hier als mogelijk optimale uitvoeringen van het drijflichaam. Ten tweede, de bepaalde benodigde wapening voor de overige modellen levert wapeningspercentages ruim onder de maximaal toelaatbare waarde van 2%. Deze modellen kunnen dunner gedimensioneerd worden dan eerder was aangenomen.

Voor de modellen met de nieuwe bepaalde vloer- en wanddikte van 135 mm zijn opnieuw alle benodigde gegevens en eigenschappen bepaald en de modellen zijn ook getoetst aan de stabiliteit en maximaal toelaatbare vervormingen. Bij het model zonder ribben en het model met 1 rib blijkt dat de vloer verdikt moet worden om te voldoen aan de vervormingseis. Vervolgens is met behulp van de interne krachtenverdeling uit SCIA Engineer de wapening voor deze modellen bepaald en kon aan de hand van kostenkengetallen de kosten voor de verschillende modellen worden berekend.

Aan de hand van de kosten kunnen de modellen gemakkelijk vergeleken worden. Het goedkoopste model blijkt het model met twee parallel lopende ribben te zijn, ook voldoet dit model aan de gestelde eisen betreffende de stabiliteit en de vervormingen.

2. Inleiding

Voor een zestal drijvende woningen in de Harnaschpolder moet, in verband met kosten, de onderbouw gemaakt worden van beton. De woningen bestaan uit twee verdiepingen, zijn uitgevoerd in houtskelet en zijn 10 bij 12 meter.

Onderzocht wordt of het vergroten of verkleinen van het drijflichaam ten opzichte van de woning een gunstige invloed kan hebben op de belastingverdeling in de constructie en daarmee ook voor de kosten. De volgende afmetingen van de onderbouw zullen onderzocht worden: 60 m², 90 m², 120 m², 150 m² en 180 m² met een lengte-breedte verhouding van 1,2 : 1. Ook zal er onderzocht worden of er met behulp van ribben in de bodem een nog gunstiger belastingverdeling en daarmee nog meer kosten besparingen gevonden kan worden. Hierbij zal gekeken worden naar een model met 1 rib, 2 parallel lopende ribben, 2 gekruiste ribben en 4 gekruiste ribben. Om de modellen te kunnen vergelijken zullen de kosten bepaald worden aan de hand van kostenkenngetallen, waarbij het goedkoopste model het beste zal zijn.

Tijdens het project zal er gebruik gemaakt worden van het eindige elementen programma SCIA Engineer om de belastingverdelingen in de onderbouw te vinden. Ook zullen de Eurocode en de Nederlands Technische Afspraak die geldt voor drijvende bouwwerken gebruikt worden en zullen het dictaat Gewapend Beton en het dictaat Plasticity, uitgegeven door de TU Delft, gebruikt worden.

Aan het eind zal er een antwoord gevonden worden op de volgende probleemstelling:

Wat is economisch gezien de gunstigste uitvoering van de onderbouw van een drijvende woning waarbij gekeken wordt naar verschillende grootte van het drijflichaam, alsook naar verschillende uitvoeringen met betrekking tot aanwezigheid van ribben?

Voorgaand aan dit optimalisatie onderzoek is er een ontwerp onderzoek uitgevoerd naar het betonnen drijflichaam van een drijvende woning. Doelstelling was hier om een ontwerp van een betonnen drijflichaam voor een tweelaags waterwoning uitgevoerd in houtskelet met een zo laag mogelijke diepgang te maken. De maximale diepgang werd hier beperkt tot 1,60 m.

3. Belastingen vanuit de bovenbouw

De woning heeft 2 verdiepingen en dus 3 vloeren, als het dak wordt meegerekend als een vloer. De vloeren zijn van hout en hiervoor is een permanente belasting van $0,7 \text{ kN/m}^2$ aangenomen. Voor de variabele belasting is in de Eurocode een belasting van $1,75 \text{ kN/m}^2$ te vinden en $0,5 \text{ kN/m}^2$ voor de lichte scheidingswanden. In de Nationale Bijlage van Eurocode 0 kan gevonden worden dat de combinatiefactor voor daken $\Psi=0$, deze variabele belasting op de vloeren hoeft dus niet meegenomen te worden op het dak.

De woning heeft 4 wanden per verdieping. Ook deze zijn van hout en hiervoor kan een gewicht van $0,5 \text{ kN/m}^2$ genomen worden.

Een overzicht van de belastingen kan gevonden worden in tabel 3.1.

Permanente vloerbelasting	Variabele vloerbelasting	Permanente gevelbelasting
$0,7 \text{ kN/m}^2$	$1,75 + 0,5 = 2,25 \text{ kN/m}^2$	$0,5 \text{ kN/m}^2$

Tabel 3.1.: Belastingen

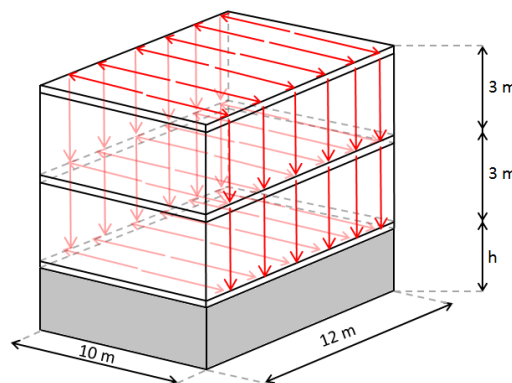
De volgende veiligheidsfactoren worden meegenomen:

$$\gamma_p = 1,2$$

$$\gamma_v = 1,5$$

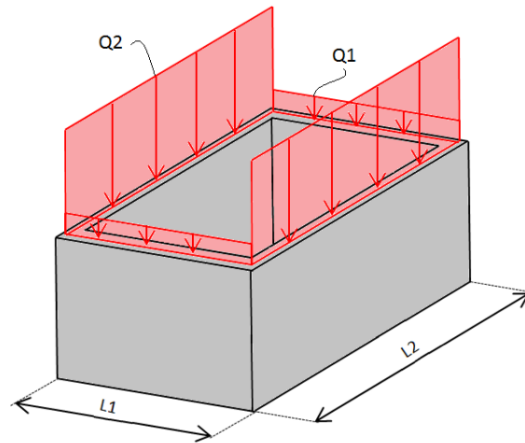
3.1. Hoe de belasting op de onderbouw werkt

De belasting vanuit de bovenbouw werkt verdeeld op de wanden van de onderbouw. De vloeren in de woning dragen de belastingen af in 1 richting. Voor de vloer is het gunstig als de overspanning in de richting waarin de belasting wordt afgedragen het kleinst is, dus in de breedte. Dit is te zien in figuur 3.1



Figuur 3.1.: Afdracht vloerbelasting op lange gevels

Dus voor de wanden van het drijflichaam geldt: de langste twee overstaande wanden dragen de belasting van de vloeren en de bijbehorende gevels af en de twee andere overstaande wanden dragen de belasting van enkel de bijbehorende gevels af. Dit zal er zoals in figuur 3.2 uit zien.



Figuur 3.2.: Belastingsituatie op de onderbouw

De afmetingen van de drijflichamen zijn als weergegeven in tabel 3.2. De verhouding l:b is 1,2:1.

-	Lengte, L2	Breedte, L1
Model 60	8,5 m	7,1 m
Model 90	10,4 m	8,7 m
Model 120	12 m	10 m
Model 150	13,4 m	11,2 m
Model 180	14,7 m	12,3 m

Tabel 3.2.: Afmetingen onderbouw

De bijbehorende berekeningen per drijflichaam zijn in bijlage A te vinden, waarmee de resultaten in tabel 3.3 gevonden zijn.

-	Q1	Q2	Totale belasting
Model 60	5,07 kN/m	70,52 kN/m	1270,8 kN
Model 90	4,14 kN/m	57,63 kN/m	1270,8 kN
Model 120	3,6 kN/m	49,95 kN/m	1270,8 kN
Model 150	3,21 kN/m	49,46 kN/m	1397,59 kN
Model 180	2,93 kN/m	49,49 kN/m	1527,11 kN

Tabel 3.3.: belastingen per model

Het eigen gewicht van het drijflichaam zelf zal in Scia Engineer automatisch worden meegenomen en hoeft hier dus niet van te voren bepaald te worden.

4. Algemene eigenschappen

4.1. Betonsterkte

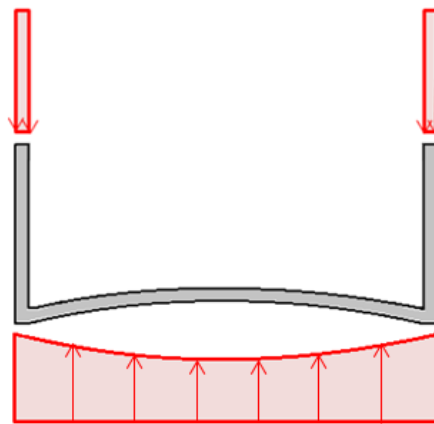
De onderbouw heeft milieuklasse XC1 en XC4; een deel van het drijflichaam ligt blijvend onder water en een deel is wisselend nat en droog in verband met golven. De aanbevolen sterkteklasse is dan C30/37¹ (XC4 is maatgevend). E_{cm} is dan 33 GPa en f_{ck} is 38 MPa. $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$

Het wapeningsstaal zal B500A zijn, dit is de meest gebruikelijke soort in Nederland. De ontwerplevensduur is 50 jaar voor woningen.

4.2. Oplegging

Het water kan als een verdeelde verende oplegging onder de bodem van de onderbouw gemoedelleerd worden.

De kracht in een veer wordt bepaald met $F = k * u$, waar k de veerstijfheid is en u de indrukking. Als de veren heel erg stijf zouden zijn, zou de vloer opbollen, omdat de stijfheid van de vloer kleiner is dan die in de wanden. Dit is in figuur 4.1 weergegeven. De opbolling van de constructie is hier overdreven groot weergegeven. De krachten die dan door de veren in het midden van de overspanning worden geleverd worden dan kleiner, aangezien de u in $F = k * u$ kleiner wordt.



Figuur 4.1.: Doorsnede met niet-constante belasting door hoge veerstijfheid

De werkelijke veerstijfheid van water is te bepalen. Bekend is dat de waterdruk op een bepaalde diepte $\rho * g * h \text{ kN/m}^2$ is met h de waterdiepte. $F = k * u$ kan herschreven worden tot $k = \frac{F}{u}$. Hier is F de kracht geleverd door de veren (het water) en dus $F = \rho * g * h$. u is de indrukking en

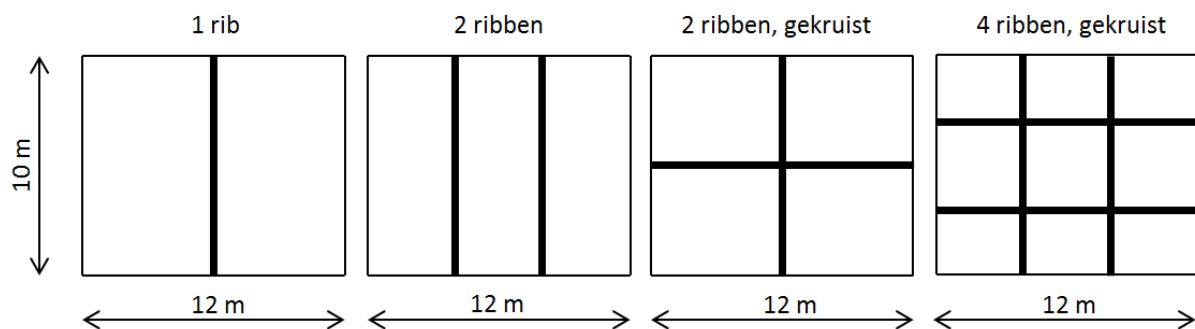
¹NEN EN 1992, tabel E.1N

dus de diepgang van het drijflichaam en dus ook h . De veerstijfheid k wordt dan:

$$\begin{aligned} k &= \frac{\rho * g * h}{h} \\ &= \rho * g \\ &= 9810 \text{ N/m}^3 \end{aligned} \tag{4.1}$$

4.3. Modellen met ribben

Voor de modellen met ribben in de vloer van het drijflichaam zullen voor de omtrek 10 bij 12 meter de mogelijkheden weergegeven in figuur 4.2 worden beschouwd. De belasting vanuit de bovenbouw die op de modellen met ribben werkt, is dus hetzelfde als bij het model zonder ribben van 10 bij 12 meter.



Figuur 4.2.: Modellen met ribben

4.4. Aanname dikte wanden en vloer drijflichaam

Voor het eerste model wordt een vloer- en wanddikte van het drijflichaam van 200 mm aangenomen. Deze dikte bleek ook toegepast te zijn bij de drijflichamen voor drijvende woningen bij Maasbommel².

In bijlage B.2 is de minimale betondekking voor platen en ribben bepaald, is uitgelegd waarom een dikte van 200 mm als eerste aanname zal volstaan, hoe hoog en breed de ribben van de ribmodellen zullen zijn, en wat echt de minimaal mogelijke dikte voor de vloer en wanden is.

4.5. Horizontale belasting

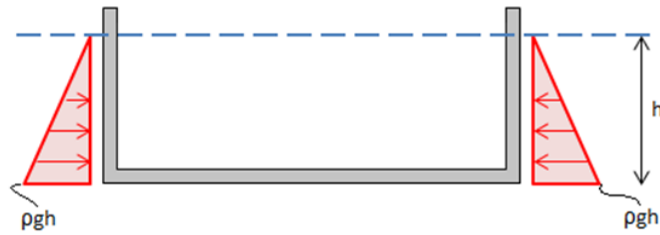
Op de wanden van de betonnen bak werkt een horizontale belasting ten gevolge van de diepgang van de bak in het water.

De maximale waarde onderaan is te bepalen met behulp van de volgende vergelijking:

$$F_H = \rho_w * g * h \tag{4.2}$$

Waarin $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ en h is de diepte van de onderkant van het drijflichaam.

²<http://www.bouwwereld.nl/project/massieve-betonbak-als-drijflichaam/>



Figuur 4.3.: Doorsnede met horizontale belasting

De verticale belastingen die op het drijflichaam werken, zijn behandeld in hoofdstuk 3 en in paragraaf 4.2.

4.6. Stabiliteit

Ook wordt er bij het ontwerpen van de modellen rekening gehouden met de stabiliteit van de constructie. Er wordt een minimale stabiliteitstoets uitgevoerd, deze is uitgelegd in bijlage B.4.

In de NTA over drijvende bouwwerken[4] wordt gesproken van een veiligheidsafstand en een resterende veiligheidsafstand (bij aanwezigheid van slagzij en trim). Met de veiligheidsafstand wordt bedoeld:

"Aanwezige loodrechte afstand tussen het wateroppervlak en het laagste punt van de ingedompelde zijde, waarboven het drijvend bouwwerk niet meer als waterdicht wordt beschouwd"[4]

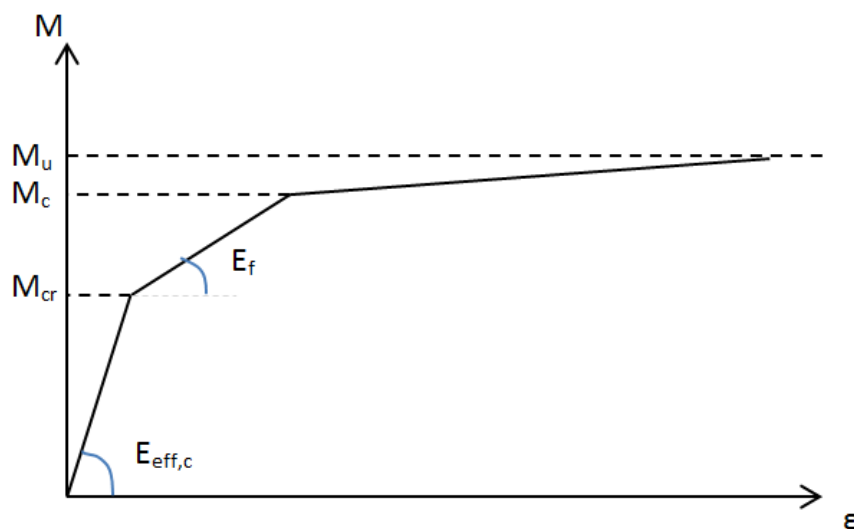
Voor holle drijflichamen wordt een minimale veiligheidsafstand van 300 mm gegeven en een minimale resterende veiligheidsafstand van 150 mm. De totale hoogte van de onderbouw wordt dan de diepgang plus $0,3 + 0,15 = 0,45 \text{ m}$.

De eis voor de stabiliteit waar op getoetst wordt, is dat $MG \geq 0,25 \text{ m}$

Als er problemen zouden zijn met de stabiliteit zou de woning stabiel(er) gemaakt kunnen worden door het drijvend lichaam te verzwaren en dus dikker te dimensioneren. Het meest efficiënt zal dan het verdikken van de vloer zijn. Hiermee wordt het zwaartepunt ook verlaagd, de diepgang verhoogd en dus ook het drukingspunt B verhoogd.

4.7. Elasticiteitsmodulus onder langdurig aanwezige belasting

Figuur 4.4 geeft het ϵ -M diagram van beton onder langdurig aanwezige belasting weer. Hierin is M_{cr} het scheurmoment.



Figuur 4.4.: ϵ -M diagram

In bijlage B.1 is de elasticiteitsmodulus voor beton C30/37 onder langdurig aanwezige belasting bepaald; $E_{eff,c} = 9,2$ GPa. Als het beton scheurt, wordt de elasticiteitsmodulus nog kleiner, dit is per model bepaald in bijlagen E.6, H.6, I.6, J.6 en K.6.

4.8. Eigenschappen overzicht

In bijlagen C, D, E.1, F en G zijn de diepgang, hoogte, stabiliteit en grootte van de horizontale belasting berekend voor alle modellen zonder ribben. De wanddikte is voor alle modellen hetzelfde, namelijk 200 mm. De overige resultaten zijn weergegeven in tabel 4.1.

-	Diepgang	Hoogte	Vloerdikte	Stabiliteit	Horizontale belasting
Model 60	7,17 m	7,62 m	887 mm	MG=0,25	70,34 kN/m ²
Model 90	2,87 m	3,32 m	200 mm	MG=0,61	28,19 kN/m ²
Model 120	2,28 m	2,73 m	200 mm	MG=2,30 m	22,37 kN/m ²
Model 150	2,04 m	2,49 m	200 mm	MG=3,85 m	20,00 kN/m ²
Model 180	1,88 m	2,33 m	200 mm	MG=5,58 m	18,42 kN/m ²

Tabel 4.1.: Gegevens overzicht modellen zonder ribben

Ook voor de modellen met ribben zijn deze eigenschappen bepaald, deze zijn weergegeven in tabel 4.2. De berekeningen zijn te vinden in bijlagen H.1, I.1, J.1 en K.1.

-	Diepgang	Hoogte	Stabiliteit	Horizontale belasting
1 rib	2,33 m	2,78 m	MG=2,22 m	22,86 kN/m ²
2 ribben	2,38 m	2,83 m	MG=2,16 m	23,35 kN/m ²
2 ribben gekruist	2,41 m	2,86 m	MG=2,11 m	23,64 kN/m ²
4 ribben gekruist	2,54 m	2,99 m	MG=1,95 m	24,92 kN/m ²

Tabel 4.2.: Gegevens overzicht modellen met ribben

4.9. Conclusie

De diepgang van model 60 is niet realistisch. De grote hoogte zal tijdens de uitvoering voor moeilijkheden en problemen kunnen zorgen en de hoeveelheid materiaal en uitvoering van dit model zullen zorgen voor hogere kosten. Bovendien zal de hoge diepgang ervoor zorgen dat deze drijvende woning in de meeste meren en plassen de diepte zal overschrijden en daar dus niet geplaatst kan worden. Ook is de stabiliteit minimaal (MG=0.25 m) en er is nog niet eens rekening gehouden met golfslag, windbelasting of andere ongunstige situaties. Geconcludeerd is dat dit model niet verder uitgewerkt zal worden, omdat deze niet het meest gunstige resultaat zal leveren.

Ondanks dat het model van 90 m² ook een zeer grote hoogte heeft, zal deze nog wel verder uitgewerkt worden, evenals de overige modellen. Deze resultaten zijn gebruikt om de modellen in te voeren in SCIA Engineer.

De wand- en vloerdikte zijn aangenomen op 200 mm. Een optimalisatie hiervan is mogelijk en dit zal in volgende hoofdstukken ook worden uitgevoerd.

5. Interne krachten

Met alle gegevens die er gevonden en aangenomen zijn, zijn alle modellen in SCIA Engineer gebouwd en doorerekend.

In de bijlagen D.3, E.1, F.3, G.3, H.1, I.1, J.1 en K.1 zijn de interne krachten per model uit SCIA Engineer gevonden en in tabellen samengevat. In sommige gevallen is er maar 1 waarde gegeven, dan veranderden de krachten in dat deel niet van teken en waren de verschillen zeer klein, waardoor deze enkele waarde voor het hele deel aangenomen kan worden.

In bijlage E.1.1 is uitgelegd dat de lokale assenstelsels van de verschillende elementen in SCIA Engineer van elkaar verschillen en hoe de verschillende momenten geïnterpreteerd moeten worden.

5.1. Vervormingen

5.1.1. Modellen zonder ribben

Voor alle modellen zonder ribben bleek dat de vervorming van de vloer de toelaatbare opbolling van $\frac{l}{250}$ overschrijdt. Hierdoor zal de vloer voor deze drijflichamen verzwakt moeten worden.

Enkel voor model 120 is de vloer verzwaring uitgevoerd, omdat er de conclusie getrokken kon worden dat de modellen zonder ribben door deze verzwaring niet meer als meest gunstige model uit de bus zullen komen. Door grotere vloerdikte zal de diepgang groter worden, zal er dus nog meer materiaal nodig zijn om de modellen uit te voeren en zullen de materiaalkosten hoog oplopen.

Ook bleek uit de interne krachten verdelingen dat hoe groter het model werd, hoe groter de interne krachten. De modellen van 150 en 180 m² zullen ten opzichte van de modellen van 90 en 120 m² dus ook meer wapening nodig hebben en hier dus ook nadelig op uitkomen.

Voor model 120 is de verdere uitwerking enkel gedaan om de modellen met ribben met dit model zonder ribben te kunnen vergelijken. Hieronder is laten zien hoe de opbolling met behulp van SCIA Engineer bepaald is en welke vloerdikte nodig is om aan de eis van maximale vervorming te voldoen.

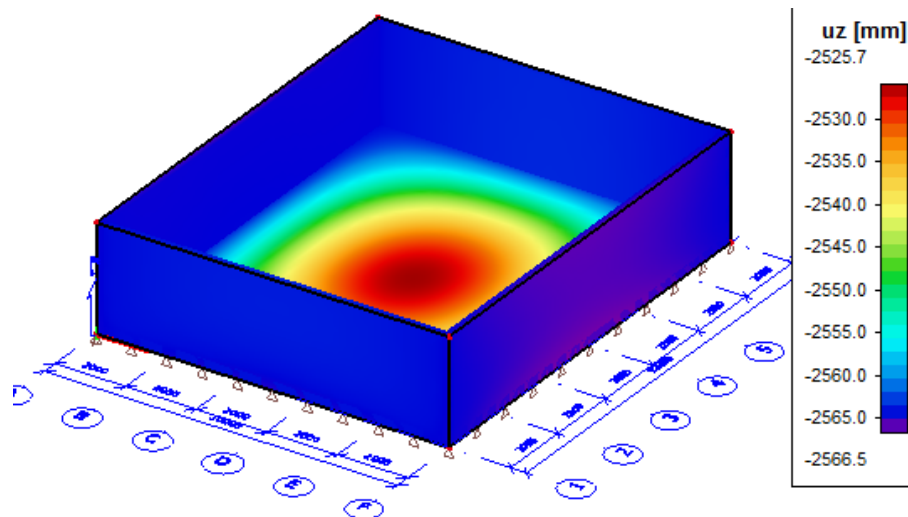
Opbolling model 120

Zonder de bodem te verzwaken, had de bodem een maximale zakking van 2311 mm en een minimale zakking van 2231 mm. Het verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,28 m. Bij deze berekening was de vloer oneindig stijf aangenomen, waardoor er geen opbolling op zou treden. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2311 - 2231 = 80 \text{ mm}$. De opbolling is dus te groot. Om naar een acceptabele opbolling van

maximaal 40 mm te komen, zal de bodem van het drijflichaam dikker uitgevoerd moeten worden.

De benodigde dikte is door middel van een iteratief proces bepaald en de gevonden waarde voor de dikte van de vloer is 270 mm. De diepgang van het drijflichaam is dan 2,55 m en de hoogte is dan $2,55 + 0,45 = 3,00$ m. Aan de stabiliteit wordt dan ook nog steeds voldaan, de afstand MG is dan namelijk 2,15 meter. In figuur 5.1 is de zakking van de constructie met de verdikte vloer te zien.



Figuur 5.1.: Controle zakking drijflichaam, model 120

De maximale zakking van de bodem is nu 2565 mm en de minimale zakking is 2526, de opbolling is dus $2565 - 2526 = 39$ mm.

5.1.2. Modellen met ribben

Alle modellen met ribben voldoen wel aan de gestelde eis voor de maximaal toelaatbare opbolling. Dit blijkt uit de figuren en waarden die SCIA engineer geeft voor de zakking van de modellen. Deze zijn te vinden in bijlagen H.1, I.1, J.1 en K.1.

5.2. Resultaten en vloer- en wanddikte optimalisatie

Na het doorrekenen van de benodigde wapening voor het model van 120 m² met de verdikte vloer en de modellen met ribben, bleek dat de wapeningspercentages zeer laag waren. Een overzicht hiervan is weergegeven in tabel 5.1.

-	Vloer	Wanden
Model 120	0,86%	0,72%
1 rib	0,46%	0,82%
2 ribben	0,59%	0,72%
2 gekruiste ribben	0,60%	0,83%
4 gekruiste ribben	0,55%	0,93%

Tabel 5.1.: Wapeningspercentages

Aan de hand van deze resultaten is geconcludeerd dat de modellen dunner gedimensioneerd kunnen worden, voor zover dat mogelijk is. In bijlage B.2 is de minimaal mogelijke vloer- en wanddikte bepaald. Deze betreft 135 mm.

5.3. Dunne modellen

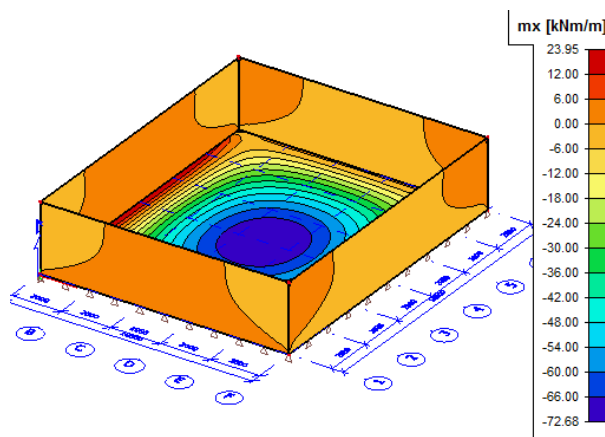
In tabel 5.2 zijn de algemene gegevens van de dunner gedimensioneerde modellen weergegeven. De bijbehorende berekeningen zijn te vinden in bijlagen E.4, H.3, I.3, J.3 en K.3. De vloer van model 120 en het model met 1 rib is verzwakt om de vervormingen in de vloer te beperken en onder de maximaal toelaatbare waarde van 40 mm opbolling te houden. Alle modellen zijn uitgevoerd met een wanddikte van 135 mm.

-	Vloerdikte	Diepgang	Hoogte	Stabiliteit	Horizontale belasting
Model 120	275 mm	2,32 m	2,77 m	MG=2,40 m	22,71 kN/m ²
1 rib	170 mm	1,99 m	2,44 m	MG=2,59 m	19,51 kN/m ²
2 ribben	135 mm	1,91 m	2,36 m	MG=2,61 m	18,73 kN/m ²
2 ribben gekruist	135 mm	1,94 m	2,39 m	MG=2,54 m	19,04 kN/m ²
4 ribben gekruist	135 mm	2,06 m	2,51 m	MG=2,31 m	20,21 kN/m ²

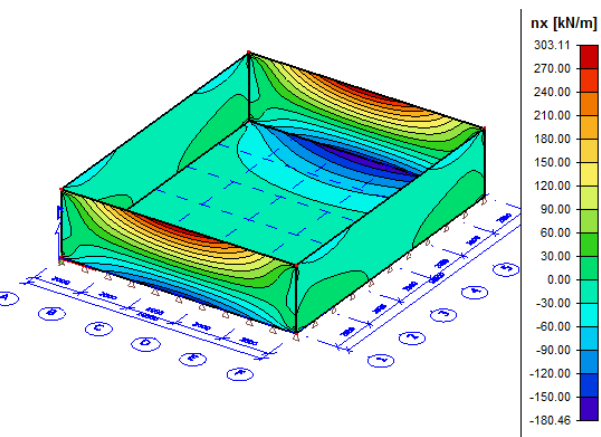
Tabel 5.2.: Resultaten dunnere modellen

5.3.1. Interne krachten

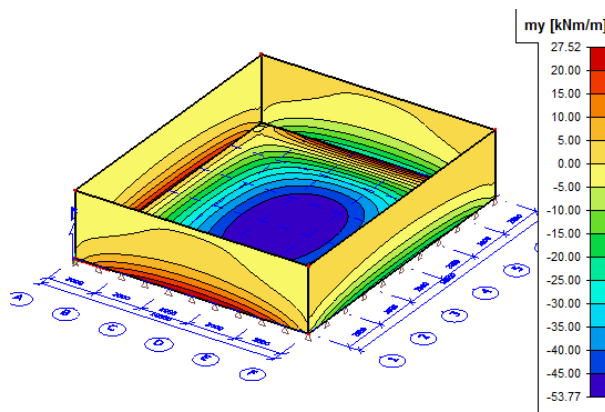
Figuren 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 en 5.7 zijn de interne krachten voor model 120 met vloerdikte 275 en wanddikte 135 mm. Deze figuren genereert SCIA Engineer voor ieder model. Met behulp van deze figuren en nog gedetailleerdere tabellen die SCIA Engineer genereert kunnen de minimale en maximale waarden van interne krachten van de verschillende elementen van de constructie gevonden worden. Deze waarden zijn voor ieder model gevonden en in bijlagen E.4, H.3, I.3, J.3 en K.3 weergegeven.



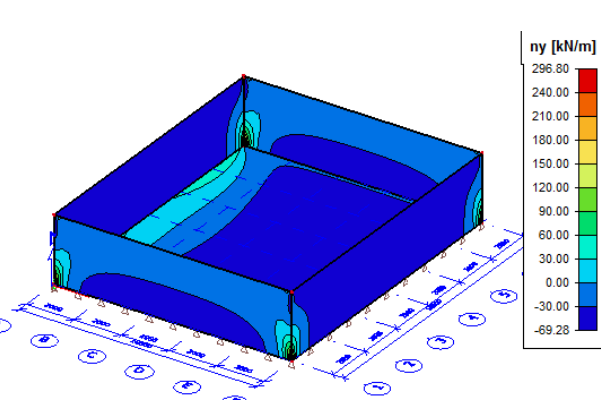
Figuur 5.2.: Interne krachten, m_x , model 120



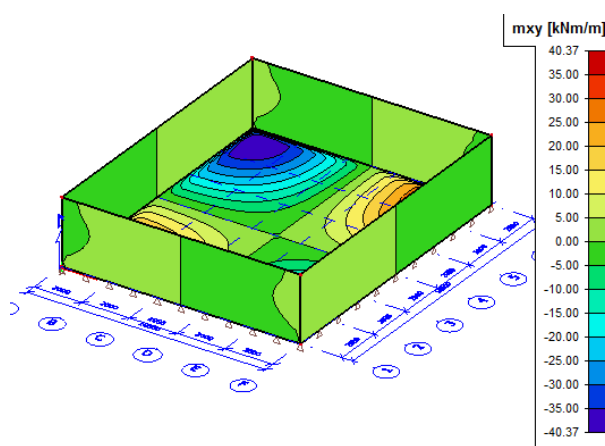
Figuur 5.3.: Interne krachten, n_x , model 120



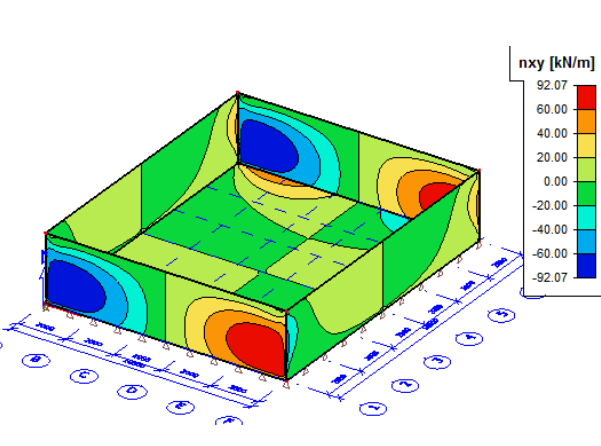
Figuur 5.4.: Interne krachten, m_y , model 120



Figuur 5.5.: Interne krachten, n_y , model 120



Figuur 5.6.: Interne krachten, m_{xy} , model 120



Figuur 5.7.: Interne krachten, n_{xy} , model 120

Het midden van de vloer

Tabel 5.3 geeft voor ieder model de gevonden maximale en minimale interne krachten in het midden van de vloer.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Model 120	-72,68	-53,77	40,37	-11,95	-53,41	56,93
1 rib	-18,60	-27,25 26,31	15,00	-413,66 -75,00	69,99	233,37
2 ribben	-8,54	-13,33 13,96	6,76	-342,75 -90,00	37,06	177,98
2 ribben gekruist	-13,43 19,27	-11,30 18,47	7,20	-15,37	-88,35	172,49
4 ribben gekruist	-11,72 7,00	-5,00 7,00	5,38	-195,0 -75,0	-70,0 -170,0	131,40

Tabel 5.3.: Interne krachten per model in het midden van de vloer

Door de waarden van de verschillende modellen voor het midden van de vloer onder elkaar te zetten, kan snel gezien worden dat de momenten in het midden van de vloer sterk afnemen zodra er ribben worden toegevoegd in de vloer. Dit zijn de rode waarden in de tabel. Ook blijkt dat bij het toevoegen van ribben er niet alleen een opbuigend moment in het midden van de vloer optreedt, maar ook een doorbuigend moment (groen). Dit is bij de ribben, die gezien kunnen worden als een steunpunt in de overspanning loodrecht op de richting van de ribben.

De normaaldrukkracht n_x en de absolute waarde van n_{xy} is groter in het midden van de vloer bij de modellen met ribben ten opzichte van het model zonder ribben. Dit zijn de waarden in blauw. Voor de normaalkracht n_y is geen duidelijke trend te ontdekken.

De randen van de vloer

Tabel 5.4 geeft voor ieder model de gevonden maximale en minimale interne krachten aan de randen van de vloer.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Model 120	23,95 -21,00	27,52 -27,50	40,37	-180,46 -26,99	-26,29 63,10	56,93
1 rib	19,66	26,31 -21,15	15,00	-10,20	-677,44 69,99	233,37
2 ribben	18,38	18,45 -18,14	6,76	-7,13	-457,47 37,14	177,98
2 ribben gekruist	16,68 -1,01	17,24 -5,00	7,20	-15,37	-402,43 102,89	172,49
4 ribben gekruist	15,41 -9,86	17,89 -8,47	5,38	-1,70 -387,30	-245,26 79,21	131,40

Tabel 5.4.: Interne krachten per model aan de randen van de vloer

De positieve m_x en m_y waarden aan de randen van de vloer nemen licht af bij het toevoegen

van meer ribben. Ook de negatieve waarden van m_y en de absolute waarden van m_{xy} geven een duidelijke afname bij het toevoegen van meer ribben. Deze waarden zijn in het rood weergegeven in de tabel.

De normaaldrukkraft n_y en de absolute waarden van n_{xy} zijn groter in de modellen met ribben ten opzichte van het model zonder ribben (blauw). De maximale waarde van n_x aan de randen van de waarden neemt juist af bij de aanwezigheid van ribben ten opzichte van het model zonder ribben (groen)

Het midden van de wanden

Tabel 5.5 geeft voor ieder model de gevonden maximale en minimale interne krachten in het midden van de wanden.

In kNm/m	m_x	m_y	$ m_{xy} $	n_x	n_y	$ n_{xy} $
Model 120	-4,42	25,90 -4,22	3,72	303,11 -143,14	-69,28 -3,19	92,07
1 rib	-4,37 3,63	21,73 -4,07	5,18	247,65 -844,56	-1080,86 -3,45	142,82
2 ribben	-3,52 2,60	17,24 -4,53	3,80	181,32 -573,78	-823,91 -3,39	89,80
2 ribben gekruist	-3,51 2,12	17,23 -4,19	3,99	475,78 -747,74	-837,30 -0,71	88,40
4 ribben gekruist	-3,53 1,07	23,19 -3,56	3,56	338,65 -438,07	-518,69 -3,47	79,96

Tabel 5.5.: Interne krachten per model in het midden van de wanden

De minimale waarden van m_x en m_y blijven over alle 5 modellen ongeveer gelijk (rood). Bij de modellen met ribben blijkt er in het midden van de wanden ook een positieve m_x op te treden, deze neemt weer af bij het toevoegen van meer ribben. De maximale waarden van m_y lijken eerst licht af te nemen bij het toevoegen van ribben, echter bij het model met 4 gekruiste ribben schiet deze waarde weer omhoog (blauw).

De minimale waarden van de normaalkrachten n_x en n_y nemen sterk toe bij het toevoegen van ribben ten opzichte van het model zonder ribben. Deze waarden zijn in het groen weergegeven in de tabel.

De randen van de wanden

Tabel 5.6 geeft voor ieder model de gevonden maximale en minimale interne krachten aan de randen van de wanden.

De positieve waarde van m_x neemt eerst toe als er 1 rib in de vloer wordt geplaatst, en neemt vervolgens geleidelijk af bij het plaatsen van meer ribben. Dit is weergegeven in rood. De positieve waarden van m_y blijven ongeveer gelijk (blauw). De negatieve waarden van m_y en de positieve waarden van n_y zijn kleiner bij modellen met meerdere ribben ten opzichte van het model met geen ribben, dit is in het groen weergegeven.

Bij verschillende waarden die af lijken te nemen bij het toevoegen van 1 rib en 2 ribben, blijkt dat die bij het kruisen van de ribben eerst weer iets toenemen voordat deze weer afneemt bij het toevoegen van meer gekruiste ribben. Dit is bijvoorbeeld te zien bij de positieve n_y waarden, de

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Model 120	10,58 -2,47	4,22 -11,76	3,72	84,33 -68,74	296,80 -44,59	92,07
1 rib	17,28 -3,97	4,07 -11,76	5,18	67,35 -50,78	150,34 -38,35	142,82
2 ribben	13,97 -1,64	4,53 -7,79	3,80	83,13 -38,78	64,44 -40,28	89,80
2 ribben gekruist	12,04 -1,81	4,19 -8,32	3,99	78,79 -69,74	107,46 -49,04	88,40
4 ribben gekruist	5,55 -2,85	3,56 -7,00	3,56	82,71 -10,10	81,28 -48,91	79,96

Tabel 5.6.: Interne krachten per model aan de randen van de wanden

negatieve nx waarden en de negatieve my waarden. Voor de overige waarden is geen duidelijke trend te ontdekken.

Ribben

Tabel 5.7 geeft voor ieder model de maximale en minimale interne krachten in de ribben van de modellen met ribben.

In kNm/m	Mx	My	Mz	N
1 rib		-162,90 10,44		1461,38 2,07
2 ribben	-5,80 5,80	-133,56 10,33	-1,12 1,12	1054,27 -0,61
2 ribben gekruist		-129,81 15,10		954,54 0,56
4 ribben gekruist	-7,01 7,01	-87,53 10,54	-2,74 2,74	610,89 -3,70

Tabel 5.7.: Interne krachten per model in de ribben

De waarden My en N zijn hier vooral relevant. De negatieve My waarden zijn de opbuigende momenten in de ribben en rood weergegeven in de tabel. Deze nemen duidelijk af bij het toevoegen van meer ribben.

In de ribben blijkt een zeer grote trekkracht te zitten. In bijlagen E.2, H.4, I.4, J.4 en K.4 is weergegeven hoe SCIA Engineer een grote drukkracht in de vloer als resultante geeft. Als de grote trekkracht in de rib wordt afgetrokken van de grote drukkracht in de vloer, blijft de drukkracht over die op de zijkanten van het drijflichaam staat door de waterdruk. Ook deze grote trekkracht in de ribben blijkt af te nemen bij het toevoegen van meer ribben, dit is te zien in het blauw.

5.3.2. Vervormingen

In tabel 5.8 zijn de vervormingen in de vloer van ieder model weergegeven. Door het verzwaren van de vloeren van model 120 (tot 275 mm) en het model met 1 rib (tot 170 mm) voldoet ook voor

In mm	Vervorming
Model 120	39,7
1 rib	39,4
2 ribben	36,3
2 ribben gekruist	24,6
4 ribben gekruist	18,9

Tabel 5.8.: Vervormingen in de vloer van ieder model

deze modellen de vervorming aan de maximale eis van 40 mm.

5.4. Conclusie

De resultaten die SCIA Engineer voor de interne krachten verdeling geeft, zijn met handberekeningen gecontroleerd in bijlagen E.2, H.4, I.4, J.4 en K.4. In het midden van de vloer bleken de momenten goed met elkaar overeen te komen. Voor de delen waar de waarden van elkaar afwijken zijn mogelijke verklaringen gegeven die de afwijkingen uitleggen.

Voor de interne krachten in de verschillende delen in de constructie zijn de meest duidelijke observaties in de verschillende modellen aangestipt. Over het algemeen lijkt het toepassen van ribben in de vloer van het drijflichaam voordelig, zeker voor de momenten. Voor de normaalkrachten lijkt het toevoegen van de ribben vooral de drukkrachten te vergroten. Een grote drukkracht in een element zal voordelig zijn voor de benodigde wapening in dat element, dus ook dit zal voordelig zijn voor de kosten van de modellen.

Het opbuigende moment en de normaaltrekkracht in de rib nemen af bij het toevoegen van meer ribben, dit zal ook gunstig zijn voor de benodigde wapeningshoeveelheid.

6. Wapening

Aan de hand van de interne krachten die met behulp van Scia Engineer zijn gevonden en zijn weergegeven in het vorige hoofdstuk kan nu de wapening worden bepaald.

In het Plasticity dictaat [6], blz 23, kunnen de volgende uitdrukkingen worden gevonden voor de momenten die gebruikt kunnen worden om de wapening te bepalen als er rekening wordt gehouden met torsie:

- $+m_{xx} + |m_{xy}| \leq m_{px}$ onderzijde
- $-m_{xx} + |m_{xy}| \leq m'_{px}$ bovenzijde
- $+m_{yy} + |m_{xy}| \leq m_{py}$ onderzijde
- $-m_{yy} + |m_{xy}| \leq m'_{py}$ bovenzijde

Voor de normaalkracht geldt:

- $n_{xx} + |n_{xy}| \leq n_{px}$
- $n_{yy} + |n_{xy}| \leq n_{py}$

Dit is een veilige benaderingen.

De wapening van de verschillende modellen kan het best vergeleken worden aan de hand van de wapeningspercentages. In de volgende paragrafen is de benodigde wapening per model in tabellen gegeven, aan de hand waarvan vervolgens de wapeningspercentages bepaald zijn. De wapeningspercentages worden aan het eind van dit hoofdstuk met elkaar vergeleken.

6.1. Wapening per model

Alle modellen zijn nu gedetailleerd enkel op benodigde wapening. De veel verschillende wapeningsstaven en afstanden die hier toegepast zijn, zijn lastig om uit te voeren, waardoor er in werkelijkheid waarschijnlijk meer gebruik zal worden gemaakt van standaard wapeningsnetten en zal de wapening er dus ook een stuk homogener uit zien dan in de volgende overzichtstabellen is weergegeven.

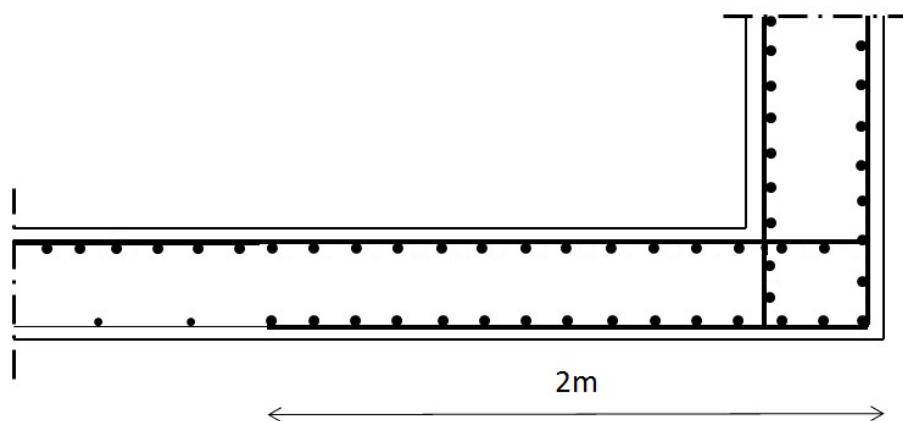
Model 120

In bijlage E.5 zijn de berekeningen voor de benodigde wapening te vinden. De resultaten zijn in tabel 6.1 weergegeven.

Een doorsnede van een deel van de vloer bij een verbinding met een wand in het midden zal er dan als in figuur 6.1 uit zien. De wapening loodrecht op het papier is de wapening in de x-richting. De wapening aan de randen van de vloer loopt maar tot twee meter in de vloer. Deze afbeelding is niet op schaal.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	4 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	12 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	12 staven per meter $\phi 12$

Tabel 6.1.: Nieuw wapening overzicht model 120



Figuur 6.1.: Doorsnede wapening

Wapeningspercentage

In bijlage E.5 is het wapeningspercentage voor dit model bepaald. In de vloer zit nu een wapeningspercentage van 0,60% en in de wanden een percentage van 1,35%. Deze percentages overschrijden het maximum van 2% niet. Dit maximum is gegeven in tabel 8.3 in het dictaat Gewapend Beton [5].

Model met 1 rib

Voor het model met 1 rib is in bijlage H.5 de wapening bepaald. De resultaten zijn in tabel 6.2 weergegeven.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	6 staven per meter, $\phi 8$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter, $\phi 16$	6 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	11 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	11 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Rib, uiteinden	8 staven $\phi 25$	6 staven $\phi 25$
	8 staven $\phi 25$	8 staven $\phi 25$

Tabel 6.2.: Nieuw wapening overzicht model met 1 rib

Wapeningspercentage

In de vloer zit nu een wapeningspercentage van 1,31% en in de wanden een percentage van 1,54%. Deze percentages overschrijden het maximum van 2% niet.

In de rib zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,17% en aan de uiteindes een percentage van 0,17%. Gemiddeld genomen zit er 0,17% wapening in de rib.

Model met 2 ribben

Voor het model met 2 ribben is in bijlage I.5 de wapening bepaald. De resultaten zijn in tabel 6.3 weergegeven.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter, $\phi 12$	4 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
	4 staven $\phi 32$	8 staven $\phi 20$
Rib, uiteinden	8 staven $\phi 20$	8 staven $\phi 20$

Tabel 6.3.: Nieuw wapening overzicht model met 2 ribben

Wapeningspercentage

In de vloer zit nu een wapeningspercentage van 1,19% en in de wanden een percentage van 1,06%. Deze percentages overschrijden het maximum van 2% niet.

In de ribben zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,17% en aan de uiteindes een percentage van 0,13%. Gemiddeld genomen zit er dan een wapeningspercentage van 0,17% in de ribben.

Model met 2 gekruiste ribben

Voor het model met 2 gekruiste ribben is in bijlage J.5 de wapening bepaald. De resultaten zijn in tabel 6.4 weergegeven.

	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter, $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 16$
y-richting	9 staven per meter, $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	8 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 16$
y-richting	7 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	12 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	5 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
Korte rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Korte rib, uiteinden	6 staven $\phi 25$	6 staven $\phi 20$
	8 staven $\phi 20$	8 staven $\phi 20$
Lange rib, midden	8 staven $\phi 25$	6 staven $\phi 20$
Lange rib, uiteinden	8 staven $\phi 25$	8 staven $\phi 20$

Tabel 6.4.: Nieuw wapening overzicht model met 2 gekruiste ribben

Wapeningspercentage

In bijlage J.5 is het wapeningspercentage berekend. In de vloer zit nu een wapeningspercentage van 1,41% en in de wanden een percentage van 1,30%. Deze percentages overschrijden het maximum van 2% niet.

In de rib die de breedte overspant, zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,13% en aan de uiteindes een percentage van 0,11%. Dit geeft een gemiddelde waarde van 0,13%. In de rib die de lengte overspant, zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,15% en aan de uiteindes een percentage van 0,15%. Dit geeft een gemiddelde waarde van 0,15%.

Model met 4 gekruiste ribben

Voor het model met 4 gekruiste ribben is in bijlage K.5 de wapening bepaald. De resultaten zijn in tabel 6.5 weergegeven.

Wapeningspercentage

In bijlage K.5 is het wapeningspercentage berekend. In de vloer zit nu een wapeningspercentage van 1,12% en in de wanden een percentage van 1,14%. Deze percentages overschrijden het maximum van 2% niet.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 12$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	5 staven per meter, $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	5 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	8 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Korte rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Korte rib, uiteinden	8 staven $\phi 20$	4 staven $\phi 20$
	3 staven $\phi 25$	3 staven $\phi 25$
Lange rib, midden	4 staven $\phi 32$	4 staven $\phi 20$
Lange rib, uiteinden	3 staven $\phi 25$	3 staven $\phi 32$

Tabel 6.5.: Nieuw wapening overzicht model met 4 gekruiste ribben

In de ribben die de breedte overspannen, zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,13% en aan de uiteindes een percentage van 0,08%. Dit geeft een gemiddelde waarde van 0,13%. In de ribben die de lengte overspannen, zit in het midden van de overspanning een wapeningspercentage van 0,13% en aan de uiteindes een percentage van 0,10%. Dit geeft een gemiddelde waarde van 0,13%.

6.2. Wapeningspercentages

De wapening in de verschillende modellen is het makkelijkst te vergelijken aan de hand van de benodigde wapeningspercentages. Deze zijn weergegeven in tabel 6.6 en berekend in bijlagen E.5, H.5, I.5, J.5 en K.5.

-	Vloer	Wanden	Korte rib	Lange rib
Model 120	0,60%	1,35%	-	-
1 rib	1,31%	1,54%	0,17%	-
2 ribben	1,19%	1,06%	0,17%	-
2 gekruiste ribben	1,41%	1,30%	0,13%	0,15%
4 gekruiste ribben	1,12%	1,14%	0,13%	0,13%

Tabel 6.6.: Overzicht wapeningspercentages per model

Voor de wapeningspercentages in de vloer en wanden blijkt dat het toevoegen van 1 rib ongunstig is ten opzichte van het model zonder ribben. Het plaatsen van een tweede rib parallel aan de eerste zorgt voor een afname van de benodigde wapeningspercentages, maar het toevoegen van een tweede rib loodrecht op de eerste rib geeft juist een toename in benodigd wapeningspercentage. Het plaatsen van 4 ribben levert voor de modellen met ribben de laagste wapeningspercentages.

7. Kosten

Kostenkengetallen voor een gewapend betonnen constructie zijn aangehouden¹:

- Voor de vloer mag ongeveer €400,- per kubieke meter beton aangehouden worden.
- Voor de wanden en ribben is een goede benadering te rekenen op een basisprijs per vierkante meter wandvlak van €175,- plus de wanddikte in meters vermenigvuldigd met €300,-.
- Per kilo toegepaste wapening mag ca. €1,- worden gerekend.

7.1. Kosten per model

De kosten zijn per model in de bijlagen E.7, H.7, I.7, J.7, en K.7 berekend en het overzicht is weer gegeven in tabel 7.1. Deze kostenbepaling is enkel uitgevoerd voor de modellen met geminimaliseerde vloer- en wanddikte; de modellen weergegeven in tabel 5.2. De modellen met grotere vloer- en wanddikte zullen nooit betere resultaten geven en zijn dus niet verder uitgewerkt.

-	Model 120	1 rib	2 ribben	2 gekruiste ribben	4 gekruiste ribben
Vloer	€13.200,00	€8.160,00	€6.480,00	€6.480,00	€6.480,00
Wanden	€21.369,50	€18.828,50	€18.212,50	€18.443,50	€19.367,50
Ribben	€0,00	€1.234,15	€2.468,30	€2.994,25	€5.988,50
Wapening	€3.276,98	€4.361,45	€3.556,06	€4.142,08	€4.163,73
Totaal	€37.846,48	€32.584,10	€30.716,86	€32.059,83	€35.999,73

Tabel 7.1.: Kosten per model

¹Deze kentallen zijn mondeling verstrekt door Ir. P. Lagendijk, mei 2015

8. Conclusie

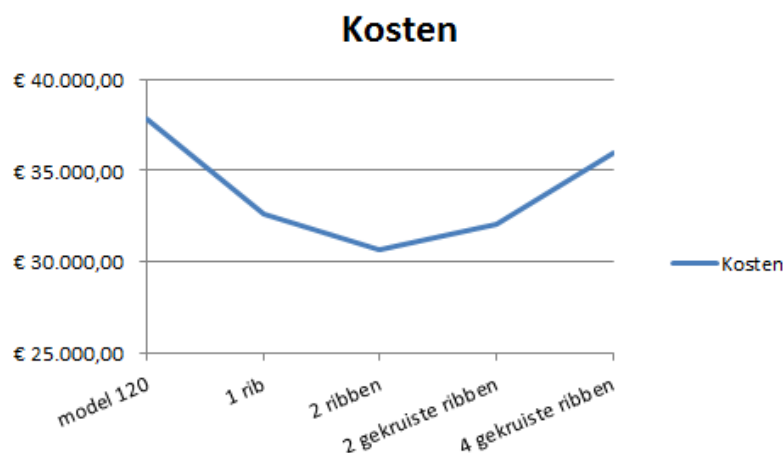
Het doel van dit onderzoek was bepalen of het vergroten of verkleinen van het drijflichaam ten opzichte van de woning een gunstige invloed zou kunnen hebben op de belastingverdeling in de constructie en daarmee dus ook voor de kosten.

Al vrij snel is gebleken dat door de grote vervormingen in de vloer, de vloer van modellen zonder ribben zeer sterk verzwaaard zou moeten worden. Hierdoor zal de diepgang groter worden en zullen de wanden dus ook hoger moeten worden. De grote hoeveelheid aan benodigd materiaal zal in deze gevallen zorgen voor zeer hoge kosten voor deze modellen, waardoor geconcludeerd kan worden dat modellen zonder ribben niet de meest gunstige modellen zullen zijn.

Bovendien bleek dat bij het vergroten van het drijflichaam de extreme waarden van de interne krachten in de constructie ook groter werden. Door de grote afmetingen en de grotere benodigde wapening door de grotere interne krachten, zullen drijflichamen groter dan de woning dus ook niet gunstig uitkomen en konden deze modellen ook afgestreept worden.

De kleinere modellen hadden vooral te maken met instabiliteit. Doordat het kleinste model instabiel bleek te zijn, moest deze vloer behoorlijk verzwaaard worden, wat ook de diepgang flink vergrootte tot zelfs een diepgang van ruim 7 meter. Deze zeer grote diepgang zou een onuitvoerbaar hoog drijflichaam opleveren en de grote hoeveelheid materiaal zou voor hele hoge kosten zorgen.

Kortom, de modellen zonder ribben konden vrij snel allemaal van het lijstje worden gehaald als mogelijk meest gunstige oplossingen. Besloten is toen om verder te werken met modellen met ribben met afmetingen van 10 bij 12 meter, dit om ook zekerheid te behouden omtrent de stabiliteit. Naast deze modellen is het model van dezelfde afmetingen zonder ribben ook verder uitgewerkt, om deze als referentie te gebruiken.

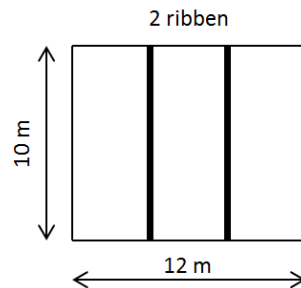


Figuur 8.1.: Kosten

Voor de modellen die verder uitgewerkt zijn, bleek dat de dikte van de wanden en vloer dunner konden worden gemaakt dan in eerste instantie was aangenomen. De modellen zijn vervolgens

zo dun mogelijk gedimensioneerd, getoetst aan alle eisen; vervormingen en stabiliteit, en tot een globaal kostenplaatje uitgewerkt.

In figuur 8.1 is te zien dat de kosten eerst aflopen bij het toevoegen van ribben en vervolgens weer op gaan lopen. Dit komt door een combinatie van factoren, namelijk dat de eerste 2 modellen verzwakt moesten worden om aan het gestelde criterium voor de maximaal toelaatbare opbolling te voldoen en de laatste twee modellen lopen de kosten voor de ribben en wanden op door de grotere diepgang en de aanwezigheid van meer ribben.



Figuur 8.2.: Model met 2 ribben

Het model met 2 parallel lopende ribben, zie figuur 8.2, blijkt economisch gezien het voordeligste model te zijn en dus de meest gunstige uitvoering voor het drijflichaam. Dit model is getoetst op alle gestelde eisen, waaronder de eis voor maximaal toelaatbare vervormingen en stabiliteit, en voldoet aan allemaal. De gegevens en berekeningen die horen bij dit model zijn te vinden in tabel 5.2 en bijlagen I.3.

9. Aanbevelingen

Tijdens een onderzoek is het erg belangrijk dat er rekening mee wordt gehouden dat er ook gebreken in het onderzoek kunnen zitten en dat deze genoteerd worden en er verdere aanbevelingen worden gedaan.

In dit onderzoek lag de nadruk op het vergelijken van verschillende modellen voor de onderbouw van een drijvende woning. De belasting die werkt op dit drijflichaam moest voor de verschillende modellen vergelijkbaar zijn, maar hier hoefde niet in detail op in gegaan te worden. Gedurende het onderzoek is gebleken dat een wijziging in de belasting van de bovenbouw een grote invloed had op de stabiliteit van de drijvende woning, dus zou het interessant zijn om voor vervolgonderzoek hier in meer detail naar te kijken en deze belasting in meer detail te bepalen.

Er kan ook een kanttekening geplaatst worden bij de stabiliteitstoets waar deze modellen aan onderworpen zijn. Er is geen rekening gehouden met wind, golven of een niet gelijk verdeelde belasting vanuit de bovenbouw op het drijflichaam. De toets voor stabiliteit is dus minimaal uitgevoerd, en moet zeker nog aangevuld worden als met deze resultaten vervolgonderzoek zou worden gedaan.

In SCIA Engineer is de elasticiteitsmodulus voor langdurig aanwezige belasting ingevoerd als elasticiteitsmodulus voor het beton. Echter is de elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton nog kleiner dan de ingevoerde waarde. De kleinere elasticiteitsmodulus zal voor nog grotere vervormingen in de constructie zorgen. De vervormingen bleken in dit onderzoek een belangrijk criterium voor de vloerdikte van enkele modellen, en dus is het voor vervolgonderzoek belangrijk om te onderzoeken of de mogelijk nog kleinere elasticiteitsmodulus een nog verdere invloed heeft op de modellen.

Er is vrij snel geconcludeerd dat er verder gewerkt zou worden met enkel de modellen die 10 bij 12 meter waren. Destijds leek het model van 90 m² nog instabiel te zijn en een zeer grote hoogte te hebben. Door latere wijzigingen in de belasting vanuit de bovenbouw bleek dit echter niet meer het geval te zijn en zou het model van 90 m² nog wel eens goed in het rijtje met meest gunstige uitvoeringen van de onderbouw kunnen passen, zeker in combinatie met ribben. Hier is door tijdgebrek niet meer verder op in gegaan en zou voor vervolgonderzoek dus zeker nog interessant kunnen zijn.

De kosten voor ieder model zijn bepaald aan de hand van kostenkengetallen. De kosten die per model gegeven zijn, zullen dus niet exacte kosten voor het gehele project omvatten, maar waarden waarmee de modellen vergeleken konden worden. Dit was voor dit onderzoek voldoende, maar voor vervolgonderzoek zou hier exacter op ingegaan kunnen worden.

Een duidelijk gemis in dit onderzoek is het gebrek aan controle voor de hoogte van de drukzone en scheurwijdte, zeker in verband met de benodigde waterdichtheid van het drijflichaam.

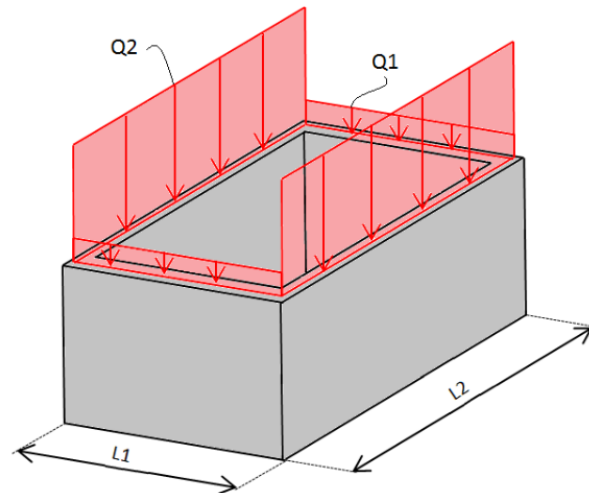
Er is veel gebruik gemaakt van het eindige elementen programma SCIA Engineer, maar niet van alle mogelijkheden van dit programma. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk SCIA Engineer de benodigde wapening te laten bepalen en toe te voegen en de modellen met wapening opnieuw door te laten rekenen. Ook zouden er meer controles uitgevoerd kunnen worden in het programma, zoals de stabiliteitscontrole. Door gebrek aan kennis van en over dit programma ontbrak het gebruik hiervan. Voor een volgend onderzoek zou het interessant kunnen zijn om deze functionaliteiten wel nader te onderzoeken en eventueel toe te passen.

Voor vervolgonderzoek over dit onderwerp zou er ook nog gekeken kunnen worden naar toepassing van beton met toeslagmateriaal met een kleinere maximum korreldiameter.

Bibliografie

- [1] Normcommissie 351 001. *NEN-EN 1990, Grondslagen van het constructief ontwerp*. Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
- [2] Normcommissie 351 001. *NEN-EN 1991, Belastingen op constructies*. Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
- [3] Normcommissie 351 001. *NEN-EN 1992, Ontwerp en berekening van betonconstructies*. Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
- [4] Normcommissie 349 111. *NTA 8111, Drijvende bouwwerken*. Nederlands Normalisatie-instituut, 2011.
- [5] Prof.dr.ir.Dr.-Ing.h.c. J.C. Walraven en Dr.ir. S.A.A.M. Fennis. *Dictaat CTB2220/3335, Gewapend Beton*. TU Delft, 2013.
- [6] A.C.W.M. Vrouwenvelder and J. Witteveen. *Plastic Analysis of Structures, The plastic behaviour and the calculation of plates subjected to bending*. TU Delft, 2003.

A. Belasting vanuit de bovenbouw



Figuur A.1.: Belastingssituatie op de onderbouw

A.1. Gevels

- $Q_{gevel,10} = 0,5 * 3 * 2 * 10 * 1,2 = 36,0 \text{ kN}$
- $Q_{gevel,12} = 0,5 * 3 * 2 * 12 * 1,2 = 43,2 \text{ kN}$

A.2. Vloeren

Een lange zijde draagt dus de helft van de overspanning; 5 meter.

- $Q_{p,vloer} = 0,7 * 5 * 12 * 1,2 = 50,4 \text{ kN}$
- $Q_{q,vloer} = 2,25 * 5 * 12 * 1,5 = 202,5 \text{ kN}$

Dit is per zijde per vloer. Deze krachten worden steeds verdeeld over de wand van het drijflichaam afgedragen.

Bij de drijflichamen die groter zijn dan de woning is de onderste vloer groter. Bij het oppervlak van 150 m² zal de vloer 11,2 bij 13,4 meter zijn:

- $Q_{p,vloer,150} = 0,7 * 5,6 * 1,2 = 4,704 \text{ kN/m}$
- $Q_{q,vloer,150} = 2,25 * 5,6 * 1,5 = 18,9 \text{ kN/m}$

Bij het oppervlak van 180 m² zal de vloer 12,3 bij 14,7 meter zijn:

$$\cdot Q_{p,vloer,180} = 0,7 * 6,15 * 1,2 = 5,17 \text{ kN/m}$$

$$\cdot Q_{q,vloer,180} = 2,25 * 6,15 * 1,5 = 20,76 \text{ kN/m}$$

A.3. Belastingen per model

Drijflichaam van 60 m²

Dit drijflichaam is 7,1 bij 8,5 meter (de lengte-breedte verhouding moest 1:1,2 zijn). De zijdes van 7,1 meter krijgen een verdeelde belasting van $Q1 = \frac{36,0}{7,1} = 5,07 \text{ kN/m}$. De zijdes van 8,5 meter worden belast door de gevel en de 3 vloeren, dus:

$$\begin{aligned} \frac{43,2}{8,5} + 3 * \frac{50,4}{8,5} + 2 * \frac{202,5}{8,5} = \\ 5,08 + 17,79 + 47,65 = \\ Q2 = 70,52 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

Dit is een totale neerwaartse belasting van:

$$2 * 70,52 * 8,5 + 2 * 36 = 1270,8 \text{ kN} \quad (\text{A.2})$$

Drijflichaam van 90 m²

Dit drijflichaam is 8,7 bij 10,4 meter (de lengte-breedte verhouding moest 1:1,2 zijn). De zijdes van 8,7 meter krijgen een verdeelde belasting van $Q1 = \frac{36,0}{8,7} = 4,14 \text{ kN/m}$. De zijdes van 10,4 meter krijgen een verdeelde belasting van:

$$\begin{aligned} \frac{43,2}{10,4} + 3 * \frac{50,4}{10,4} + 2 * \frac{202,5}{10,4} = \\ 4,15 + 14,54 + 38,94 = \\ Q2 = 57,63 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Ook dit is een totale neerwaartse belasting van 1270,8 kN.

Drijflichaam van 120 m²

Dit drijflichaam is 10 bij 12 meter. De zijdes van 10 meter krijgen een verdeelde belasting van $Q1 = \frac{36,0}{10} = 3,6 \text{ kN/m}$. De zijdes van 12 meter krijgen een verdeelde belasting van:

$$\begin{aligned} \frac{43,2}{12} + 3 * \frac{50,4}{12} + 2 * \frac{202,5}{12} = \\ 3,6 + 12,6 + 33,75 = \\ Q2 = 49,95 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

Ook dit is een totale neerwaartse belasting van 1270,8 kN.

Drijflichaam van 150 m^2

Dit drijflichaam is 11,2 bij 13,4 meter (de lengte-breedte verhouding moest 1:1,2 zijn). De zijdes van 11,2 meter krijgen een verdeelde belasting van $Q1 = \frac{36,0}{11,2} = 3,21\text{ kN/m}$. De zijdes van 13,4 meter krijgen een verdeelde belasting van:

$$\begin{aligned}\frac{43,2}{13,4} + 2 * \frac{50,4}{13,4} + 1 * \frac{202,5}{13,4} + 4,704 + 18,9 &= \\ 3,22 + 7,52 + 15,11 + 4,704 + 18,9 &= \\ Q2 &= 49,46\text{ kN/m}\end{aligned}\tag{A.5}$$

Dit is een totale neerwaartse belasting van:

$$2 * 49,46 * 13,4 + 36 * 2 = 1397,59\text{ kN}\tag{A.6}$$

Drijflichaam van 180 m^2

Dit drijflichaam is 12,3 bij 14,7 meter (de lengte-breedte verhouding moest 1:1,2 zijn). De zijdes van 12,3 meter krijgen een verdeelde belasting van $Q1 = \frac{36,0}{12,3} = 2,93\text{ kN/m}$. De zijdes van 14,7 meter krijgen een verdeelde belasting van:

$$\begin{aligned}\frac{43,2}{14,7} + 2 * \frac{50,4}{14,7} + 1 * \frac{202,5}{14,7} + 5,17 + 20,76 &= \\ 2,94 + 6,86 + 13,78 + 5,17 + 20,76 &= \\ Q2 &= 49,49\text{ kN/m}\end{aligned}\tag{A.7}$$

Dit is een totale neerwaartse belasting van:

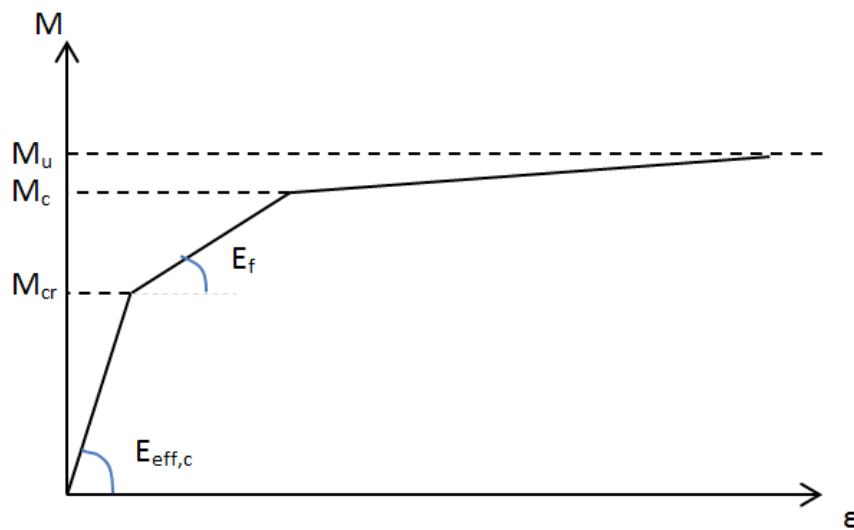
$$2 * 49,49 * 14,7 + 36 * 2 = 1527,11\text{ kN}\tag{A.8}$$

B. Algemene eigenschappen

B.1. Elasticiteitsmodulus

Elasticiteitsmodulus onder langdurig aanwezige belasting

Het verloop van de elasticiteitsmodulus zal er als in figuur B.1 uit gaan zien, waarbij M_{cr} het scheurmoment is.



Figuur B.1.: Emodulus

De volgende vergelijking voor de Elasticiteitsmodulus voor een betonnen constructie die voor een lange duur wordt belast, kan gevonden worden in Eurocode 2¹. Dit geldt enkel voor ongescheurd beton.

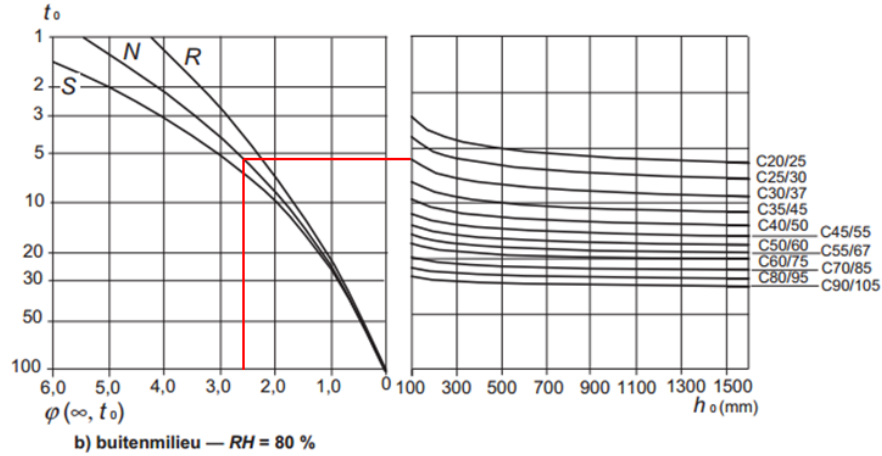
$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(\infty, t_0)} \quad (B.1)$$

$\phi(\infty, t_0)$ is de maximale kruipcoëfficiënt en is af te lezen uit grafieken in Eurocode 2, zie figuur B.2.

De fictieve dikte h_0 is onbekend en wordt dus zo ongunstig mogelijk aangenomen. Voor betonsterkte C30/37 is dan een $\phi(\infty, t_0)$ af te lezen van ongeveer 2,6.

$$\begin{aligned} E_{c,eff} &= \frac{33}{1 + 2,6} \\ E_{c,eff} &= 9,2 \text{ GPa} \end{aligned} \quad (B.2)$$

¹NEN EN 1992, vergelijking 7.20



Figuur B.2.: $\phi(\infty, t_0)$ bepalen

Als het beton scheurt zal de elasticiteitsmodulus nog kleiner worden.

De effectieve elasticiteitsmodulus E_f hangt af van het wapeningspercentage en de normaalkracht op de constructie en is per model in de bijlagen E.6, H.6, I.6, J.6 en K.6 berekend.

Het scheurmoment M_{cr} is te bepalen met de volgende vergelijking.

$$M_{cr} = W_c * f_{ctm,fl}$$

Met:

$$\begin{aligned} f_{ctm,fl} &= (1,6 - h) * f_{ctm} \\ &= (1,6 - 0,2) * 2,9 = 4,06 \text{ N/mm}^2 \\ W_c &= \frac{1}{6} * b * h^2 \end{aligned} \tag{B.3}$$

B.2. Afmetingen drijflichaam elementen

Minimale betondekking platen

De nominale betondekking kan als volgt gevonden worden:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \tag{B.4}$$

Met:

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

Alle waarden kunnen in Eurocode 2 gevonden worden, dit levert:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b} ; 25 \text{ mm} ; 10 \text{ mm}\} \tag{B.6}$$

$c_{min,b}$ hangt af van de diameter van de wapening. Deze is echter nog onbekend, maar deze zal waarschijnlijk niet groter zijn dan 25 mm en dus kan voor c_{min} 25 mm worden aangenomen.

Voor Δc_{dev} kan in de Eurocode een waarde van minimaal 5 mm worden gevonden.

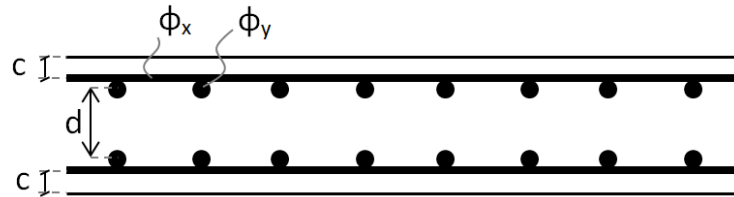
$$\begin{aligned} c_{nom} &= 25 + 5 \text{ mm} \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned} \tag{B.7}$$

Aanname vloer- en wanddikte

De totale dikte van een betonnen doorsnede bestaat uit d , de wapeningsstaven en de dekking. Dit is weergegeven in figuur B.3. Er zit wapening in beide zijden van de vloer, dus dan wordt de maximale totale dikte berekend met:

$$h = d + 2 * c + 2 * \phi_x + \phi_y \quad (\text{B.8})$$

$h=200$ mm geeft dus voldoende ruimte om wapening te plaatsen en een effectieve dikte over te



Figuur B.3.: Doorsnede

houden.

Als er gekeken wordt naar de maximale korreldiameter van het toeslagmateriaal van beton, dan wordt er gegeven dat de vloerdikte minimaal 5 maal de korreldiameter moet zijn. Dit geeft een maximale korreldiameter van $\frac{200}{5} = 40$ mm. De maximale aanwezige korreldiameter is 32 mm, dus ook dit voldoet.

Een aanname van 200 mm voor de dikte lijkt voor nu dus goed. Deze dikte zal per drijflichaam geoptimaliseerd worden om zo goedkoop mogelijk te construeren en de diepgang te beperken.

Minimale betondekking ribben

De nominale betondekking kan als volgt gevonden worden:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (\text{B.9})$$

Met:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b} ; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10mm\} \quad (\text{B.10})$$

Alle waarden kunnen in Eurocode 2 gevonden worden, dit levert:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b} ; 30 \text{ mm} ; 10 \text{ mm}\} \quad (\text{B.11})$$

$c_{min,b}$ hangt af van de diameter van de wapening. Deze is echter nog onbekend, maar deze zal waarschijnlijk niet groter zijn dan 30 mm en dus kan voor c_{min} 30 mm worden aangenomen.

Voor Δc_{dev} kan in de Eurocode een waarde van minimaal 5 mm worden gevonden.

$$\begin{aligned} c_{nom} &= 30 + 5 \text{ mm} \\ &= 35 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{B.12})$$

Afmetingen ribben

Voor de afmetingen van de ribben worden de vuistregels van balken gebruikt, omdat een rib gezien kan worden als een balk. Vuistregel voor de hoogte van de balk is dat de hoogte tussen de $\frac{1}{10} * l$ en $\frac{1}{20} * l$ ligt, waarin l de lengte van de overspanning is, in dit geval dus 10 of 12 meter. Genomen wordt een waarde van $\frac{1}{15} * l$ voor de hoogte van de ribben. De hoogte van de ribben zal dus als volgt zijn:

$$\begin{aligned} h_{10} &= \frac{10000}{15} = 667 \text{ mm} \\ h_{12} &= \frac{12000}{15} = 800 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{B.13})$$

Voor de breedte van een balk geldt dat hiervoor een waarde van $\frac{1}{2} * h$ of $\frac{1}{3} * h$ genomen kan worden. Omdat we zo licht mogelijk proberen te construeren zal hier $\frac{1}{3} * h$ genomen worden en zal de breedte van de ribben als volgt zijn:

$$\begin{aligned} b_{10} &= \frac{667}{3} = 223 \text{ mm} \\ b_{12} &= \frac{800}{3} = 267 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

Minimale dikte bepaling

Nadat geconcludeerd is dat de benodigde wapeningspercentages voor modellen met een vloer- en wanddikte van 200 mm zeer laag zijn, werd het relevant om de kleinst mogelijke dikte van de vloer en wanden te bepalen.

De maximaal gebruikte staafdiameter van de modellen met ribben is 12 mm. De minimale betondekking is in B.2 bepaald en hiervoor is een waarde van 30 mm gevonden. Met een korreldiameter van 32 mm is de minimale dikte van de vloer en wanden:

$$\begin{aligned} \text{Minimale dikte} &= \max(5 * \text{korreldiameter} ; 2 * c + 2 * \phi_x + 2 * \phi_y + \text{korreldiameter} + 5) \\ &= \max(5 * 32 ; 2 * 30 + 2 * 12 + 2 * 12 + 32 + 5) \\ &= \max(160 ; 145) = 160 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

Er zijn ook kleinere korreldiameters beschikbaar, 22 mm is ook een veelgebruikte korrelafmeting.

$$\begin{aligned} \text{Minimale dikte} &= \max(5 * \text{korreldiameter} ; 2 * c + 2 * \phi_x + 2 * \phi_y + \text{korreldiameter} + 5) \\ &= \max(5 * 22 ; 2 * 30 + 2 * 12 + 2 * 12 + 22 + 5) \\ &= \max(110 ; 135) = 135 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{B.16})$$

B.3. Minimum en maximum staafafstanden

De minimaal toelaatbare afstand tussen twee wapeningsstaven is de *maximale korreldiameter* + 5 = 32 + 5 = 37 mm.

De maximaal toelaatbare afstand tussen twee wapeningsstaven hangt af van de maximaal toelaatbare scheurwijdte. In Eurocode 2 is figuur B.4 te vinden, hierin blijkt dat voor het drijflichaam de maatgevende milieuklasse XC4 is en er een maximaal toelaatbare scheurwijdte van 0,3 mm geldt.

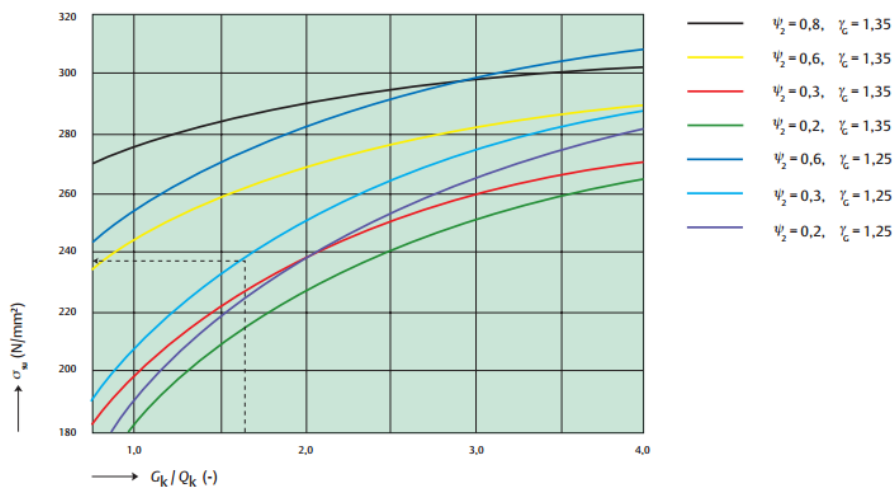
Tabel 7.1N — Aanbevolen waarden van $w_{\max}$ en daarvan afgeleide grootheden

Milieuklasse	Elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting	Elementen met een combinatie van betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	Elementen met uitsluitend voorspanstaal met aanhechting
	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie
X0, XC1	$w_{\max} \leq 0,4 \text{ mm}^a$	$w_{\max} \leq 0,3 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 275 \text{ N/mm}^2$
XC2, XC3, XC4	$w_{\max} \leq 0,3 \text{ mm}$	$w_{\max} \leq 0,2 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 175 \text{ N/mm}^2$
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3	$w_{\max} \leq 0,2 \text{ mm}$	$w_{\max} \leq 0,1 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 75 \text{ N/mm}^2$

^a Voor milieuklasse X0 en XC1 heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid; deze grens is gesteld om een in het algemeen aanvaardbaar uiterlijk te verkrijgen. Bij afwezigheid van voorwaarden ten aanzien van het uiterlijk mag deze beperking zijn afgezwakt.

Figuur B.4.: Maximaal toelaatbare scheurwijdte

Voor de bepaling van de staalspanning kan figuur B.5 gebruikt worden². De verhouding G_k/Q_k



Figuur B.5.: Bepaling staalspanning

kan bepaald worden:

$$\frac{0,7 * 5 * 3 + 0,5 * 6}{2,25 * 5 * 2} = 0,6 \quad (\text{B.17})$$

En voor woningen geldt $\Psi = 0,3$ en $\gamma_g = 1,35$, dus gekeken moet worden naar de rode lijn. Voor de staalspanning mag dan ongeveer 180 MPa aangenomen worden.

²Ontwerpen en berekenen Eurocode 2, 2008, Aeneas

Dan kan nu in figuur B.6 afgelezen worden wat de maximaal toelaatbare staafafstand is; interpolatie geeft ons een maximale staafafstand van $\frac{300+250}{2} = 275 \text{ mm}$, er moeten dus minimaal $\frac{1000}{275} = 3,63 \approx 4$ staven per meter geplaatst worden om hieraan te voldoen.

Tabel 7.3N — Maximale staafafstand voor scheurbeperving¹

Staalspanning ² (MPa)	Maximale staafafstand (mm)		
	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	$w_k = 0,3 \text{ mm}$	$w_k = 0,2 \text{ mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	–
360	100	50	–
Voor de opmerkingen zie tabel 7.2N.			

Figuur B.6.: Bepaling maximale staafafstand

B.4. Stabiliteit

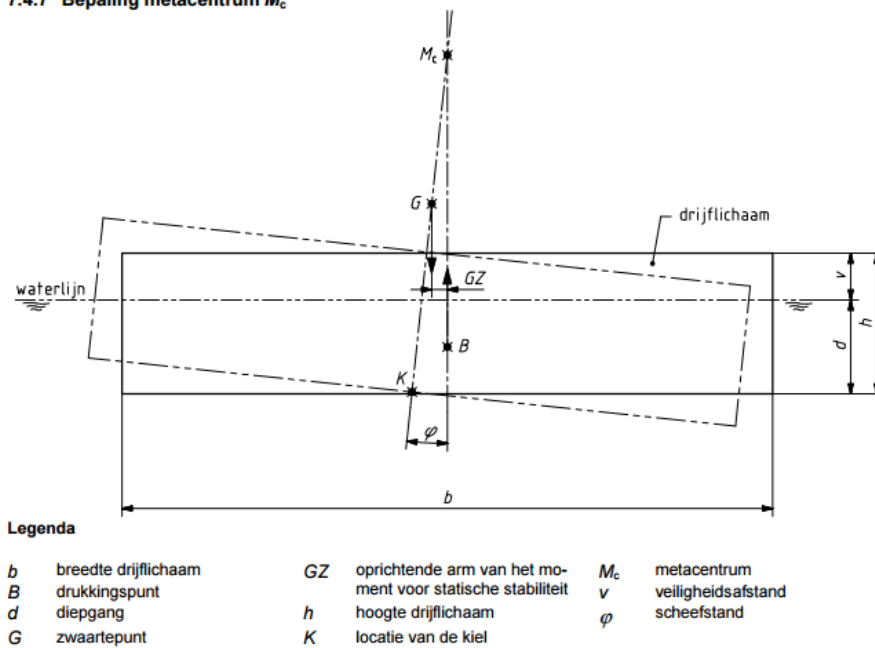
De stabiliteit van het drijflichaam hangt af van de afstand tussen het zwaartepunt en het meta-centrum M_c . De volgende definities zijn gegeven:

"Het drukingspunt is het geometrisch zwaartepunt van het deel van het drijflichaam dat in het water is ondergedompeld, het punt waar de opwaartse kracht aangrijpt."

"Het metacentrum is het snijpunt van de werklijn door het zwaartepunt in het symmetrievlak van het drijflichaam met een verticale rechte door het drukingspunt."

Beide punten zijn te zien in figuur B.7 uit de NTA drijvende bouwwerken. Een eis voor de stabiliteit is dat $MG \geq 0,25 \text{ m}$

7.4.7 Bepaling metacentrum M_c



Figuur 10 — Ligging metacentrum, zwaartepunt, oprichtende arm van het moment voor statische stabiliteit $[GZ]$ en drukkingpunt

Figuur B.7.: Bepaling Metacentrum

C. Model 60²

C.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Opnieuw moet de diepgang van het drijflichaam bepaald worden om de horizontale belasting en de hoogte van het drijflichaam te bepalen. Ook hier zal er rekening gehouden moeten worden met een veiligheidsafstand van $0,3 + 0,15 = 0,45 \text{ m}$. Voor het totale gewicht geldt:

$$\begin{aligned} V_{vloer} &= b * l * d_v \\ V_{wanden} &= 2 * l * (h + 0,45) * d_w + 2 * b * (h + 0,45) * d_w \\ V_{totaal} &= 14,878 + 6,24h \text{ m}^3 \\ F_{onderbouw+bovenbouw} &= (V * \gamma_b * 1,2 + 1270,8) \text{ N} \\ &= 1708,66 + 183,64h \text{ N} \end{aligned} \tag{C.1}$$

De diepgang van het drijflichaam wordt dan:

$$\begin{aligned} \frac{\rho * g * V}{1000} &= F_{onderbouw+bovenbouw} \\ \frac{1000 * 9,81 * 7,1 * 8,5 * h}{1000} &= 1708,66 + 183,64h \text{ N} \\ 592,03h &= 1708,66 + 183,64h \\ h &= 4,18 \text{ m} \end{aligned} \tag{C.2}$$

Deze diepgang is erg hoog. De totale hoogte van de onderbouw is dan $4,18 + 0,45 = 4,63 \text{ m}$ met een diepgang van $4,18 \text{ m}$.

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned} F_h &= \rho * g * h \\ &= 1000 * 9,81 * 4,18 \\ &= 41,04 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \tag{C.3}$$

C.2. Stabiliteit

Ook hier wordt enkel getoetst aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$. De afstand tussen drukingspunt B en metacentrum M_c wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned} BM_c &= \frac{I_x}{V} \\ I_x &= \frac{1}{12} * l * b^3 \\ &= \frac{1}{12} * 8,5 * 7,1^3 = 253,52 \text{ m}^4 \\ V &= \text{diepgang} * l * b \\ &= 4,18 * 8,5 * 7,1 = 252,26 \text{ m}^3 \\ BM_c &= \frac{253,52}{252,26} \\ &= 1,00 \text{ m} \end{aligned} \tag{C.4}$$

De hoogte van drukingspunt B is in het geval van een rechthoekige bak de helft van de diepgang van de bak.

$$B = \frac{\text{diepgang}}{2} = \frac{4,18}{2} = 2,09 \text{ m} \tag{C.5}$$

De hoogte van het zwaartepunt is berekend in figuur C.1.

Dan kan nu de afstand tussen het zwaartepunt en het metacentrum bepaald worden:

$$\begin{aligned} M_c &= B + BM_c \\ &= 2,09 + 1,00 = 3,09 \text{ m} \\ MG &= M - G \\ &= 3,09 - 4,06 = -0,97 \text{ m} \end{aligned} \tag{C.6}$$

Deze drijvende woning is dus niet stabiel, want er wordt niet voldaan aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$.

Nu moet het drijvend lichaam dus verzwaard worden om wel aan de eis van stabiliteit te voldoen. Het meest efficiënt is om de vloerdikte van het drijflichaam te vergroten. Dit zal het drijflichaam zwaarder maken en dus de diepgang groter. Er moet dan een evenwicht worden gevonden tussen de diepgang, de dikte van de vloer en de stabiliteit eis. Dit is uitgerekend met behulp van Maple, zie figuur C.3, en de volgende waarden voor de diepgang en de vloerdikte zijn gevonden:

$$\begin{aligned} M - G &= 0,25 \text{ m} \\ \text{diepgang} &= 7,17 \text{ m} \\ \text{hoogte} &= 7,62 \text{ m} \\ \text{vloerdikte} &= 887 \text{ mm} \end{aligned} \tag{C.7}$$

Een doorsnede van de situatie is in figuur C.2 weergegeven.

restart;

b := 7.1 : l := 8.5 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 4.18 :
hd := diepgang + 0.45 :

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2; \quad 132.0 \quad (1)$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv}; \quad 270.00 \quad (2)$$

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp}; \quad 84.0 \quad (3)$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2); \quad 722.2800 \quad (4)$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv; \quad 301.750 \quad (5)$$

Vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{vd} \cdot (0); \quad 7912.198200 \quad (6)$$

Zwaartepunt vanaf onder:

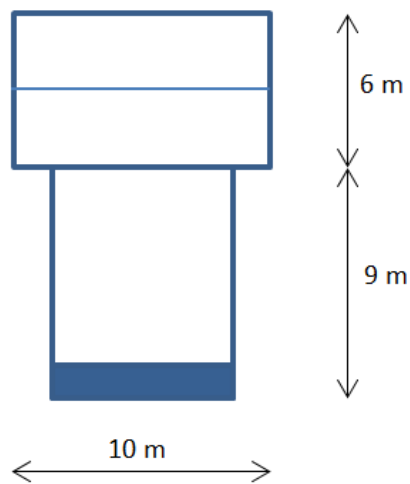
$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} \cdot 2 + G_{vp} \cdot 3 + G_{wd} + G_{vd}}; \quad 4.061640837 \quad (7)$$

Figuur C.1.: Zwaartepunt berekening model 60

Nieuwe horizontale belasting

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft nu onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned} F_h &= \rho * g * h \\ &= 1000 * 9,81 * 7,17 \\ &= 70,34 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \quad (C.8)$$



Figuur C.2.: Doorsnede woning en drijflichaam

restart;

Gegevens:

$$b := 7.1 : l := 8.5 : dw := 0.2 : Q_{vp} := 0.7 : Q_{vv} := 2.25 : Q_w := 0.5 : \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000} : \rho := 1000 : g := 9.81 :$$

(1)

Volume drijflichaam:

$$V := b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw;$$
$$60.35 \, dv + 6.24 \, h + 2.8080$$

(2)

$$Feigen := (V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8) \cdot 1000;$$

$$1.776100500 \, 10^6 \, dv + 1.836432000 \, 10^5 \, h + 1.353439440 \, 10^6$$

(3)

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

(4)

$$eq1 := \rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h = Feigen ;$$

$$5.920335000 \, 10^5 \, h = 1.776100500 \, 10^6 \, dv + 1.836432000 \, 10^5 \, h + 1.353439440 \, 10^6$$

(5)

$$solution := solve(\{eq1\}, \{h\});$$

$$\{h = 4.349027144 \, dv + 3.314083219\}$$

(6)

$$assign(solution);$$

$$diepgang := h :$$

$$hoogte := diepgang + 0.45 :$$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2;$$
$$132.0$$

(7)

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv};$$
$$270.00$$

(8)

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp};$$

$$84.0$$

(9)

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hoogte \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hoogte \cdot 2);$$
$$678.4482344 \, dv + 587.1969822$$

(10)

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv;$$
$$1508.75 \, dv$$

(11)

Z-coördinaat zwaartepunt vanaf de onderkant:

$$S := G_w \cdot (hoogte + 3) + G_{vv} \cdot (hoogte + (hoogte + 3)) + G_{vp} \cdot (hoogte + (hoogte + 3) + (hoogte + 6)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hoogte}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} \cdot 2 + G_{vp} \cdot 3 + G_{wd} + G_{vd}};$$

$$\frac{1}{1511.196982 + 2187.198234 \, dv} \left(4018.501081 \, dv + 5440.012895 + \frac{1}{2} (678.4482344 \, dv + 587.1969822) (4.349027144 \, dv + 3.764083219) \right) \quad (12)$$

(13)

Drukkingspunt B:

$$B := \frac{\text{diepgang}}{2};$$

$$2.174513572 \, dv + 1.657041610 \quad (14)$$

Afstand tussen B en Mc:

$$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3;$$

$$253.5202917 \quad (15)$$

$$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b;$$

$$262.4637881 \, dv + 200.0049223 \quad (16)$$

$$BMc := \frac{I_x}{V};$$

$$\frac{253.5202917}{262.4637881 \, dv + 200.0049223} \quad (17)$$

Metacentrum vanaf onder:

$$M := B + BMc;$$

$$2.174513572 \, dv + 1.657041610 + \frac{253.5202917}{262.4637881 \, dv + 200.0049223} \quad (18)$$

De stabiliteits eis:

$$eq2 := M - G = 0.25 :$$

(19)

$$\text{solution2} := \text{solve}(\{eq2\}, \{dv\});$$

$$\{dv = 0.8871906400\}, \{dv = -0.7928125773 + 0.1637499108 \, I\}, \{dv = -0.7928125773 - 0.1637499108 \, I\} \quad (20)$$

$$\text{assign}(\text{solution2}[1]);$$

$$MG := M - G;$$

$$0.250000000 \quad (21)$$

Eindantwoorden:

$$\text{diepgang};$$

$$7.172499394 \quad (22)$$

$$\text{hoogte};$$

$$7.622499394 \quad (23)$$

$$dv;$$

$$0.8871906400 \quad (24)$$

Figuur C.3.: Bepaling vloerdikte en diepgang drijflichaam 60 m²

D. Model 90 m²

D.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting

De diepgang van het drijflichaam moet bepaald worden om de horizontale belasting en de hoogte van het drijflichaam te bepalen. Hier zal er rekening gehouden moeten worden met een veiligheidsafstand van $0,3 + 0,15 = 0,45$ m. Voor het totale gewicht geldt:

$$\begin{aligned}V_{vloer} &= b * l * d_v \\V_{wanden} &= 2 * l * (h + 0,45) * d_w + 2 * b * (h + 0,45) * d_w \\V_{totaal} &= 21,534 + 7,64h \text{ m}^3 \\F_{onderbouw+bovenbouw} &= (V * \gamma_b * 1,2 + 1270,8) \text{ N} \\&= 1904,55 + 224,85h \text{ N}\end{aligned} \tag{D.1}$$

De diepgang van het drijflichaam wordt dan:

$$\begin{aligned}\frac{\rho * g * V}{1000} &= F_{onderbouw+bovenbouw} \\\frac{1000 * 9,81 * 8,7 * 10,4 * h}{1000} &= 1904,55 + 224,85h \text{ N} \\887,61h &= 1904,55 + 224,85h \\h &= 2,87 \text{ m}\end{aligned} \tag{D.2}$$

De totale hoogte van de onderbouw is dan $2,87 + 0,45 = 3,32$ m met een diepgang van 2,87 m.

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned}F_h &= \rho * g * h \\&= 1000 * 9,81 * 2,87 \\&= 28,19 \text{ kN/m}^2\end{aligned} \tag{D.3}$$

D.2. Stabiliteit

Er wordt enkel getoetst aan de eis $MG \geq 0,25$ m. De afstand tussen drukingspunt B en meta-centrum M_c wordt als volgt bepaald:

$$BM_c = \frac{I_x}{V} \tag{D.4}$$

Met V het volume van het verplaatste water en I_x is het oppervlaktetraagheidsmoment; $I_x = \frac{1}{12} * l * b^3$.

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} * 10,4 * 8,7^3 \\
 &= 570,70 \text{ m}^4 \\
 V &= \text{diepgang} * l * b \\
 &= 2,87 * 10,4 * 8,7 = 259,68 \text{ m}^3 \\
 BM_c &= \frac{570,70}{259,68} \\
 &= 2,20 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{D.5}$$

De hoogte van drukingspunt B is in het geval van een rechthoekige bak de helft van de diepgang van de bak.

$$B = \frac{\text{diepgang}}{2} = \frac{2,87}{2} = 1,44 \text{ m} \tag{D.6}$$

De hoogte van het zwaartepunt is berekend in figuur D.1.

Dan kan nu de afstand tussen het zwaartepunt en het metacentrum bepaald worden:

$$\begin{aligned}
 M_c &= B + BM_c \\
 &= 1,44 + 2,20 = 3,64 \text{ m} \\
 MG &= M_c - G \\
 &= 3,64 - 3,03 = 0,61 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{D.7}$$

Deze drijvende woning is dus stabiel, want er wordt voldaan aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$.

restart;

$b := 8.7 : l := 10.4 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Q_{vp} := 0.7 : Q_{vv} := 2.25 : Q_w := 0.5 : \text{diepgang} := 2.87 : hd := \text{diepgang} + 0.45 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2; \quad 132.0 \quad (1)$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv}; \quad 270.00 \quad (2)$$

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp}; \quad 84.0 \quad (3)$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2); \quad 634.1200 \quad (4)$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv; \quad 452.400 \quad (5)$$

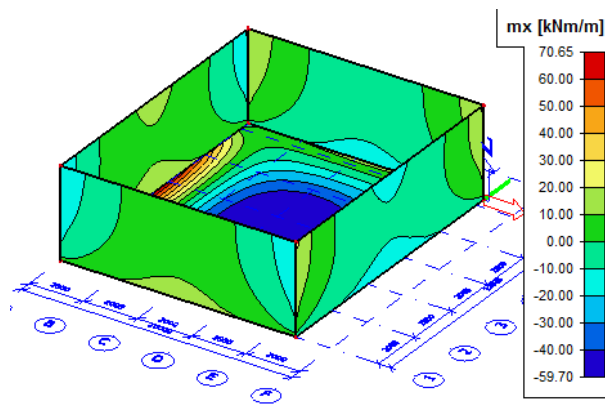
Vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{vd} \cdot (0); \quad 6082.319200 \quad (6)$$

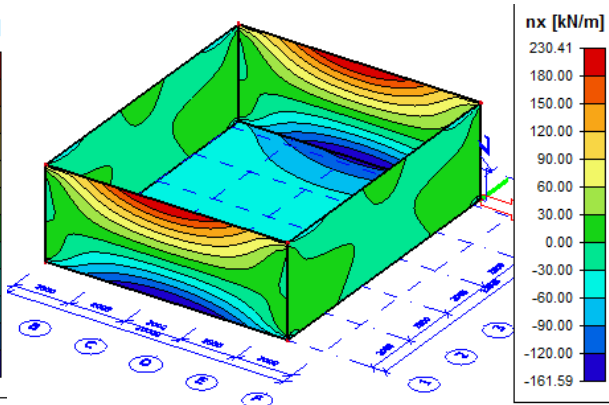
Zwaartepunt vanaf onder:

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} \cdot 2 + G_{vp} \cdot 3 + G_{wd} + G_{vd}}; \quad 3.025246802 \quad (7)$$

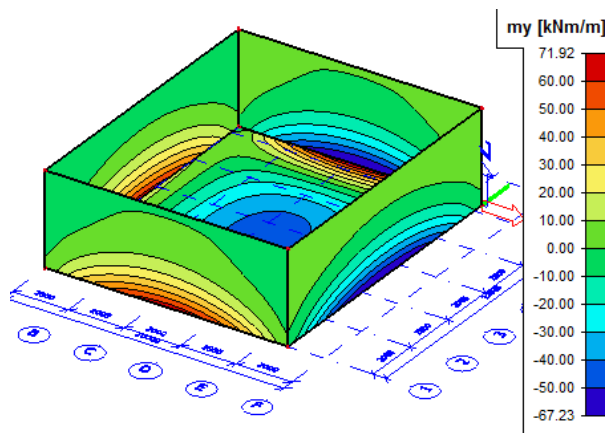
Figuur D.1.: Zwaartepunt berekening model 90



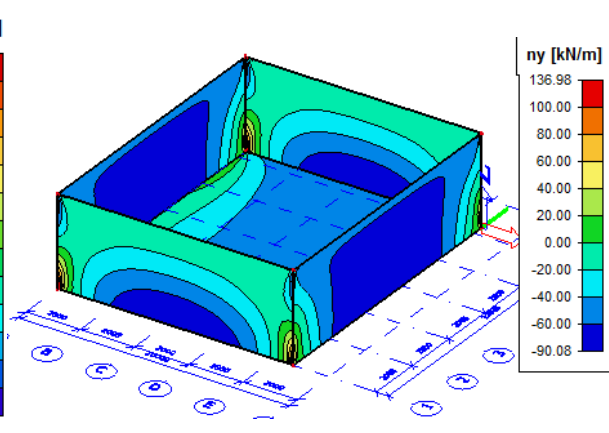
Figuur D.2.: Interne krachten, m_x



Figuur D.3.: Interne krachten, n_x



Figuur D.4.: Interne krachten, m_y



Figuur D.5.: Interne krachten, n_y

D.3. Interne krachten

De interne krachten van model 90 zijn weergegeven in figuren D.2, D.3, D.4, D.5, D.6 en D.7.

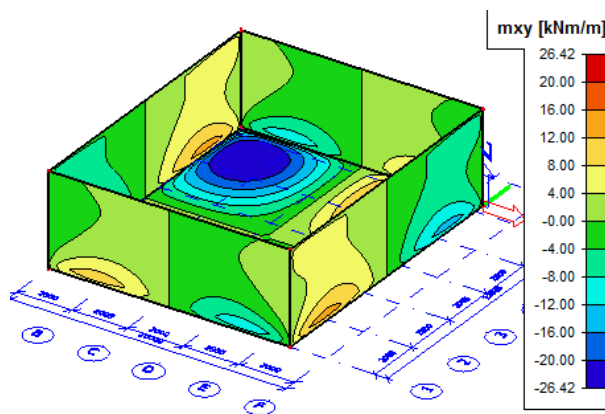
Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur D.8 gevonden met behulp van Scia Engineer.

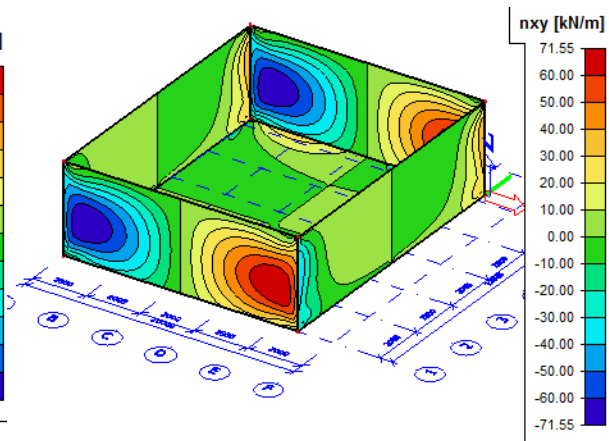
Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur D.9 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E2 is een wand van 8,7 meter lengte en E3 is een wand van 10,4 meter lengte.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van model 90 is te vinden in tabel D.1.



Figuur D.6.: Interne krachten, mxy



Figuur D.7.: Interne krachten, nxy

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	1122	Combi1	-59,70	-45,26	0,00	-34,54	-55,68	0,00
E1	1101	Combi1	70,65	14,39	0,00	-46,57	-10,80	0,00
E1	22	Combi1	14,03	71,92	0,00	-130,89	-47,91	0,00
E1	302	Combi1	-0,06	0,11	-26,42	-49,94	-33,52	-2,22
E1	270	Combi1	-0,06	0,11	26,42	-49,94	-33,52	2,22
E1	2281	Combi1	7,83	33,29	6,57	-88,20	-45,15	-26,77
E1	2251	Combi1	7,83	33,29	-6,57	-88,20	-45,15	26,77
E1	1893	Combi1	33,89	8,26	-9,16	-44,61	14,52	-8,86
E1	309	Combi1	33,89	8,26	9,16	-44,61	14,52	8,86
E1	2266	Combi1	14,03	71,92	0,00	-130,89	-47,91	0,00
E1	1	Combi1	-7,70	-10,87	0,27	-4,68	31,61	31,01
E1	418	Combi1	-29,18	-18,80	0,00	-59,50	-59,83	0,00
E1	44	Combi1	-7,70	-10,87	-0,27	-4,68	31,61	-31,01

Figuur D.8.: Interne krachten vloer

Vervorming

In figuur D.10 is de zakking van de constructie van model 90 te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2893 mm en een minimale zakking van 2839 mm. Dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,87 m. Bij deze berekening was de vloer oneindig stijf aangenomen, waardoor er geen opbolling op zou treden. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

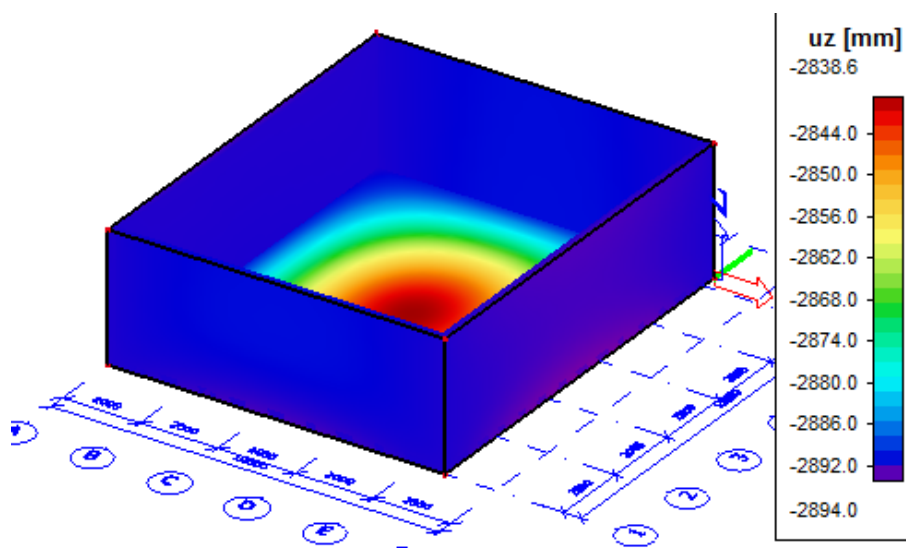
De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 7,1 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{7100}{250} = 28,4 \text{ mm}$. De opbolling is $2893 - 2839 = 54 \text{ mm}$. De opbolling is dus te groot.

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E2	2949	Combi1	-19,15	-1,31	-2,69	29,54	-68,55	-25,62
E3	3920	Combi1	27,06	5,99	1,71	-14,99	-17,06	-33,86
E3	3062	Combi1	-12,88	-65,98	0,00	-19,55	-89,33	0,00
E2	2310	Combi1	13,10	67,23	0,00	-161,59	-90,08	0,00
E3	3045	Combi1	-6,07	-30,41	-13,59	10,76	-50,49	6,27
E3	3079	Combi1	-6,07	-30,41	13,59	10,76	-50,49	-6,27
E2	2296	Combi1	8,19	38,40	6,20	-99,54	-49,38	-27,13
E2	2324	Combi1	8,19	38,40	-6,20	-99,54	-49,38	27,13
E2	3014	Combi1	7,02	-0,40	0,00	230,41	-3,71	0,00
E2	2289	Combi1	4,97	5,25	-0,77	-63,19	136,98	3,97
E2	2556	Combi1	-7,18	-0,23	-0,50	2,21	-10,68	-71,55
E2	2592	Combi1	-7,18	-0,23	0,50	2,21	-10,68	71,55

Figuur D.9.: Interne krachten wanden

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-59,70	-45,26	26,42	-34,54	-59,83	31,01
Vloer randen	70,65	71,92	26,42	-130,89 -4,68	-47,91 31,61	31,01
Wanden midden	13,10	6,80 -67,23	13,59	230,41 -161,59	-90,08	71,55
Wanden randen	27,06 -2,05	6,80 -7,80	13,59	-126,80 29,54	136,98 -68,55	71,55

Tabel D.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model 90



Figuur D.10.: Controle zakking drijflichaam, model 90

E. Model 120 m²

E.1. Gegevens bij eerste model 120

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

De diepgang van het drijflichaam moet bepaald worden om de horizontale belasting en de hoogte van het drijflichaam te bepalen. Hier zal er rekening gehouden moeten worden met een veiligheidsafstand van $0,3 + 0,15 = 0,45 \text{ m}$. Voor het totale gewicht geldt:

$$\begin{aligned} V_{vloer} &= b * l * d_v \\ V_{wanden} &= 2 * l * (h + 0,45) * d_w + 2 * b * (h + 0,45) * d_w \\ V_{totaal} &= 27,96 + 8,8h \text{ m}^3 \\ F_{onderbouw+bovenbouw} &= (V * \gamma_b * 1,2 + 1270,8) \text{ N} \\ &= 2093,66 + 258,98h \text{ N} \end{aligned} \tag{E.1}$$

De diepgang van het drijflichaam wordt dan:

$$\begin{aligned} \frac{\rho * g * V}{1000} &= F_{onderbouw+bovenbouw} \\ \frac{1000 * 9,81 * 10 * 12 * h}{1000} &= 2093,66 + 258,98h \text{ N} \\ 1177,2h &= 2093,66 + 258,98h \\ h &= 2,28 \text{ m} \end{aligned} \tag{E.2}$$

De totale hoogte van de onderbouw is dan $2,28 + 0,45 = 2,73 \text{ m}$ met een diepgang van 2,28 m.

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned} F_h &= \rho * g * h \\ &= 1000 * 9,81 * 2,28 \\ &= 22,37 \text{ kN/m}^2 \end{aligned} \tag{E.3}$$

Stabiliteit

In deze NTA staat beschreven dat de afstand tussen drukingspunt B tot metacentrum M_c bepaald kan worden als volgt:

$$BM_c = \frac{I_x}{V} \tag{E.4}$$

Met V het volume van het verplaatste water en I_x is het oppervlaktetraagheidsmoment; $I_x = \frac{1}{12} * l * b^3$.

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} * 12 * 10^3 \\
 &= 1000 \text{ m}^4 \\
 V &= \text{diepgang} * l * b \\
 &= 2,28 * 12 * 10 = 273,60 \text{ m}^3 \\
 BM_c &= \frac{1000}{273,60} \\
 &= 3,65 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{E.5}$$

De hoogte van drukingspunt B is in het geval van een rechthoekige bak de helft van de diepgang van de bak.

$$B = \frac{\text{diepgang}}{2} = \frac{2,28}{2} = 1,14 \text{ m} \tag{E.6}$$

De hoogte van het zwaartepunt is berekend in figuur E.1.

Dan kan nu de afstand tussen het zwaartepunt en het metacentrum bepaald worden:

$$\begin{aligned}
 M_c &= B + BM_c \\
 &= 1,14 + 3,65 = 4,79 \text{ m} \\
 MG &= M - G \\
 &= 4,79 - 2,50 = 2,30 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{E.7}$$

Deze drijvende woning is dus stabiel, want er wordt voldaan aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$.

restart;

b := 10 : l := 12 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 2.28 :
hd := diepgang + 0.45 :

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2; \quad 132.0 \quad (1)$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv}; \quad 270.00 \quad (2)$$

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp}; \quad 84.0 \quad (3)$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2); \quad 600.600 \quad (4)$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv; \quad 600.0 \quad (5)$$

Vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{vd} \cdot (0); \quad 5304.339000 \quad (6)$$

Zwaartepunt vanaf onder:

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} \cdot 2 + G_{vp} \cdot 3 + G_{wd} + G_{vd}}; \quad 2.496629483 \quad (7)$$

Figuur E.1.: Zwaartepunt berekening model 120

Interne krachten

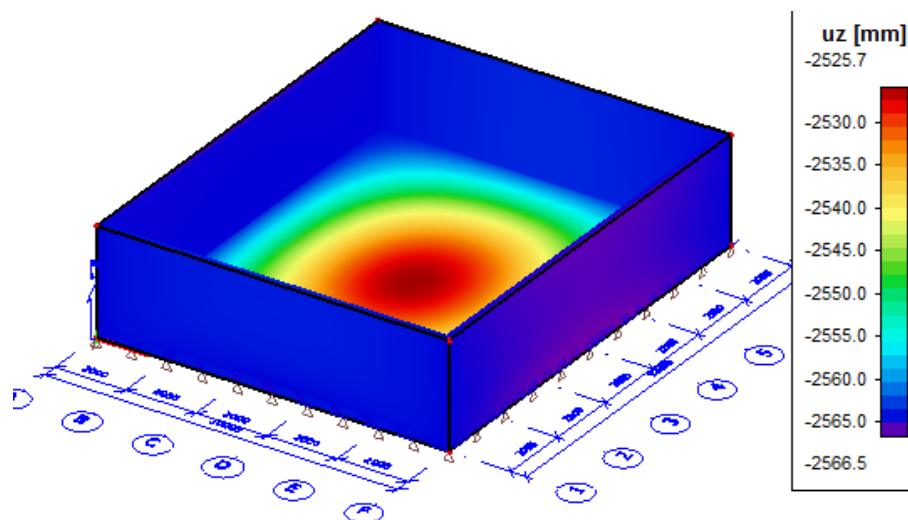
Bij model 90 is gebleken dat de vervorming van de vloer te groot was, daarom zal er nu eerst naar de vervorming gekeken worden.

Vervorming

De bodem heeft een maximale zakking van 2311 mm en een minimale zakking van 2231 mm, ook hier komt het verschil in zakking van de bodem door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,28 m. Bij deze berekening was de vloer oneindig stijf aangenomen, waardoor er geen opbolling op zou treden. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2311 - 2231 = 80 \text{ mm}$. De opbolling is dus te groot. Om naar een acceptabele opbolling van maximaal 40 mm te komen, zal de bodem van het drijflichaam dikker uitgevoerd moeten worden.

De benodigde dikte is door middel van een iteratief proces bepaald en de gevonden waarde voor de dikte van de vloer is 270 mm. De diepgang van het drijflichaam is dan 2,55 m en de hoogte is dan $2,55 + 0,45 = 3,00 \text{ m}$. Aan de stabiliteit wordt dan ook nog steeds voldaan, de afstand MC is dan namelijk 2,15 meter. In figuur E.2 is de zakking van de constructie met de verdikte vloer te zien.



Figuur E.2.: Controle zakking drijflichaam, model 120

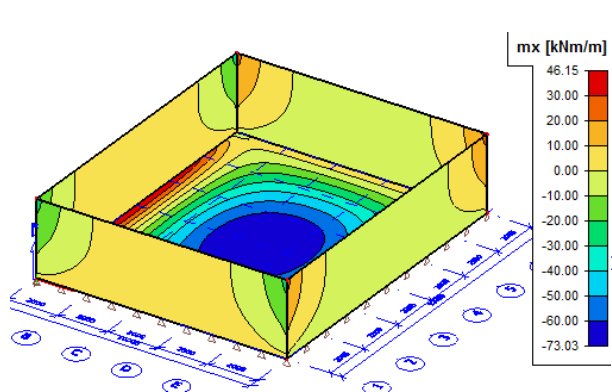
De maximale zakking van de bodem is nu 2565 mm en de minimale zakking is 2526, de opbolling is dus $2565 - 2526 = 39 \text{ mm}$.

Interne krachten

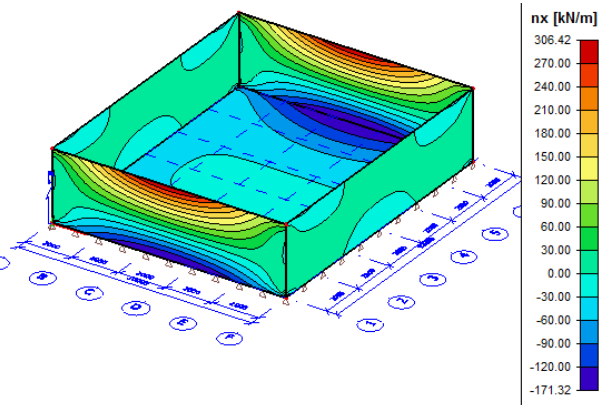
De interne krachten van model 120 zijn weergegeven in figuren E.3, E.4, E.5, E.6, E.7 en E.8.

Vloer

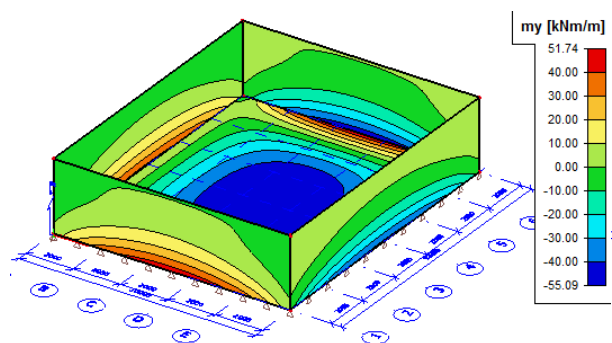
In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur E.9 gevonden met behulp van Scia Engineer.



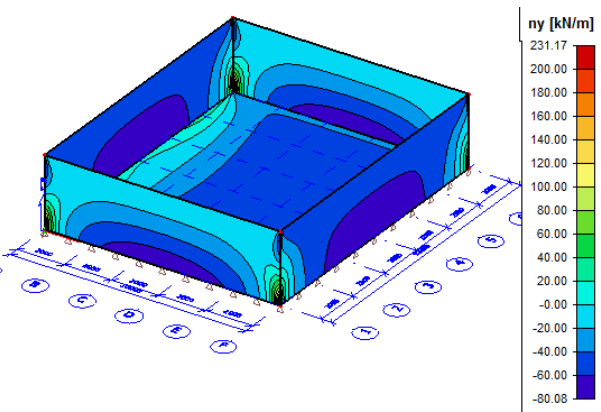
Figuur E.3.: Interne krachten, m_x



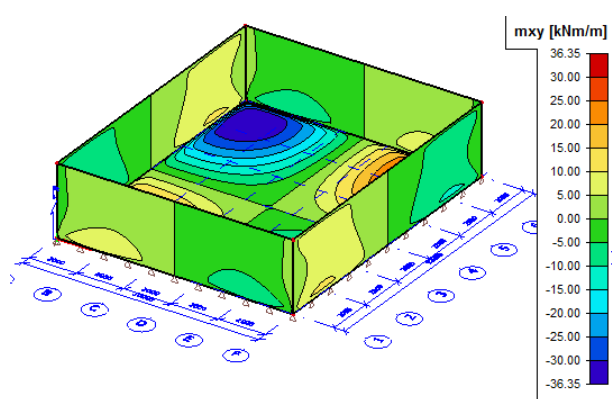
Figuur E.4.: Interne krachten, n_x



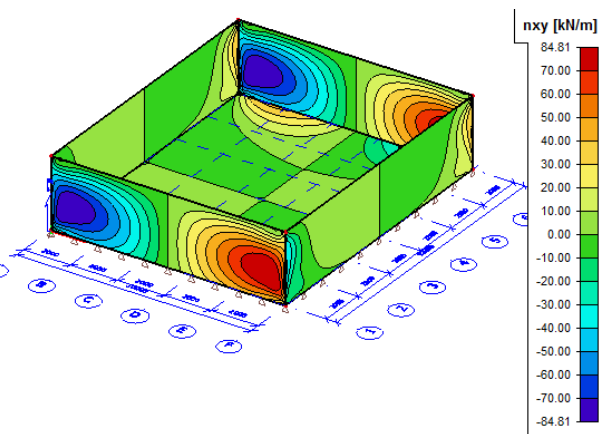
Figuur E.5.: Interne krachten, m_y



Figuur E.6.: Interne krachten, n_y



Figuur E.7.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur E.8.: Interne krachten, n_{xy}

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	1470	Combi1	-73,03	-55,09	0,00	-23,76	-55,63	0,00
E1	30	Combi1	46,15	9,07	0,00	-33,84	2,06	0,00
E1	1441	Combi1	8,36	51,74	0,00	-159,43	-34,00	0,00
E1	294	Combi1	-0,44	0,60	-36,35	-50,05	-23,42	8,36
E1	246	Combi1	-0,44	0,60	36,35	-50,05	-23,42	-8,36
E1	2581	Combi1	4,97	22,69	-8,66	-103,37	-39,59	43,50
E1	301	Combi1	4,97	22,69	8,66	-103,37	-39,59	-43,50
E1	52	Combi1	25,82	6,45	-13,26	-38,44	32,40	-5,99
E1	8	Combi1	25,82	6,45	13,26	-38,44	32,40	5,99
E1	2941	Combi1	-15,31	-21,30	-0,24	-19,39	19,28	-38,25
E1	1457	Combi1	-56,47	-44,61	0,00	-40,67	-57,36	0,00
E1	421	Combi1	6,35	29,22	8,74	-112,14	-38,83	-44,02
E1	480	Combi1	6,35	29,22	-8,74	-112,14	-38,83	44,02

Figuur E.9.: Interne krachten vloer

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten m_x , m_y en m_{xy} de gegevens in figuur E.10 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E2 is een wand van 12 meter lengte en E4 is een wand van 10 meter lengte.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van model 120 is te vinden in tabel E.1.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-73,03	-55,09	36,35	-23,76	-57,36	44,02
Vloer randen	46,15 -15,31	51,74 -21,30	36,35	-159,43 -19,39	-34,00 32,40	44,02
Wanden midden	-9,23	47,75 -6,86	10,90	306,42 -171,32	-80,08 -3,17	84,81
Wanden randen	29,17 -6,00	5,38 -11,55	10,90	80,09 -118,82	231,17 -65,60	84,81

Tabel E.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model 120

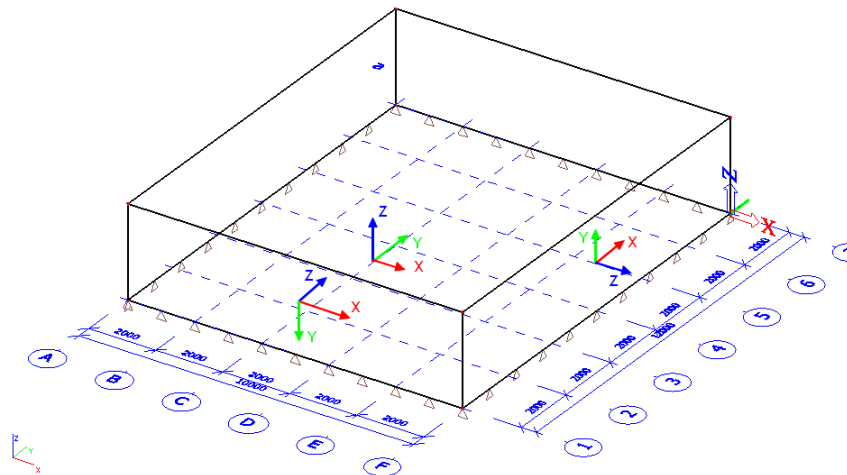
Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E4	5501	Combi1	-23,68	-2,31	2,04	80,09	-37,58	33,73
E2	3841	Combi1	29,17	5,38	1,96	6,59	-8,90	-32,22
E2	3030	Combi1	-8,19	-42,54	0,00	-15,25	-77,55	0,00
E4	4825	Combi1	9,23	47,75	0,00	-171,32	-80,08	0,00
E2	3051	Combi1	-4,53	-22,57	-10,90	17,38	-44,07	4,74
E2	3009	Combi1	-4,53	-22,57	10,90	17,38	-44,07	-4,74
E4	4842	Combi1	6,62	30,59	4,11	-100,04	-44,32	-43,79
E4	4808	Combi1	6,62	30,59	-4,11	-100,04	-44,32	43,79
E2	3900	Combi1	29,17	5,38	-1,96	6,59	-8,90	32,22
E2	3001	Combi1	-2,16	-11,55	0,21	-118,82	75,35	-42,13
E4	5525	Combi1	7,94	-0,33	0,00	306,42	-3,17	0,00
E4	4850	Combi1	6,00	7,94	-1,19	-42,76	231,17	9,07
E4	5096	Combi1	-6,07	0,00	1,62	8,23	-5,62	-84,81
E4	5054	Combi1	-6,07	0,00	-1,62	8,23	-5,62	84,81

Figuur E.10.: Interne krachten wanden

E.1.1. Lokale assenstelsels

Zoals in figuren E.3 en E.5 te zien is, lijken de momenten in de overgangen tussen wanden en vloer niet altijd evenwicht te maken. De lokale assenstelsels van ieder element zijn namelijk verschillend. Zo zie je dat de extreme m_x momenten in de vloer aan de zijkanten terug te zien zijn in de extreme m_y momenten in de wanden.

In figuur E.11 zijn de lokale assenstelsels van de elementen waarvan de interne krachten worden beschouwd, weergegeven. De tekens van momenten in de korte wand kunnen precies tegenover-



Figuur E.11.: lokale assen vloer en wanden

gesteld zijn van de momenten in de lange wand, terwijl dezelfde richting bedoeld wordt. Bij het dimensioneren van de wapening moet dus niet gekeken worden naar het teken van het moment dat is overgenomen vanuit Scia Engineer, maar zal rekening gehouden worden met het volgende:

- De vloer bolt op naar boven, dus in het midden van de vloer zit de trek aan de bovenkant. Aan de randen van de vloer, zal de trek juist in de onderkant van de vloer zitten. Dit geldt voor beide de x- en y-richting.
- In x-richting buigen de wanden in het midden naar binnen toe, daar zit de trek dus aan de binnenkant van het drijflichaam en de druk aan de buitenkant. Bij de randen waar twee wanden bij elkaar komen zit de trek aan de buitenkant van het drijflichaam en de druk aan de binnenkant. Onderaan de wand, bij de verbinding met de vloer zit ook de trek aan de buitenkant van het drijflichaam.
- Een doorsnede van de wand in y-richting is te zien als een aan 1 zijde verende ingeklemde ligger. De bovenkant van de wand wordt naar binnen gedrukt, dat betekent dat het moment in de wand aan de onderkant trek aan de buitenkant van het drijflichaam geeft, aan de bovenkant zit bij de meeste modellen lichte trek aan de binnenzijde van het drijflichaam. Aan de randen van de wanden, waar twee wanden samen komen, verschilt het teken van het moment aan de boven- en onderkant van elkaar, daar moet dus wapening aan de binnen- en buitenzijde geplaatst worden.

E.2. Controle ordegrootte gevonden momenten

Vloer

Een methode om de momenten in een plaat te bepalen is de elasticiteitsmethode. Deze methode is gebaseerd op een tabel met momentcoëfficiënten. Deze tabel kan gevonden worden in dictaat Gewapend Beton[5]. De vloer is verend ingeklemd door de wanden, dit is tussen een scharnierend opgelegde vloer en volledig ingeklemd vloer in. Voor de m_x wordt dan gevonden:

$$\begin{aligned}\text{scharnierend } m_x &= 54 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 108,0 \text{ kNm/m} \\ \text{ingeklemd } m_x &= 26 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 52,0 \text{ kNm/m}\end{aligned}\tag{E.8}$$

Het gemiddelde van die twee waardes geeft $\frac{108,0+52,0}{2} = 80,0 \text{ kNm/m}$. Dit komt erg in de buurt van de in Scia Engineer gegeven waarde van $m_x = 73,03 \text{ kNm/m}$.

Voor de m_y wordt dan gevonden:

$$\begin{aligned}\text{scharnierend } m_y &= 35 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 70,0 \text{ kNm/m} \\ \text{ingeklemd } m_y &= 16 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 32,0 \text{ kNm/m}\end{aligned}\tag{E.9}$$

Het gemiddelde van die twee waardes geeft $\frac{70,0+32,0}{2} = 51,0 \text{ kNm/m}$. Dit komt erg in de buurt van de in Scia Engineer gegeven waarde van $m_y = 55,09 \text{ kNm/m}$.

De waarden aan de randen zullen dan als volgt zijn:

$$\begin{aligned}m_{sx} &= \frac{1}{2} * 63 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 63 \text{ kNm/m} \\ m_{sy} &= \frac{1}{2} * 54 * 0,001 * 20,0 * 10^2 = 54 \text{ kNm/m}\end{aligned}\tag{E.10}$$

Scia Engineer geeft waarden van $m_x = 46,15 \text{ kNm/m}$ en $m_y = 51,74 \text{ kNm/m}$. Deze liggen wel in de buurt van elkaar, maar wijken wel iets af. Een mogelijke verklaring hiervoor wordt gegeven in E.2.

Wanden

Voor m_x in het midden van de wanden kan het versimpelde schema in figuur E.12 gebruikt worden. De horizontale belasting is onderaan $25,0 \text{ kN/m}^2$. Het moment onderin is dan:

$$m_x = \frac{1}{2} * 25,0 * 2,55 * \frac{1}{3} * 2,55 = 27,09 \text{ kNm/m}\tag{E.11}$$

Deze waarde wijkt af van de gevonden waarde voor m_x in Scia Engineer, die 9,23 is.

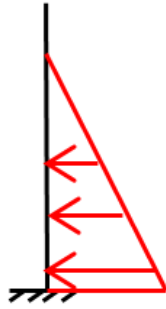
Voor m_y in het midden van de wanden kan het versimpelde schema in figuur E.13 gebruikt worden. De horizontale belasting is onderaan $25,0 \text{ kN/m}^2$. De gemiddelde q -last die op de wand staat is dan:

$$q_{gem} = \frac{0,45 * 0 + 2,55 * \frac{25,0}{2}}{2,55 + 0,45} = 10,625 \text{ kN/m}^2\tag{E.12}$$

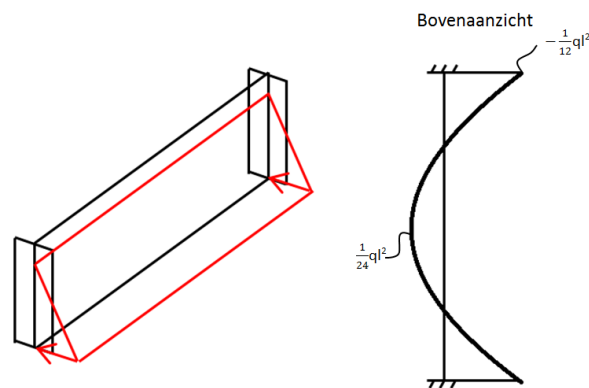
Het moment in het midden van de wand is dan:

$$m_y = \frac{1}{24} * 10,625 * 12^2 = 63,75 \text{ kNm/m}\tag{E.13}$$

Deze waarde wijkt af van de gevonden waarde voor m_y in Scia Engineer, die 47,75 is. De verschillen zullen te maken hebben met een ander mechanisme dat ook meespeelt, zie hiervoor E.2.



Figuur E.12.: Mechanica schema voor wand mx



Figuur E.13.: Mechanica schema voor wand my

Verklaring afwijkende waarden

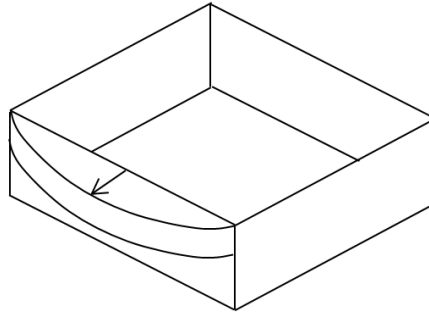
Als de vloer opbolt in het midden dan willen de wanden naar buiten gaan staan, zoals weergegeven in figuur E.14.



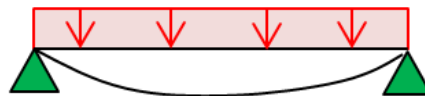
Figuur E.14.: Vervorming vloer en wanden

In de hoeken is deze vervorming niet mogelijk, waardoor de bovenste strip van een wand zal gaan vervormen als weergegeven in figuur E.15. Deze strip kan gezien worden als een ligger op twee steunpunten, waar een verdeelde q -last op staat, zie figuur E.16. Door de buigstijfheid van deze ligger, oftewel wandstrip, kan de wand niet simpelweg geschematiseerd worden als een eenzijdig ingeklemde ligger, maar eerder zoals in figuur E.17. De vervorming in de y -richting werkt remmend op de vervorming in de x -richting, en andersom. Figuur E.17 is zelfs nog versimpeld; in feite zal er niet 1 veer zijn, maar zullen er veren van de onderkant tot de bovenkant zitten, waarbij de veerstijfheid afloopt naarmate je hoger komt.

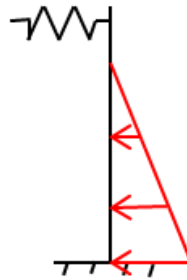
Deze remmende werking, heeft ook een reducerende invloed op het moment bij de inklemming,



Figuur E.15.: Vervorming wandstrip



Figuur E.16.: Wandstrip



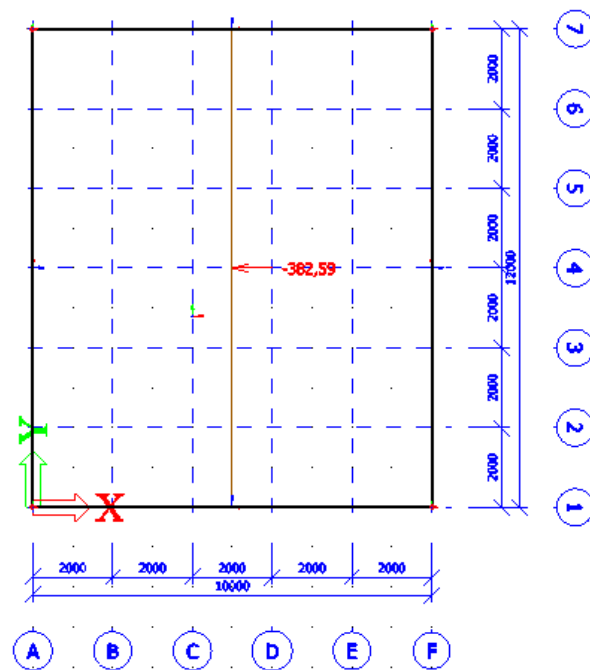
Figuur E.17.: Mechanica schema wand in x-richting

en dus bij de overgang van vloer naar wand en ook in het midden van de wand in de y-richting, waar de vervormingen elkaar ook tegenwerken. Hierdoor is het te verklaren dat Scia Engineer bij de overgangen van wand naar vloer en in het midden van de wand kleinere momenten geeft dan hierboven met de hand is nagerekend.

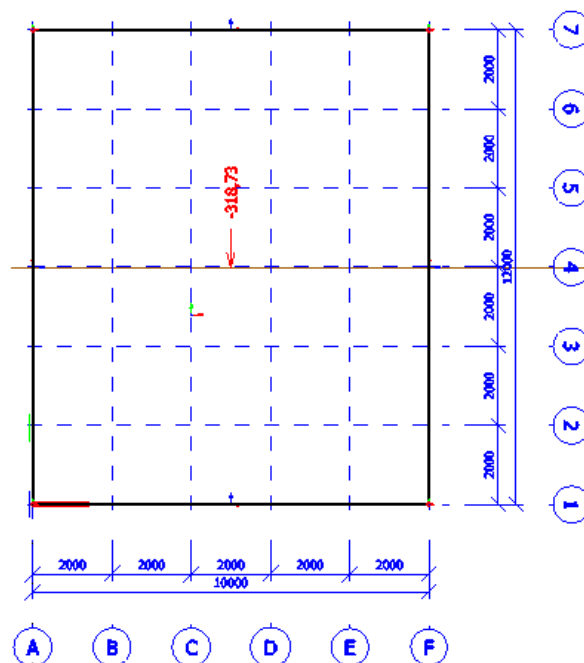
Normaalkrachten

Om de normaalkrachten in de constructie te kunnen controleren zijn er in Scia engineer snedes gemaakt waarna de resultante kracht op die snede opgevraagd is. In figuren E.18 en E.19 zijn de resultante in de x en y richting gegeven. Deze moeten overeenkomen met de totale horizontale belasting op de overstaande wand. Op de wand van 10 meter lengte staat een totale horizontale belasting van $\frac{1}{2} * 25,0 * 2,55 * 10 = 318,75 \text{ kN}$. De resultante waarde die gegeven wordt door Scia Engineer is 318,73 kN. Op de wand van 12 meter lengte staat een totale horizontale belasting van $\frac{1}{2} * 25,0 * 2,55 * 12 = 382,50 \text{ kN}$. De resultante waarde die gegeven wordt door Scia Engineer is 382,59 kN. Deze waarden komen dus bijna exact overeen met de resultante gegeven door Scia Engineer.

De normaalkrachten in de wanden worden zeer sterk beïnvloed door de buiging. De lange wan-



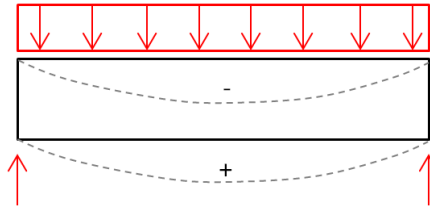
Figuur E.18.: Snede nx, resultante



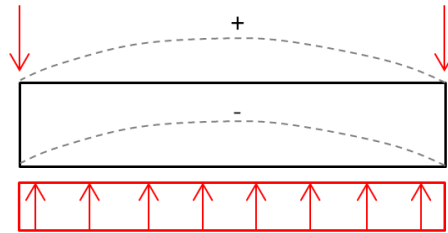
Figuur E.19.: Snede ny, resultante

den, met de grote belasting vanuit de bovenbouw kunnen zoals in figuur E.20 geschematiseerd worden. Er zal trek in de onderkant van de wand ontstaan en druk in de bovenkant van de wand.

De korte wanden, met de kleine belasting vanuit de bovenbouw kunnen zoals in figuur E.21 geschematiseerd worden. Hier komt er trek in de bovenkant van de wand en druk in de onderkant.



Figuur E.20.: Normaalkracht lange wand



Figuur E.21.: Normaalkracht korte wand

Door deze grote invloed van de buiging op de normaalkrachten gegeven door Scia Engineer zullen deze waarden ook afwijken van de waarden die gevonden zullen worden met handberekeningen uit evenwicht. Daarom wordt dit verder ook niet meer met de hand gecontroleerd.

Conclusie

De versimpelde handberekeningen lijken grofweg overeen te komen met de gevonden interne krachten in Scia Engineer. De afwijkende waarden zijn te verklaren; bij de handberekeningen is er geen rekening gehouden met het complexere mechanisme die ook optreedt, namelijk dat de tegenwerkende vervormingen de momenten reduceren.

E.3. Wapening

Vloer

De vloer bolt in het midden op naar boven door de waterdruk aan de onderkant. Dit betekent dat er trek in de bovenzijde zit en druk aan de onderzijde.

Wapening in het midden van de vloer

Het benodigde wapeningsoppervlak A_s kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} * z}, \quad A_s = \frac{N}{f_{yd}} \quad (\text{E.14})$$

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 16 = 162 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 162 = 153,9 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 200 - 30 - 16 - \frac{1}{2} * 16 = 146 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 146 = 138,7 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{200*1000*20}{1000} = 4000 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden. Zoals in tabel E.9 en E.10 te zien is, wordt deze waarde nooit overschreden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -73,03 + 36,35 = -36,68 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-36,68}{435 * 0,1539} * 1000 = -548 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 73,03 + 36,35 = 109,38 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{109,38}{435 * 0,1539} * 1000 = 1634 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.15)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -23,76 + 44,02 = 20,26 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{20,26}{435} * 1000 = 47 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $-548 + 47 = -501 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig, dus geen. Er moeten echter 4 staven per meter geplaatst worden om aan de eis van maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

In de bovenzijde is $1634 + 47 = 1681 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 16 mm aangenomen. $\frac{1}{4} * \pi * 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$, dus dan zijn er minimaal $\frac{1681}{201,06} = 8,36 \approx 9$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -55,09 + 36,35 = -18,74 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-18,74}{435 * 0,1387} * 1000 = -311 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 55,09 + 36,35 = 91,44 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.16})$$

$$A_{s,m,b} = \frac{91,44}{435 * 0,1387} * 1000 = 1516 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -57,36 + 44,02 = -13,34 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-13,34}{435} * 1000 = -31 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er treedt in de y-richting geen positieve n_y op, dus hier hoeft geen wapening voor geplaatst te worden.

In het midden van de vloer is geen wapening in de onderzijde nodig, maar er zal toch wapening geplaatst worden. Er moet een net gevormd worden met de wapening die in de x-richting ligt, zodat deze wapening op zijn plek blijft liggen. Dit is ook makkelijker in de uitvoering. In de onderzijde zullen dan ook 4 staven per meter van 8 mm in diameter worden geplaatst.

In de bovenzijde is $1516 - 31 = 1485 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 16 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{1485}{201,06} = 7,39 \approx 8$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 46,15 + 36,35 = 82,50 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -15,31 + 36,35 = 21,04 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{82,50}{435 * 0,1539} * 1000 = 1232 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -46,15 + 36,35 = -9,80 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.17})$$

$$m'_{px,r} = 15,31 + 36,35 = 51,66 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{51,66}{435 * 0,1539} * 1000 = 772 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -19,39 + 44,02 = 24,63 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{24,63}{435} * 1000 = 57 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $772 + 57 = 829 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter, 8 per meter.

In de onderzijde is $1232 + 57 = 1289 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staaf-diameter van 16 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1289}{201,06} = 6,41 \approx 7$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 51,74 + 36,35 = 88,09 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -21,30 + 36,35 = 15,05 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{88,09}{435 * 0,1387} * 1000 = 1460 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -51,74 + 36,35 = -15,39 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.18})$$

$$m'_{py,r} = 21,30 + 36,35 = 57,65 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{57,65}{435 * 0,1387} * 1000 = 956 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 32,40 + 44,02 = 76,42 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{76,42}{435} * 1000 = 176 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $956 + 176 = 1132 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{1132}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,0 \approx 10$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $1460 + 176 = 1636 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 16 mm zijn er $\frac{1636}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 8,14 \approx 9$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -9,23 + 10,90 = 1,67 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{1,67}{435 * 0,1539} * 1000 = 25 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 9,23 + 10,90 = 20,13 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.19})$$

$$A_{s,px,m} = \frac{20,13}{435 * 0,1539} * 1000 = 301 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 306,42 + 84,81 = 391,23 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{391,23}{435} * 1000 = 899 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de buitenzijde is $899 + 25 = 924 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{924}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,17 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de binnenzijde is $899 + 301 = 1200 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 16 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1200}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 5,97 \approx 6$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 47,75 + 10,90 = 58,65 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -6,86 + 10,90 = 4,04 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{58,65}{435 * 0,1387} * 1000 = 972 \text{ mm}^2/m$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -47,75 + 10,90 = -36,85 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.20})$$

$$m'_{py,m} = 6,86 + 10,90 = 17,76 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{17,76}{435 * 0,1387} * 1000 = 294 \text{ mm}^2/m$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -3,17 + 84,81 = 81,64 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{81,64}{435} * 1000 = 188 \text{ mm}^2/m$$

Aan de buitenzijde is $972 + 188 = 1160 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 16 mm in diameter zijn er $\frac{1160}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 5,77 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $294 + 188 = 482 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{482}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,26 \approx 5$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 29,17 + 10,90 = 40,07 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -6,00 + 10,90 = 4,90 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{40,07}{435 * 0,1539} * 1000 = 599 \text{ mm}^2/m$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -29,17 + 10,90 = -18,27 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.21})$$

$$m'_{px,r} = 6,00 + 10,90 = 16,90 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{16,90}{435 * 0,1539} * 1000 = 252 \text{ mm}^2/m$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 80,09 + 84,81 = 164,90 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{164,90}{435} * 1000 = 379 \text{ mm}^2/m$$

Aan de buitenzijde is $599 + 379 = 978 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{978}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,65 \approx 9$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $379 + 252 = 631 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{631}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,58 \approx 6$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -5,38 + 10,90 = 5,52 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 11,55 + 10,90 = 22,45 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{22,45}{435 * 0,1387} * 1000 = 372 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 5,38 + 10,90 = 16,28 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.22})$$

$$m'_{py,r} = -11,55 + 10,90 = -0,65 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{16,28}{435 * 0,1387} * 1000 = 270 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{py} = 231,17 + 84,81 = 315,98 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{315,98}{435} * 1000 = 726 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $372 + 726 = 1098 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1098}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,71 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $270 + 726 = 996 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{996}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,81 \approx 9$ staven per meter nodig.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 16 = 162 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - 16 - \frac{1}{2} * 16 = 146 \text{ mm}$, dus ook de aangenomen effectieve dikte in y-richting was goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 16 = 162 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - 16 - \frac{1}{2} * 16 = 146 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

Vloer

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 16 = 162 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in x-richting was dus goed.

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 200 - 30 - 16 - \frac{1}{2} * 12 = 148 \text{ mm}$, deze waarde is iets groter dan de aangenomen waarde voor d_y . Het verschil is echter zo klein dat de hierboven berekende wapening gehandhaafd kan blijven.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$. Ook hier is het verschil met de aangenomen d_x zo klein dat de hierboven berekende wapening gehandhaafd kan blijven.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$. Ook hier is het verschil met de aangenomen d_y zo klein dat de hierboven berekende wapening gehandhaafd kan blijven.

Overzicht

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel E.2.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 16$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	5 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 16$	9 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	6 staven per meter $\phi 16$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 16$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 16$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	8 staven per meter $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$

Tabel E.2.: Wapening overzicht

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 9 + 8^2 * 4)}{270 * 1000} = 0,74\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 8 + 8^2 * 4)}{270 * 1000} = 0,67\%
 \end{aligned}
 \tag{E.23}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,74 * 0,67} = 0,70\%
 \tag{E.24}$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 7 + 12^2 * 8)}{270 * 1000} = 0,86\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 9 + 12^2 * 10)}{270 * 1000} = 1,09\% \quad (\text{E.25})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,86 * 1,09} = 0,97\% \quad (\text{E.26})$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,97 + 6 * 8 * 0,70}{10 * 12} = 0,86\% \quad (\text{E.27})$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 6 + 12^2 * 9)}{270 * 1000} = 0,82\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 16^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,66\% \quad (\text{E.28})$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,82 * 0,66} = 0,74\% \quad (\text{E.29})$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 9)}{270 * 1000} = 0,63\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 10)}{270 * 1000} = 0,80\% \quad (\text{E.30})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,63 * 0,80} = 0,71\% \quad (\text{E.31})$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 3,0 * 4 * 0,71 + (4 * 3,0 + 6 * 3,0) * 0,74}{10 * 3,0 + 12 * 3,0} = 0,72\% \quad (\text{E.32})$$

E.4. Gegevens bij nieuw model 120

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Het model is nu met een wanddikte van 135 mm en vloerdikte van 275 mm in Scia Engineer gebouwd. De 275 mm voor de vloerdikte is nodig om de opbolling in de vloer te beperken. Deze mag niet groter zijn dan 40 mm, zie hoofdstuk ??, en deze is nu 39,7 mm. Door de wijzigingen in de afmetingen van de onderbouw zullen de diepgang, hoogte en horizontale belasting veranderen. Dit is berekend in figuur E.22.

$$\begin{aligned}
 &restart; \\
 &b := 10; \\
 &l := 12; \\
 &dv := 0.275; dw := 0.135; gammab := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000}; \\
 &24.52500000 \tag{1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Volume drijflichaam:} \\
 &V := b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw; \\
 &35.67300 + 5.940 h \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &Feigen := V \cdot gammab \cdot 1.2 + 1270.8; \\
 &2320.656390 + 174.8142000 h \tag{3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Archimedes; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:} \\
 &\rho := 1000; \\
 &g := 9.81; \\
 &eq1 := \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen; \\
 &1177.200000 h = 2320.656390 + 174.8142000 h \tag{4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &solution := solve(\{eq1\}, \{h\}); \\
 &\{h = 2.315132946\} \tag{5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &assign(solution); \\
 &\textbf{Resultaten:} \\
 &diepgang := h; \\
 &2.315132946 \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &hoogte := diepgang + 0.45; \\
 &2.765132946 \tag{7}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &horizontale_kracht := \frac{\rho \cdot g \cdot h}{1000}; \\
 &22.71145420 \tag{8}
 \end{aligned}$$

Figuur E.22.: Diepgang model 120 met vloerdikte 275 mm en wanddikte 135 mm

Stabiliteit

In figuur E.23 is de nieuwe stabiliteit van model 120 met de aangepaste vloer- en wanddikte bepaald met behulp van Maple.

restart;

$b := 10 : l := 12 : dw := 0.135 : dv := 0.275 : Q_{vp} := 0.7 : Q_{vv} := 2.25 : Q_w := 0.5 : \text{diepgang} := 2.32 : hd := \text{diepgang} + 0.45 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$

Gewicht vloer woning:

$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$

$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$

Gewicht wanden drijflichaam:

$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$

Gewicht vloer drijflichaam:

$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) :$

$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} \cdot 2 + G_{vp} \cdot 3 + G_{wd} + G_{vd}} :$

Drukkingspunt B:

$B := \frac{\text{diepgang}}{2} ;$

1.160000000

Afstand metacentrum Mc tot B:

$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$

1000

$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b ;$

278.40

$BM_c := \frac{I_x}{V} ;$

3.591954023

Metacentrum vanaf onder:

$M := B + BM_c ;$

4.751954023

$MG := M - G ;$

2.395296718

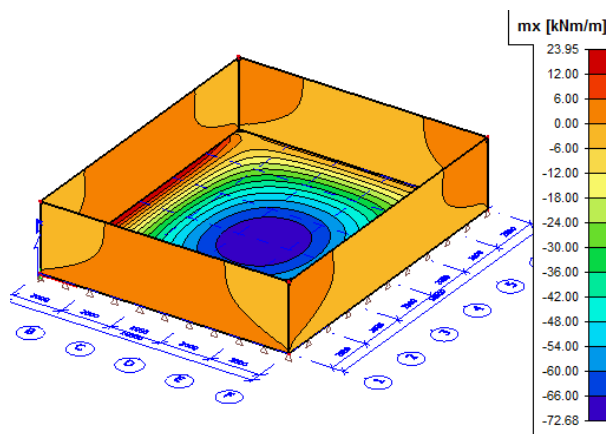
Figuur E.23.: Stabiliteit bepaling nieuw model 120

Interne krachten

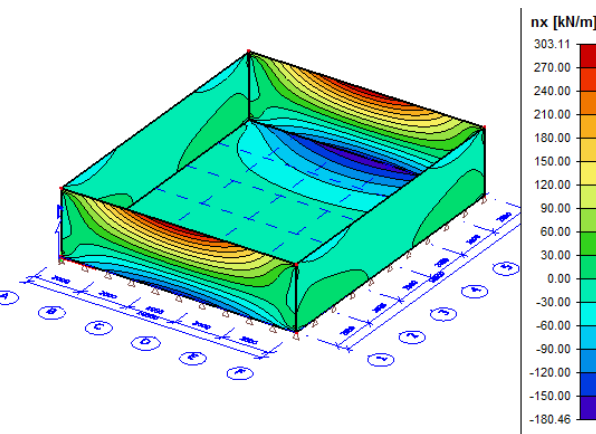
Alle resultaten zijn meegenomen bij het model in Scia Engineer.

De interne krachten van model 120 zijn weergegeven in figuren E.24, E.25, E.26, E.27, E.28 en E.29.

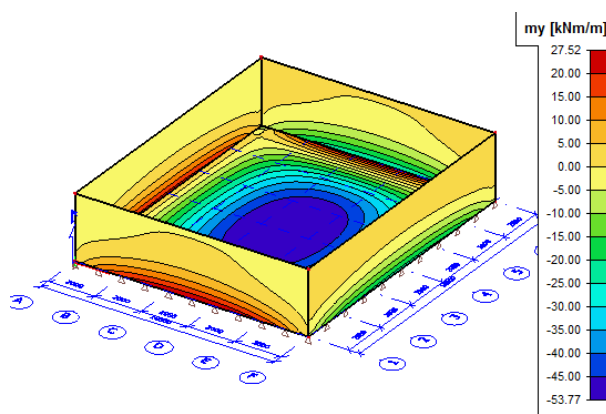
De interne krachten zijn weergegeven in tabel E.3.



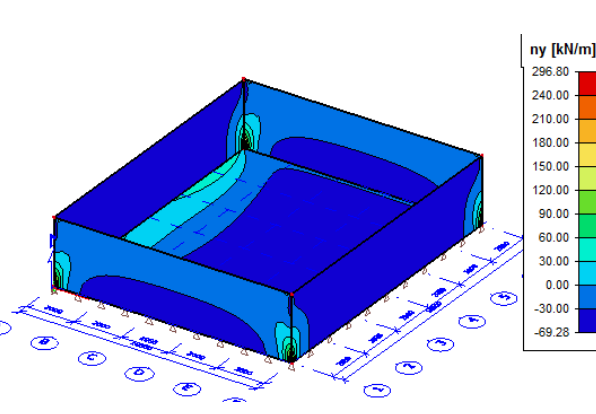
Figuur E.24.: Interne krachten, m_x



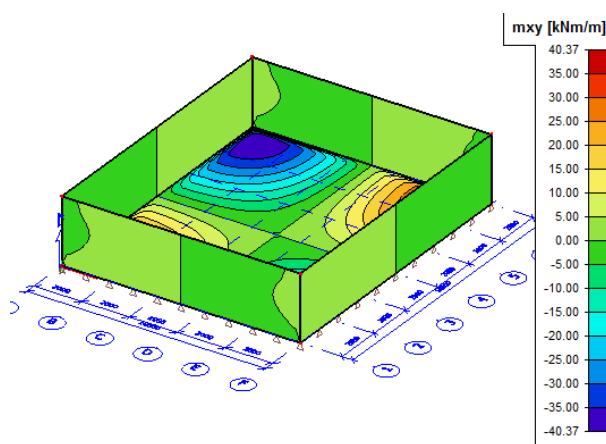
Figuur E.25.: Interne krachten, n_x



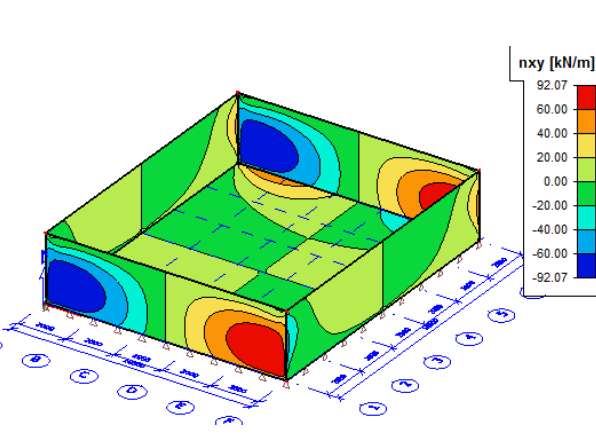
Figuur E.26.: Interne krachten, m_y



Figuur E.27.: Interne krachten, n_y



Figuur E.28.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur E.29.: Interne krachten, n_{xy}

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-72,68	-53,77	40,37	-11,95	-53,41	56,93
Vloer randen	23,95 -21,00	27,52 -27,50	40,37	-180,46 -26,99	-26,29 63,10	56,93
Wanden midden	-4,42	25,90 -4,22	3,72	303,11 -143,14	-69,28 -3,19	92,07
Wanden randen	10,58 -2,47	4,22 -11,76	3,72	84,33 -68,74	296,80 -44,59	92,07

Tabel E.3.: Nieuw overzicht maximale en minimale interne krachten, model 120

E.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte

Vloer

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 275 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 239 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 239 = 227,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 275 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 227 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 227 = 215,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{275*1000*20}{1000} = 5500 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Wapening in het midden van de vloer

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -72,68 + 40,37 = -32,31 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-32,31}{435 * 0,22705} * 1000 = -327 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 72,68 + 40,37 = 113,05 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{113,05}{435 * 0,22705} * 1000 = 1145 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.33)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -11,95 + 56,93 = 44,98 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{44,98}{435} * 1000 = 103 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $-327 + 103 = -224 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst om een net te vormen met de overige wapening.

In de bovenzijde is $1145 + 103 = 1248 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{1248}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,03 \approx 12$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -53,77 + 40,37 = -13,40 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-13,40}{435 * 0,21565} * 1000 = -143 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 53,77 + 40,37 = 94,14 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.34})$$

$$A_{s,m,b} = \frac{94,14}{435 * 0,21565} * 1000 = 1004 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -53,41 + 56,93 = 3,52 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{3,52}{435} * 1000 = 8 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $-143 + 8 = -135 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst om een net met de overige wapening te vormen.

In de bovenzijde is $1004 + 8 = 1012 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{1012}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,95 \approx 9$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 23,95 + 40,37 = 64,32 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -21,00 + 40,37 = 19,37 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{64,32}{435 * 0,22705} * 1000 = 651 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -23,95 + 40,37 = 16,42 \text{ kNm/m} \quad (\text{E.35})$$

$$m'_{px,r} = 21,00 + 40,37 = 61,37 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{61,37}{435 * 0,22705} * 1000 = 621 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -26,99 + 56,93 = 29,94 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{29,94}{435} * 1000 = 69 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $621 + 69 = 690 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter; $\frac{690}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,10 \approx 7$ staven per meter.

In de onderzijde is $651 + 69 = 720 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staaf-diameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{720}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,37 \approx 7$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 27,52 + 40,37 = 67,89 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -27,50 + 40,37 = 12,87 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{67,89}{435 * 0,21565} * 1000 = 724 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -27,52 + 40,37 = 12,85 \text{ kNm/m}$$

(E.36)

$$m'_{py,r} = 27,50 + 40,37 = 67,87 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{67,87}{435 * 0,21565} * 1000 = 724 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 63,10 + 56,93 = 120,03 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{120,03}{435} * 1000 = 276 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de boven- en onderzijde van de vloer is $724 + 276 = 1000 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{1000}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,84 \approx 9$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 99 = 94,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 87 = 82,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{135 * 1000 * 20}{1000} = 2700 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -4,42 + 3,72 = -0,70 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{-0,70}{435 * 0,09405} * 1000 = -17 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 4,42 + 3,72 = 8,14 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{8,14}{435 * 0,09405} * 1000 = 199 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.37)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 303,11 + 92,07 = 395,18 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{395,18}{435} * 1000 = 908 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $-17 + 908 = 891 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{891}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,88 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $199 + 908 = 1107 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1107}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,79 \approx 10$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 25,90 + 3,72 = 29,62 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -4,22 + 3,72 = -0,50 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{29,62}{435 * 0,08265} * 1000 = 824 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -25,90 + 3,72 = -22,18 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = 4,22 + 3,72 = 7,94 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{7,94}{435 * 0,08265} * 1000 = 221 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.38)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -3,19 + 92,07 = 88,88 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{88,88}{435} * 1000 = 204 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $824 + 204 = 1028 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1028}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,09 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $221 + 204 = 425 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{425}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,76 \approx 4$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 10,58 + 3,72 = 14,30 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = -2,47 + 3,72 = 1,25 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{14,30}{435 * 0,09405} * 1000 = 350 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -10,58 + 3,72 = -6,86 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = 2,47 + 3,72 = 6,19 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{6,19}{435 * 0,09405} * 1000 = 151 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.39)

Normaalkracht :

$$n_{px} = 84,33 + 92,07 = 176,40 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{176,40}{435} * 1000 = 406 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $350 + 406 = 756 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{756}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,68 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $151 + 406 = 557 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{557}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,92 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,22 + 3,72 = -0,50 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = 11,76 + 3,72 = 15,48 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{15,48}{435 * 0,08265} * 1000 = 431 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,22 + 3,72 = 7,94 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = -11,76 + 3,72 = -8,04 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{7,94}{435 * 0,08265} * 1000 = 221 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(E.40)

Normaalkracht :

$$n_{py} = 296,80 + 92,07 = 388,87 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{388,87}{435} * 1000 = 894 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $431 + 894 = 1325 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1325}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,72 \approx 12$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $221 + 894 = 1115 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1115}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,86 \approx 10$ staven nodig.

Overzicht

In tabel E.4 is de wapening die in het drijflichaam wordt geplaatst volgens bovenstaande berekeningen weergegeven.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	4 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	12 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	12 staven per meter $\phi 12$

Tabel E.4.: Nieuw wapening overzicht model 120

Effectieve dikte controle

Er zijn maar op twee plekken afwijkende staafdiameters geplaatst, namelijk in het midden van de vloer, aan de onderzijde in x en y richting. Hier was geen wapening nodig, en dus maakt een afwijkende effectieve dikte ook niet uit voor de hoeveelheid benodigde wapening. De overige effectieve diktes komen allemaal overeen met de van tevoren aangenomen waarden.

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel 6.1.

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_{sx}}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_{sy}}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 12 + 8^2 * 4)}{275 * 1000} = 0,57\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 8^2 * 4)}{275 * 1000} = 0,44\%
 \end{aligned}
 \tag{E.41}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,57 * 0,44} = 0,50\%
 \tag{E.42}$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 7 + 12^2 * 7)}{275 * 1000} = 0,58\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 9)}{275 * 1000} = 0,74\% \quad (\text{E.43})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,58 * 0,74} = 0,66\% \quad (\text{E.44})$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,66 + 6 * 8 * 0,50}{10 * 12} = 0,60\% \quad (\text{E.45})$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,51\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 4 + 12^2 * 10)}{135 * 1000} = 1,17\% \quad (\text{E.46})$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,51 * 1,17} = 1,33\% \quad (\text{E.47})$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\rho_x = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 7)}{135 * 1000} = 1,01\% \quad \rho_y = \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 12)}{135 * 1000} = 1,84\% \quad (\text{E.48})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,01 * 1,84} = 1,36\% \quad (\text{E.49})$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,77 * 4 * 1,36 + (4 * 2,77 + 6 * 2,77) * 1,33}{10 * 2,77 + 12 * 2,77} = 1,35\% \quad (\text{E.50})$$

E.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

De fictieve elasticiteitsmodulus is te bepalen met tabel NB-1 uit de Nationale Bijlagen van Euro-code 2, deze is weergegeven in figuur E.30.

E_f N/mm ²			
Sterkte- klasse	Buiging en normaalkracht, symmetrisch gewapende rechthoekige doorsnede		Buiging zonder normaalkracht; excentrisch gewapende rechthoekige doorsnede
	$\alpha_n \leq 0,5$	$0,5 < \alpha_n \leq 0,9$	
C12/15	$[1,30 + 410\rho + (9,0 - 130\rho)\alpha_n]10^3 \geq 2900$	$(8,7 + 517\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(2,20 + 490\rho)10^3 \geq 2900$
C16/20	$[1,45 + 415\rho + (11,5 - 145\rho)\alpha_n]10^3 \geq 3250$	$(10,8 + 514\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(2,35 + 520\rho)10^3 \geq 3250$
C20/25	$[1,60 + 420\rho + (14,0 - 160\rho)\alpha_n]10^3 \geq 3600$	$(12,9 + 510\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(2,50 + 550\rho)10^3 \geq 3600$
C30/37	$[1,96 + 432\rho + (20,0 - 196\rho)\alpha_n]10^3 \geq 4450$	$(17,9 + 501\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(2,85 + 620\rho)10^3 \geq 4450$
C35/45	$[2,20 + 440\rho + (24,0 - 220\rho)\alpha_n]10^3 \geq 5000$	$(21,3 + 495\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,10 + 670\rho)10^3 \geq 5000$
C40/50	$[2,35 + 445\rho + (26,5 - 235\rho)\alpha_n]10^3 \geq 5350$	$(23,4 + 491\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,25 + 700\rho)10^3 \geq 5350$
C45/55	$[2,50 + 450\rho + (29,0 - 250\rho)\alpha_n]10^3 \geq 5700$	$(25,5 + 487\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,40 + 730\rho)10^3 \geq 5700$
C50/60	$[2,65 + 455\rho + (31,5 - 265\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6050$	$(27,6 + 484\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,55 + 760\rho)10^3 \geq 6050$
C55/67	$[2,86 + 462\rho + (34,6 - 258\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6400$	$(30,3 + 480\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,70 + 790\rho)10^3 \geq 6400$
C60/75	$[3,10 + 470\rho + (37,0 - 170\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6400$	$(32,7 + 480\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,70 + 790\rho)10^3 \geq 6400$
C70/85	$[3,10 + 470\rho + (41,5 - 170\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6400$	$(36,1 + 480\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,70 + 790\rho)10^3 \geq 6400$
C80/95	$[3,10 + 470\rho + (46,5 - 170\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6400$	$(39,8 + 480\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,70 + 790\rho)10^3 \geq 6400$
C90/105	$[3,10 + 470\rho + (51,0 - 170\rho)\alpha_n]10^3 \geq 6400$	$(43,2 + 480\rho)(1 - \frac{1}{2}\alpha_n)10^3$	$(3,70 + 790\rho)10^3 \geq 6400$
	waarin: $\rho = (A_{st} + A_{sc})/A_c$ $\alpha_n = N_{Ed}/(f_{cd} A_c + (A_{st} + A_{sc}) f_{yd})$ A_{st} is de oppervlakte van de wapening aan de meest getrokken zijde A_{sc} is de oppervlakte van de wapening aan de meest gedrukte zijde		waarin: $\rho = A_{st}/A_c$

Figuur E.30.: Tabel bepaling E_f

De berekeningen zijn voor dit model uitgevoerd met behulp van Maple, dit is weergegeven in figuur E.31. Voor de wanden van 10 m wordt een fictieve elasticiteitsmodulus van 7810 N/mm² gevonden, voor de wanden van 12 meter wordt een waarde van 8040 N/mm², en voor de vloer is een waarde van 4632 N/mm².

restart;

$$\begin{aligned} Q1 &:= 3.6 : Q2 := 49.95 : l := 12 : b := 10 : dw := 0.135 : dv := 0.275 : \text{diepgang} := 2.32 : \rho \\ &:= 1000 : g := 9.81 : \text{wapeningrhow} := 0.0135 : \text{wapeningrhov} := 0.006 : fcd := 20 : fyd := 435 : \end{aligned} \quad (1)$$

Normaalkrachten:

$$\begin{aligned} NEdw1 &:= Q1 \cdot b \cdot 1000 : \\ NEdw2 &:= Q2 \cdot l \cdot 1000 : \\ NEdv1 &:= 0.5 \cdot \text{diepgang} \cdot \rho \cdot g \cdot \text{diepgang} \cdot b : \\ NEdv2 &:= 0.5 \cdot \text{diepgang} \cdot \rho \cdot g \cdot \text{diepgang} \cdot l : \end{aligned}$$

Beton oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Acw1 &:= (dw \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acw2 &:= (dw \cdot l) \cdot 10^6 : \\ Acv1 &:= (dv \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acv2 &:= (dv \cdot l) \cdot 10^6 : \end{aligned}$$

Staal oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Asw1 &:= \text{wapeningrhow} \cdot Acw1 : \\ Asw2 &:= \text{wapeningrhow} \cdot Acw2 : \\ Asv1 &:= \text{wapeningrhov} \cdot Acv1 : \\ Asv2 &:= \text{wapeningrhov} \cdot Acv2 : \end{aligned}$$

Alpha's:

$$\begin{aligned} \alpha_{nw1} &:= \frac{NEdw1}{(fcd \cdot Acw1 + Asw1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nw2} &:= \frac{NEdw2}{(fcd \cdot Acw2 + Asw2 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv1} &:= \frac{NEdv1}{(fcd \cdot Acv1 + Asv1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv2} &:= \frac{NEdv2}{(fcd \cdot Acv2 + Asv2 \cdot fyd)} : \end{aligned}$$

Elasticiteitsmodulussen:

$$Efw1 := (1.96 + 432 \cdot \text{wapeningrhow} + (20 - 196 \cdot \text{wapeningrhow}) \cdot \alpha_{nw1}) \cdot 1000; \quad 7809.886688 \quad (2)$$

$$Efw2 := (1.96 + 432 \cdot \text{wapeningrhow} + (20 - 196 \cdot \text{wapeningrhow}) \cdot \alpha_{nw2}) \cdot 1000; \quad 8040.177795 \quad (3)$$

$$Efv1 := (1.96 + 432 \cdot \text{wapeningrhov} + (20 - 196 \cdot \text{wapeningrhov}) \cdot \alpha_{nv1}) \cdot 1000; \quad 4631.927023 \quad (4)$$

$$Efv2 := (1.96 + 432 \cdot \text{wapeningrhov} + (20 - 196 \cdot \text{wapeningrhov}) \cdot \alpha_{nv2}) \cdot 1000; \quad 4631.927023 \quad (5)$$

Figuur E.31.: Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

E.7. Kosten

De kosten zijn met behulp van Maple berekend:

```
restart;  
dv := 0.275 : dw := 0.135 : l := 12 : b := 10 : h := 2.77 : Gamma_s := 7800 : rho_vloer := 0.0060 :  
rho_wanden := 0.0135 : rho_ribb := 0 : rho_ribl := 0 : hb := 0.667 : hl := 0.8 : bb := 0.223 : bl  
:= 0.267 : nb := 0 : nl := 0 :
```

Vloer:

```
Kosten_vloer := dv·l·b·400;  
€13.200,00
```

Wanden:

```
Kosten_wanden := (2·l·h + 2·b·h)·175 + dw·300;  
€21.369,50
```

Ribben:

```
Kosten_ribben := (nb·b·hb + nl·l·hl)·175 + (nb·bb + nl·bl)·300;  
€0,00
```

Wapening:

```
wap_vloer := rho_vloer·dv·l·b·7800 :  
wap_wanden := rho_wanden·(2·b·h·dw + 2·l·h·dw)·7800 :  
wap_ribben := (rho_ribb·nb·hb·bb·b + rho_ribl·nl·hl·bl·l)·7800 :  
Kosten_wapening := (wap_vloer + wap_wanden + wap_ribben)·1.0;  
€3.276,98
```

Totale kosten:

```
Kosten_vloer + Kosten_wanden + Kosten_ribben + Kosten_wapening;  
€37.846,48
```

Figuur E.32.: Kosten berekening model 120

F. Model 150 m²

F.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Opnieuw moet de diepgang van het drijflichaam bepaald worden om de horizontale belasting en de hoogte van het drijflichaam te bepalen. Ook hier zal er rekening gehouden moeten worden met een veiligheidsafstand van $0,3 + 0,15 = 0,45$ m. Voor het totale gewicht geldt:

$$\begin{aligned}V_{vloer} &= b * l * d_v \\V_{wanden} &= 2 * l * (h + 0,45) * d_w + 2 * b * (h + 0,45) * d_w \\V_{totaal} &= 34,444 + 9,84h \text{ m}^3 \\F_{onderbouw+bovenbouw} &= (V * \gamma_b * 1,2 + 1397,59) \text{ N} \\&= 2411,28 + 289,59h \text{ N}\end{aligned}\tag{F.1}$$

De diepgang van het drijflichaam wordt dan:

$$\begin{aligned}\frac{\rho * g * V}{1000} &= F_{onderbouw+bovenbouw} \\\frac{1000 * 9,81 * 11,2 * 13,4 * h}{1000} &= 2411,28 + 289,59h \text{ N} \\1472,28h &= 2411,28 + 289,59h \\h &= 2,04 \text{ m}\end{aligned}\tag{F.2}$$

De totale hoogte van de onderbouw is dan $2,04 + 0,45 = 2,49$ m met een diepgang van 2,04 m.

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned}F_h &= \rho * g * h \\&= 1000 * 9,81 * 2,04 \\&= 20,00 \text{ kN/m}^2\end{aligned}\tag{F.3}$$

F.2. Stabiliteit

Ook hier wordt enkel getoetst aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$. De afstand tussen drukingspunt B en metacentrum M_c wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned} BM_c &= \frac{I_x}{V} \\ I_x &= \frac{1}{12} * l * b^3 \\ &= \frac{1}{12} * 13,4 * 11,2^3 = 1568,84 \text{ m}^4 \\ V &= \text{diepgang} * l * b \\ &= 2,04 * 13,4 * 11,2 = 306,16 \text{ m}^3 \\ BM_c &= \frac{1568,84}{306,16} \\ &= 5,12 \text{ m} \end{aligned} \tag{F.4}$$

De hoogte van drukingspunt B is in het geval van een rechthoekige bak de helft van de diepgang van de bak.

$$B = \frac{\text{diepgang}}{2} = \frac{2,04}{2} = 1,02 \text{ m} \tag{F.5}$$

De hoogte van het zwaartepunt is berekend in figuur F.1.

Dan kan nu de afstand tussen het zwaartepunt en het metacentrum bepaald worden:

$$\begin{aligned} M_c &= B + BM_c \\ &= 1,02 + 5,12 = 6,14 \text{ m} \\ MG &= M_c - G \\ &= 6,14 - 2,29 = 3,85 \text{ m} \end{aligned} \tag{F.6}$$

Deze drijvende woning is dus stabiel, want er wordt voldaan aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$.

restart;

$b := 11.2 : l := 13.4 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Q_{vp} := 0.7 : Q_{vv} := 2.25 : Q_w := 0.5 : \text{diepgang} := 2.04 : hd := \text{diepgang} + 0.45 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2; \quad 132.0 \quad (1)$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv}; \quad 270.00 \quad (2)$$

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp}; \quad 84.0 \quad (3)$$

Gewicht onderste vloer:

$$G_{vv150} := l \cdot b \cdot Q_{vv}; \quad 337.6800 \quad (4)$$

$$G_{vp150} := l \cdot b \cdot Q_{vp}; \quad 105.056 \quad (5)$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2); \quad 612.5400 \quad (6)$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv; \quad 750.400 \quad (7)$$

Vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vv} \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot ((hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv150} \cdot hd + G_{vp150} \cdot hd + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{vd} \cdot 0; \quad 5246.324940 \quad (8)$$

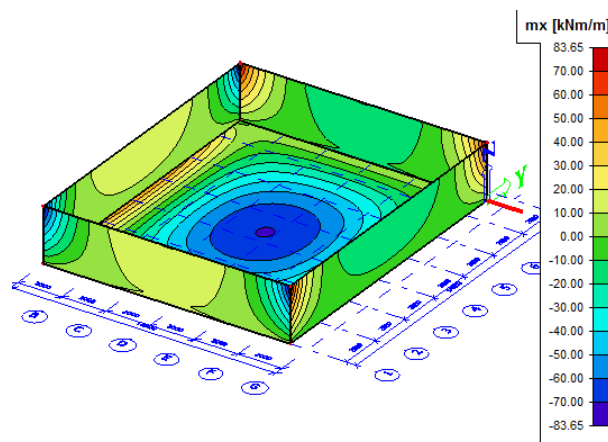
Zwaartepunt vanaf onder:

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} + G_{vp} + G_{vv150} + G_{vp150} + G_{wd} + G_{vd}}; \quad 2.289296105 \quad (9)$$

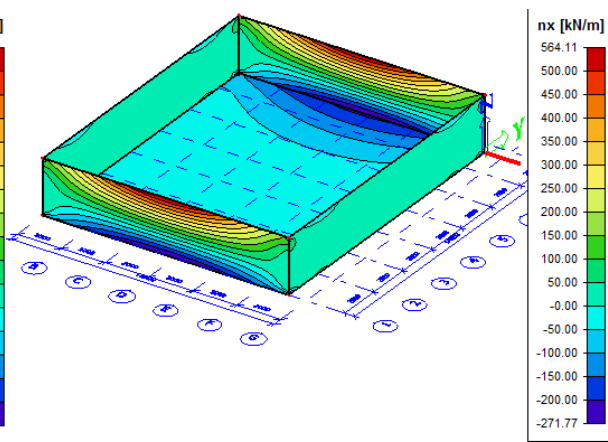
Figuur F.1.: Zwaartepunt berekening model 150

F.3. Interne krachten

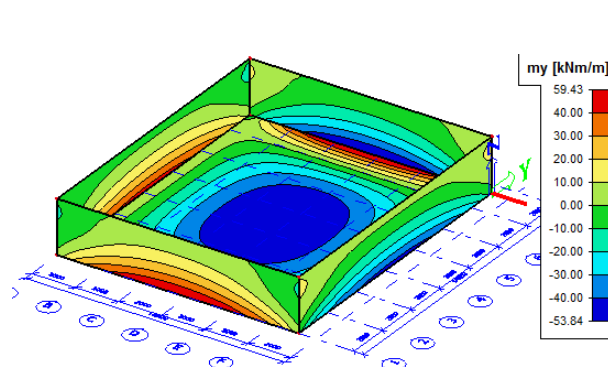
De interne krachten van model 150 zijn weergegeven in figuren F.2, F.3, F.4, F.5, F.6 en F.7.



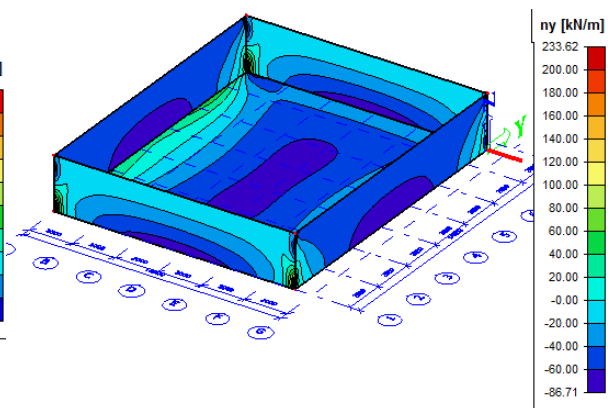
Figuur F.2.: Interne krachten, m_x



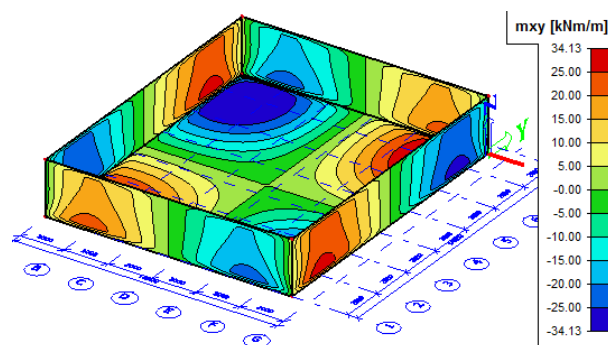
Figuur F.3.: Interne krachten, n_x



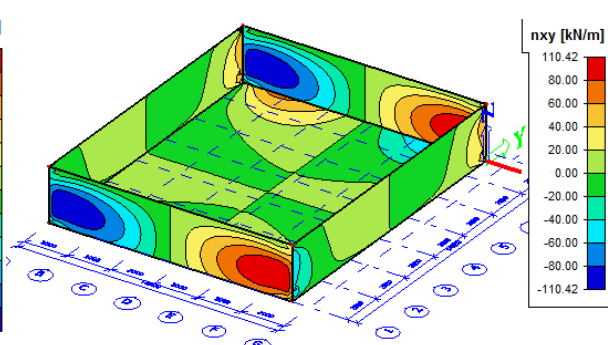
Figuur F.4.: Interne krachten, m_y



Figuur F.5.: Interne krachten, n_y



Figuur F.6.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur F.7.: Interne krachten, n_{xy}

Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur F.8 gevonden met behulp van Scia Engineer.

Staaft	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	1820	Combi1	-70,34	-53,84	0,00	-11,97	-63,30	0,00
E1	1793	Combi1	51,28	10,66	0,49	-22,12	24,66	0,01
E1	3724	Combi1	10,92	59,43	0,00	-212,39	-21,64	0,00
E1	442	Combi1	0,58	0,49	-34,13	-56,22	-23,07	17,11
E1	398	Combi1	0,58	0,49	34,13	-56,22	-23,07	-17,11
E1	48	Combi1	8,39	31,81	-9,68	-150,54	-43,81	65,72
E1	8	Combi1	8,39	31,81	9,68	-150,54	-43,81	-65,72
E1	3137	Combi1	30,43	8,50	-14,43	-36,78	55,61	-6,96
E1	505	Combi1	30,43	8,50	14,43	-36,78	55,61	6,96
E1	1876	Combi1	-70,34	-53,84	0,00	-11,97	-63,30	0,00
E1	2	Combi1	-1,58	3,04	6,13	-129,51	-71,09	-41,22
E1	561	Combi1	32,19	8,98	14,40	-34,40	56,32	6,19
E1	9	Combi1	9,03	34,59	9,86	-154,52	-40,18	-66,02
E1	47	Combi1	9,03	34,59	-9,86	-154,52	-40,18	66,02

Figuur F.8.: Interne krachten vloer

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur F.9 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E2 is een wand van 11,2 meter lengte en E3 is een wand van 13,4 meter lengte.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van model 150 is te vinden in tabel F.1.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-70,34	-53,84	34,13	-11,97	-63,30	66,02
Vloer randen	51,28	59,43	34,13	-22,12 -212,39	56,32 -71,09	66,02
Wanden midden	-20,23	53,66 -4,82	27,18	564,11 -271,77	-74,04	110,42
Wanden randen	83,65 -8,26	15,93 -12,94	27,18	-132,26 201,91	233,62 -86,71	110,42

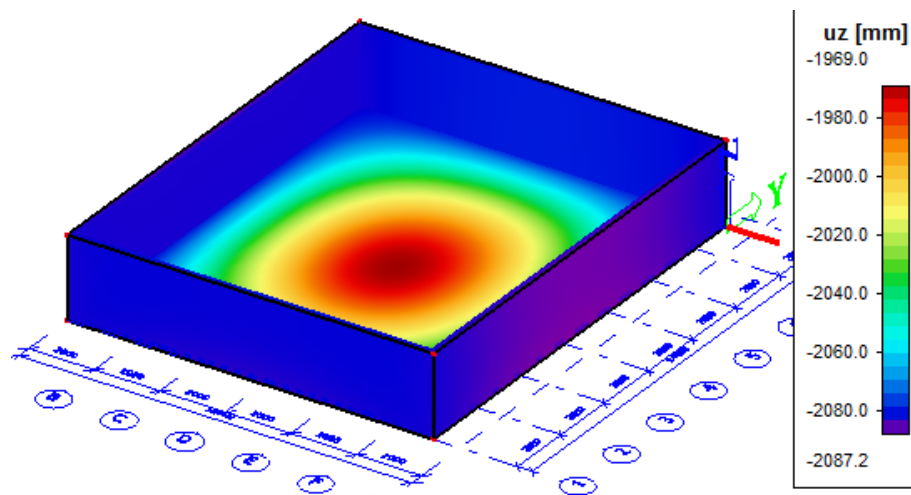
Tabel F.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model 150

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E2	4369	Combi1	-77,11	-3,45	-2,67	108,54	-30,98	-52,20
E3	5162	Combi1	83,65	6,12	2,71	29,38	8,05	-28,74
E3	4457	Combi1	-8,88	-46,00	0,47	15,26	-70,92	0,00
E2	3780	Combi1	10,41	53,66	0,00	-271,77	-74,04	0,00
E3	4548	Combi1	-5,25	-24,80	-27,18	47,18	-38,79	7,90
E3	4434	Combi1	-5,25	-24,80	27,18	47,18	-38,79	-7,90
E2	3761	Combi1	8,81	35,21	10,02	-171,16	-40,95	-66,09
E2	3799	Combi1	8,81	35,21	-10,02	-171,16	-40,95	66,09
E2	3809	Combi1	-14,76	-1,81	-2,57	42,85	154,84	-54,17
E2	4396	Combi1	20,23	-0,20	0,00	564,11	-2,64	0,00
E3	5162	Combi1	65,29	5,73	4,92	3,29	-86,71	24,62
E2	3753	Combi1	8,26	8,86	-1,96	-83,64	233,62	1,21
E2	3979	Combi1	-19,74	-2,63	8,75	29,89	0,52	-110,42
E2	4029	Combi1	-19,74	-2,63	-8,75	29,89	0,52	110,42

Figuur F.9.: Interne krachten wanden

Vervorming

In figuur F.10 is de zakking van de constructie van model 150 te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2087 mm en een minimale zakking van 1969 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,04 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.



Figuur F.10.: Controle zakking drijflichaam, model 150

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 11,2 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{11200}{250} = 44,8 \text{ mm}$. De opbolling is $2087 - 1969 = 118 \text{ mm}$. De opbolling is dus te groot.

G. Model 180 m²

G.1. Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Opnieuw moet de diepgang van het drijflichaam bepaald worden om de horizontale belasting en de hoogte van het drijflichaam te bepalen. Ook hier zal er rekening gehouden moeten worden met een veiligheidsafstand van $0,3 + 0,15 = 0,45$ m. Voor het totale gewicht geldt:

$$\begin{aligned}V_{vloer} &= b * l * d_v \\V_{wanden} &= 2 * l * (h + 0,45) * d_w + 2 * b * (h + 0,45) * d_w \\V_{totaal} &= 41,022 + 10,80h \text{ m}^3 \\F_{onderbouw+bovenbouw} &= (V * \gamma_b * 1,2 + 1527,11) \text{ N} \\&= 2734,39 + 317,84h \text{ N}\end{aligned}\tag{G.1}$$

De diepgang van het drijflichaam wordt dan:

$$\begin{aligned}\frac{\rho * g * V}{1000} &= F_{onderbouw+bovenbouw} \\\frac{1000 * 9,81 * 12,3 * 14,7 * h}{1000} &= 2734,39 + 317,84h \text{ N} \\1773,75h &= 2734,39 + 317,84h \\h &= 1,88 \text{ m}\end{aligned}\tag{G.2}$$

De totale hoogte van de onderbouw is dan $1,88 + 0,45 = 2,33$ m met een diepgang van 1,88 m.

De lineair oplopende horizontale belasting op de wanden heeft onderaan de maximale waarde van:

$$\begin{aligned}F_h &= \rho * g * h \\&= 1000 * 9,81 * 1,88 \\&= 18,42 \text{ kN/m}^2\end{aligned}\tag{G.3}$$

G.2. Stabiliteit

Ook hier wordt enkel getoetst aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$. De afstand tussen drukingspunt B en metacentrum M_c wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned} BM_c &= \frac{I_x}{V} \\ I_x &= \frac{1}{12} * l * b^3 \\ &= \frac{1}{12} * 14,7 * 12,3^3 = 2279,56 \text{ m}^4 \\ V &= \text{diepgang} * l * b \\ &= 1,88 * 14,7 * 12,3 = 339,92 \text{ m}^3 \\ BM_c &= \frac{2279,56}{339,92} \\ &= 6,71 \text{ m} \end{aligned} \tag{G.4}$$

De hoogte van drukingspunt B is in het geval van een rechthoekige bak de helft van de diepgang van de bak.

$$B = \frac{\text{diepgang}}{2} = \frac{1,88}{2} = 0,94 \text{ m} \tag{G.5}$$

De hoogte van het zwaartepunt is berekend in figuur G.1.

Dan kan nu de afstand tussen het zwaartepunt en het metacentrum bepaald worden:

$$\begin{aligned} M_c &= B + BM_c \\ &= 0,94 + 6,71 = 7,65 \text{ m} \\ MG &= M_c - G \\ &= 7,65 - 2,06 = 5,58 \text{ m} \end{aligned} \tag{G.6}$$

Deze drijvende woning is dus stabiel, want er wordt voldaan aan de eis $MG \geq 0,25 \text{ m}$.

restart;

b := 12.3 : l := 14.7 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang
:= 1.88 : hd := diepgang + 0.45 :

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2; \quad 132.0 \quad (1)$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv}; \quad 270.00 \quad (2)$$

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp}; \quad 84.0 \quad (3)$$

Gewicht onderste vloer:

$$G_{vv180} := l \cdot b \cdot Q_{vv}; \quad 406.8225 \quad (4)$$

$$G_{vp180} := l \cdot b \cdot Q_{vp}; \quad 126.567 \quad (5)$$

Gewicht wanden drijfflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2); \quad 629.1000 \quad (6)$$

Gewicht vloer drijfflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv; \quad 904.050 \quad (7)$$

Vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vv} \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot ((hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv180} \cdot hd + G_{vp180} \cdot hd \\ + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{vd} \cdot 0; \quad 5265.799035 \quad (8)$$

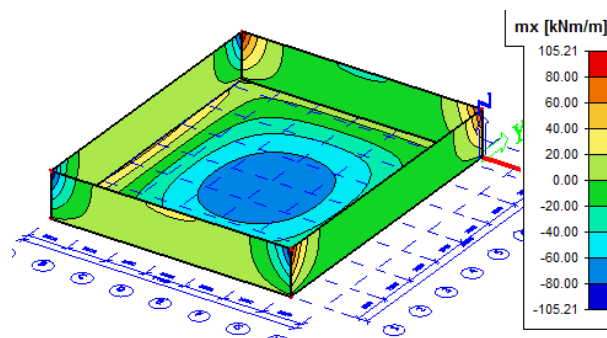
Zwaartepunt vanaf onder:

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vv} + G_{vp} + G_{vv180} + G_{vp180} + G_{wd} + G_{vd}}; \quad 2.062964759 \quad (9)$$

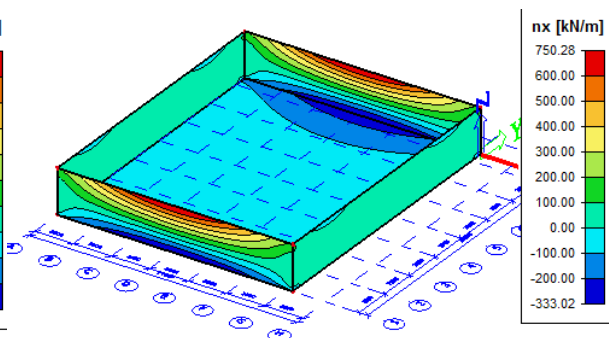
Figuur G.1.: Zwaartepunt berekening model 180

G.3. Interne krachten

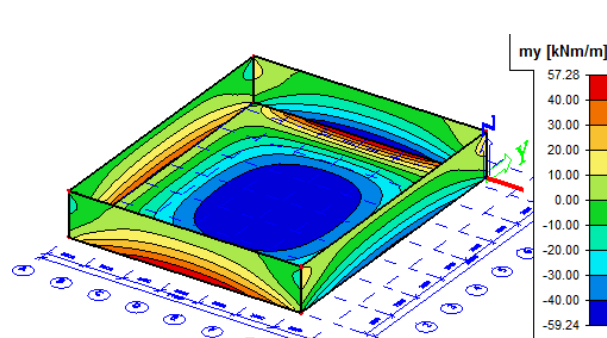
De interne krachten van model 180 zijn weergegeven in figuren G.2, G.3, G.4, G.5, G.6 en G.7.



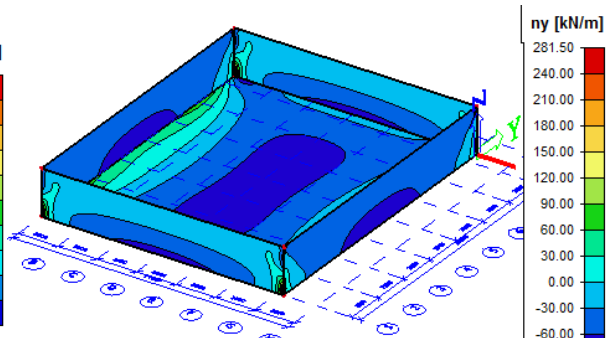
Figuur G.2.: Interne krachten, m_x



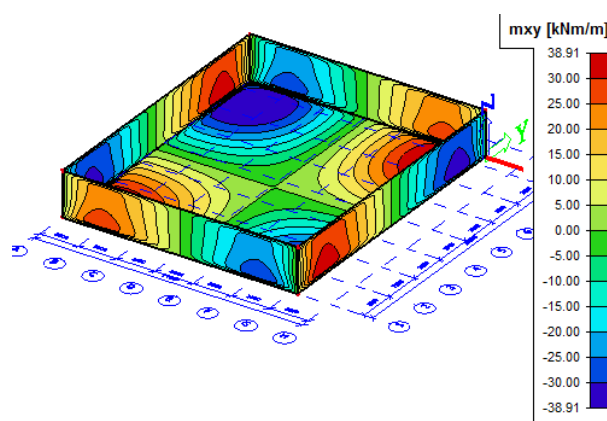
Figuur G.3.: Interne krachten, n_x



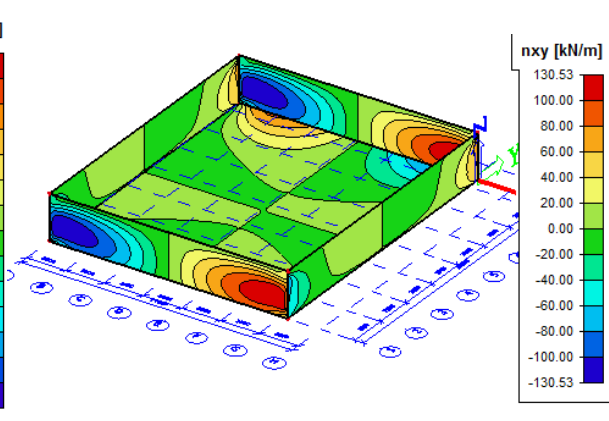
Figuur G.4.: Interne krachten, m_y



Figuur G.5.: Interne krachten, n_y



Figuur G.6.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur G.7.: Interne krachten, n_{xy}

Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur G.8 gevonden met behulp van Scia Engineer.

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	2263	Combi1	-77,53	-59,24	0,00	-5,34	-69,75	0,00
E1	2233	Combi1	47,94	10,05	0,00	-18,41	41,39	0,00
E1	4557	Combi1	10,07	57,28	0,00	-257,29	-17,00	0,00
E1	490	Combi1	1,24	1,33	-38,91	-63,67	-20,24	26,15
E1	4086	Combi1	1,24	1,33	38,91	-63,67	-20,24	-26,15
E1	53	Combi1	9,02	33,35	-11,28	-183,83	-41,59	84,43
E1	9	Combi1	9,02	33,35	11,28	-183,83	-41,59	-84,43
E1	3907	Combi1	29,11	8,36	-16,98	-36,81	76,20	-9,17
E1	559	Combi1	29,11	8,36	16,98	-36,81	76,20	9,17
E1	31	Combi1	10,07	57,28	0,00	-257,29	-17,00	0,00
E1	2	Combi1	-2,21	2,63	7,13	-159,50	-86,71	-51,92
E1	745	Combi1	32,78	9,44	16,64	-28,63	79,82	7,11

Figuur G.8.: Interne krachten vloer

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur G.9 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E2 is een wand van 12,3 meter lengte en E3 is een wand van 14,7 meter lengte.

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E2	5271	Combi1	-99,69	-4,41	-2,89	118,11	-30,93	-63,54
E3	6147	Combi1	105,21	6,43	3,15	58,25	11,64	-28,96
E3	5369	Combi1	-8,19	-42,49	0,00	32,02	-68,63	0,00
E2	4619	Combi1	9,94	51,16	0,00	-333,02	-72,17	0,00
E3	5470	Combi1	-3,97	-18,32	-33,44	58,43	-36,64	13,50
E3	5416	Combi1	-3,97	-18,32	33,44	58,43	-36,64	-13,50
E2	4597	Combi1	8,66	34,92	11,12	-203,04	-37,76	-84,50
E2	4641	Combi1	8,66	34,92	-11,12	-203,04	-37,76	84,50
E2	4651	Combi1	-16,76	-1,97	-2,82	51,83	185,88	-63,98
E2	5301	Combi1	21,85	-0,12	0,00	750,28	-2,39	0,00
E3	6147	Combi1	81,92	6,00	5,68	29,48	-95,13	30,80
E2	4589	Combi1	9,73	11,18	-2,41	-96,35	281,50	1,49
E2	4839	Combi1	-23,79	-3,46	13,00	41,18	2,75	-130,53
E2	4895	Combi1	-23,79	-3,46	-13,00	41,18	2,75	130,53

Figuur G.9.: Interne krachten wanden

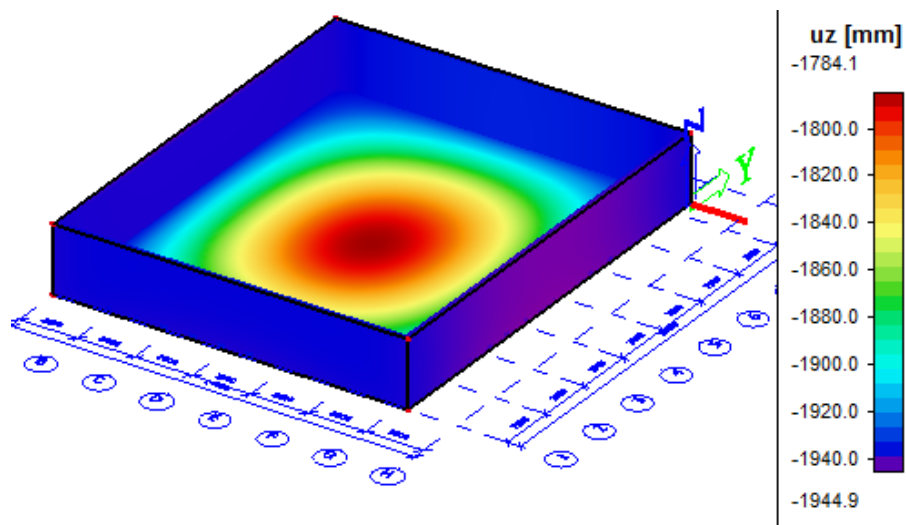
Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van model 180 is te vinden in tabel G.1.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-77,53	-59,24	38,91	-5,34	-69,75	84,43
Vloer randen	47,94	57,28	38,91	-257,29 -5,34	79,82 -86,71	84,43
Wanden midden	-21,85	51,16	33,44	750,28 -333,02	-72,17	130,53
Wanden randen	105,21 -1,90	19,89 -15,73	33,44	179,28 -246,85	281,50 -95,13	130,53

Tabel G.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model 180

Vervorming

In figuur G.10 is de zakking van de constructie van model 90 te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 1942 mm en een minimale zakking van 1784 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 1,88 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.



Figuur G.10.: Controle zakking drijflichaam, model 180

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 12,3 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{12300}{250} = 49,2 \text{ mm}$. De opbolling is $1942 - 1784 = 158 \text{ mm}$. De opbolling is dus te groot.

H. Model met 1 rib

H.1. Gegevens bij eerste model met 1 rib

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Met behulp van Maple zijn de diepgang en de hoogte van het drijflichaam en de horizontale belasting op het drijflichaam berekend. Zie figuur H.1. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

```
restart;
b := 10 :
l := 12 :
dv := 0.2 : dw := 0.2 : gammab :=  $\frac{2500 \cdot 9.81}{1000}$ ; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l := 0.8 :
b_rib_l := 0.267 : nb := 1 : nl := 0 :
```

$$24.52500000 \quad (1)$$

Volume drijflichaam:

```
V := b·l·dv + 2·l·(h + 0.45)·dw + 2·b·(h + 0.45)·dw + b_rib_b·h_rib_b·b·nb + b_rib_l·h_rib_l·l·nl;
```

$$29.447410 + 8.8 h \quad (2)$$

```
Feigen := V·gammab·1.2 + 1270.8;
```

$$2137.437276 + 258.9840000 h \quad (3)$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

```
rho := 1000 :
```

```
g := 9.81 :
```

```
eq1 :=  $\frac{\text{rho} \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h}{1000}$  = Feigen ;
```

$$1177.200000 h = 2137.437276 + 258.9840000 h \quad (4)$$

```
solution := solve( {eq1}, {h} );
```

$$\{h = 2.327815324\} \quad (5)$$

```
assign(solution);
```

Resultaten:

```
diepgang := h;
```

$$2.327815324 \quad (6)$$

```
hoogte := diepgang + 0.45;
```

$$2.777815324 \quad (7)$$

```
horizontale_kracht :=  $\frac{\text{rho} \cdot g \cdot \text{diepgang}}{1000}$ ;
```

$$22.83586833 \quad (8)$$

Figuur H.1.: Diepgang model met 1 rib

Ook bij de modellen met ribben wordt enkel getoetst aan de stabiliteitseis: $MG \geq 0,25$ m. Met behulp van Maple is deze afstand berekend, zie figuur H.2. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

```

b := 10 : l := 12 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 2.33 :
hd := diepgang + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 1 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l
:= 0.267 : nl := 0 :

```

$$Grl := h \text{ rib } l \cdot b \text{ rib } l \cdot l \cdot nl :$$
$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vy} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + Grb \cdot nb + Grl \cdot nl};$$

1.165000000 **(1)**

1000 (2)

279.60 (3)

3.576537911 (4)

4.741537911 (5)

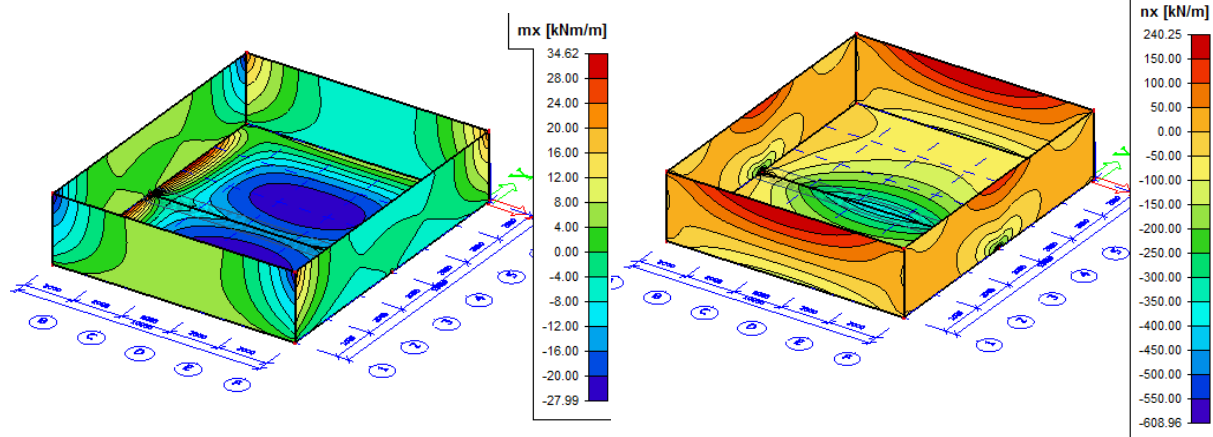
2.223326673 (6)

(7)

103

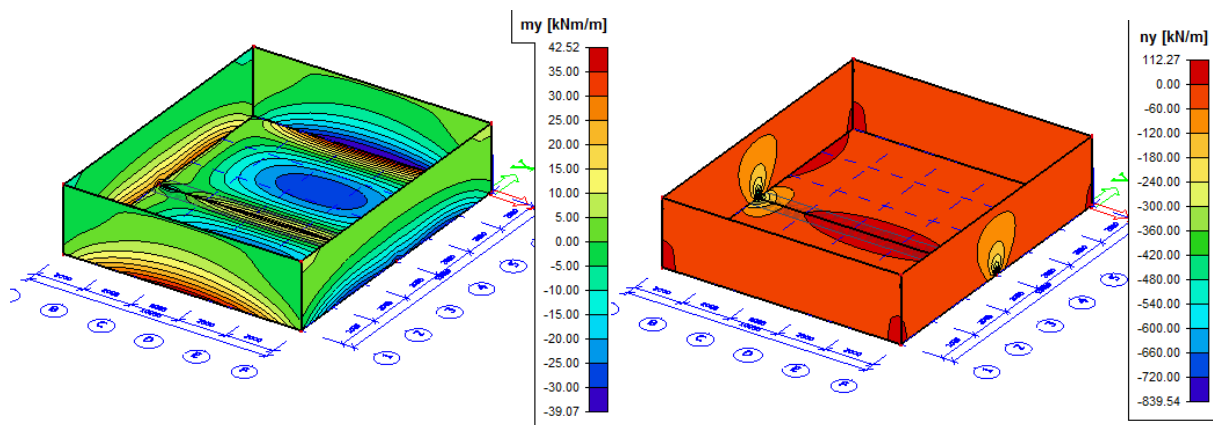
Interne krachten

De interne krachten van het model met 1 rib zijn weergegeven in figuren H.3, H.4, H.5, H.6, H.7 en H.8.



Figuur H.3.: Interne krachten, m_x

Figuur H.4.: Interne krachten, n_x



Figuur H.5.: Interne krachten, m_y

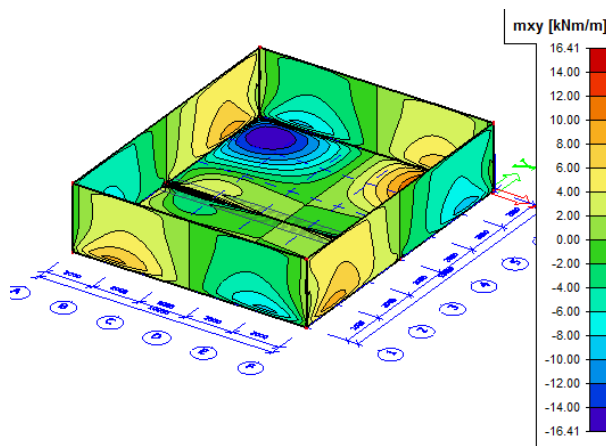
Figuur H.6.: Interne krachten, n_y

Vloer

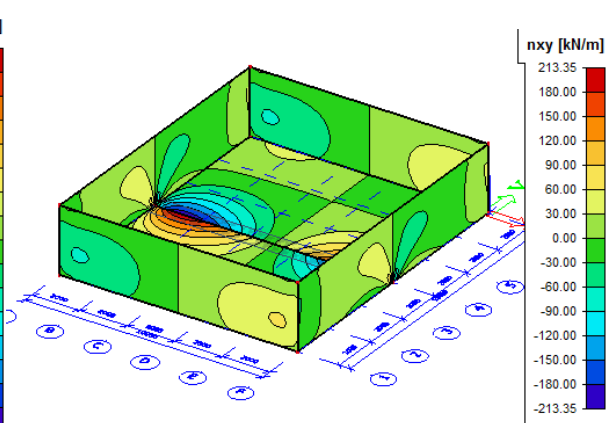
In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur H.9 gevonden met behulp van Scia Engineer.

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur H.10 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E3 is een wand van 10 meter lengte en E4 is een wand van 12 meter lengte.



Figuur H.7.: Interne krachten, mxy



Figuur H.8.: Interne krachten, nxy

Staal	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	925	Combi1	-23,46	-27,80	0,00	-167,25	-34,53	0,00
E1	1401	Combi1	34,66	2,90	6,81	-90,37	-374,46	20,70
E1	775	Combi1	-22,67	-29,71	0,00	-134,12	-43,46	0,00
E1	25	Combi1	8,09	42,56	0,00	-84,28	-28,28	0,00
E1	244	Combi1	-0,34	1,18	-16,41	-44,84	-26,13	22,84
E1	206	Combi1	-0,34	1,18	16,41	-44,84	-26,13	-22,84
E1	1455	Combi1	-4,99	-2,41	-12,12	-110,32	-71,22	212,78
E1	1495	Combi1	-4,99	-2,41	12,12	-110,32	-71,22	-212,78
E1	1451	Combi1	-0,98	-10,70	-6,86	60,04	-270,84	114,14
E1	1501	Combi1	-0,98	-10,70	-6,86	60,04	-270,84	114,14
E1	1475	Combi1	-13,46	19,15	0,00	-395,76	56,09	0,00
E1	1451	Combi1	16,09	3,00	9,40	90,84	-502,22	-35,13
E1	1501	Combi1	16,09	3,00	9,40	90,84	-502,22	-35,13
E1	1494	Combi1	-6,05	1,39	11,81	-142,97	-49,81	-213,35
E1	1456	Combi1	-6,05	1,39	-11,81	-142,97	-49,81	213,35

Figuur H.9.: Interne krachten vloer

Rib

Voor de rib wordt voor de interne krachtenverdeling de waarden in figuur H.11 gevonden door Scia Engineer.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van het model met 1 rib is te vinden in tabel H.1.

Vervorming

In figuur H.12 is de zakking van de constructie van het model met 1 rib te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2342 mm en een minimale zakking van 2312 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging.

Staal	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E3	4540	Combi1	-23,47	-2,49	1,78	79,64	-36,98	31,05
E4	5321	Combi1	27,93	5,34	1,91	18,58	-9,39	-30,51
E4	4570	Combi1	5,39	-38,36	0,00	-608,41	-839,24	0,00
E3	3865	Combi1	7,83	39,11	0,00	-118,14	-59,73	0,00
E4	4592	Combi1	-3,54	-17,29	-9,15	24,99	-35,19	-2,77
E4	4548	Combi1	-3,54	-17,29	9,15	24,99	-35,19	2,77
E3	3848	Combi1	5,34	23,96	3,90	-73,32	-35,89	-37,95
E3	3882	Combi1	5,34	23,96	-3,90	-73,32	-35,89	37,95
E3	3891	Combi1	-5,04	-0,25	-1,18	20,45	70,73	-27,17
E3	4515	Combi1	7,93	-0,32	0,00	239,90	-3,29	0,00
E3	3890	Combi1	3,59	5,29	0,81	-22,48	112,16	0,60
E4	4571	Combi1	-2,25	-23,64	-3,02	-186,33	-182,69	-71,99
E4	4569	Combi1	-2,25	-23,64	3,02	-186,33	-182,69	71,99

Figuur H.10.: Interne krachten wanden

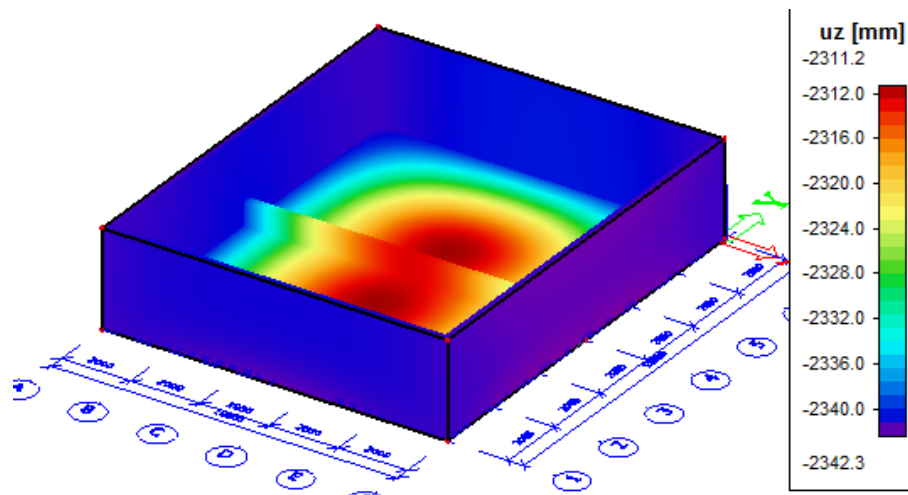
Staal	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	Combi1/1	-14,11	0,00	-91,94	0,00	14,41	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	5,000	Combi1/1	1335,29	0,00	0,00	0,00	-140,69	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	9,400	Combi1/1	160,69	0,00	175,81	0,00	-13,51	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	10,000	Combi1/1	-14,11	0,00	91,94	0,00	14,41	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	1,000	Combi1/1	325,59	0,00	-187,71	0,00	-33,89	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	9,000	Combi1/1	325,59	0,00	187,71	0,00	-33,89	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	9,800	Combi1/1	31,37	0,00	127,43	0,00	7,56	0,00
S1	CS1 - Rechthoek	0,200	Combi1/1	31,37	0,00	-127,43	0,00	7,56	0,00

Figuur H.11.: Interne krachten rib

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-23,46	-29,71	16,41	-395,76	56,09	213,35
Vloer randen	34,66	42,56 -10,70	16,41	90,84 -84,28	-502,22	213,35
Wanden midden	-7,93 5,39	39,11 -4,95	9,15	239,90 -608,41	-839,24 48,85	71,99
Wanden randen	27,93 -5,92	5,34 -5,29	9,15	79,64 -22,48	112,16 -67,65	71,99
-	My	N				
Rib	-554,70 43,41	975,14 42,05				

Tabel H.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 1 rib

De hiervoor berekende diepgang betrof 2,33 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.



Figuur H.12.: Controle zakking drijflichaam, model met 1 rib

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2342 - 2312 = 30 \text{ mm}$. De opbolling is dus acceptabel.

H.2. Wapening

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Het benodigde wapeningsoppervlak A_s kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} * z}, \quad A_s = \frac{N}{f_{yd}} \quad (\text{H.1})$$

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 164 = 155,8 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 152 = 144,4 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{200*1000*20}{1000} = 4000 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden. Zoals in tabel H.9 en H.10 te zien is, wordt deze waarde nooit overschreden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -23,46 + 16,41 = -7,04 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-7,04}{435 * 0,1558} * 1000 = -104 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 23,46 + 16,41 = 39,87 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{39,87}{435 * 0,1558} * 1000 = 588 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.2)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -395,76 + 213,35 = -182,41 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-182,41}{435} * 1000 = -419 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is geen wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst om een net te vormen met de overige wapening en om aan de maximale staafafstand te voldoen.

In de bovenzijde is $588 - 419 = 169 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. $\frac{169}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 3,36 \approx 4$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -29,71 + 16,41 = -13,30 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-13,30}{435 * 0,1444} * 1000 = -212 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 29,71 + 16,41 = 46,12 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.3})$$

$$A_{s,m,b} = \frac{46,12}{435 * 0,1444} * 1000 = 734 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 56,09 + 213,35 = 269,44 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{269,44}{435} * 1000 = 619 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $619 - 212 = 407 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{407}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,60 \approx 4$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $734 + 619 = 1353 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{1353}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,96 \approx 12$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 34,66 + 16,41 = 51,07 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{51,07}{435 * 0,1558} * 1000 = 754 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -34,66 + 16,41 = -18,25 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.4})$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-18,25}{435 * 0,1558} * 1000 = -269 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 90,84 + 213,35 = 304,19 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{304,19}{435} * 1000 = 699 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $699 - 269 = 430 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter; $\frac{430}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,80 \approx 4$ staven per meter.

In de onderzijde is $754 + 699 = 1453 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1453}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 12,85 \approx 13$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 42,56 + 16,41 = 58,97 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -10,70 + 16,41 = 5,71 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{58,97}{435 * 0,1444} * 1000 = 939 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -42,56 + 16,41 = -26,15 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = 10,70 + 16,41 = 27,11 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{27,11}{435 * 0,1444} * 1000 = 432 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.5)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -502,22 + 213,35 = -288,87 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-288,87}{435} * 1000 = -664 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $432 - 664 = -232 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 8 mm in diameter komen te liggen, 4 per meter.

In de onderzijde is er $939 - 664 = 275 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 8 mm zijn er $\frac{275}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 5,47 \approx 6$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -7,93 + 9,15 = 1,22 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 5,39 + 9,15 = 14,54 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{14,54}{435 * 0,1558} * 1000 = 215 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 7,93 + 9,15 = 17,08 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,m} = -5,39 + 9,15 = 3,76 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{17,08}{435 * 0,1558} * 1000 = 252 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.6)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 239,90 + 71,99 = 311,89 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{311,89}{435} * 1000 = 717 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $215 + 717 = 932 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{932}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,24 \approx 9$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $252 + 717 = 969 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{969}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,57 \approx 9$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 39,11 + 9,15 = 48,26 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -4,95 + 9,15 = 4,20 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{48,26}{435 * 0,1444} * 1000 = 768 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -39,11 + 9,15 = -29,96 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.7})$$

$$m'_{py,m} = 4,95 + 9,15 = 14,10 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{14,10}{435 * 0,1444} * 1000 = 224 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 48,85 + 71,99 = 120,84 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{120,84}{435} * 1000 = 278 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $768 + 278 = 1046 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1046}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,25 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $224 + 278 = 502 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{502}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,44 \approx 5$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 27,93 + 9,15 = 37,08 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -5,92 + 9,15 = 3,23 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{37,08}{435 * 0,1558} * 1000 = 547 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -27,93 + 9,15 = -18,78 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.8})$$

$$m'_{px,r} = 5,92 + 9,15 = 15,07 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{15,07}{435 * 0,1558} * 1000 = 222 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 79,64 + 71,99 = 151,63 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{151,63}{435} * 1000 = 349 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $547 + 349 = 896 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{896}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,92 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $222 + 349 = 571 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{571}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,05 \approx 6$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -5,29 + 9,15 = 3,86 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 5,34 + 9,15 = 14,49 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{14,49}{435 * 0,1444} * 1000 = 231 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 5,29 + 9,15 = 14,44 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = -5,34 + 9,15 = 3,81 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{14,44}{435 * 0,1444} * 1000 = 230 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.9)

Normaalkracht :

$$n_{py} = 112,16 + 71,99 = 184,15 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{184,15}{435} * 1000 = 423 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $231 + 423 = 654 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{654}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,78 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $230 + 423 = 653 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{653}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,77 \approx 6$ staven per meter nodig.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 8 = 166 \text{ mm}$, deze waarde is net iets groter dan de aangenomen waarde van 164 mm. Een grotere effectieve dikte levert een grotere inwendige hefboomsarm en kleiner benodigde wapeningshoeveelheid, het verschil is echter zo klein dat de hier boven bepaalde wapening gehandhaafd kan worden.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - 8 - \frac{1}{2} * 12 = 148 \text{ mm}$, ook deze waarde is iets kleiner dan de aangenomen waarde. Het verschil is ook hier zo klein dat de hierboven berekende wapening gehandhaafd kan blijven.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 8 = 154 \text{ mm}$, ook deze waarde is iets kleiner dan de aangenomen waarde.

Het verschil is ook hier zo klein dat de hierboven berekende wapening gehandhaafd kan blijven.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$. Dit is dezelfde waarde als de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, dus ook de aangenomen effectieve dikte in y-richting was goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.

Overzicht

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel H.2.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	9 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	9 staven per meter $\phi 12$
y-richting	12 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	13 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	6 staven per meter $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 12$

Tabel H.2.: Wapening overzicht model met 1 rib

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,20\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 4 + 12^2 * 12)}{200 * 1000} = 0,90\%
 \end{aligned} \tag{H.10}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,20 * 0,90} = 0,42\% \quad (\text{H.11})$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 13 + 12^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,96\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 6 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,25\% \end{aligned} \quad (\text{H.12})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,96 * 0,25} = 0,49\% \quad (\text{H.13})$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,49 + 6 * 8 * 0,42}{10 * 12} = 0,46\% \quad (\text{H.14})$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 9)}{200 * 1000} = 1,02\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 10)}{200 * 1000} = 0,85\% \end{aligned} \quad (\text{H.15})$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,02 * 0,85} = 0,93\% \quad (\text{H.16})$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 8)}{200 * 1000} = 0,79\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,68\% \end{aligned} \quad (\text{H.17})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,79 * 0,68} = 0,73\% \quad (\text{H.18})$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,78 * 4 * 0,73 + (4 * 2,78 + 6 * 2,78) * 0,93}{10 * 2,78 + 12 * 2,78} = 0,82\% \quad (\text{H.19})$$

H.3. Gegevens bij dunner model

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Het model is nu met een wand- en vloerdikte van 135 mm in Scia Engineer gebouwd. De opbolling is gecontroleerd en is nu 55,9 mm, dit voldoet niet aan de eis van maximaal toelaatbare opbolling van 40 mm. Door middel van een iteratief proces is bepaald dat de vloerdikte minimaal 170 mm moet zijn om aan de eis voor de maximaal toelaatbare opbolling te voldoen, deze is nu 39,4 mm en is dus net minder dan 40 mm.

Door de lichter gedimensioneerde onderbouw is de diepgang nu kleiner, en dus ook de hoogte van het drijflichaam is kleiner. Hierdoor is ook de horizontale belasting kleiner. Dit is berekend in figuur H.13.

$$\begin{aligned} &restart; \\ &b := 10; \\ &l := 12; \\ &dv := 0.170; dw := 0.135; \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000}; h_rib_b := 0.667; b_rib_b := 0.223; h_rib_l \\ &\quad := 0.8; b_rib_l := 0.267; nb := 1; nl := 0; \\ &\quad \quad \quad 24.52500000 \end{aligned} \tag{1}$$

Volume drijflichaam:

$$\begin{aligned} V := &b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \\ &\cdot nl; \\ &\quad \quad \quad 24.560410 + 5.940 h \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} Feigen := &V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8; \\ &\quad \quad \quad 1993.612866 + 174.8142000 h \end{aligned} \tag{3}$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

$$\begin{aligned} \rho := &1000; \\ g := &9.81; \\ eq1 := &\frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen; \\ &\quad \quad \quad 1177.200000 h = 1993.612866 + 174.8142000 h \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} solution := &solve(\{eq1\}, \{h\}); \\ &\quad \quad \quad \{h = 1.988867825\} \end{aligned} \tag{5}$$

assign(solution);

Resultaten:

$$\begin{aligned} diepgang := &h; \\ &\quad \quad \quad 1.988867825 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} hoogte := &diepgang + 0.45; \\ &\quad \quad \quad 2.438867825 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} horizontale_kracht := &\frac{\rho \cdot g \cdot diepgang}{1000}; \\ &\quad \quad \quad 19.51079336 \end{aligned} \tag{8}$$

Figuur H.13.: Diepgang, hoogte en horizontale belasting bepaling dunner model

Stabiliteit

In figuur H.14 is de nieuwe stabiliteit van het model met 1 rib met de aangepaste vloer- en wanddikte bepaald met behulp van Maple.

restart;

$b := 10 : l := 12 : dw := 0.135 : dv := 0.170 : Q_{vp} := 0.7 : Q_{vv} := 2.25 : Q_w := 0.5 : \text{diepgang} := 1.99 : hd := \text{diepgang} + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 1 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nl := 0 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$

Gewicht vloer woning:

$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$

$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$

Gewicht wanden drijflichaam:

$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$

Gewicht vloer drijflichaam:

$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$

Gewicht ribben:

$G_{rb} := h_rib_b \cdot b \cdot b_rib_b \cdot nb :$

$G_{rl} := h_rib_l \cdot b \cdot b_rib_l \cdot nl :$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_b}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_l}{2} \right) :$

$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$

Drukkingspunt B:

$B := \frac{\text{diepgang}}{2} ;$

0.9950000000

(1)

Afstand Metacentrum Mc tot B:

$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$

1000

(2)

$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b ;$

238.80

(3)

$BMc := \frac{I_x}{V} ;$

4.187604690

(4)

Metacentrum vanaf onder:

$M := B + BMc ;$

5.182604690

(5)

$MG := M - G ;$

2.590941172

(6)

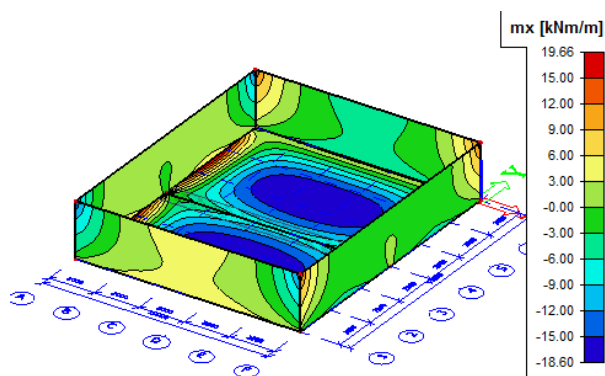
(7)

Figuur H.14.: Stabiliteit bepaling nieuw model met 1 rib

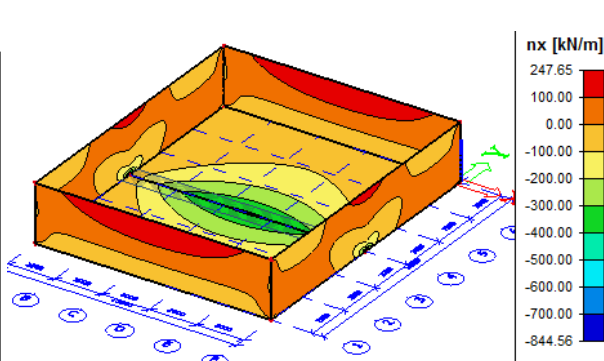
Nieuwe interne krachten bij kleinere dikte

De resultaten die hierboven verkregen zijn, zijn meegenomen bij het model in Scia Engineer.

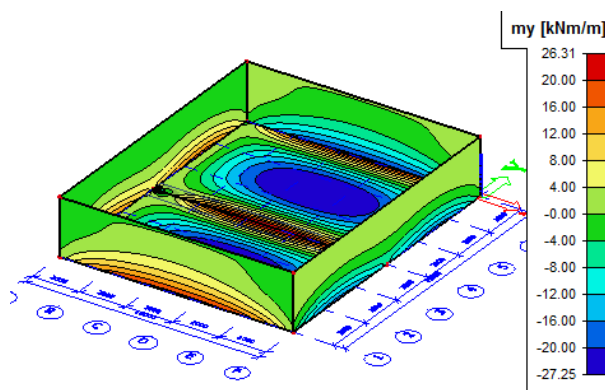
De interne krachten van het model met 1 rib zijn weergegeven in figuren H.15, H.16, H.17, H.18, H.19 en H.20.



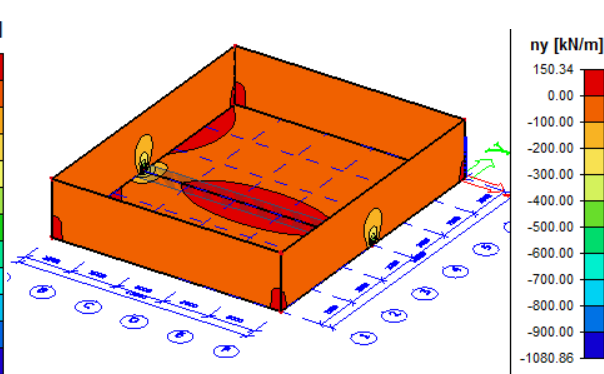
Figuur H.15.: Interne krachten, m_x



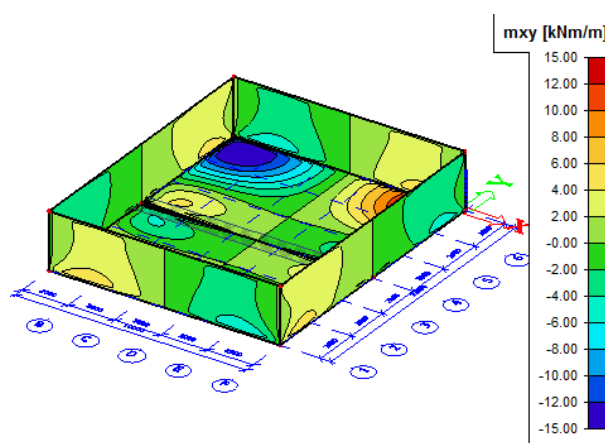
Figuur H.16.: Interne krachten, n_x



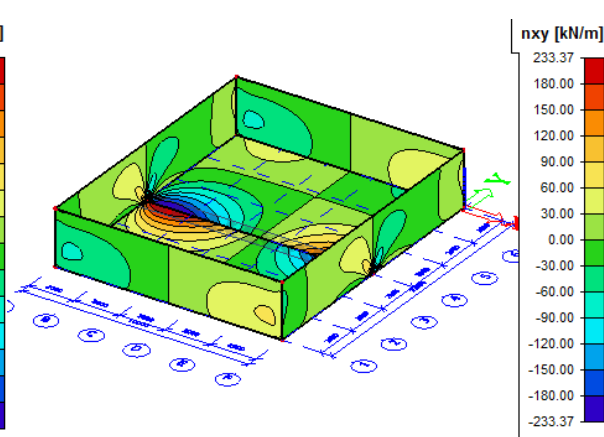
Figuur H.17.: Interne krachten, m_y



Figuur H.18.: Interne krachten, n_y



Figuur H.19.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur H.20.: Interne krachten, n_{xy}

De interne krachten in tabel H.3 zijn gevonden met behulp van Scia Engineer.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-18,60	-27,25 26,31	15,00	-413,66 -75,00	69,99	233,37
Vloer randen	19,66	-21,15 26,31	15,00	-10,20	-677,44 69,99	233,37
Wanden midden	-4,37 3,63	21,73 -4,07	5,18	247,65 -844,56	-1080,86 -3,45	142,82
Wanden randen	17,28 -3,97	4,07 -11,76	5,18	67,35 -50,78	150,34 -38,35	142,82
-	My	N				
Rib	-162,90 10,44	1461,38 2,07				

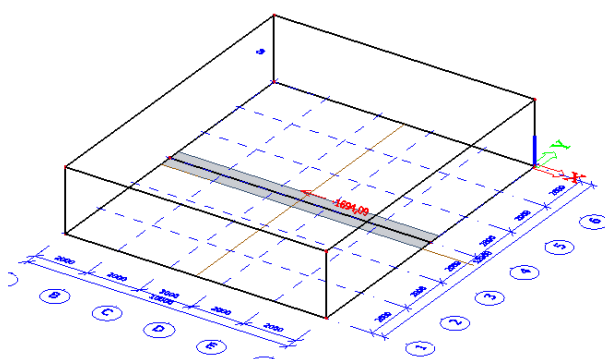
Tabel H.3.: Nieuw overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 1 rib

H.4. Controle ordegrootte momenten, model met rib

Het model met vloerdikte van 170 mm en wanddikte van 135 mm en maar 1 rib wordt bekeken.

Normaalkracht

De snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 1694,09 kN, zie figuur H.21.

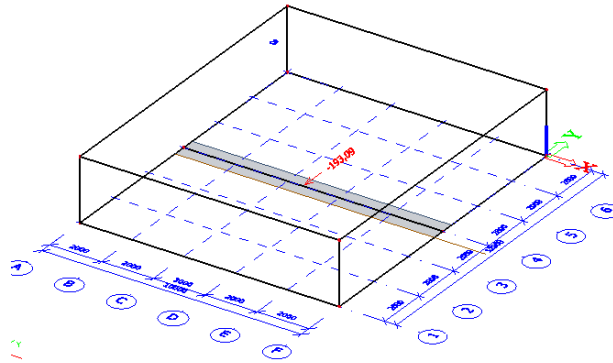


Figuur H.21.: Fx

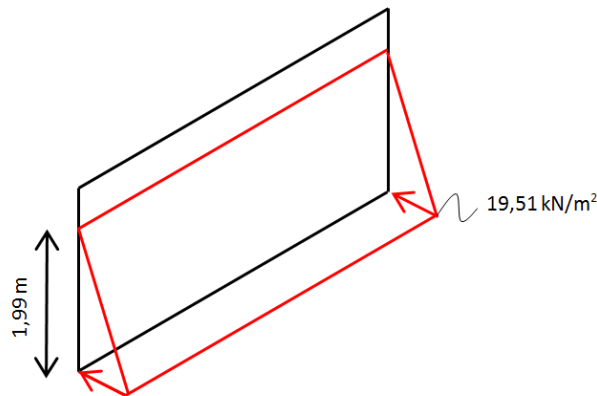
De volgende snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 193,09 kN, zie figuur H.22.

Scia Engineer geeft een trekkracht van 1461,38 kN in de rib.

In figuur H.23 is de horizontale belasting op een wand weergegeven. Op een wand van 12 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 19,51 * 1,99 * 12 = 232,95 \text{ kN}$ en op een wand van 10 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 19,51 * 1,99 * 10 = 194,12 \text{ kN}$.



Figuur H.22.: F_y



Figuur H.23.: Horizontale belasting op een wand

De resultante normaaldrukkracht in de vloer in de x-richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkracht die verwacht wordt door de horizontale belasting; $1694,09 - 1461,38 = 232,71 \text{ kN}$. Er wordt namelijk $232,95 \text{ kN}$ verwacht.

De resultante normaaldrukkracht in de vloer in de y-richting komt ongeveer overeen met de te verwachte waarde; $193,09 \text{ kN}$, waar $194,12 \text{ kN}$ verwacht wordt.

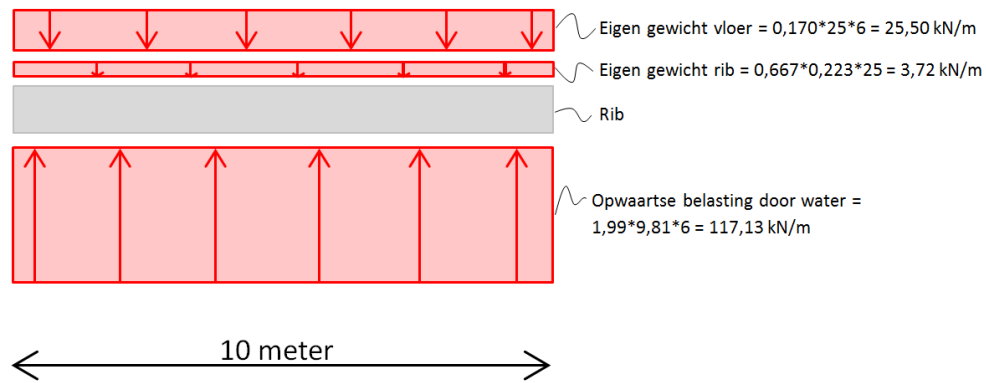
Rib, opbuigend moment

In figuur I.24 is de belastingsituatie voor de rib weergegeven. De resterende opwaartse belasting op de rib is $117,13 - 25,50 - 3,72 = 87,91 \text{ kN/m}$. Als de rib nu wordt geschematiseerd als een ligger op twee steunpunten zou er het volgende buigende moment in het midden van de overspanning zijn:

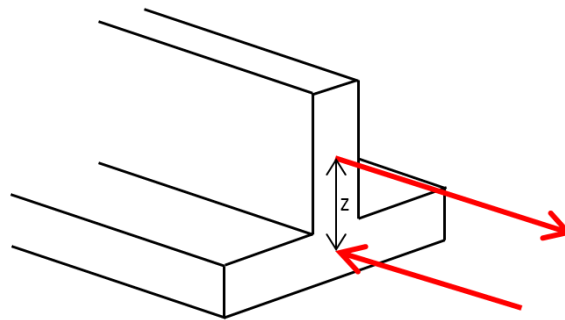
$$M_{s_{mid}} = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 87,91 * 10^2 = 1098,88 \text{ kNm} \quad (\text{H.20})$$

Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is $162,90 \text{ kNm}$, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkracht en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{667}{2} + \frac{170}{2} = 418,5 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $1694,09 * 0,4185 = 708,98 \text{ kNm}$.



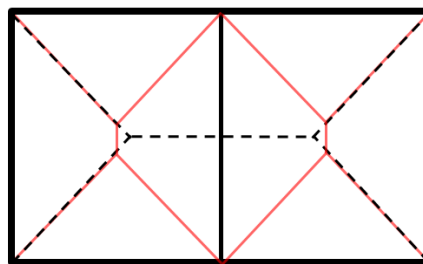
Figuur H.24.: Belasting situatie rib



Figuur H.25.: Moment rib

Het totale moment in de rib is dan $162,90 + 709 = 871,88 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van $1098,88 \text{ kNm}$.

Dit kan verklaard worden doordat het oppervlak van de vloer van het drijflichaam dat de rib afdraagt kleiner is dan het oppervlak dat hierboven is aangenomen. Hierboven is gezegd dat de rib een breedte van 6 meter langs de hele lengte van de rib afdraagt, maar in feite draagt de rib hier maar een deel van af. In figuur H.26 is in het roze weergegeven hoe de belasting afgedragen zou



Figuur H.26.: Belastingafdracht naar wanden en rib

worden als de rib en de wanden even stijf waren geweest, dit is echter niet het geval, omdat de rib minder hoog is dan de wanden. Met zwarte stippellijnen is aangegeven hoe de belastingafdracht zou zijn geweest als er geen rib in de vloer aanwezig was. In feite zal er dus een oppervlak worden afgedragen worden door de rib dat het midden heeft tussen die twee situaties. Dit oppervlak zal

een stuk kleiner zijn dan het oppervlak dat hierboven is aangenomen en dus zal het te verwachten moment kleiner zijn dan 1098,88 kNm.

Wanden

In paragraaf ?? is een versimpeld mechanica schema weergegeven van een wand. De berekening van de m_x in de wand van het model met rib zal niet afwijken van de berekening bij het model zonder rib. De m_x in het model met 1 rib zou dan zijn: $0,5 * 1,99 * 19,51 * \frac{1}{3} * 1,99 = 12,88 \text{ kNm/m}$. Scia Engineer geeft hier een waarde van 4,37 kNm/m.

Als de m_y op dezelfde manier bepaald wordt als bij het model zonder rib, worden de volgende resultaten gevonden:

$$q_{gem} = \frac{0,45 * 0 + 1,99 * \frac{19,51}{2}}{1,99 + 0,45} = 7,96 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{H.21})$$

Het moment in het midden van de wand is dan:

$$m_y = \frac{1}{24} * 7,96 * 12^2 = 47,76 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.22})$$

Scia Engineer geeft 21,73 kNm/m. Deze waarden wijken af. Een verklaring waarom deze waarden afwijken van de waarden in Scia Engineer is gegeven in E.2.

Conclusie

De versimpelde handberekeningen lijken grofweg overeen te komen met de gevonden interne krachten in Scia Engineer. De afwijkende waarden zijn te verklaren; bij de handberekeningen voor het opbuigende moment in de rib is geen rekening gehouden met de exacte belastingafdracht van de vloer en bij de handberekeningen voor de momenten aan de randen van de vloer en wanden is er geen rekening gehouden met het complexere mechanisme die ook optreedt, namelijk dat de tegenwerkende vervormingen de momenten reduceren.

H.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte

Vloer

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 170 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 134 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 134 = 127,30 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 170 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 122 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 122 = 115,90 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{170*1000*20}{1000} = 3400 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Wapening in het midden van de vloer

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -18,60 + 15,00 = -3,60 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-3,60}{435 * 0,1273} * 1000 = -65 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 18,60 + 15,00 = 33,60 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{33,60}{435 * 0,1273} * 1000 = 607 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.23)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -75,00 + 233,37 = 158,37 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{158,37}{435} * 1000 = 364 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $-65 + 364 = 299 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. $\frac{299}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 5,95 \approx 6$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $607 + 364 = 971 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{971}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,59 \approx 9$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -27,25 + 15,00 = -12,25 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 26,31 + 15,00 = 41,31 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{41,31}{435 * 0,1159} * 1000 = 819 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 27,25 + 15,00 = 42,25 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.24})$$

$$m'_{py,m} = -26,31 + 15,00 = -11,31 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{42,25}{435 * 0,1159} * 1000 = 838 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 69,99 + 233,37 = 303,36 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{303,36}{435} * 1000 = 697 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $819 + 697 = 1516 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 16 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{1516}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,54 \approx 8$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $838 + 697 = 1535 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 16 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{1535}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,63 \approx 8$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 19,66 + 15,00 = 34,66 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{34,66}{435 * 0,1273} * 1000 = 626 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -19,66 + 15,00 = -4,66 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.25})$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-4,66}{435 * 0,1273} * 1000 = -84 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -10,20 + 233,37 = 223,17 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{223,17}{435} * 1000 = 513 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $-84 + 513 = 429 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter; $\frac{429}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,79 \approx 4$ staven per meter.

In de onderzijde is $626 + 513 = 1139 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier wordt een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1139}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,07 \approx 11$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 26,31 + 15,00 = 41,31 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = -21,15 + 15,00 = -6,15 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{41,31}{435 * 0,1159} * 1000 = 819 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -26,31 + 15,00 = -11,31 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = 21,15 + 15,00 = 36,15 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{36,15}{435 * 0,1159} * 1000 = 717 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.26)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 69,99 + 233,37 = 303,36 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{303,36}{435} * 1000 = 697 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $717 + 697 = 1414 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 16 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{1414}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,03 \approx 8$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $819 + 697 = 1516 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 16 mm zijn er $\frac{1516}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,54 \approx 8$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 99 = 94,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 87 = 82,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{135 * 1000 * 20}{1000} = 2700 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -4,37 + 5,18 = 0,81 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 3,63 + 5,18 = 8,81 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{8,81}{435 * 0,09405} * 1000 = 215 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 4,37 + 5,18 = 9,55 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,m} = -3,63 + 5,18 = 1,55 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{9,55}{435 * 0,09405} * 1000 = 233 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.27)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 247,65 + 142,82 = 390,47 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{390,47}{435} * 1000 = 898 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $215 + 898 = 1113 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1113}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,84 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $233 + 898 = 1131 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1131}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,0 \approx 11$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 21,73 + 5,18 = 26,91 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -4,07 + 5,18 = 1,11 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{26,91}{435 * 0,08265} * 1000 = 748 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -21,73 + 5,18 = -16,55 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = 4,07 + 5,18 = 9,25 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{9,25}{435 * 0,08265} * 1000 = 257 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(H.28)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -3,45 + 142,82 = 139,37 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{139,37}{435} * 1000 = 320 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $748 + 320 = 1068 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1068}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,44 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $257 + 320 = 577 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{577}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,10 \approx 6$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 17,28 + 5,18 = 22,46 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -3,97 + 5,18 = 1,21 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{22,46}{435 * 0,09405} * 1000 = 549 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -17,28 + 5,18 = -12,10 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.29})$$

$$m'_{px,r} = 3,97 + 5,18 = 9,15 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{9,15}{435 * 0,09405} * 1000 = 224 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 67,35 + 142,82 = 210,17 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{210,17}{435} * 1000 = 483 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $549 + 483 = 1032 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1032}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,12 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $224 + 483 = 707 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{707}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,25 \approx 7$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,07 + 5,18 = 1,11 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = 11,76 + 5,18 = 16,94 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{16,94}{435 * 0,08265} * 1000 = 471 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,07 + 5,18 = 9,25 \text{ kNm/m} \quad (\text{H.30})$$

$$m'_{py,r} = -11,76 + 5,18 = -6,58 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{9,25}{435 * 0,08265} * 1000 = 257 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{py} = 150,34 + 142,82 = 293,16 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{293,16}{435} * 1000 = 674 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $471 + 674 = 1145 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1145}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,12 \approx 11$ staven per meter nodig.

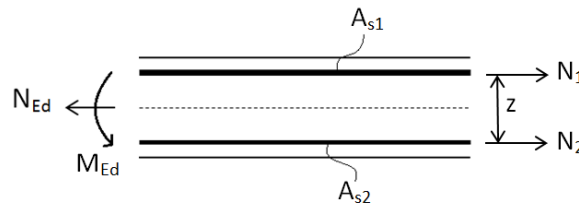
Aan de binnenzijde is $257 + 674 = 931 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{931}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,23 \approx 9$ staven per meter nodig.

Rib

Er treedt een maximaal buigend moment van 162,90 kNm in het midden van de overspanning van de rib, dit moment is opbollend waarbij de trek dus aan de bovenkant van de rib zit. Aan de uiteindes van de rib zit er een moment van 10,44 kNm, deze is tegenovergesteld in richting. Er zit een maximale normaalkracht van 1461,38 kN in de rib.

Midden

De inwendige hefboomsarm kan bepaald worden als de diameters van de toegepaste wapening gekozen zijn. In de bovenzijde is zeer veel wapening nodig, er wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. In de onderkant is door de grote trekkracht waarschijnlijk ook wapening nodig, hier wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. Er zijn waarschijnlijk teveel staven nodig om in 1 laag te kunnen plaatsen, dus worden er in de boven- en onderzijde 2 lagen wapening aangenomen. De inwendige hefboomsarm is dan $z = 170 + 667 - 35 \cdot 2 - 10 \cdot 2 - 25 - \frac{25}{2} - 25 - \frac{25}{2} = 672 \text{ mm}$. 10 mm is de staafdiameter van de beugelwapening. Een overzicht van deze situatie is weergegeven in figuur H.27.



Figuur H.27.: Overzicht

De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned} A_s &= + \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= + \frac{162,90}{435 * 0,672} * 1000 + \frac{1461,38}{435} * 1000 = 3917 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{H.31})$$

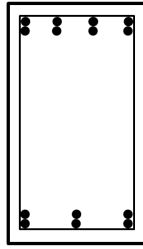
Hier komen staven van 25 mm in diameter, dan zijn er $\frac{3917}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 7,98 \approx 8$ staven nodig. En in de onderkant komt:

$$\begin{aligned} A_s &= - \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= - \frac{162,90}{435 * 0,672} * 1000 + \frac{1461,38}{435} * 1000 = 2802 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{H.32})$$

Hier komen staven van 25 mm in diameter, dan zijn er $\frac{2802}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 5,71 \approx 6$ staven nodig. In figuur H.28 is een doorsnede van de rib weergegeven.

Uiteinden

Door het kleinere buigende moment in de uiteindes zal de benodigde wapening in de boven- en onderzijde minder verschillen. Daarom worden nu in beide zijdes staven van 25 mm in diameter



Figuur H.28.: Doorsnede

geplaatst. Dit geeft een inwendige hefboomsarm van $z = 170 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 * 3 = 672 \text{ mm}$. De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$A_s = -\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}}$$

$$= -\frac{10,44}{435 * 0,672} * 1000 + \frac{1461,38}{435} * 1000 = 3324 \text{ mm}^2 \quad (\text{H.33})$$

Hier komen staven van 25 mm in diameter, dan zijn er $\frac{3324}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 6,77 \approx 7$ staven nodig. Dit is echter een oneven getal, wat onhandig is om in 7 lagen te plaatsen, daarom worden er 8 staven van 25 mm in diameter geplaatst.

En in de onderkant komt:

$$A_s = +\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}}$$

$$= +\frac{10,44}{435 * 0,672} * 1000 + \frac{1461,38}{435} * 1000 = 3395 \text{ mm}^2 \quad (\text{H.34})$$

Hier komen staven van 25 mm in diameter, dan zijn er $\frac{3395}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 6,92 \approx 7$ staven nodig. Ook hier geldt dat er 8 staven geplaatst zullen worden, omdat 7 lastig in 2 lagen te plaatsen is.

Er komen in de onder- en bovenzijde dus 4 staven per laag, dit geeft een staafafstand van $\frac{223-35*2}{3} = 51 \text{ mm}$. Dit is groter dan 27 mm (korreldiameter+5), en voldoet dus aan de eis van minimaal toelaatbare staafafstand.

Overzicht

In tabel H.4 is de wapening die in het drijflichaam wordt geplaatst volgens bovenstaande berekeningen weergegeven.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 170 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 134 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 170 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 16 = 120 \text{ mm}$, deze waarde is iets kleiner dan de aangenomen waarde van 122 mm. Dit verschil is echter zo klein dat er niet meer wapening nodig is dan hierboven berekend.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	6 staven per meter, $\phi 8$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter, $\phi 16$	6 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	11 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 16$	11 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Rib, uiteinden	8 staven $\phi 25$	6 staven $\phi 25$
	8 staven $\phi 25$	8 staven $\phi 25$

Tabel H.4.: Nieuw wapening overzicht model met 1 rib

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 170 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 134 \text{ mm}$, de aangenomen waarde was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 170 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 16 = 120 \text{ mm}$, deze waarde is kleiner dan de aangenomen waarde van 122 mm. Ook hier is het verschil zo klein dat er niet meer wapening nodig is dan hierboven berekend.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, de aangenomen waarde was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, de aangenomen waarde was hier dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$. Deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, ook deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel 6.2.

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 6 + 12^2 * 9)}{170 * 1000} = 0,78\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 8 + 16^2 * 8)}{170 * 1000} = 1,89\%\end{aligned}\quad (H.35)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,78 * 1,89} = 1,21\% \quad (H.36)$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 12^2 * 4)}{170 * 1000} = 1,00\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 8 + 16^2 * 8)}{170 * 1000} = 1,89\%\end{aligned}\quad (H.37)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,00 * 1,89} = 1,37\% \quad (H.38)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 1,37 + 6 * 8 * 1,21}{10 * 12} = 1,31\% \quad (H.39)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 11)}{135 * 1000} = 1,76\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 10)}{135 * 1000} = 1,34\%\end{aligned}\quad (H.40)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,76 * 1,34} = 1,54\% \quad (H.41)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 7 + 12^2 * 10)}{135 * 1000} = 1,42\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 11)}{135 * 1000} = 1,68\%\end{aligned}\quad (H.42)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

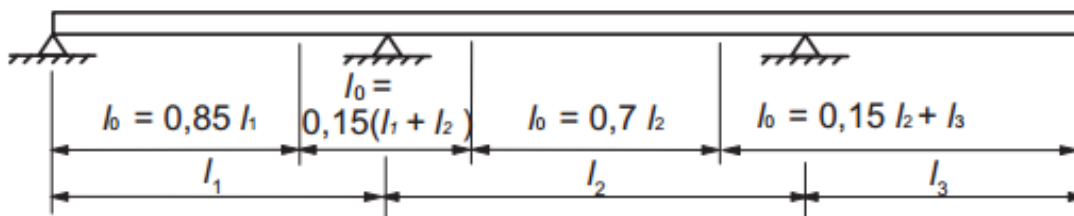
$$\rho = \sqrt{1,42 * 1,68} = 1,54\% \quad (\text{H.43})$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

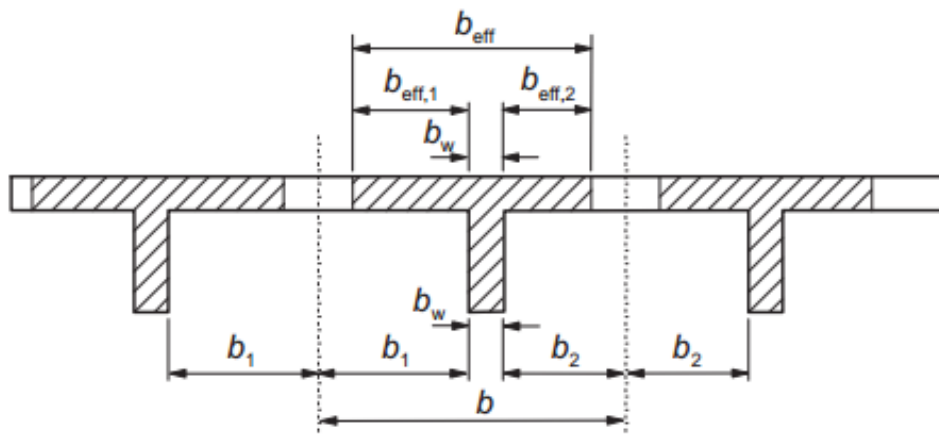
$$\frac{3 * 2,44 * 4 * 1,54 + (4 * 2,44 + 6 * 2,44) * 1,54}{10 * 2,44 + 12 * 2,44} = 1,54\% \quad (\text{H.44})$$

Rib

De rib kan geschematiseerd worden als een T-ligger, omdat een deel van de vloer gerekend kan worden als onderdeel van de drukzone. In Eurocode 2 is een vereenvoudigde methode te vinden om de meewerkende breedte te bepalen, zie figuur H.29. De volgende vergelijkingen horen



Figuur 5.2 — Definitie van l_0 , voor het berekenen van de meewerkende flensbreedte



Figuur 5.3 — Parameters voor de meewerkende flensbreedte

Figuur H.29.: Figuren bepaling meewerkende flensbreedte uit Eurocode 2

daarbij:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (\text{H.45})$$

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0$$

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 10 = 7 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en $b_2 = 3 - \frac{0,223}{2} = 2,89 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} b_{eff,1} &= 0,2 * 2,89 + 0,1 * 7 = 1,278 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \\ b_{eff,2} &= 0,2 * 2,89 + 0,1 * 7 = 1,278 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \end{aligned} \quad (\text{H.46})$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,278 + 1,278 + 0,223 = 2,779 \text{ m} \leq 6 \text{ m}$.

Als de hoogte van de drukzone niet groter is dan de dikte van de vloer, mag voor het berekenen van het wapeningspercentage de hoogte van de rib maal de effectieve breedte worden genomen.

$$\sigma = \frac{8 * \frac{1}{4} * \pi * 25^2 * 435}{2779 * 0,75 * x_u} = 20,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{H.47})$$

$$x_u = 41 \text{ mm}$$

De maximaal toelaatbare spanning in de drukzone in het beton is $f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$. Dus de drukzone is 41 mm, dit is kleiner dan 170 mm.

Het wapeningspercentage in het midden van de rib wordt dan:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 25^2}{837 * 2779} = 0,17\% \quad (\text{H.48})$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 25^2}{837 * 2779} = 0,17\% \quad (\text{H.49})$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de rib is dan:

$$\frac{0,5 * 0,17 + 9,5 * 0,17}{10} = 0,17\% \quad (\text{H.50})$$

Minimum wapeningspercentage

Om te voorkomen dat de constructie bezwijkt zonder waarschuwing in de vorm van scheuren in de trekzone, is er een minimum vereist wapeningspercentage. Een versimpelde tabel is te vinden in het dictaat Gewapend Beton[5]. Deze tabel is weergegeven in figuur H.30. Met behulp van interpolatie kan gevonden worden dat voor het beton C30/37 en een hoogte groter dan 600 mm een minimum wapeningspercentage geldt van $\frac{0,11+0,13}{2} = 0,12\%$. Hieraan wordt dus voldaan.

	min (%)		
	h = 200mm	400mm	600mm en hoger
C25/30	0,15	0,13	0,11
C35/45	0,18	0,16	0,13
C45/55	0,22	0,17	0,15
C55/67	0,24	0,22	0,17

Figuur H.30.: Minimum vereist wapeningspercentage

H.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

De fictieve elasticiteitsmodulus is te bepalen met tabel NB-1 uit de Nationale Bijlagen van Eurocode 2, deze is weergegeven in figuur E.30.

De berekeningen zijn voor dit model uitgevoerd met behulp van Maple, dit is weergegeven in figuur H.31.

$$\begin{aligned} & \text{restart;} \\ & Q1 := 3.6 : Q2 := 49.95 : l := 12 : b := 10 : dw := 0.135 : dv := 0.170 : diepgang := 1.99 : \rho \\ & \quad := 1000 : g := 9.81 : wapeningrhow := 0.0154 : wapeningrhov := 0.0131 : fcd := 20 : fyd \\ & \quad := 435 : \end{aligned} \tag{1}$$

Normaalkrachten:

$$\begin{aligned} NEdw1 &:= Q1 \cdot b \cdot 1000 : \\ NEdw2 &:= Q2 \cdot l \cdot 1000 : \\ NEdv1 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot \rho \cdot g \cdot diepgang \cdot b : \\ NEdv2 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot \rho \cdot g \cdot diepgang \cdot l : \end{aligned}$$

Beton oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Acw1 &:= (dw \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acw2 &:= (dw \cdot l) \cdot 10^6 : \\ Acv1 &:= (dv \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acv2 &:= (dv \cdot l) \cdot 10^6 : \end{aligned}$$

Staal oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Asw1 &:= wapeningrhow \cdot Acw1 : \\ Asw2 &:= wapeningrhow \cdot Acw2 : \\ Asv1 &:= wapeningrhov \cdot Acv1 : \\ Asv2 &:= wapeningrhov \cdot Acv2 : \end{aligned}$$

Alpha's:

$$\begin{aligned} \alpha_{nw1} &:= \frac{NEdw1}{(fcd \cdot Acw1 + Asw1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nw2} &:= \frac{NEdw2}{(fcd \cdot Acw2 + Asw2 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv1} &:= \frac{NEdv1}{(fcd \cdot Acv1 + Asv1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv2} &:= \frac{NEdv2}{(fcd \cdot Acv2 + Asv2 \cdot fyd)} : \end{aligned}$$

Elasticiteitsmodulussen:

$$Efw1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhow + (20 - 196 \cdot wapeningrhow) \cdot \alpha_{nw1}) \cdot 1000; \tag{2}$$

$$Efw2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhow + (20 - 196 \cdot wapeningrhow) \cdot \alpha_{nw2}) \cdot 1000; \tag{3}$$

$$Efv1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv1}) \cdot 1000; \tag{4}$$

$$Efv2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv2}) \cdot 1000; \tag{5}$$

Figuur H.31.: Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

Voor de wanden van 10 m wordt een fictieve elasticiteitsmodulus van 8630 N/mm² gevonden,

voor de wanden van 12 meter wordt een waarde van 8848 N/mm², en voor de vloer is een waarde van 7697 N/mm².

H.7. Kosten

Voor het wapeningspercentage in de rib wordt nu de volgende waarde ingevuld:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 25^2 + 6 * 0,25 * \pi * 25^2}{667 * 223} = 4,62\% \quad (\text{H.51})$$

De kosten zijn met behulp van Maple berekend:

```
restart;
dv := 0.170 : dw := 0.135 : l := 12 : b := 10 : h := 2.44 : Gamma_s := 7800 : rho_vloer := 0.0131 :
rho_wanden := 0.0154 : rho_ribb := 0.0462 : rho_ribl := 0 : hb := 0.667 : hl := 0.8 : bb
:= 0.223 : bl := 0.267 : nb := 1 : nl := 0 :
```

Vloer:

$$\text{Kosten_vloer} := dv \cdot l \cdot b \cdot 400; \quad \text{€8.160,00} \quad (1)$$

Wanden:

$$\text{Kosten_wanden} := (2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot b \cdot h) \cdot 175 + dw \cdot 300; \quad \text{€18.828,50} \quad (2)$$

Ribben:

$$\text{Kosten_ribben} := (nb \cdot b \cdot hb + nl \cdot l \cdot hl) \cdot 175 + (nb \cdot bb + nl \cdot bl) \cdot 300; \quad \text{€1.234,15} \quad (3)$$

Wapening:

$$\begin{aligned} \text{wap_vloer} &:= \rho_{\text{vloer}} \cdot dv \cdot l \cdot b \cdot 7800 : \\ \text{wap_wanden} &:= \rho_{\text{wanden}} \cdot (2 \cdot b \cdot h \cdot dw + 2 \cdot l \cdot h \cdot dw) \cdot 7800 : \\ \text{wap_ribben} &:= (\rho_{\text{ribb}} \cdot nb \cdot hb \cdot bb \cdot b + \rho_{\text{ribl}} \cdot nl \cdot hl \cdot bl \cdot l) \cdot 7800 : \\ \text{Kosten_wapening} &:= (\text{wap_vloer} + \text{wap_wanden} + \text{wap_ribben}) \cdot 1.0; \end{aligned} \quad \text{€4.361,45} \quad (4)$$

Totale kosten:

$$\text{Kosten_vloer} + \text{Kosten_wanden} + \text{Kosten_ribben} + \text{Kosten_wapening}; \quad \text{€32.584,10} \quad (5)$$

Figuur H.32.: Kosten berekening model met 1 rib

I. Model met 2 ribben

I.1. Gegevens bij eerste model met 2 ribben

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Met behulp van Maple zijn de diepgang en de hoogte van het drijflichaam en de horizontale belasting op het drijflichaam berekent. Zie figuur I.1. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

```
restart;
b := 10 :
l := 12 :
dv := 0.2 : dw := 0.2 : gammab :=  $\frac{2500 \cdot 9.81}{1000}$ ; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l := 0.8 :
b_rib_l := 0.267 : nb := 2 : nl := 0 :
```

$$24.52500000 \quad (1)$$

Volume drijflichaam:

```
V := b · l · dv + 2 · l · (h + 0.45) · dw + 2 · b · (h + 0.45) · dw + b_rib_b · h_rib_b · b · nb + b_rib_l · h_rib_l · l · nl;
```

$$30.934820 + 8.8 h \quad (2)$$

```
Feigen := V · gammab · 1.2 + 1270.8;
```

$$2181.211753 + 258.9840000 h \quad (3)$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

```
rho := 1000 :
```

```
g := 9.81 :
```

```
eq1 :=  $\frac{(\text{rho} \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000}$  = Feigen ;
```

$$1177.200000 h = 2181.211753 + 258.9840000 h \quad (4)$$

```
solution := solve( {eq1}, {h} );
```

$$\{h = 2.375488723\} \quad (5)$$

```
assign(solution);
```

Resultaten:

```
diepgang := h;
```

$$2.375488723 \quad (6)$$

```
hoogte := diepgang + 0.45;
```

$$2.825488723 \quad (7)$$

```
horizontale_kracht :=  $\frac{\text{rho} \cdot g \cdot \text{diepgang}}{1000}$ ;
```

$$23.30354437 \quad (8)$$

Figuur I.1.: Diepgang model met 2 ribben

Stabiliteit

Ook bij de modellen met ribben wordt enkel getoetst aan de stabiliteitseis: $MG \geq 0,25$ m. Met behulp van Maple is deze afstand berekend, zie figuur I.2. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

```
restart;
b := 10 : l := 12 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 2.38 :
hd := diepgang + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 2 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l
:= 0.267 : nl := 0 :
```

Zwaartepunt berekenen:
Gewicht wanden woning:
 $G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$
Gewicht vloer woning:
 $G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$
 $G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$
Gewicht wanden drijflichaam:
 $G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$
Gewicht vloer drijflichaam:
 $G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$
Gewicht ribben:
 $G_{rb} := h_{rib_b} \cdot b_{rib_b} \cdot b \cdot nb :$
 $G_{rl} := h_{rib_l} \cdot b_{rib_l} \cdot l \cdot nl :$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) \\ + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_{rib_b} \cdot b}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_{rib_l} \cdot l}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$$

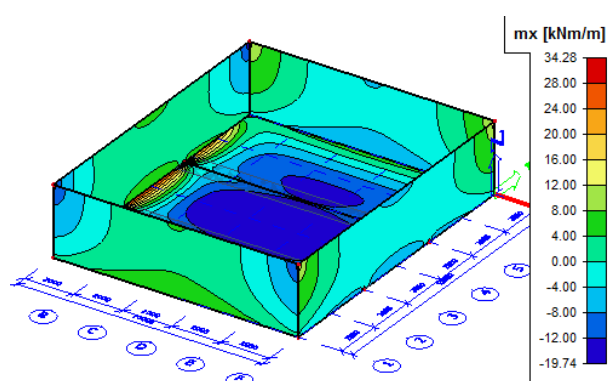
Drukingspunt B:
 $B := \frac{diepgang}{2} ;$

Afstand Metacentrum Mc tot B:	1.190000000	(1)
$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$	1000	(2)
$V := diepgang \cdot l \cdot b ;$	285.60	(3)
$BMc := \frac{I_x}{V} ;$	3.501400560	(4)
Metacentrum vanaf onder: $M := B + BMc ;$	4.691400560	(5)
$MG := M - G ;$	2.155112446	(6)
		(7)

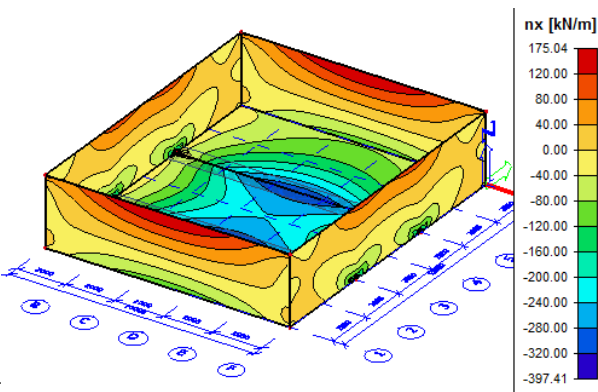
Figuur I.2.: Stabiliteit model met 2 ribben

Interne krachten

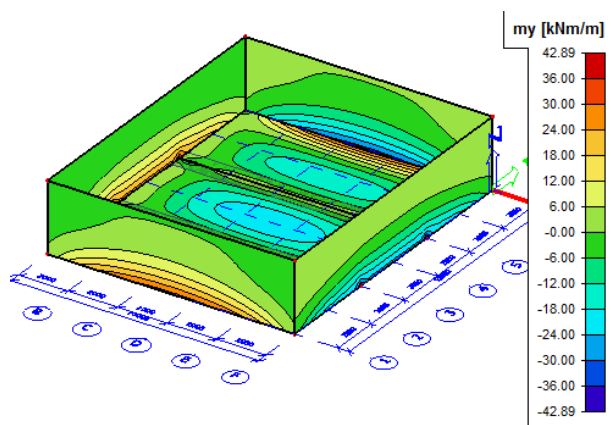
De interne krachten van het model met 2 ribben zijn weergegeven in figuren I.3, I.4, I.5, I.6, I.7 en I.8.



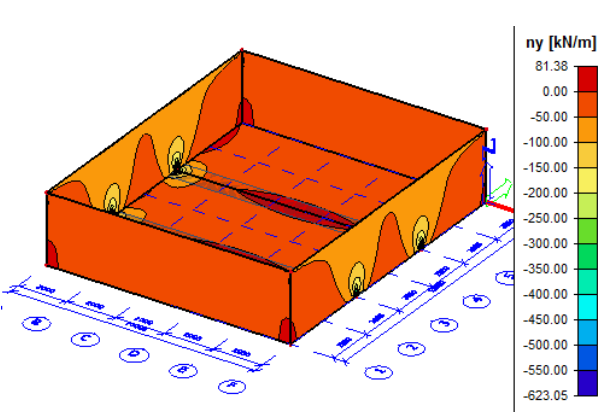
Figuur I.3.: Interne krachten, m_x



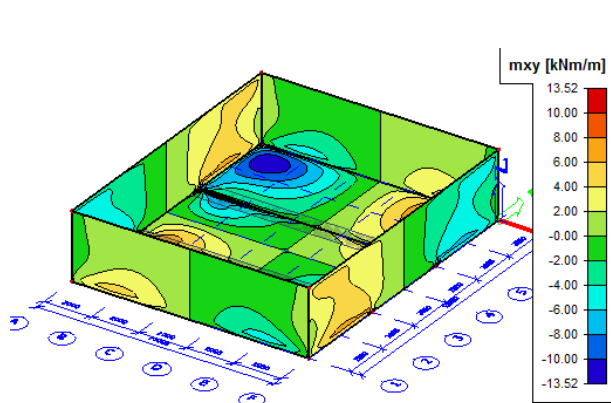
Figuur I.4.: Interne krachten, n_x



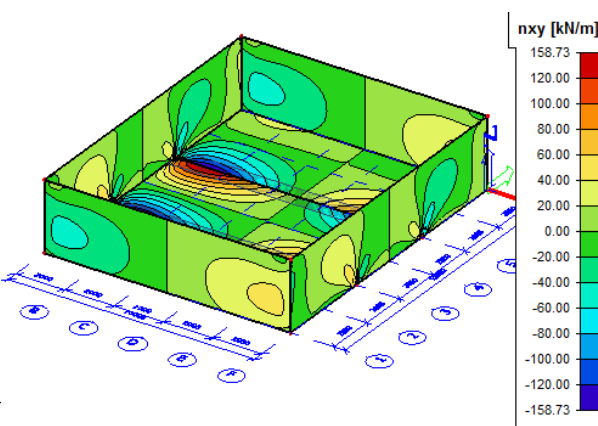
Figuur I.5.: Interne krachten, m_y



Figuur I.6.: Interne krachten, n_y



Figuur I.7.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur I.8.: Interne krachten, n_{xy}

Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur I.9 gevonden met behulp van Scia Engineer.

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E6	4570	Combi1	-19,49	-22,39	0,00	-239,41	-23,17	0,00
E6	4082	Combi1	34,28	6,22	1,19	-25,83	-149,44	33,01
E6	3105	Combi1	6,54	34,39	0,00	-77,13	-29,03	0,00
E6	4161	Combi1	-3,68	-3,79	-13,52	-91,43	-54,16	158,73
E6	4180	Combi1	-3,68	-3,79	13,52	-91,43	-54,16	-158,73
E6	4035	Combi1	-3,87	-3,62	-3,52	-89,64	-52,02	151,99
E6	4075	Combi1	-3,87	-3,62	3,52	-89,64	-52,02	-151,99
E6	5081	Combi1	15,51	22,31	8,64	112,78	-318,16	-56,79
E6	4031	Combi1	15,51	22,31	8,64	112,78	-318,16	-56,79
E6	4561	Combi1	-11,24	5,59	0,00	-320,16	21,53	0,00
E6	4081	Combi1	13,01	-4,99	8,50	65,37	-345,39	-67,97
E6	3430	Combi1	16,43	4,03	-4,09	-29,75	22,74	-1,35
E6	4961	Combi1	-3,68	-3,79	13,52	-91,43	-54,16	-158,73

Figuur I.9.: Interne krachten vloer

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur I.10 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E3 is een wand van 10 meter lengte en E4 is een wand van 12 meter lengte.

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E2	700	Combi1	-13,26	-2,05	1,64	95,70	-35,19	23,87
E3	1481	Combi1	19,74	5,48	1,37	10,86	-14,24	-28,64
E3	720	Combi1	3,77	-42,89	4,65	-397,41	-623,05	8,94
E2	25	Combi1	6,53	32,21	0,00	-102,32	-48,66	0,00
E3	741	Combi1	-5,27	-30,04	-10,37	-180,65	-16,23	-46,41
E3	719	Combi1	-5,27	-30,04	10,37	-180,65	-16,23	46,41
E2	8	Combi1	4,45	20,78	2,39	-59,93	-34,00	-25,87
E2	42	Combi1	4,45	20,78	-2,39	-59,93	-34,00	25,87
E2	675	Combi1	4,12	-0,34	0,00	175,04	-3,37	0,00
E2	1	Combi1	2,35	3,58	-0,84	-12,36	81,38	-1,31
E3	741	Combi1	-3,72	-23,68	-6,77	-118,68	-112,03	-62,03
E3	719	Combi1	-3,72	-23,68	6,77	-118,68	-112,03	62,03

Figuur I.10.: Interne krachten wanden

Rib

Voor de rib wordt voor de interne krachtenverdeling de waarden in figuur I.11 gevonden door Scia Engineer.

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	Combi1/1	-14,25	-2,05	-62,67	-1,76	11,91	-1,36
S1	CS1 - Rechthoek	5,000	Combi1/1	932,44	0,00	0,00	0,00	-100,76	0,86
S1	CS1 - Rechthoek	9,400	Combi1/1	104,63	-4,09	128,19	5,46	-8,78	-1,13
S1	CS1 - Rechthoek	0,600	Combi1/1	104,63	4,09	-128,19	-5,46	-8,78	-1,13
S1	CS1 - Rechthoek	1,000	Combi1/1	224,62	3,18	-138,19	-6,33	-24,26	-0,37
S1	CS1 - Rechthoek	9,000	Combi1/1	224,62	-3,18	138,19	6,33	-24,26	-0,37
S1	CS1 - Rechthoek	1,400	Combi1/1	348,53	2,30	-134,44	-6,52	-38,79	0,06
S1	CS1 - Rechthoek	8,600	Combi1/1	348,53	-2,30	134,44	6,52	-38,79	0,06
S1	CS1 - Rechthoek	0,200	Combi1/1	14,72	1,41	-88,52	-3,32	6,73	-1,84
S2	CS1 - Rechthoek	0,200	Combi1/1	14,72	-1,41	-88,52	3,32	6,73	1,84

Figuur I.11.: Interne krachten rib

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van het model met 2 ribben is te vinden in tabel I.1.

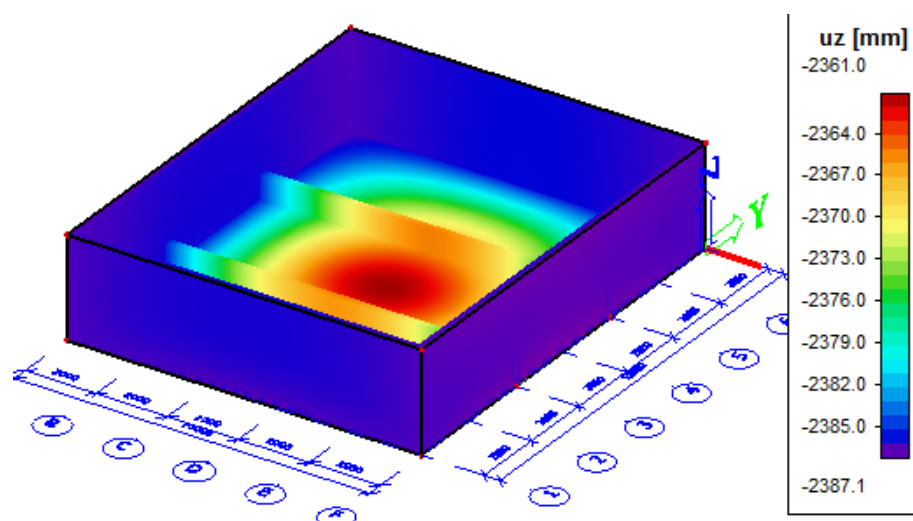
In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-19,49	-22,39	13,52	-320,16	22,74	158,73
Vloer randen	34,28	34,39	13,52	112,78 -77,13	-345,39 -29,03	158,73
Wanden midden	6,53	-42,89 4,89	10,37	-397,41 175,04	-623,05 -16,23	62,03
Wanden randen	19,74 -3,00	5,48 -4,50	10,37	-12,36 95,70	81,38 -68,39	62,03
-	Mx	My	Mz	N		
Ribben	6,52 -6,52	-100,76 11,91	1,84 -1,84	932,44 -14,25		

Tabel I.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 2 ribben

Vervorming

In figuur I.12 is de zakking van de constructie van het model met 2 ribben te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2387 mm en een minimale zakking van 2361 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,38 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2387 - 2361 = 26 \text{ mm}$. De opbolling is dus acceptabel.



Figuur I.12.: Controle zakking drijflichaam, model met 2 ribben

I.2. Wapening

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Het benodigde wapeningsoppervlak A_s kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} * z}, \quad A_s = \frac{N}{f_{yd}} \quad (1.1)$$

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 164 = 155,8 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 152 = 144,4 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{200*1000*20}{1000} = 4000 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden. Zoals in tabel I.9 en I.10 te zien is, wordt deze waarde nooit overschreden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -19,49 + 13,52 = -5,97 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-5,97}{435 * 0,1558} * 1000 = -88 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 19,49 + 13,52 = 33,01 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{33,01}{435 * 0,1558} * 1000 = 487 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (1.2)$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -320,16 + 158,73 = -161,43 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-161,43}{435} * 1000 = -371 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de onderzijde van de vloer is $-88 - 371 = -459 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst om een net te vormen met de overige wapening en om aan de maximale staafafstand te voldoen.

In de bovenzijde is $487 - 371 = 116 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. $\frac{116}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 2,31 \approx 3$ staven per meter nodig. Er worden er echter 4 per meter geplaatst om aan de eis van maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -22,39 + 13,52 = -8,87 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-8,87}{435 * 0,1444} * 1000 = -141 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 22,39 + 13,52 = 35,91 \text{ kNm/m} \quad (1.3)$$

$$A_{s,m,b} = \frac{35,91}{435 * 0,1444} * 1000 = 572 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 22,74 + 158,73 = 181,47 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{181,47}{435} * 1000 = 417 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $-141 + 417 = 276 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{276}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 5,49 \approx 6$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $572 + 417 = 989 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{989}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,74 \approx 9$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 34,28 + 13,52 = 47,80 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{47,80}{435 * 0,1558} * 1000 = 705 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -34,28 + 13,52 = -20,76 \text{ kNm/m} \quad (1.4)$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-20,76}{435 * 0,1558} * 1000 = -306 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 112,78 + 158,73 = 271,51 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{271,51}{435} * 1000 = 624 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $-306 + 624 = 318 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 8 mm in diameter; $\frac{318}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 6,33 \approx 7$ staven per meter.

In de onderzijde is $705 + 624 = 1329 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1329}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,75 \approx 12$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 34,39 + 13,52 = 47,91 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{47,91}{435 * 0,1444} * 1000 = 763 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -34,39 + 13,52 = -20,87 \text{ kNm/m} \quad (1.5)$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-20,87}{435 * 0,1444} * 1000 = -332 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -29,03 + 158,73 = 129,70 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{129,70}{435} * 1000 = 298 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $-332 + 298 = -34 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst worden.

In de onderzijde is er $763 + 298 = 1061 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1061}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,38 \approx 10$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -6,53 + 10,37 = 3,84 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{3,84}{435 * 0,1558} * 1000 = 57 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 6,53 + 10,37 = 16,90 \text{ kNm/m} \quad (1.6)$$

$$A_{s,px,m} = \frac{16,90}{435 * 0,1558} * 1000 = 249 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 175,04 + 62,03 = 237,07 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{237,07}{435} * 1000 = 545 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $57 + 545 = 602 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{602}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,32 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $249 + 545 = 794 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{794}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,02 \approx 8$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 42,89 + 10,37 = 53,26 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -4,89 + 10,37 = 5,48 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{53,26}{435 * 0,1444} * 1000 = 848 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -42,89 + 10,37 = -32,52 \text{ kNm/m} \quad (1.7)$$

$$m_{py,m} = 4,89 + 10,37 = 15,26 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{15,26}{435 * 0,1444} * 1000 = 243 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -16,23 + 62,03 = 45,80 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{45,80}{435} * 1000 = 105 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $848 + 105 = 953 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{953}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,43 \approx 9$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $243 + 105 = 348 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 8 mm in diameter, dan zijn er $\frac{348}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 6,92 \approx 7$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 19,74 + 10,37 = 30,11 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = -3,00 + 10,37 = 7,37 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{30,11}{435 * 0,1558} * 1000 = 444 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -19,74 + 10,37 = -9,37 \text{ kNm/m} \quad (1.8)$$

$$m_{px,r} = 3,00 + 10,37 = 13,37 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{13,37}{435 * 0,1558} * 1000 = 197 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 95,70 + 62,03 = 157,73 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{157,73}{435} * 1000 = 363 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $444 + 363 = 807 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{807}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,14 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $197 + 363 = 560 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{560}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,95 \approx 5$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,80 + 10,37 = 5,57 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 5,48 + 10,37 = 15,85 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{15,85}{435 * 0,1444} * 1000 = 252 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,80 + 10,37 = 15,17 \text{ kNm/m} \quad (1.9)$$

$$m'_{px,r} = -5,48 + 10,37 = 4,89 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{15,17}{435 * 0,1444} * 1000 = 242 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{py} = 81,38 + 62,03 = 143,41 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{143,41}{435} * 1000 = 330 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $252 + 330 = 582 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapeningsstaal nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{582}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,15 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $242 + 330 = 572 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier zal zullen staven van 12 mm in diameter komen, dan zijn er $\frac{572}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,06 \approx 6$ staven per meter nodig.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 8 = 166 \text{ mm}$, deze waarde is iets groter dan de aangenomen waarde van 164 mm, het verschil maakt echter niet uit voor de benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - 8 - \frac{1}{2} * 12 = 156 \text{ mm}$, deze waarde is iets groter dan de aangenomen waarde van 152 mm, het verschil maakt echter niet uit voor de benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$. Dit is dezelfde waarde als de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, dus ook de aangenomen effectieve dikte in y-richting was goed.

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen waarde van 152 mm.

Overzicht

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel I.2.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	6 staven per meter, $\phi 8$	7 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	12 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	7 staven per meter $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 12$

Tabel I.2.: Wapening overzicht model met 2 ribben

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,20\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 6 + 12^2 * 9)}{200 * 1000} = 0,66\%
 \end{aligned} \tag{I.10}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,20 * 0,66} = 0,36\% \tag{I.11}$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 12 + 8^2 * 7)}{200 * 1000} = 0,85\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,67\%
 \end{aligned} \tag{I.12}$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,85 * 0,67} = 0,75\% \quad (1.13)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,75 + 6 * 8 * 0,36}{10 * 12} = 0,59\% \quad (1.14)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 8 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,79\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 7 + 12^2 * 9)}{200 * 1000} = 0,68\% \end{aligned} \quad (1.15)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,79 * 0,68} = 0,73\% \quad (1.16)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 8)}{200 * 1000} = 0,74\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,68\% \end{aligned} \quad (1.17)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,74 * 0,68} = 0,71\% \quad (1.18)$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,83 * 4 * 0,71 + (4 * 2,83 + 6 * 2,83) * 0,73}{10 * 2,83 + 12 * 2,83} = 0,72\% \quad (1.19)$$

I.3. Gegevens bij dunner model

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Het model is nu met een wand- en vloerdikte van 135 mm in Scia Engineer gebouwd. De opbolling is gecontroleerd en is nu 36,3 mm, wat voldoet aan de maximaal toelaatbare eis van 40 mm.

Door de lichter gedimensioneerde onderbouw is de diepgang nu kleiner, en dus ook de hoogte van het drijflichaam is kleiner. Hierdoor is ook de horizontale belasting kleiner. Dit is berekend in figuur I.13.

$$\begin{aligned}
 &restart; \\
 &b := 10; \\
 &l := 12; \\
 &dv := 0.135; dw := 0.135; gammab := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000}; h_rib_b := 0.667; b_rib_b := 0.223; h_rib_l \\
 &\quad := 0.8; b_rib_l := 0.267; nb := 2; nl := 0; \\
 &\quad \quad \quad 24.52500000 \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Volume drijflichaam:} \\
 &V := b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \\
 &\quad \cdot nl; \\
 &\quad \quad \quad 21.847820 + 5.940 h \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &Feigen := V \cdot gammab \cdot 1.2 + 1270.8; \\
 &\quad \quad \quad 1913.781343 + 174.8142000 h \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Archmides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:} \\
 &\rho := 1000; \\
 &g := 9.81; \\
 &eq1 := \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen; \\
 &\quad \quad \quad 1177.200000 h = 1913.781343 + 174.8142000 h \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &solution := solve(\{eq1\}, \{h\}); \\
 &\quad \quad \quad \{h = 1.909226311\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

assign(solution);

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Resultaten:} \\
 &diepgang := h; \\
 &\quad \quad \quad 1.909226311 \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &hoogte := diepgang + 0.45; \\
 &\quad \quad \quad 2.359226311 \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &horizontale_kracht := \frac{\rho \cdot g \cdot diepgang}{1000}; \\
 &\quad \quad \quad 18.72951011 \quad (8)
 \end{aligned}$$

Figuur I.13.: Diepgang model met 2 ribben en dikte 135 mm

Stabiliteit

In figuur I.14 is de nieuwe stabiliteit van het model met 2 ribben met de aangepaste vloer- en wanddikte bepaald met behulp van Maple.

restart;
 $b := 10 : l := 12 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : \text{diepgang} := 1.91 : hd := \text{diepgang} + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 2 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nl := 0 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$$

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$$

Gewicht ribben:

$$G_{rb} := h_rib_b \cdot b_rib_b \cdot b \cdot nb :$$

$$G_{rl} := h_rib_l \cdot b_rib_l \cdot l \cdot nl :$$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_b}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_l}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$$

Drukkingspunt B:

$$B := \frac{\text{diepgang}}{2} ;$$

0.9550000000

Afstand Metacentrum Mc tot B:

$$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$$

1000

$$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b ;$$

229.20

$$BMc := \frac{I_x}{V} ;$$

4.363001745

Metacentrum vanaf onder:

$$M := B + BMc ;$$

5.318001745

$$MG := M - G ;$$

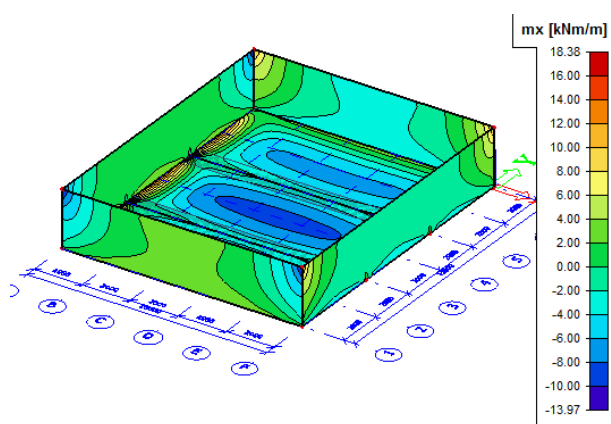
2.613865970

Figuur I.14.: Stabiliteit bepaling nieuw model met 2 ribben

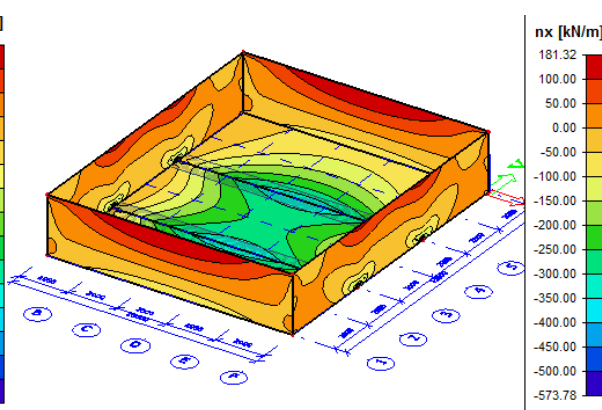
Nieuwe interne krachten bij kleinere dikte

Deze resultaten zijn meegenomen bij het model in Scia Engineer.

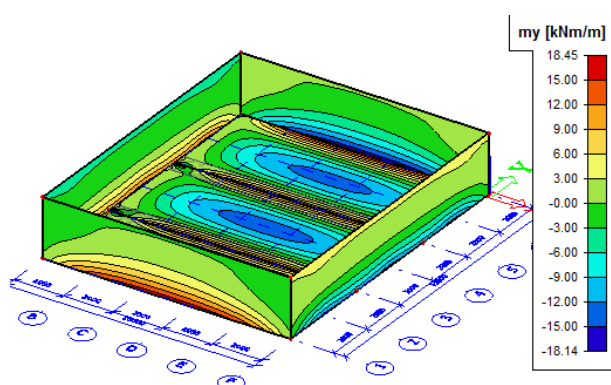
De interne krachten van het model met 2 ribben zijn weergegeven in figuren I.15, I.16, I.17, I.18, I.19 en I.20.



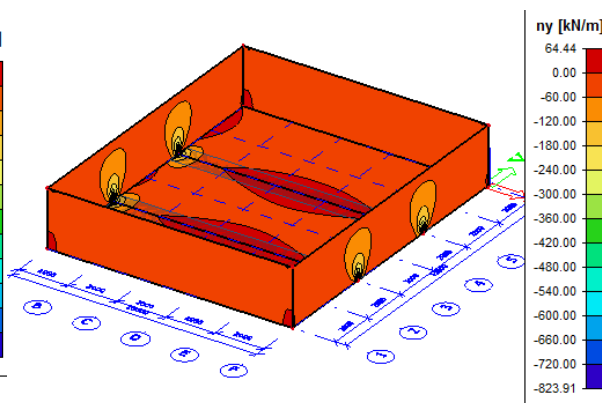
Figuur I.15.: Interne krachten, m_x



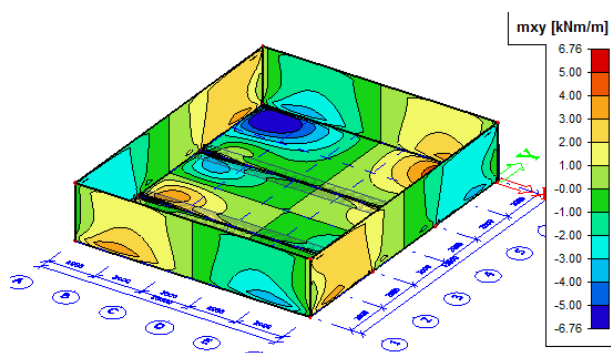
Figuur I.16.: Interne krachten, n_x



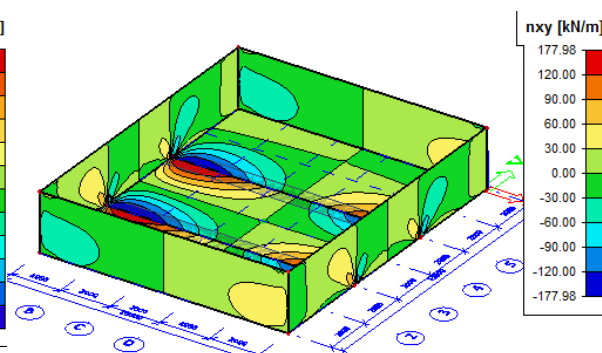
Figuur I.17.: Interne krachten, m_y



Figuur I.18.: Interne krachten, n_y



Figuur I.19.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur I.20.: Interne krachten, n_{xy}

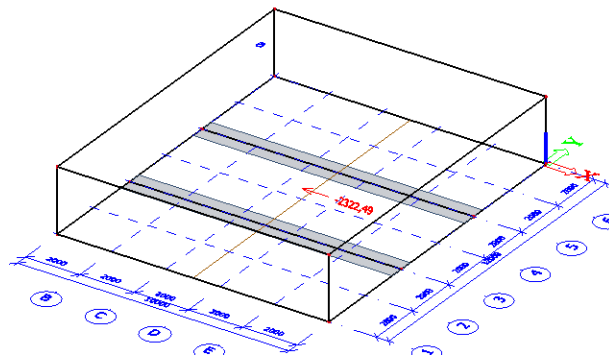
In kNm/m	mx	my	 mxy 	nx	ny	 nxy
Vloer midden	-8,54	-13,33 13,96	6,76	-342,75 -90,00	37,06	177,98
Vloer randen	18,38	18,45 -18,14	6,76	-7,13	-457,47 37,14	177,98
Wanden midden	-3,52 2,60	17,24 -4,53	3,80	181,32 -573,78	-823,91 -3,39	89,80
Wanden randen	13,97 -1,64	4,53 -7,79	3,80	83,13 -38,78	64,44 -40,28	89,80
-	Mx	My	Mz	N		
Rib	-5,80 5,80	-133,56 10,33	-1,12 1,12	1054,27 -0,61		

Tabel I.3.: Nieuw overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 2 ribben

I.4. Controle orde grootte momenten, model met 2 ribben

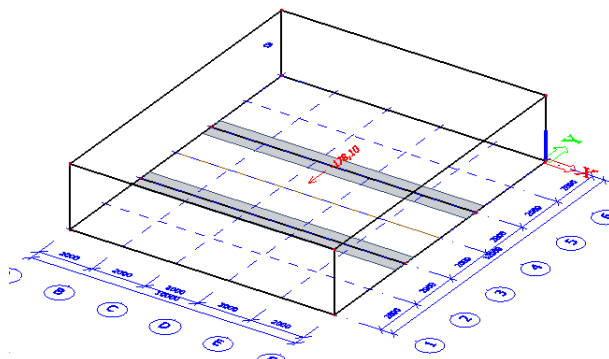
Normaalkracht

De snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 2322,49 kN, zie figuur I.21.



Figuur I.21.: Fx

De volgende snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 178,10 kN, zie figuur I.22.



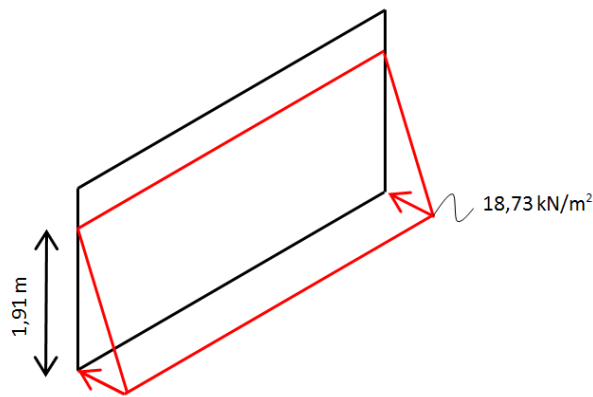
Figuur I.22.: Fy

Scia Engineer geeft een trekkracht van 1054,27 kN in de rib.

In figuur I.23 is de horizontale belasting op een wand weergegeven. Op een wand van 12 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 18,73 * 1,91 * 12 = 214,65 \text{ kN}$ en op een wand van 10 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 18,73 * 1,91 * 10 = 178,87 \text{ kN}$.

De resultante normaaldrukkracht in de vloer in de x-richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkracht die verwacht wordt door de horizontale belasting: $2322,27 - 1054,27 * 2 = 213,73 \text{ kN}$. Er wordt namelijk 214,65 kN verwacht.

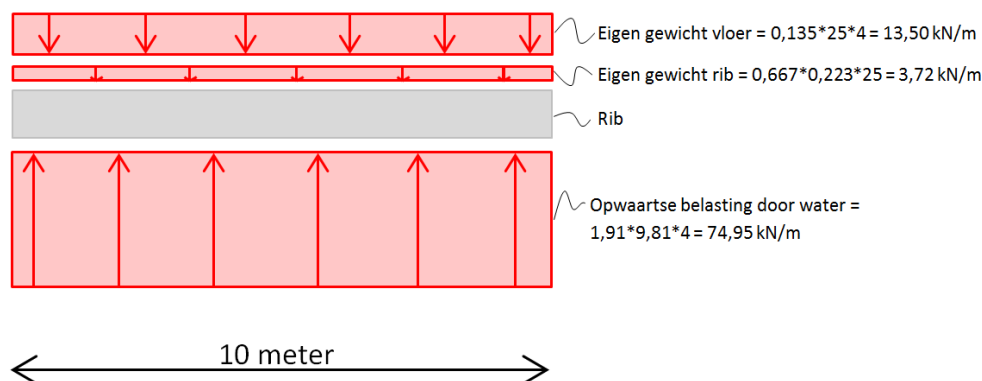
De resultante normaaldrukkracht in de vloer in de y-richting komt ongeveer overeen met de te verwachte waarde; 178,10 kN, waar 178,87 kN verwacht wordt.



Figuur I.23.: Horizontale belasting op een wand

Ribben, opbuigend moment

Het model met vloerdikte van 135 mm en wanddikte van 135 mm en 2 ribben wordt bekeken. In figuur I.24 is de belastingsituatie voor een rib weergegeven. De resterende opwaartse belasting op



Figuur I.24.: Belastingsituatie rib

de rib is $74,95 - 3,72 - 13,50 = 57,73 \text{ kN/m}$. Als de rib nu wordt geschematiseerd als een ligger op twee steunpunten zou er het volgende buigende moment in het midden van de overspanning zijn:

$$M_{s_{mid}} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 57,73 \cdot 10^2 = 721,63 \text{ kNm} \quad (I.20)$$

Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is 133,56 kNm, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkracht en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{667}{2} + \frac{135}{2} = 401 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $1161,25 \cdot 0,401 = 465,66 \text{ kNm}$. Het totale moment in de rib is dan $133,56 + 465,66 = 599,22 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van 721,63 kNm. Een verklaring hiervoor is te vinden in bijlage H.4.

Wanden

In paragraaf ?? is een versimpeld mechanica schema weergegeven van een wand. Als we voor de eenvoud dezelfde berekening aanhouden als bij het model zonder ribben, dan zou de m_x in het midden van de wand hier zijn: $0,5 * 1,91 * 18,73 * \frac{1}{3} * 1,91 = 11,39 \text{ kNm/m}$. Scia Engineer geeft hier een waarde van 3,52 kNm/m. Dit komt dus niet overeen.

Als de m_y op dezelfde manier bepaald wordt als bij het model zonder rib, worden de volgende resultaten gevonden:

$$q_{gem} = \frac{0,45 * 0 + 1,91 * \frac{18,73}{2}}{1,91 + 0,45} = 7,58 \text{ kN/m}^2 \quad (1.21)$$

Het moment in het midden van de wand is dan:

$$m_y = \frac{1}{24} * 7,58 * 12^2 = 45,48 \text{ kNm/m} \quad (1.22)$$

Scia Engineer geeft 17,24 kNm/m. Deze waarden wijken af. Een verklaring waarom deze waarden afwijken van de waarden in Scia Engineer is gegeven in E.2.

Conclusie

De versimpelde handberekeningen lijken grofweg overeen te komen met de gevonden interne krachten in Scia Engineer. De afwijkende waarden zijn te verklaren; bij de handberekeningen voor het opbuigende moment in de rib is geen rekening gehouden met de exacte belastingafdracht van de vloer en bij de handberekeningen voor de momenten aan de randen van de vloer en wanden is er geen rekening gehouden met het complexere mechanisme die ook optreedt, namelijk dat de tegenwerkende vervormingen de momenten reduceren.

I.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 99 = 94,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 87 = 82,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{135*1000*20}{1000} = 2700 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -8,54 + 6,76 = -1,78 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-1,78}{435 * 0,09405} * 1000 = -44 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 8,54 + 6,76 = 15,30 \text{ kNm/m} \quad (1.23)$$

$$A_{s,m,b} = \frac{15,30}{435 * 0,09405} * 1000 = 374 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -90,00 + 177,98 = 87,98 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{87,98}{435} * 1000 = 202 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $-44 + 202 = 158 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. $\frac{158}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 3,14 \approx 4$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $374 + 202 = 576 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{576}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,09 \approx 6$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -13,33 + 6,76 = -6,57 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 13,96 + 6,76 = 20,72 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{20,72}{435 * 0,08265} * 1000 = 576 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 13,33 + 6,76 = 20,09 \text{ kNm/m} \quad (1.24)$$

$$m'_{py,m} = -13,96 + 6,76 = -7,20 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{20,09}{435 * 0,08265} * 1000 = 559 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 37,06 + 177,98 = 215,04 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{215,04}{435} * 1000 = 494 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $576 + 494 = 1070 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{1070}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,46 \approx 10$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $559 + 494 = 1053 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{1053}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,31 \approx 10$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 18,38 + 6,76 = 25,14 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{25,14}{435 * 0,09405} * 1000 = 614 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -18,38 + 6,76 = -11,62 \text{ kNm/m} \quad (1.25)$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-11,62}{435 * 0,09405} * 1000 = -284 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -7,13 + 177,98 = 170,85 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{170,85}{435} * 1000 = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $-284 + 393 = 109 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 8 mm in diameter; $\frac{109}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 2,17 \approx 3$ staven per meter. Er worden er echter 4 per meter geplaatst om aan de maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

In de onderzijde is $614 + 393 = 1007 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier wordt een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1007}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,90 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 18,45 + 6,76 = 25,21 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = -18,14 + 6,76 = -11,38 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{25,21}{435 * 0,08265} * 1000 = 701 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -18,45 + 6,76 = -11,69 \text{ kNm/m} \quad (1.26)$$

$$m'_{py,r} = 18,14 + 6,76 = 24,90 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{24,90}{435 * 0,08265} * 1000 = 693 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 37,14 + 177,98 = 215,12 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{215,12}{435} * 1000 = 495 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $693 + 495 = 1188 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{1188}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,50 \approx 11$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $701 + 495 = 1196 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1196}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,57 \approx 11$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -3,52 + 3,80 = 0,28 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 2,60 + 3,80 = 6,40 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{6,40}{435 * 0,09405} * 1000 = 156 \text{ mm}^2/m$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 3,52 + 3,80 = 7,32 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,m} = -2,60 + 3,80 = 1,20 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{7,32}{435 * 0,09405} * 1000 = 179 \text{ mm}^2/m$$

(1.27)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 181,32 + 89,80 = 271,12 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{271,12}{435} * 1000 = 623 \text{ mm}^2/m$$

Aan de buitenzijde is $156 + 623 = 779 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{779}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,89 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $179 + 623 = 802 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{802}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,09 \approx 8$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 17,24 + 3,80 = 21,04 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -4,53 + 3,80 = -0,73 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{21,04}{435 * 0,08265} * 1000 = 585 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -17,24 + 3,80 = -13,44 \text{ kNm/m} \quad (1.28)$$

$$m'_{py,m} = 4,53 + 3,80 = 8,33 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{8,33}{435 * 0,08265} * 1000 = 232 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -3,39 + 89,80 = 86,41 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{86,41}{435} * 1000 = 199 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $585 + 199 = 784 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{784}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,93 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $232 + 199 = 431 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{431}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,81 \approx 4$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 13,97 + 3,80 = 17,77 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = -1,64 + 3,80 = 2,16 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{17,77}{435 * 0,09405} * 1000 = 434 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -13,97 + 3,80 = -10,17 \text{ kNm/m} \quad (1.29)$$

$$m'_{px,r} = 1,64 + 3,80 = 5,44 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{5,44}{435 * 0,09405} * 1000 = 133 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 83,13 + 89,80 = 172,93 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{172,93}{435} * 1000 = 398 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $434 + 398 = 832 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{832}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,36 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $133 + 398 = 531 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{531}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,70 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,53 + 3,80 = -0,73 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 7,79 + 3,80 = 11,59 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{11,59}{435 * 0,08265} * 1000 = 322 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,53 + 3,80 = 8,33 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = -7,79 + 3,80 = -3,99 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{8,33}{435 * 0,08265} * 1000 = 232 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(I.30)

Normaalkracht :

$$n_{py} = 64,44 + 89,80 = 154,24 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{154,24}{435} * 1000 = 355 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $322 + 355 = 677 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{677}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,99 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $232 + 355 = 587 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{587}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,19 \approx 6$ staven nodig.

Rib

Er treedt een maximaal buigend moment van 133,56 kNm in het midden van de overspanning van de rib, dit moment is opbollend waarbij de trek dus aan de bovenkant van de rib zit. Aan de uiteindes van de rib zit er een moment van 10,33 kNm, deze is tegenovergesteld in richting. Er zit een maximale normaaltrekkkracht van 1054,27 kN in de rib.

Midden

De inwendige hefboomsarm kan bepaald worden als de diameters van de toegepaste wapening gekozen zijn. In de bovenzijde is zeer veel wapening nodig, er wordt een staafdiameter van 32 mm aangenomen. In de onderkant is door de grote trekkracht waarschijnlijk ook wapening nodig, hier wordt een staafdiameter van 20 mm aangenomen, deze hoeveelheid staven zal waarschijnlijk in 2 lagen gestopt moeten worden. De inwendige hefboomsarm is dan $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 32 * 0,5 - 20 * 1,5 = 666 \text{ mm}$. 10 mm is de staafdiameter van de beugelwapening.

De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned} A_s &= + \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= + \frac{133,56}{435 * 0,666} * 1000 + \frac{1054,27}{435} * 1000 = 2885 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{I.31})$$

Hier komen staven van 32 mm in diameter, dan zijn er $\frac{2885}{\frac{1}{4} * \pi * 32^2} = 3,59 \approx 4$ staven nodig.

En in de onderkant komt:

$$A_s = -\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}}$$

$$= -\frac{133,56}{435 * 0,666} * 1000 + \frac{1054,27}{435} * 1000 = 1963 \text{ mm}^2 \quad (1.32)$$

Hier komen staven van 25 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1963}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 6,25 \approx 7$ staven nodig. 7 staven is echter een oneven getal en lastig in twee lagen te plaatsen, dus worden er 8 staven geplaatst, 4 in elke laag.

Uiteinden

Door het kleinere buigende moment in de uiteindes zal de benodigde wapening in de boven- en onderzijde minder verschillen. Daarom worden nu in beide zijdes staven van 20 mm in diameter geplaatst. Dit geeft een inwendige hefboomsarm van $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 20 * 3 = 652 \text{ mm}$. De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$A_s = -\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}}$$

$$= -\frac{10,33}{435 * 0,652} * 1000 + \frac{1054,27}{435} * 1000 = 2387 \text{ mm}^2 \quad (1.33)$$

Hier komen staven van 20 mm in diameter, dan zijn er $\frac{2387}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 7,60 \approx 8$ staven nodig.

En in de onderkant komt:

$$A_s = +\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}}$$

$$= +\frac{10,33}{435 * 0,652} * 1000 + \frac{1054,27}{435} * 1000 = 2460 \text{ mm}^2 \quad (1.34)$$

Hier komen staven van 20 mm in diameter, dan zijn er $\frac{2460}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 7,83 \approx 8$ staven nodig.

Er komen in de onder- en bovenzijde dus 4 staven per laag, dit geeft een staafafstand van $\frac{223-35*2}{3} = 51 \text{ mm}$. Dit is groter dan 27 mm (korreldiameter+5), en voldoet dus aan de eis van minimaal toelaatbare staafafstand.

Overzicht

In tabel 1.4 is de wapening die in het drijflichaam wordt geplaatst volgens bovenstaande berekeningen weergegeven.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, deze waarde komt ook overeen met de aangenomen waarde.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter, $\phi 12$	4 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
	4 staven $\phi 32$	8 staven $\phi 20$
Rib, uiteinden	8 staven $\phi 20$	8 staven $\phi 20$

Tabel I.4.: Nieuw wapening overzicht model met 2 ribben

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$. De aangenomen waarde was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen waarde van 87 mm.

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel 6.3.

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 12^2 * 6)}{135 * 1000} = 0,65\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 10)}{135 * 1000} = 1,68\%\end{aligned}\quad (1.35)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,65 * 1,68} = 1,04\% \quad (1.36)$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 8^2 * 4)}{135 * 1000} = 0,90\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 12^2 * 11)}{135 * 1000} = 1,84\%\end{aligned}\quad (1.37)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,90 * 1,84} = 1,29\% \quad (1.38)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 1,29 + 6 * 8 * 1,04}{10 * 12} = 1,19\% \quad (1.39)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 8 + 12^2 * 7)}{135 * 1000} = 1,26\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 4 + 12^2 * 7)}{135 * 1000} = 0,92\%\end{aligned}\quad (1.40)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,26 * 0,92} = 1,08\% \quad (1.41)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,09\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 6)}{135 * 1000} = 1,01\%\end{aligned}\quad (1.42)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,09 * 1,01} = 1,05\% \quad (I.43)$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,36 * 4 * 1,05 + (4 * 2,36 + 6 * 2,36) * 1,08}{10 * 2,36 + 12 * 2,36} = 1,06\% \quad (I.44)$$

Ribben

De ribben kunnen geschematiseerd worden als T-liggers, omdat een deel van de vloer gerekend kan worden als onderdeel van de drukzone. In Eurocode 2 is een vereenvoudigde methode te vinden om de meewerkende breedte te bepalen, zie figuur H.29. De volgende vergelijkingen horen daarbij:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \quad (I.45)$$

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0$$

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 10 = 7 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en $b_2 - \frac{0,223}{2} = 1,89 \text{ m}$.

$$b_{eff,1} = 0,2 * 1,89 + 0,1 * 7 = 1,078 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \quad (I.46)$$

$$b_{eff,2} = 0,2 * 1,89 + 0,1 * 7 = 1,078 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m}$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,078 + 1,078 + 0,223 = 2,379 \text{ m} \leq 4 \text{ m}$.

Als de hoogte van de drukzone niet groter is dan de dikte van de vloer, mag voor het berekenen van het wapeningspercentage de hoogte van de rib maal de effectieve breedte worden genomen.

$$\sigma = \frac{4 * \frac{1}{4} * \pi * 32^2 * 435}{2379 * 0,75 * x_u} = 20,0 \text{ N/mm}^2 \quad (I.47)$$

$$x_u = 39 \text{ mm}$$

De maximaal toelaatbare spanning in de drukzone in het beton is $f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$. Dus de drukzone is 39 mm, dit is kleiner dan 135 mm.

Het wapeningspercentage in het midden van de ribben wordt dan:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 32^2}{802 * 2379} = 0,17\% \quad (I.48)$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 20^2}{802 * 2379} = 0,13\% \quad (I.49)$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de ribben is dan:

$$\frac{0,5 * 0,13 + 9,5 * 0,17}{10} = 0,17\% \quad (I.50)$$

Minimum wapeningspercentage

Om te voorkomen dat de constructie bezwijkt zonder waarschuwing in de vorm van scheuren in de trekzone, is er een minimum vereist wapeningspercentage. Een versimpelde tabel is te vinden in het dictaat Gewapend Beton[5]. Deze tabel is weergegeven in figuur H.30. Met behulp van interpolatie kan gevonden worden dat voor het beton C30/37 en een hoogte groter dan 600 mm een minimum wapeningspercentage geldt van $\frac{0,11+0,13}{2} = 0,12\%$. Hieraan wordt dus voldaan.

I.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

De fictieve elasticiteitsmodulus is te bepalen met tabel NB-1 uit de Nationale Bijlagen van Eurocode 2, deze is weergegeven in figuur E.30.

De berekeningen zijn voor dit model uitgevoerd met behulp van Maple, dit is weergegeven in figuur I.25.

$$\begin{aligned} &restart; \\ &Q1 := 3.6 : Q2 := 49.95 : l := 12 : b := 10 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : diepgang := 1.91 : rho \\ &\quad := 1000 : g := 9.81 : wapeningrhow := 0.0106 : wapeningrhov := 0.0119 : fcd := 20 : fyd \\ &\quad := 435 : \end{aligned} \tag{1}$$

Normaalkrachten:

$$\begin{aligned} NEdw1 &:= Q1 \cdot b \cdot 1000 : \\ NEdw2 &:= Q2 \cdot l \cdot 1000 : \\ NEdv1 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot rho \cdot g \cdot diepgang \cdot b : \\ NEdv2 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot rho \cdot g \cdot diepgang \cdot l : \end{aligned}$$

Beton oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Acw1 &:= (dw \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acw2 &:= (dw \cdot l) \cdot 10^6 : \\ Acv1 &:= (dv \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acv2 &:= (dv \cdot l) \cdot 10^6 : \end{aligned}$$

Staal oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Asw1 &:= wapeningrhow \cdot Acw1 : \\ Asw2 &:= wapeningrhow \cdot Acw2 : \\ Asv1 &:= wapeningrhov \cdot Acv1 : \\ Asv2 &:= wapeningrhov \cdot Acv2 : \end{aligned}$$

Alpha's:

$$\begin{aligned} \alpha_{nw1} &:= \frac{NEdw1}{(fcd \cdot Acw1 + Asw1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nw2} &:= \frac{NEdw2}{(fcd \cdot Acw2 + Asw2 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv1} &:= \frac{NEdv1}{(fcd \cdot Acv1 + Asv1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv2} &:= \frac{NEdv2}{(fcd \cdot Acv2 + Asv2 \cdot fyd)} : \end{aligned}$$

Elasticiteitsmodulussen:

$$Efw1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhow + (20 - 196 \cdot wapeningrhow) \cdot \alpha_{nw1}) \cdot 1000; \tag{2}$$

$$Efw2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhow + (20 - 196 \cdot wapeningrhow) \cdot \alpha_{nw2}) \cdot 1000; \tag{3}$$

$$Efv1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv1}) \cdot 1000; \tag{4}$$

$$Efv2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv2}) \cdot 1000; \tag{5}$$

Figuur I.25.: Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

Voor de wanden van 10 m wordt een fictieve elasticiteitsmodulus van 6559 N/mm² gevonden,

voor de wanden van 12 meter wordt een waarde van 6809 N/mm², en voor de vloer is een waarde van 7194 N/mm².

I.7. Kosten

Voor het wapeningspercentage in de ribben wordt nu de volgende waarde ingevuld:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 32^2 + 8 * 0,25 * \pi * 20^2}{667 * 223} = 3,85\% \quad (I.51)$$

De kosten zijn met behulp van Maple berekend:

restart;

*dv := 0.135 : dw := 0.135 : l := 12 : b := 10 : h := 2.36 : Gamma_s := 7800 : rho_vloer := 0.0119 :
rho_wanden := 0.0106 : rho_ribb := 0.0385 : rho_ribl := 0 : hb := 0.667 : hl := 0.8 : bb
:= 0.223 : bl := 0.267 : nb := 2 : nl := 0 :*

Vloer:

Kosten_vloer := dv·l·b·400;

€6.480,00 (1)

Wanden:

Kosten_wanden := (2·l·h + 2·b·h)·175 + dw·300;

€18.212,50 (2)

Ribben:

Kosten_ribben := (nb·b·hb + nl·l·hl)·175 + (nb·bb + nl·bl)·300;

€2.468,30 (3)

Wapening:

wap_vloer := rho_vloer·dv·l·b·7800 :

wap_wanden := rho_wanden·(2·b·h·dw + 2·l·h·dw)·7800 :

wap_ribben := (rho_ribb·nb·hb·bb·b + rho_ribl·nl·hl·bl·l)·7800 :

Kosten_wapening := (wap_vloer + wap_wanden + wap_ribben)·1.0;

€3.556,06 (4)

Totale kosten:

Kosten_vloer + Kosten_wanden + Kosten_ribben + Kosten_wapening;

€30.716,86 (5)

Figuur I.26.: Kosten berekening model met 2 ribben

J. Model met 2 gekruiste ribben

J.1. Gegevens bij eerste model met 2 gekruiste ribben

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Met behulp van Maple zijn de diepgang en de hoogte van het drijflichaam en de horizontale belasting op het drijflichaam berekent. Zie figuur J.1. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

$$\begin{aligned}
 &restart; \\
 &b := 10; \\
 &l := 12; \\
 &dv := 0.2 : dw := 0.2 : \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000}; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l := 0.8 : \\
 &b_rib_l := 0.267 : nb := 1 : nl := 1 : \\
 &24.52500000 \tag{1}
 \end{aligned}$$

Volume drijflichaam:

$$\begin{aligned}
 V &:= b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \cdot nl; \\
 &32.010610 + 8.8 h \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Feigen &:= V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8; \\
 &2212.872252 + 258.9840000 h \tag{3}
 \end{aligned}$$

Archmides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

$$\begin{aligned}
 \rho &:= 1000; \\
 g &:= 9.81; \\
 eq1 &:= \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen; \\
 &1177.200000 h = 2212.872252 + 258.9840000 h \tag{4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 solution &:= solve(\{eq1\}, \{h\}); \\
 &\{h = 2.409969171\} \tag{5}
 \end{aligned}$$

assign(solution);

Resultaten:

$$\begin{aligned}
 diepgang &:= h; \\
 &2.409969171 \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 hoogte &:= diepgang + 0.45; \\
 &2.859969171 \tag{7}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 horizontale_kracht &:= \frac{\rho \cdot g \cdot diepgang}{1000}; \\
 &23.64179757 \tag{8}
 \end{aligned}$$

Figuur J.1.: Diepgang model met 2 gekruiste ribben

Stabiliteit

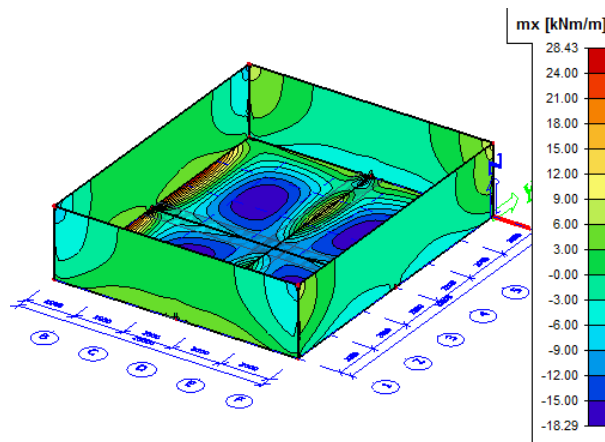
Ook bij de modellen met ribben wordt enkel getoetst aan de stabiliteitseis: $MG \geq 0,25$ m. Met behulp van Maple is deze afstand berekend, zie figuur J.2. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

$$\begin{aligned}
 & \text{restart;} \\
 & b := 10 : l := 12 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 2.41 : \\
 & \quad hd := diepgang + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 1 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l \\
 & \quad := 0.267 : nl := 1 : \\
 \\
 & \textbf{Zwaartepunt berekenen:} \\
 & \textbf{Gewicht wanden woning:} \\
 & Gw := 12 \cdot 3 \cdot Qw \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Qw \cdot 2 \cdot 2 : \\
 & \textbf{Gewicht vloer woning:} \\
 & Gvp := 10 \cdot 12 \cdot Qvp : \\
 & Gvv := 10 \cdot 12 \cdot Qvv : \\
 & \textbf{Gewicht wanden drijflichaam:} \\
 & Gwd := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) : \\
 & \textbf{Gewicht vloer drijflichaam:} \\
 & Gvd := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv : \\
 & \textbf{Gewicht ribben:} \\
 & Grb := h_rib_b \cdot b_rib_b \cdot nb : \\
 & Grl := h_rib_l \cdot b_rib_l \cdot nl : \\
 \\
 & \textbf{Zwaartepunt vanaf onderkant:} \\
 & S := Gw \cdot (hd + 3) + Gvp \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + Gvv \cdot (hd + (hd + 3)) + Gwd \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) \\
 & \quad + Grb \cdot \left(dv + \frac{h_rib_b}{2} \right) + Grl \cdot \left(dv + \frac{h_rib_l}{2} \right) : \\
 & G := \frac{S}{Gw + Gvp \cdot 3 + Gvv \cdot 2 + Gwd + Gvd + Grb \cdot nb + Grl \cdot nl} ; \\
 \\
 & \textbf{Drukkingspunt B:} \\
 & B := \frac{diepgang}{2} ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 1.205000000 \qquad \qquad \qquad (1) \\
 \\
 & \textbf{Afstand Metacentrum Mc tot B:} \\
 & Ix := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 1000 \qquad \qquad \qquad (2) \\
 & V := diepgang \cdot l \cdot b ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 289.20 \qquad \qquad \qquad (3) \\
 & BMc := \frac{Ix}{V} ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 3.457814661 \qquad \qquad \qquad (4) \\
 \\
 & \textbf{Metacentrum vanaf onder:} \\
 & M := B + BMc ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 4.662814661 \qquad \qquad \qquad (5) \\
 & MG := M - G ; \\
 & \qquad \qquad \qquad 2.110154610 \qquad \qquad \qquad (6) \\
 & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad (7)
 \end{aligned}$$

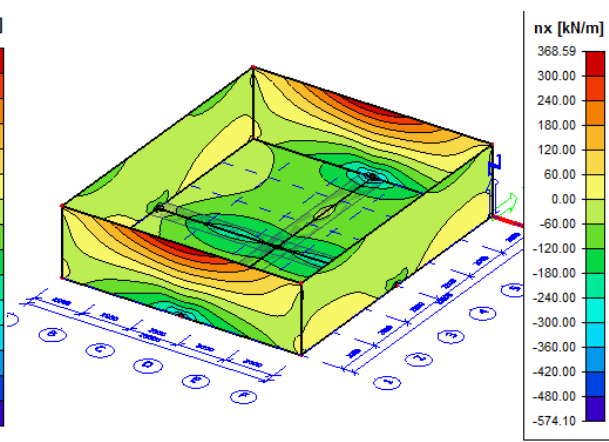
Figuur J.2.: Stabiliteit model met 2 gekruiste ribben

Interne krachten

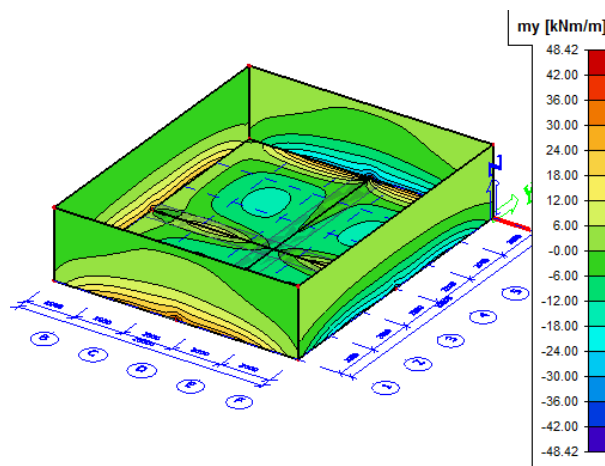
De interne krachten van het model met 2 gekruiste ribben zijn weergegeven in figuren J.3, J.4, J.5, J.6, J.7 en J.8.



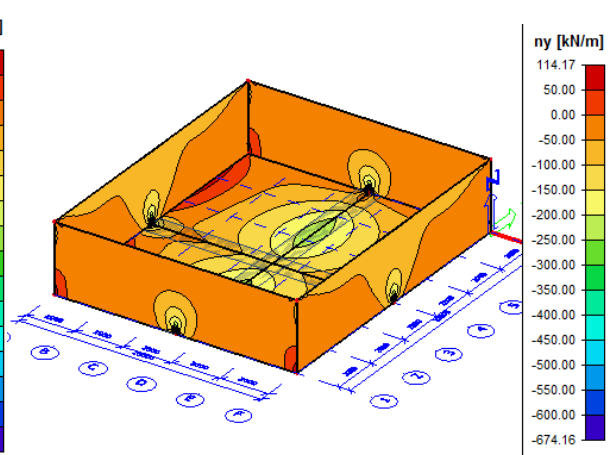
Figuur J.3.: Interne krachten, m_x



Figuur J.4.: Interne krachten, n_x



Figuur J.5.: Interne krachten, m_y



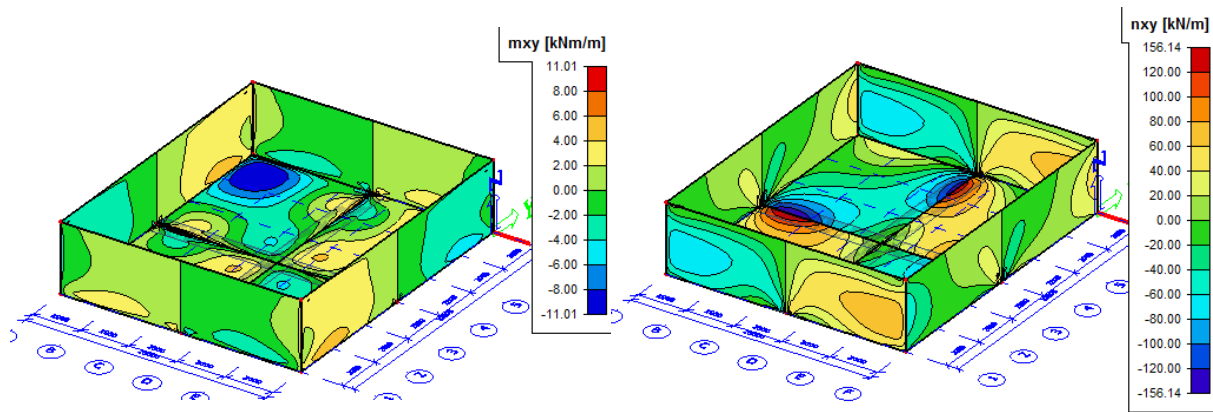
Figuur J.6.: Interne krachten, n_y

Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur I.9 gevonden met behulp van Scia Engineer.

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur J.10 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E3 is een wand van 10 meter lengte en E4 is een wand van 12 meter lengte.



Figuur J.7.: Interne krachten, mxy

Figuur J.8.: Interne krachten, nxy

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	439	Combi1	-18,29	-13,57	2,91	-79,35	-104,64	51,75
E1	426	Combi1	28,43	5,99	2,55	-30,28	55,08	18,95
E1	1160	Combi1	-18,09	-13,67	-2,92	-78,43	-112,43	-50,59
E1	23	Combi1	5,73	33,90	3,45	-281,79	-23,62	15,76
E1	870	Combi1	-0,72	0,53	-11,01	-45,07	-15,69	10,36
E1	105	Combi1	-0,72	0,53	11,01	-45,07	-15,69	-10,36
E1	730	Combi1	-3,39	1,01	-8,82	-90,55	-53,86	156,14
E1	1495	Combi1	-3,39	1,01	8,82	-90,55	-53,86	-156,14
E1	125	Combi1	-2,66	-2,15	-7,18	-144,79	-90,05	138,13
E1	2245	Combi1	-2,66	-2,15	-7,18	-144,79	-90,05	138,13
E1	25	Combi1	9,33	13,20	9,79	-477,88	43,32	-60,64
E1	726	Combi1	11,16	6,38	6,51	75,19	-321,26	-40,02
E1	1500	Combi1	11,16	6,38	-6,51	75,19	-321,26	40,02
E1	251	Combi1	24,40	5,57	4,09	-31,18	65,82	14,58

Figuur J.9.: Interne krachten vloer

Ribben

Voor de rib wordt voor de interne krachtenverdeling de waarden in figuur J.11 gevonden door Scia Engineer.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van het model met 2 ribben is te vinden in tabel J.1.

Vervorming

In figuur J.12 is de zakking van de constructie van het model met 2 gekruiste ribben te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2419 mm en een minimale zakking van 2400 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,41 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning

Staad	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E2	3651	Combi1	-10,89	-2,78	-2,43	77,71	-43,98	-33,51
E3	4481	Combi1	14,88	4,60	2,17	28,73	-6,83	-40,03
E3	3730	Combi1	4,19	-35,01	0,00	-385,44	-623,87	0,00
E2	3025	Combi1	-4,18	48,42	0,00	-574,10	-674,16	0,00
E2	3026	Combi1	4,06	34,58	-7,51	-373,83	-46,38	63,14
E2	3024	Combi1	4,06	34,58	7,51	-373,83	-46,38	-63,14
E2	3007	Combi1	3,87	18,84	1,33	-89,29	-32,40	-40,96
E2	3043	Combi1	3,87	18,84	-1,33	-89,29	-32,40	40,96
E3	3941	Combi1	2,72	0,53	2,98	-3,32	-11,13	-50,96
E2	3675	Combi1	2,43	-0,35	0,00	368,59	-2,52	0,00
E2	3050	Combi1	3,87	2,97	1,49	17,47	114,17	9,55
E2	3204	Combi1	-2,66	0,16	-0,23	-6,95	-11,35	-79,46
E2	3246	Combi1	-2,66	0,16	0,23	-6,95	-11,35	79,46

Figuur J.10.: Interne krachten wanden

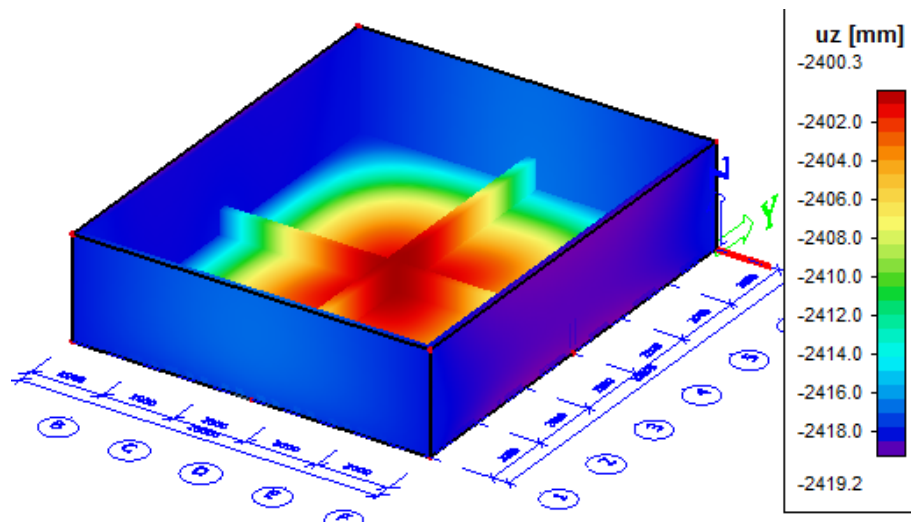
Staad	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S1	CS1 - Rechthoek	0,000	Combi1/1	-14,25	-2,05	-62,67	-1,76	11,91	-1,36
S1	CS1 - Rechthoek	5,000	Combi1/1	932,44	0,00	0,00	0,00	-100,76	0,86
S1	CS1 - Rechthoek	9,400	Combi1/1	104,63	-4,09	128,19	5,46	-8,78	-1,13
S1	CS1 - Rechthoek	0,600	Combi1/1	104,63	4,09	-128,19	-5,46	-8,78	-1,13
S1	CS1 - Rechthoek	1,000	Combi1/1	224,62	3,18	-138,19	-6,33	-24,26	-0,37
S1	CS1 - Rechthoek	9,000	Combi1/1	224,62	-3,18	138,19	6,33	-24,26	-0,37
S1	CS1 - Rechthoek	1,400	Combi1/1	348,53	2,30	-134,44	-6,52	-38,79	0,06
S1	CS1 - Rechthoek	8,600	Combi1/1	348,53	-2,30	134,44	6,52	-38,79	0,06
S1	CS1 - Rechthoek	0,200	Combi1/1	14,72	1,41	-88,52	-3,32	6,73	-1,84
S2	CS1 - Rechthoek	0,200	Combi1/1	14,72	-1,41	-88,52	3,32	6,73	1,84

Figuur J.11.: Interne krachten rib

is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2419 - 2400 = 19 \text{ mm}$. De opbolling is dus acceptabel.

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-18,29	-13,67	11,01	-90,55	-112,43	156,14
Vloer randen	28,43	33,90	11,01	-477,88 75,19	-321,26 65,82	156,14
Wanden midden	7,02 -4,19	48,42 -4,97	7,51	-574,10 368,59	-674,16 -2,52	79,46
Wanden randen	14,88 -3,87	4,60 -7,50	7,51	77,71 -6,95	114,17 -43,98	79,46
-	My	N				
Ribben	-35,02 4,05	-0,87 267,33				

Tabel J.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 2 gekruiste ribben



Figuur J.12.: Controle zakking drijflichaam, model met 2 gekruiste ribben

J.2. Wapening

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Het benodigde wapeningsoppervlak A_s kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} * z}, \quad A_s = \frac{N}{f_{yd}} \quad (J.1)$$

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 164 = 155,8 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 152 = 144,4 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{200*1000*20}{1000} = 4000 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden. Zoals in tabel J.9 en J.10 te zien is, wordt deze waarde nooit overschreden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -18,29 + 11,01 = -7,28 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-7,28}{435 * 0,1558} * 1000 = -107 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 18,29 + 11,01 = 29,30 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{29,30}{435 * 0,1558} * 1000 = 432 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.2)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -90,55 + 156,14 = 65,59 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{65,59}{435} * 1000 = 151 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $-107 + 151 = 44 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er staven van 8 mm in diameter geplaatst, dan zijn er $\frac{44}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 0,88 \approx 1$ staven per meter nodig. Er worden er echter 4 per meter geplaatst om aan de maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

In de bovenzijde is $432 + 151 = 583 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{583}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,15 \approx 6$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -13,67 + 11,01 = -2,66 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-2,66}{435 * 0,1444} * 1000 = -42 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 13,67 + 11,01 = 24,68 \text{ kNm/m} \quad (J.3)$$

$$A_{s,m,b} = \frac{24,68}{435 * 0,1444} * 1000 = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -112,43 + 156,14 = 43,71 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{43,71}{435} * 1000 = 100 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $-42 + 100 = 58 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{58}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 1,15 \approx 2$ staven per meter nodig. Er worden er echter 4 per meter geplaatst, om te voldoen aan de maximaal toelaatbare staafafstand.

In de bovenzijde is $393 + 100 = 493 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{493}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,36 \approx 5$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 28,43 + 11,01 = 39,44 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{39,44}{435 * 0,1558} * 1000 = 582 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -28,43 + 11,01 = -17,42 \text{ kNm/m} \quad (J.4)$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-17,42}{435 * 0,1558} * 1000 = -257 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 75,19 + 156,14 = 231,33 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{231,33}{435} * 1000 = 532 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $-257 + 532 = 275 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 8 mm in diameter; $\frac{275}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 5,47 \approx 6$ staven per meter.

In de onderzijde is $582 + 532 = 1114 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1114}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,85 \approx 10$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 33,90 + 11,01 = 44,91 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{44,91}{435 * 0,1444} * 1000 = 715 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -33,90 + 11,01 = -22,89 \text{ kNm/m} \quad (J.5)$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-22,89}{435 * 0,1444} * 1000 = -364 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 65,82 + 156,14 = 221,96 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{221,96}{435} * 1000 = 510 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $-364 + 510 = 146 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 8 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{146}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 2,90 \approx 3$ staven per meter nodig. Er worden er echter 4 per meter geplaatst om aan de maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

In de onderzijde is er $715 + 510 = 1225 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1225}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,83 \approx 11$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -7,02 + 7,51 = 0,49 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 4,19 + 7,51 = 11,70 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{11,70}{435 * 0,1558} * 1000 = 173 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 7,02 + 7,51 = 14,53 \text{ kNm/m} \quad (J.6)$$

$$m'_{px,m} = -4,19 + 7,51 = 3,32 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{14,53}{435 * 0,1558} * 1000 = 214 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 368,59 + 79,46 = 448,05 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{448,05}{435} * 1000 = 1030 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $173 + 1030 = 1203 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1203}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,64 \approx 11$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $214 + 1030 = 1244 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1244}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,0 \approx 11$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 48,42 + 7,51 = 55,93 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -4,97 + 7,51 = 2,54 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{55,93}{435 * 0,1444} * 1000 = 890 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -48,42 + 7,51 = -40,91 \text{ kNm/m} \quad (J.7)$$

$$m'_{py,m} = 4,97 + 7,51 = 12,48 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{12,48}{435 * 0,1444} * 1000 = 199 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -2,52 + 79,46 = 76,94 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{76,94}{435} * 1000 = 177 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $890 + 177 = 1067 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1067}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,43 \approx 10$ staven nodig.

Aan de binnenzijde is $199 + 177 = 376 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 8 mm in diameter, dan zijn er $\frac{376}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 7,48 \approx 8$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 14,88 + 7,51 = 22,39 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -3,87 + 7,51 = 3,64 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{22,39}{435 * 0,1558} * 1000 = 330 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -14,88 + 7,51 = -7,37 \text{ kNm/m} \quad (J.8)$$

$$m'_{px,r} = 3,87 + 7,51 = 11,38 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{11,38}{435 * 0,1558} * 1000 = 168 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 77,71 + 79,46 = 157,17 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{157,17}{435} * 1000 = 361 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $330 + 361 = 691 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{691}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,11 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $168 + 361 = 529 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{529}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,68 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,60 + 7,51 = 2,91 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 7,50 + 7,51 = 15,01 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{15,01}{435 * 0,1444} * 1000 = 239 \text{ mm}^2/m$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,60 + 7,51 = 12,11 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = -7,50 + 7,51 = 0,01 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{12,11}{435 * 0,1444} * 1000 = 193 \text{ mm}^2/m$$

(j.9)

Normaalkracht :

$$n_{py} = 114,17 + 79,46 = 193,63 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{193,63}{435} * 1000 = 445 \text{ mm}^2/m$$

Aan de buitenzijde is $239 + 445 = 684 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{684}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,05 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $193 + 445 = 638 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{638}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,64 \approx 6$ staven nodig.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, de aangenomen waarde was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$. Dit is dezelfde waarde als de aangenomen d_x .

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.

Overzicht

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel J.2.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	8 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 12$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	5 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	10 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 8$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 8$	7 staven per meter $\phi 12$

Tabel J.2.: Wapening overzicht model met 2 gekruiste ribben

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,44\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 12^2 * 5)}{200 * 1000} = 0,38\%
 \end{aligned}
 \tag{J.10}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,44 * 0,38} = 0,41\%
 \tag{J.11}$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 8^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,72\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,72\%\end{aligned}\quad (J.12)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,72 * 0,72} = 0,72\% \quad (J.13)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,72 + 6 * 8 * 0,41}{10 * 12} = 0,60\% \quad (J.14)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 12^2 * 11)}{200 * 1000} = 1,24\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 8 + 12^2 * 10)}{200 * 1000} = 0,77\%\end{aligned}\quad (J.15)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,24 * 0,77} = 0,98\% \quad (J.16)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 7)}{200 * 1000} = 0,68\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 7)}{200 * 1000} = 0,74\%\end{aligned}\quad (J.17)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,68 * 0,74} = 0,71\% \quad (J.18)$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,86 * 4 * 0,71 + (4 * 2,86 + 6 * 2,86) * 0,98}{10 * 2,86 + 12 * 2,86} = 0,83\% \quad (J.19)$$

J.3. Gegevens bij dunner model

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Het model is nu met een wand- en vloerdikte van 135 mm in Scia Engineer gebouwd. De opbolling is gecontroleerd en is nu 24,6 mm, wat ruim voldoet aan de maximaal toelaatbare eis van 40 mm. Door de lichter gedimensioneerde onderbouw is de diepgang nu kleiner, en dus ook de hoogte van het drijflichaam is kleiner. Hierdoor is ook de horizontale belasting kleiner. Deze nieuwe waarden zijn gevonden met behulp van maple, zie figuur J.13.

$$\begin{aligned} & \text{restart;} \\ & b := 10 : \\ & l := 12 : \\ & dv := 0.135 : dw := 0.135 : \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000} ; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l \\ & \quad := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nb := 1 : nl := 1 : \\ & \qquad \qquad \qquad 24.52500000 \end{aligned} \tag{1}$$

Volume drijflichaam:

$$\begin{aligned} V &:= b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \\ & \quad \cdot nl ; \\ & \qquad \qquad \qquad 22.923610 + 5.940 h \end{aligned} \tag{2}$$

$$Feigen := V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8;$$

$$1945.441842 + 174.8142000 h \tag{3}$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

$$\begin{aligned} \rho &:= 1000 : \\ g &:= 9.81 : \\ eq1 &:= \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen ; \\ & \qquad \qquad \qquad 1177.200000 h = 1945.441842 + 174.8142000 h \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \text{solution} &:= \text{solve}(\{eq1\}, \{h\}); \\ & \qquad \qquad \qquad \{h = 1.940811454\} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\text{assign}(\text{solution});$$

Resultaten:

$$\begin{aligned} \text{diepgang} &:= h; \\ & \qquad \qquad \qquad 1.940811454 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{hoogte} &:= \text{diepgang} + 0.45; \\ & \qquad \qquad \qquad 2.390811454 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \text{horizontale_kracht} &:= \frac{\rho \cdot g \cdot \text{diepgang}}{1000}; \\ & \qquad \qquad \qquad 19.03936036 \end{aligned} \tag{8}$$

Figuur J.13.: Diepgang model met 2 gekruiste ribben en dikte 135 mm

Stabiliteit

In figuur J.14 is de nieuwe stabiliteit van het model met 2 gekruiste ribben met de aangepaste vloer- en wanddikte bepaald met behulp van Maple.

restart;
 $b := 10 : l := 12 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : \text{diepgang} := 1.94 : hd := \text{diepgang} + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 1 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nl := 1 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$$

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$$

Gewicht ribben:

$$G_{rb} := h_rib \cdot b \cdot b_rib \cdot b \cdot b \cdot nb :$$

$$G_{rl} := h_rib \cdot l \cdot b_rib \cdot l \cdot l \cdot nl :$$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_rib \cdot b}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_rib \cdot l}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$$

Drukingspunt B:

$$B := \frac{\text{diepgang}}{2} ;$$

0.9700000000

Afstand Metacentrum Mc tot B:

$$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$$

1000

$$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b ;$$

232.80

$$BMc := \frac{I_x}{V} ;$$

4.295532646

Metacentrum vanaf onder:

$$M := B + BMc ;$$

5.265532646

$$MG := M - G ;$$

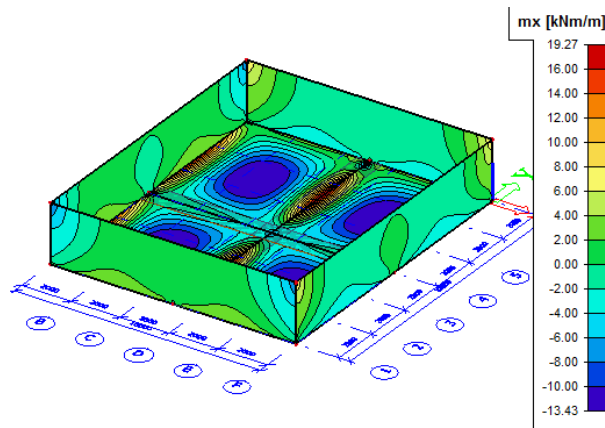
2.542401581

Figuur J.14.: Stabiliteit bepaling nieuw model met 2 gekruiste ribben

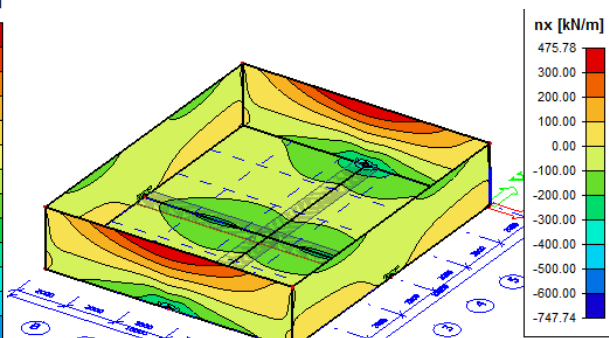
Nieuwe interne krachten bij kleinere dikte

Deze resultaten zijn meegenomen bij het model in Scia Engineer.

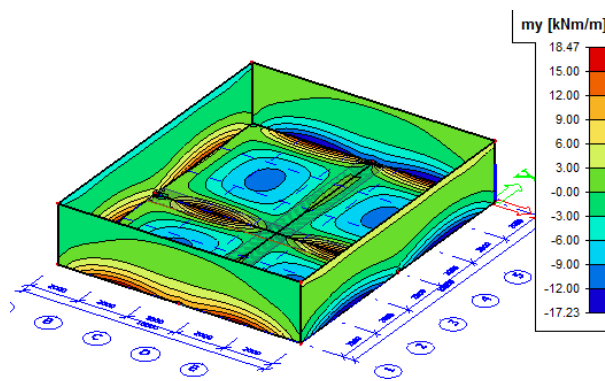
De interne krachten van het model met 2 gekruiste ribben zijn weergegeven in figuren J.15, J.16, J.17, J.18, J.19 en J.20.



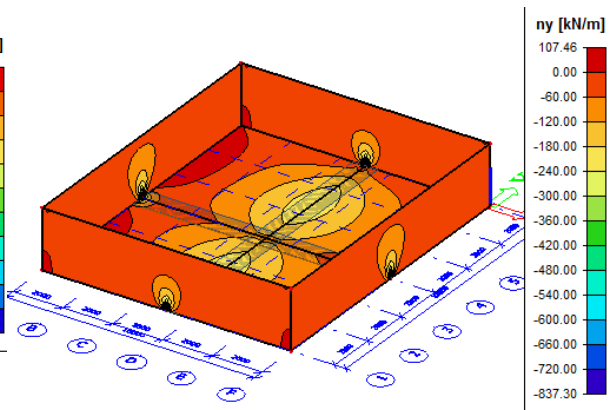
Figuur J.15.: Interne krachten, m_x



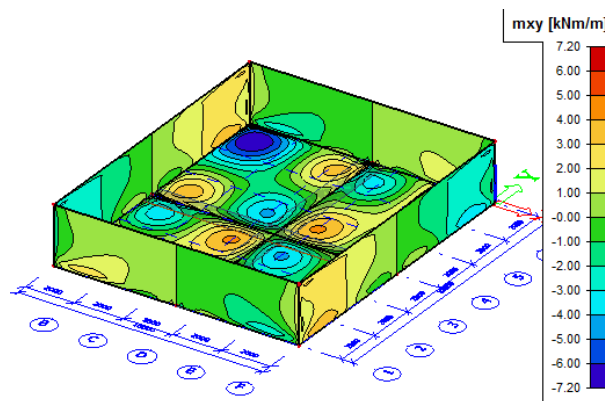
Figuur J.16.: Interne krachten, n_x



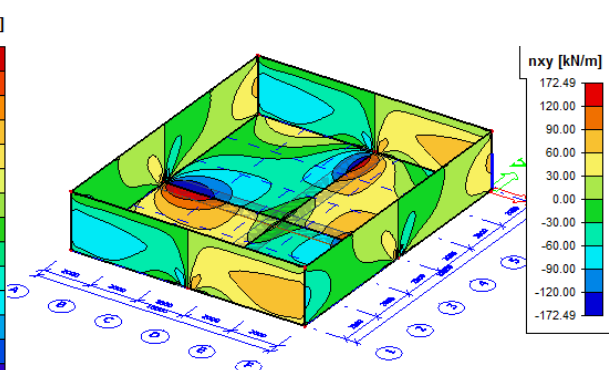
Figuur J.17.: Interne krachten, m_y



Figuur J.18.: Interne krachten, n_y



Figuur J.19.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur J.20.: Interne krachten, n_{xy}

In kNm/m	mx	my	 mxy 	nx	ny	 nxy
Vloer midden	-13,43 19,27	-11,30 18,47	7,20	-15,37	-88,35	172,49
Vloer randen	16,68 -1,01	17,24 -5,00	7,20	-15,37	-402,43 102,89	172,49
Wanden midden	-3,51 2,12	17,23 -4,19	3,99	475,78 -747,74	-837,30 -0,71	88,40
Wanden randen	12,04 -1,81	4,19 -8,32	3,99	78,79 -69,74	107,46 -49,04	88,40
-	My	N				
Rib	-129,81 15,10	954,54 0,56				

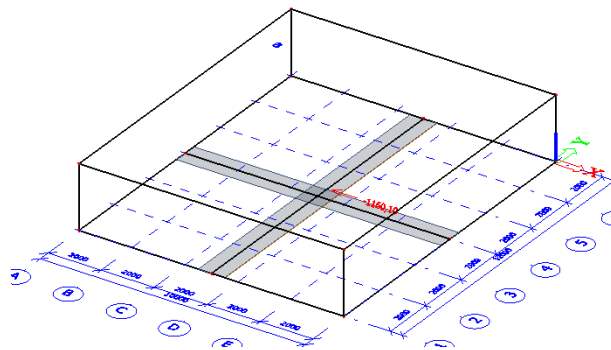
Tabel J.3.: Nieuw overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 2 gekruiste ribben

J.4. Controle orde-grootte momenten, model met 2 gekruiste ribben

Het model met vloerdikte van 135 mm en wanddikte van 135 mm en 2 gekruiste ribben wordt bekeken.

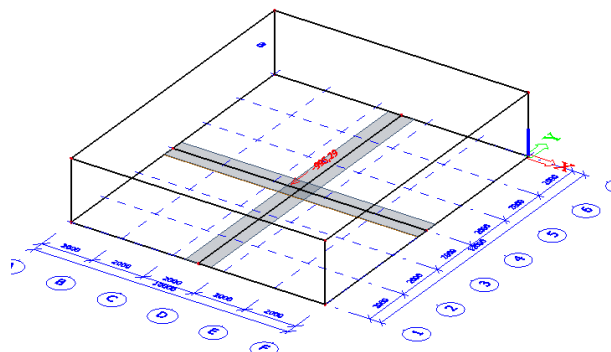
Normaalkracht

De snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkraft in de vloer van 1160,10 kN, zie figuur J.21.



Figuur J.21.: Fx

De volgende snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkraft in de vloer van 995,29 kN, zie figuur J.22.

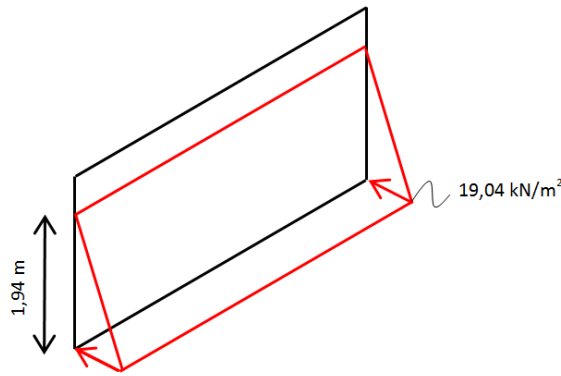


Figuur J.22.: Fy

Scia Engineer geeft een trekkracht van 816,50 kN in de rib die de lengte overspant en een trekkracht van 954,54 kN in de rib die de breedte overspant.

In figuur J.23 is de horizontale belasting op een wand weergegeven. Op een wand van 12 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 19,04 * 1,94 * 12 = 221,63 \text{ kN}$ en op een wand van 10 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 19,04 * 1,94 * 10 = 184,69 \text{ kN}$.

De resultante normaaldrukkraft in de vloer in de x-richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkraft die verwacht wordt door de horizontale belasting; $1160,10 - 954,54 = 205,56 \text{ kN}$. Er wordt namelijk 221,63 kN verwacht.



Figuur J.23.: Horizontale belasting op een wand

De resultante normaaldrukkraft in de vloer in de y -richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkraft die verwacht wordt door de horizontale belasting; $995,29 - 816,50 = 178,79 \text{ kN}$. Er wordt namelijk $184,69 \text{ kN}$ verwacht.

Ribben, opbuigend moment

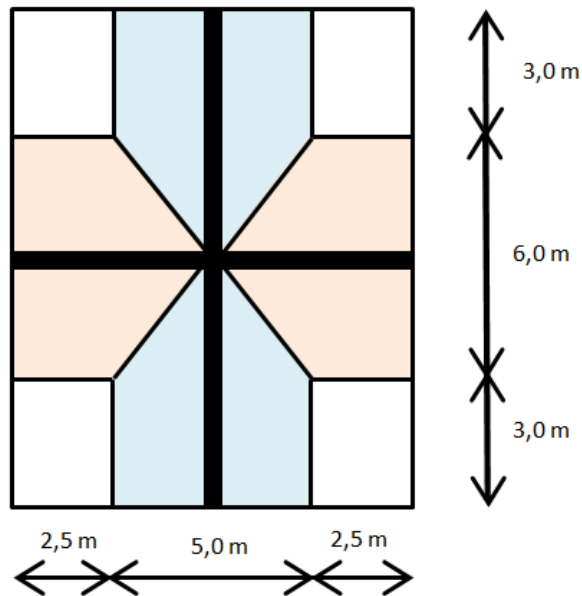
De rib die de breedte overspant heeft een opwaartse belasting van $1,94 * 9,81 * 6 = 114,19 \text{ kN/m}$, het eigen gewicht van de rib is hier $0,223 * 0,667 * 25 = 3,72 \text{ kN/m}$ en het eigen gewicht van de vloer dat door deze rib gedragen wordt is $0,135 * 25 * 6 = 20,25 \text{ kN/m}$. Dit geeft een totale opwaartse belasting van $114,19 - 3,72 - 20,25 = 90,22 \text{ kN/m}$.

De rib die de lengte overspant heeft een opwaartse belasting van $1,94 * 9,81 * 5 = 95,16 \text{ kN/m}$, het eigen gewicht van de rib is hier $0,800 * 0,267 * 25 = 5,34 \text{ kN/m}$ en het eigen gewicht van de vloer dat door deze rib gedragen wordt is $0,135 * 25 * 5 = 16,88 \text{ kN/m}$. Dit geeft een totale opwaartse belasting van $95,16 - 5,34 - 16,88 = 72,94 \text{ kN/m}$.

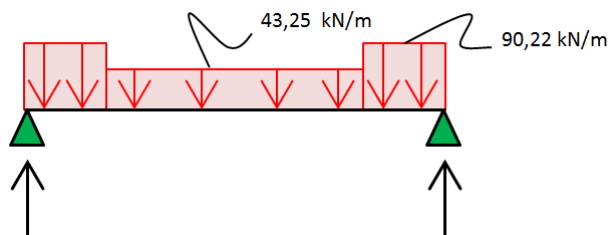
Waar deze ribben elkaar kruisen zullen de opwaartse belasting en belasting van de vloer minder zijn, omdat daar het oppervlak door 2 ribben wordt gedragen. Het oppervlak dat door de rib die de breedte overspant wordt gedragen is roze gearceerd in figuur J.24. Dit is $0,5 * 6 * 2,5 * 2 = 15 \text{ m}^2$. Dit geeft een gemiddelde q -last op dit deel van $1,94 * 9,81 * 3 - 0,135 * 3 * 25 - 0,223 * 0,667 * 25 = 43,25 \text{ kN/m}$. Als de rib als een ligger op 2 steunpunten wordt beschouwd, ziet het mechanica schema er uit zoals in figuur J.25. De horizontale oplegreacties zijn nul en de verticale zijn $\frac{90,22 * 5 + 43,25 * 5}{2} = 333,68 \text{ kN}$. Het moment in het midden van de overspanning kan nu met een snede bepaald worden: $333,68 * 5 - 90,22 * 2,5 * (2,5 + \frac{2,5}{2}) - 43,25 * 2,5 * \frac{2,5}{2} = 687,43 \text{ kNm}$.

Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is $106,77 \text{ kNm}$, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkracht en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{667}{2} + \frac{135}{2} = 401 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $1160,10 * 0,401 = 465,20 \text{ kNm}$. Het totale moment in de rib is dan $106,77 + 465,20 = 571,97 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van $687,43 \text{ kNm}$. Een verklaring hiervoor is te vinden in bijlage H.4.



Figuur J.24.: Plattegrond



Figuur J.25.: Mechanica schema met belasting

Dezelfde berekeningen kunnen gedaan worden voor de rib die de lengte overspant. Waar de twee ribben elkaar kruisen, draagt ook deze rib 15 m^2 . Dit geeft een gemiddelde q -last op dit deel van $1,94 * 9,81 * 2,5 - 0,135 * 2,5 * 25 - 0,267 * 0,800 * 25 = 33,80 \text{ kN/m}$. Deze rib kan net zoals hierboven als een ligger op twee steunpunten worden geschematiseerd. De horizontale oplegreacties zijn nul en de verticale zijn $\frac{72,94*6+33,801*6}{2} = 320,22 \text{ kN}$. Het moment in het midden van de overspanning kan nu met een snede bepaald worden: $320,22 * 6 - 72,94 * 3 * (3 + \frac{3}{2}) - 33,80 * 3 * \frac{3}{2} = 784,53 \text{ kNm}$.

Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is $129,81 \text{ kNm}$, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkracht en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{667}{2} + \frac{135}{2} = 401 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $995,29 * 0,401 = 399,11 \text{ kNm}$. Het totale moment in de rib is dan $129,81 + 399,11 = 528,92 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van $784,53 \text{ kNm}$. Een verklaring hiervoor is te vinden in

Wanden

In paragraaf ?? is een versimpeld mechanica schema weergegeven van een wand. Als we voor de eenvoud dezelfde berekening aanhouden als bij het model zonder ribben, dan zou de m_x in het midden van de wand hier zijn: $0,5 * 1,94 * 19,04 * \frac{1}{3} * 1,94 = 11,94 \text{ kNm/m}$. Scia Engineer geeft hier een waarde van 3,51 kNm/m. Dit komt niet overeen.

Als de m_y op dezelfde manier bepaald wordt als bij het model zonder rib, worden de volgende resultaten gevonden:

$$q_{gem} = \frac{0,45 * 0 + 1,94 * \frac{19,04}{2}}{1,94 + 0,45} = 7,73 \text{ kN/m}^2 \quad (J.20)$$

Het moment in het midden van de wand is dan:

$$m_y = \frac{1}{24} * 7,73 * 12^2 = 46,38 \text{ kNm/m} \quad (J.21)$$

Scia Engineer geeft 17,23 kNm/m. Een verklaring waarom deze waarden afwijken van de waarden in Scia Engineer is gegeven in E.2.

Conclusie

De versimpelde handberekeningen lijken grofweg overeen te komen met de gevonden interne krachten in Scia Engineer. De afwijkende waarden zijn te verklaren; bij de handberekeningen voor het opbuigende moment in de rib is geen rekening gehouden met de exacte belastingafdracht van de vloer en bij de handberekeningen voor de momenten aan de randen van de vloer en wanden is er geen rekening gehouden met het complexere mechanisme die ook optreedt, namelijk dat de tegenwerkende vervormingen de momenten reduceren.

J.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 99 = 94,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 87 = 82,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{135*1000*20}{1000} = 2700 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -13,43 + 7,20 = -6,23 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 19,27 + 7,20 = 26,47 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{26,47}{435 * 0,09405} * 1000 = 647 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 13,43 + 7,20 = 20,63 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -19,27 + 7,20 = -12,07 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{20,63}{435 * 0,09405} * 1000 = 504 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.22)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -15,37 + 172,49 = 157,12 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{157,12}{435} * 1000 = 361 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $647 + 361 = 1008 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{1008}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,91 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $504 + 361 = 865 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{865}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,65 \approx 8$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -11,30 + 7,20 = -4,10 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 18,47 + 7,20 = 25,67 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{25,67}{435 * 0,08265} * 1000 = 714 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 11,30 + 7,20 = 18,50 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -18,47 + 7,20 = -11,27 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{18,50}{435 * 0,08265} * 1000 = 515 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.23)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -88,35 + 172,49 = 84,14 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{84,14}{435} * 1000 = 193 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $714 + 193 = 907 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{907}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,02 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $515 + 193 = 708 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{708}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,26 \approx 7$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 16,68 + 7,20 = 23,88 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -1,01 + 7,20 = 6,19 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{23,88}{435 * 0,09405} * 1000 = 584 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -16,68 + 7,20 = -9,48 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,r} = 1,01 + 7,20 = 8,21 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{8,21}{435 * 0,09405} * 1000 = 201 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.24)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -15,37 + 172,49 = 157,12 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{157,12}{435} * 1000 = 361 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $201 + 361 = 562 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter; $\frac{562}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,97 \approx 5$ staven per meter.

In de onderzijde is $584 + 361 = 945 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staaf-diameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{945}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,36 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 17,24 + 7,20 = 24,44 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -5,00 + 7,20 = 2,40 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{24,44}{435 * 0,08265} * 1000 = 680 \text{ mm}^2/m$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -17,24 + 7,20 = -10,04 \text{ kNm/m} \quad (J.25)$$

$$m'_{py,r} = 5,00 + 7,20 = 12,20 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{12,20}{435 * 0,08265} * 1000 = 339 \text{ mm}^2/m$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 102,89 + 172,49 = 275,38 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{275,38}{435} * 1000 = 633 \text{ mm}^2/m$$

In de bovenzijde van de vloer is $339 + 633 = 972 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{972}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,59 \approx 9$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $680 + 633 = 1313 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1313}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 11,61 \approx 12$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -3,51 + 3,99 = 0,48 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 2,12 + 3,99 = 6,11 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{6,11}{435 * 0,09405} * 1000 = 149 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 3,51 + 3,99 = 7,50 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,m} = -2,12 + 3,99 = 1,87 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{7,50}{435 * 0,09405} * 1000 = 183 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.26)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 475,78 + 88,40 = 564,18 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{564,18}{435} * 1000 = 1297 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $149 + 1297 = 1446 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 16 mm in diameter zijn er $\frac{1446}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,19 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $183 + 1297 = 1480 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 16 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1480}{\frac{1}{4} * \pi * 16^2} = 7,36 \approx 8$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 17,23 + 3,99 = 21,22 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -4,19 + 3,99 = -0,20 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{21,22}{435 * 0,08265} * 1000 = 590 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -17,23 + 3,99 = -13,24 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = 4,19 + 3,99 = 8,18 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{8,18}{435 * 0,08265} * 1000 = 228 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(J.27)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -0,71 + 88,40 = 87,69 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{87,69}{435} * 1000 = 202 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $590 + 202 = 792 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{792}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,00 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $228 + 202 = 430 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 8 mm in diameter, dan zijn er $\frac{430}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 8,55 \approx 9$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 12,04 + 3,99 = 16,03 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -1,81 + 3,99 = 2,18 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{16,03}{435 * 0,09405} * 1000 = 392 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -12,04 + 3,99 = -8,05 \text{ kNm/m} \quad (\text{J.28})$$

$$m'_{px,r} = 1,81 + 3,99 = 5,80 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{5,80}{435 * 0,09405} * 1000 = 142 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 78,79 + 88,40 = 167,19 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{167,19}{435} * 1000 = 384 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $392 + 384 = 776 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{776}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 6,86 \approx 7$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $142 + 384 = 526 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{526}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,65 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -4,19 + 3,99 = -0,20 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 8,32 + 3,99 = 12,31 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{12,31}{435 * 0,08265} * 1000 = 342 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 4,19 + 3,99 = 8,18 \text{ kNm/m} \quad (\text{J.29})$$

$$m'_{py,r} = -8,32 + 3,99 = -4,33 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{8,18}{435 * 0,08265} * 1000 = 228 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{py} = 107,46 + 88,40 = 195,86 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{195,86}{435} * 1000 = 450 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $342 + 450 = 792 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{792}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,00 \approx 8$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $228 + 450 = 678 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{678}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,99 \approx 6$ staven nodig.

Rib

Er treedt een maximaal buigend moment van 129,81 kNm in het midden van de overspanning van de rib, dit moment is opbollend waarbij de trek dus aan de bovenkant van de rib zit. Aan de uiteindes van de rib zit er een moment van 15,10 kNm, deze is tegenovergesteld in richting. Er zit een maximale normaaltrekkkracht van 954,54 kN in de rib.

Midden

De inwendige hefboomsarm kan bepaald worden als de diameters van de toegepaste wapening gekozen zijn. In de bovenzijde is zeer veel wapening nodig, er wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. In de onderkant is door de grote trekkracht waarschijnlijk ook wapening nodig, hier wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. Er zijn waarschijnlijk teveel staven nodig om in 1 laag te kunnen plaatsen, dus worden er in de boven- en onderzijde 2 lagen wapening aangenomen. De inwendige hefboomsarm voor de rib die de breedte overspant, is dan $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 * 1,5 - 20 * 1,5 = 6445 \text{ mm}$. 10 mm is de staafdiameter van de beugelwapening. De inwendige hefboomsarm voor de rib die de lengte overspant, is dan $z = 135 + 800 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 * 1,5 - 20 * 1,5 = 777,5 \text{ mm}$.

De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned} A_s &= + \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= + \frac{129,81}{435 * 0,6445} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2657 \text{ mm}^2 \\ &= + \frac{129,81}{435 * 0,7775} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2578 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (J.30)$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{2657}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 5,41 \approx 6$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant zijn er $\frac{2578}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 5,25 \approx 6$ staven nodig.

En in de onderkant komt:

$$\begin{aligned} A_s &= - \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= - \frac{129,81}{435 * 0,6445} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 1731 \text{ mm}^2 \\ &= - \frac{129,81}{435 * 0,7775} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 1811 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (J.31)$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{1731}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 5,51 \approx 6$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{1811}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 5,76 \approx 6$ staven nodig.

Uiteinden

Door het kleinere buigende moment in de uiteindes zal de benodigde wapening in de boven- en onderzijde minder verschillen. Daarom worden nu in beide zijdes staven van 20 mm in diameter geplaatst. Dit geeft een inwendige hefboomsarm voor de rib die de breedte overspant van $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 20 * 3 = 652 \text{ mm}$ en een inwendige hefboomsarm voor de rib die de lengte overspant van $z = 135 + 800 - 35 * 2 - 10 * 2 - 20 * 3 = 785 \text{ mm}$. De wapening in de

bovenzijde van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned}
 A_s &= -\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\
 &= -\frac{15,10}{435 * 0,652} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2141 \text{ mm}^2 \\
 &= -\frac{15,10}{435 * 0,785} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2150 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{J.32}$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{2141}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 6,82 \approx 7$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{2150}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 6,84 \approx 7$ staven nodig. Dit oneven aantal staven is echter onhandig in 2 lagen te plaatsen, en daarom zullen er 8 staven van 20 mm in diameter geplaatst worden. En in de onderkant komt:

$$\begin{aligned}
 A_s &= +\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\
 &= +\frac{15,10}{435 * 0,652} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2248 \text{ mm}^2 \\
 &= +\frac{15,10}{435 * 0,785} * 1000 + \frac{954,54}{435} * 1000 = 2239 \text{ mm}^2
 \end{aligned}
 \tag{J.33}$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{2248}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 7,16 \approx 8$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{2239}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 7,13 \approx 8$ staven nodig.

Er komen in de onder- en bovenzijde dus 4 staven per laag, dit geeft een staafafstand van $\frac{223-35*2}{3} = 51 \text{ mm}$. Dit is groter dan 27 mm (korreldiameter+5), en voldoet dus aan de eis van minimaal toelaatbare staafafstand.

Overzicht

In tabel J.4 is de wapening die in het drijflichaam wordt geplaatst volgens bovenstaande berekeningen weergegeven.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, deze waarde komt ook overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter, $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 16$
y-richting	9 staven per meter, $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	8 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 16$
y-richting	7 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	9 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	12 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	5 staven per meter $\phi 12$	7 staven per meter $\phi 12$
y-richting	9 staven per meter $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Rib, uiteinden	6 staven $\phi 25$	6 staven $\phi 20$
	8 staven $\phi 20$	8 staven $\phi 20$

Tabel J.4.: Nieuw wapening overzicht model met 2 gekruiste ribben

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 16 = 97 \text{ mm}$. Deze waarde is net iets kleiner dan de aangenomen waarde van 99 mm. Dit verschil maakt echter niet uit voor de hoeveelheid benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 135 - 30 - 16 - \frac{1}{2} * 12 = 83 \text{ mm}$, ook deze waarde is iets kleiner dan de aangenomen waarde van 87 mm. Dit verschil maakt echter niet uit voor de benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen waarde van 87 mm.

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel 6.4.

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloeren

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,42\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 7)}{135 * 1000} = 1,34\%
 \end{aligned}
 \tag{J.34}$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,42 * 1,34} = 1,38\% \quad (J.35)$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 9 + 12^2 * 5)}{135 * 1000} = 1,17\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 12 + 12^2 * 9)}{135 * 1000} = 1,76\% \end{aligned} \quad (J.36)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,17 * 1,76} = 1,43\% \quad (J.37)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 1,43 + 6 * 8 * 1,38}{10 * 12} = 1,41\% \quad (J.38)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (16^2 * 8 + 16^2 * 8)}{135 * 1000} = 2,38\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 9 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,01\% \end{aligned} \quad (J.39)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{2,38 * 1,01} = 1,55\% \quad (J.40)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 7)}{135 * 1000} = 1,01\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,17\% \end{aligned} \quad (J.41)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,01 * 1,17} = 1,09\% \quad (J.42)$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,39 * 4 * 1,09 + (4 * 2,39 + 6 * 2,39) * 1,55}{10 * 2,39 + 12 * 2,39} = 1,30\% \quad (J.43)$$

Ribben

De ribben kunnen geschematiseerd worden als T-liggers, omdat een deel van de vloer gerekend kan worden als onderdeel van de drukzone. In Eurocode 2 is een vereenvoudigde methode te vinden om de meewerkende breedte te bepalen, zie figuur H.29. De volgende vergelijkingen horen daarbij:

$$\begin{aligned} b_{eff} &= \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \\ b_{eff,i} &= 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0 \end{aligned} \quad (J.44)$$

Voor de rib die de breedte overspant geldt:

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 10 = 7 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en b_2 $3 - \frac{0,223}{2} = 2,89 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} b_{eff,1} &= 0,2 * 2,89 + 0,1 * 7 = 1,278 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \\ b_{eff,2} &= 0,2 * 2,89 + 0,1 * 7 = 1,278 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \end{aligned} \quad (J.45)$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,278 + 1,278 + 0,223 = 2,779 \text{ m} \leq 6 \text{ m}$.

Het wapeningspercentage in het midden van de rib wordt dan:

$$\frac{6 * 0,25 * \pi * 25^2}{802 * 2779} = 0,13\% \quad (J.46)$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 20^2}{802 * 2779} = 0,11\% \quad (J.47)$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de rib is dan:

$$\frac{0,5 * 0,11 + 9,5 * 0,13}{10} = 0,13\% \quad (J.48)$$

Voor de rib die de lengte overspant geldt:

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 12 = 8,4 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en b_2 $2,5 - \frac{0,267}{2} = 2,37 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} b_{eff,1} &= 0,2 * 2,37 + 0,1 * 8,4 = 1,314 \text{ m} \leq 1,68 \text{ m} \\ b_{eff,2} &= 0,2 * 2,37 + 0,1 * 8,4 = 1,314 \text{ m} \leq 1,68 \text{ m} \end{aligned} \quad (J.49)$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,314 + 1,314 + 0,267 = 2,895 \text{ m} \leq 5 \text{ m}$.

Het wapeningspercentage in het midden van de rib wordt dan:

$$\frac{6 * 0,25 * \pi * 25^2}{935 * 2895} = 0,11\% \quad (J.50)$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 20^2}{935 * 2895} = 0,09\% \quad (J.51)$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de rib is dan:

$$\frac{0,5 * 0,09 + 11,5 * 0,11}{10} = 0,11\% \quad (J.52)$$

Minimum wapeningspercentage

Om te voorkomen dat de constructie bezwijkt zonder waarschuwing in de vorm van scheuren in de trekzone, is er een minimum vereist wapeningspercentage. Een versimpelde tabel is te vinden in het dictaat Gewapend Beton[5]. Deze tabel is weergegeven in figuur H.30. Met behulp van interpolatie kan gevonden worden dat voor het beton C30/37 en een hoogte groter dan 600 mm een minimum wapeningspercentage geldt van $\frac{0,11+0,13}{2} = 0,12\%$. Hieraan wordt dus niet voldaan bij de rib die in de lengte overspant.

In deze rib zal de wapening in de bovenzijde van de rib in het midden verhoogd worden tot 8 staven van 25 mm in diameter en aan de onderzijde in de uiteindes ook verhoogd worden tot 8 staven van 25 mm in diameter. Dan is het wapeningspercentage:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 25^2}{935 * 2895} = 0,15\% \quad (J.53)$$

Deze wijziging is in tabel 6.4 toegepast.

J.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

De fictieve elasticiteitsmodulus is te bepalen met tabel NB-1 uit de Nationale Bijlagen van Eurocode 2, deze is weergegeven in figuur E.30.

De berekeningen zijn voor dit model uitgevoerd met behulp van Maple, dit is weergegeven in figuur J.26.

$$\begin{aligned} &restart; \\ Q1 &:= 3.6 : Q2 := 49.95 : l := 12 : b := 10 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : diepgang := 1.94 : rho \\ &:= 1000 : g := 9.81 : wapeningrho := 0.0130 : wapeningrhov := 0.0141 : fcd := 20 : fyd \\ &:= 435 : \end{aligned} \quad (1)$$

Normaalkrachten:

$$\begin{aligned} NEdw1 &:= Q1 \cdot b \cdot 1000 : \\ NEdw2 &:= Q2 \cdot l \cdot 1000 : \\ NEdv1 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot rho \cdot g \cdot diepgang \cdot b : \\ NEdv2 &:= 0.5 \cdot diepgang \cdot rho \cdot g \cdot diepgang \cdot l : \end{aligned}$$

Beton oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Acw1 &:= (dw \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acw2 &:= (dw \cdot l) \cdot 10^6 : \\ Acv1 &:= (dv \cdot b) \cdot 10^6 : \\ Acv2 &:= (dv \cdot l) \cdot 10^6 : \end{aligned}$$

Staal oppervlaktes:

$$\begin{aligned} Asw1 &:= wapeningrho \cdot Acw1 : \\ Asw2 &:= wapeningrho \cdot Acw2 : \\ Asv1 &:= wapeningrhov \cdot Acv1 : \\ Asv2 &:= wapeningrhov \cdot Acv2 : \end{aligned}$$

Alpha's:

$$\begin{aligned} \alpha_{nw1} &:= \frac{NEdw1}{(fcd \cdot Acw1 + Asw1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nw2} &:= \frac{NEdw2}{(fcd \cdot Acw2 + Asw2 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv1} &:= \frac{NEdv1}{(fcd \cdot Acv1 + Asv1 \cdot fyd)} : \\ \alpha_{nv2} &:= \frac{NEdv2}{(fcd \cdot Acv2 + Asv2 \cdot fyd)} : \end{aligned}$$

Elasticiteitsmodulussen:

$$Efw1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrho + (20 - 196 \cdot wapeningrho) \cdot \alpha_{nw1}) \cdot 1000; \quad (2)$$

$$Efw2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrho + (20 - 196 \cdot wapeningrho) \cdot \alpha_{nw2}) \cdot 1000; \quad (3)$$

$$Efv1 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv1}) \cdot 1000; \quad (4)$$

$$Efv2 := (1.96 + 432 \cdot wapeningrhov + (20 - 196 \cdot wapeningrhov) \cdot \alpha_{nv2}) \cdot 1000; \quad (5)$$

Figuur J.26.: Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

Voor de wanden van 10 m wordt een fictieve elasticiteitsmodulus van 7594 N/mm² gevonden,

voor de wanden van 12 meter wordt een waarde van 7828 N/mm², en voor de vloer is een waarde van 8141 N/mm².

J.7. Kosten

Voor het wapeningspercentage in de rib die de breedte overspant, wordt nu de volgende waarde voor het wapeningspercentage ingevuld:

$$\frac{6 * 0,25 * \pi * 25^2 + 6 * 0,25 * \pi * 20^2}{667 * 223} = 3,25\% \quad (J.54)$$

Voor het wapeningspercentage in de rib die de lengte overspant, wordt nu de volgende waarde voor het wapeningspercentage ingevuld:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 25^2 + 6 * 0,25 * \pi * 20^2}{800 * 267} = 2,72\% \quad (J.55)$$

De kosten zijn met behulp van Maple berekend:

```
restart;
dv := 0.135 : dw := 0.135 : l := 12 : b := 10 : h := 2.39 : Gamma_s := 7800 : rho_vloer := 0.0141 :
rho_wanden := 0.0130 : rho_ribb := 0.0325 : rho_ribl := 0.0272 : hb := 0.667 : hl := 0.8 : bb
:= 0.223 : bl := 0.267 : nb := 1 : nl := 1 :
```

Vloer:

$$Kosten_vloer := dv \cdot l \cdot b \cdot 400; \quad \text{€6.480,00} \quad (1)$$

Wanden:

$$Kosten_wanden := (2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot b \cdot h) \cdot 175 + dw \cdot 300; \quad \text{€18.443,50} \quad (2)$$

Ribben:

$$Kosten_ribben := (nb \cdot b \cdot hb + nl \cdot l \cdot hl) \cdot 175 + (nb \cdot bb + nl \cdot bl) \cdot 300; \quad \text{€2.994,25} \quad (3)$$

Wapening:

$$\begin{aligned} wap_vloer &:= rho_vloer \cdot dv \cdot l \cdot b \cdot 7800 : \\ wap_wanden &:= rho_wanden \cdot (2 \cdot b \cdot h \cdot dw + 2 \cdot l \cdot h \cdot dw) \cdot 7800 : \\ wap_ribben &:= (rho_ribb \cdot nb \cdot hb \cdot bb \cdot b + rho_ribl \cdot nl \cdot hl \cdot bl \cdot l) \cdot 7800 : \\ Kosten_wapening &:= (wap_vloer + wap_wanden + wap_ribben) \cdot 1.0; \end{aligned} \quad \text{€4.142,08} \quad (4)$$

Totale kosten:

$$Kosten_vloer + Kosten_wanden + Kosten_ribben + Kosten_wapening; \quad \text{€32.059,83} \quad (5)$$

Figuur J.27.: Kosten berekening model met 2 gekruiste ribben

K. Model met 4 gekruiste ribben

K.1. Gegevens bij eerste model met 4 gekruiste ribben

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Met behulp van Maple zijn de diepgang en de hoogte van het drijflichaam en de horizontale belasting op het drijflichaam berekend. Zie figuur K.1. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

$$\begin{aligned}
 &restart; \\
 &b := 10 : \\
 &l := 12 : \\
 &dv := 0.2 : dw := 0.2 : \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000}; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l := 0.8 : \\
 &b_rib_l := 0.267 : nb := 2 : nl := 2 : \\
 &24.52500000 \tag{1}
 \end{aligned}$$

Volume drijflichaam:

$$\begin{aligned}
 &V := b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \cdot nl; \\
 &36.061220 + 8.8 h \tag{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &Feigen := V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8; \\
 &2332.081705 + 258.9840000 h \tag{3}
 \end{aligned}$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

$$\begin{aligned}
 &\rho := 1000 : \\
 &g := 9.81 : \\
 &eq1 := \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = \text{Feigen}; \\
 &1177.200000 h = 2332.081705 + 258.9840000 h \tag{4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{solution} := \text{solve}(\{eq1\}, \{h\}); \\
 &\{h = 2.539796415\} \tag{5}
 \end{aligned}$$

$$\text{assign}(\text{solution});$$

Resultaten:

$$\begin{aligned}
 &\text{diepgang} := h; \\
 &2.539796415 \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{hoogte} := \text{diepgang} + 0.45; \\
 &2.989796415 \tag{7}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{horizontale_kracht} := \frac{\rho \cdot g \cdot \text{diepgang}}{1000}; \\
 &24.91540283 \tag{8}
 \end{aligned}$$

Figuur K.1.: Diepgang model met 4 gekruiste ribben

Stabiliteit

Ook bij de modellen met ribben wordt enkel getoetst aan de stabiliteitseis: $MG \geq 0,25$ m. Met behulp van Maple is deze afstand berekend, zie figuur K.2. Alle resultaten zijn weergegeven in tabel 4.2.

```
restart;
b := 10 : l := 12 : dw := 0.2 : dv := 0.2 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : diepgang := 2.54 :
hd := diepgang + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 2 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l
:= 0.267 : nl := 2 :
```

Zwaartepunt berekenen:
Gewicht wanden woning:
 $G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$
Gewicht vloer woning:
 $G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$
 $G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$
Gewicht wanden drijflichaam:
 $G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$
Gewicht vloer drijflichaam:
 $G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$
Gewicht ribben:
 $G_{rb} := h_{rib_b} \cdot b_{rib_b} \cdot b \cdot nb :$
 $G_{rl} := h_{rib_l} \cdot b_{rib_l} \cdot l \cdot nl :$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) \\ + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_{rib_b}}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_{rib_l}}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$$

Drukingspunt B:
 $B := \frac{diepgang}{2} ;$

1.270000000 (1)

Afstand Metacentrum Mc tot B:

$$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$$

1000 (2)

$$V := diepgang \cdot l \cdot b ;$$

304.80 (3)

$$BM_c := \frac{I_x}{V} ;$$

3.280839895 (4)

Metacentrum vanaf onder:
 $M := B + BM_c ;$

4.550839895 (5)

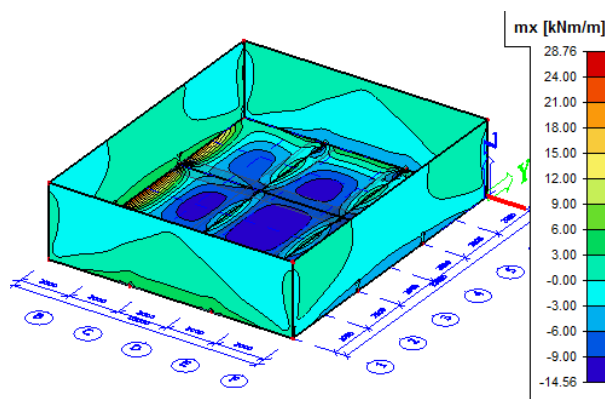
$$MG := M - G ;$$

1.951737273 (6)
(7)

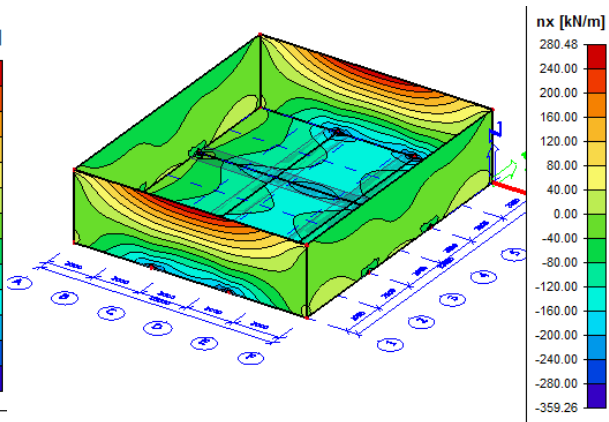
Figuur K.2.: Stabiliteit model met 4 gekruiste ribben

Interne krachten

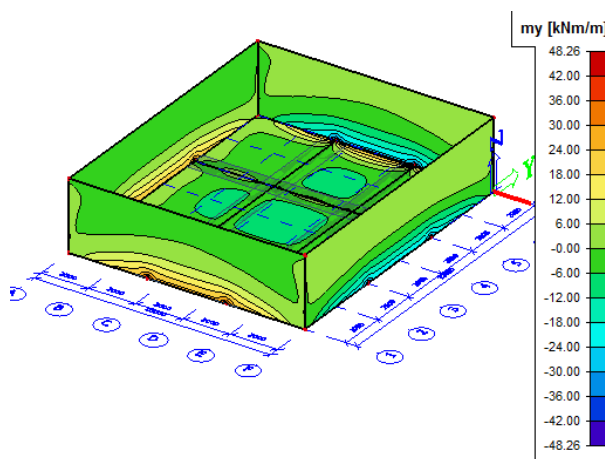
De interne krachten van het model met 4 gekruiste ribben zijn weergegeven in figuren K.3, K.4, K.5, K.6, K.7 en K.8.



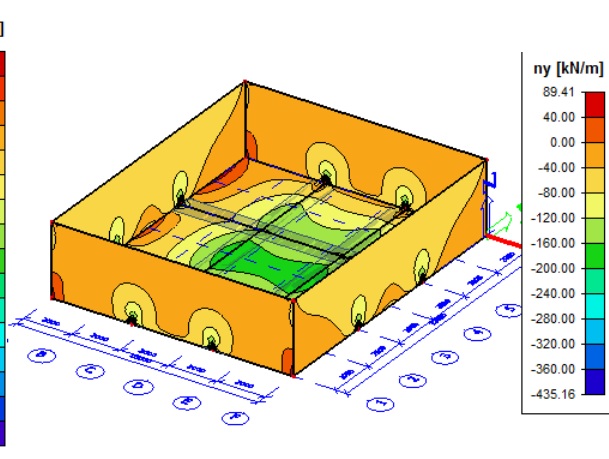
Figuur K.3.: Interne krachten, m_x



Figuur K.4.: Interne krachten, n_x



Figuur K.5.: Interne krachten, m_y



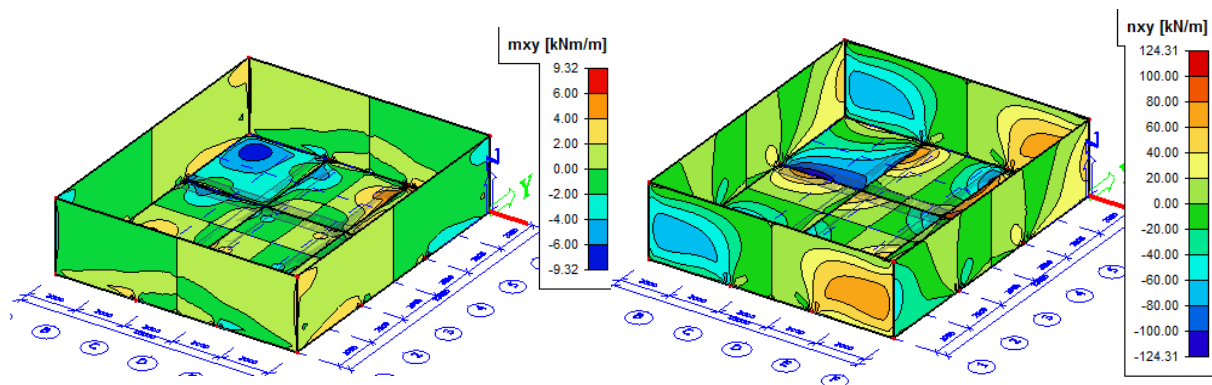
Figuur K.6.: Interne krachten, n_y

Vloer

In de vloer wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur ?? gevonden met behulp van Scia Engineer.

Wanden

In de wanden wordt voor de verdeling van de momenten en normaalkrachten de gegevens in figuur K.10 gevonden met behulp van Scia Engineer. Element E3 is een wand van 10 meter lengte en E4 is een wand van 12 meter lengte.



Figuur K.7.: Interne krachten, mxy

Figuur K.8.: Interne krachten, nxy

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E1	2881	Combi1	-14,56	-10,83	0,00	-122,61	-165,74	0,00
E1	1022	Combi1	28,76	5,18	1,22	-28,13	-66,90	8,40
E1	2882	Combi1	-14,56	-10,83	0,00	-122,61	-165,74	0,00
E1	355	Combi1	4,40	32,18	2,79	-207,79	-28,26	30,08
E1	1701	Combi1	3,68	9,37	-9,32	-337,63	20,62	65,33
E1	1717	Combi1	3,68	9,37	9,32	-337,63	20,62	-65,33
E1	681	Combi1	22,26	13,85	-7,05	-289,38	64,78	90,76
E1	2041	Combi1	22,26	13,85	-7,05	-289,38	64,78	90,76
E1	2380	Combi1	12,65	16,51	-7,69	85,43	-184,73	54,95
E1	1020	Combi1	12,65	16,51	-7,69	85,43	-184,73	54,95
E1	341	Combi1	3,68	9,37	-9,32	-337,63	20,62	65,33
E1	2890	Combi1	2,71	-4,13	0,00	-90,56	-192,45	0,00
E1	2374	Combi1	-2,41	1,08	2,69	-83,71	-55,10	-124,31
E1	1461	Combi1	-2,41	1,08	-2,69	-83,71	-55,10	124,31

Figuur K.9.: Interne krachten vloer

Ribben

Voor de rib wordt voor de interne krachtenverdeling de waarden in figuur K.11 gevonden door Scia Engineer.

Een overzicht van alle maximale en minimale waarden van de interne krachten die optreden in de constructie van het model met 2 ribben is te vinden in tabel K.1.

Vervorming

In figuur K.12 is de zakking van de constructie van het model met 4 gekruiste ribben te zien. De bodem heeft een maximale zakking van 2546 mm en een minimale zakking van 2532 mm, ook hier komt dit verschil in zakking van de bodem komt door de opbolling van de vloer ten gevolge van de verende oplegging. De hiervoor berekende diepgang betrof 2,54 m. Deze gevonden waarde zal dus de gemiddelde zakking van de vloer zijn.

De maximaal toelaatbare opbolling is $\frac{l}{250}$, waarin l de overspanning is. De kleinste overspanning

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	nx [kN/m]	ny [kN/m]	nxy [kN/m]
E3	3833	Combi1	-5,96	-24,09	-0,15	-63,10	-75,86	5,90
E2	3075	Combi1	7,20	23,73	1,91	-201,34	-54,76	-11,57
E3	3831	Combi1	2,38	-42,32	2,39	-207,13	-426,20	-16,94
E2	3094	Combi1	-2,71	48,26	-1,92	-359,26	-435,16	20,73
E2	3095	Combi1	6,27	33,22	-8,60	-223,81	15,58	60,66
E2	3076	Combi1	6,27	33,22	8,60	-223,81	15,58	-60,66
E3	4112	Combi1	-2,87	-0,42	2,62	-10,48	-12,38	-49,48
E2	3327	Combi1	-0,07	-0,36	0,00	280,47	-3,38	0,00
E2	3111	Combi1	3,63	1,35	1,10	27,69	89,41	9,56
E2	3626	Combi1	-1,60	-0,38	-1,44	-14,57	-11,30	-73,72
E2	3576	Combi1	-1,60	-0,38	1,44	-14,57	-11,30	73,72

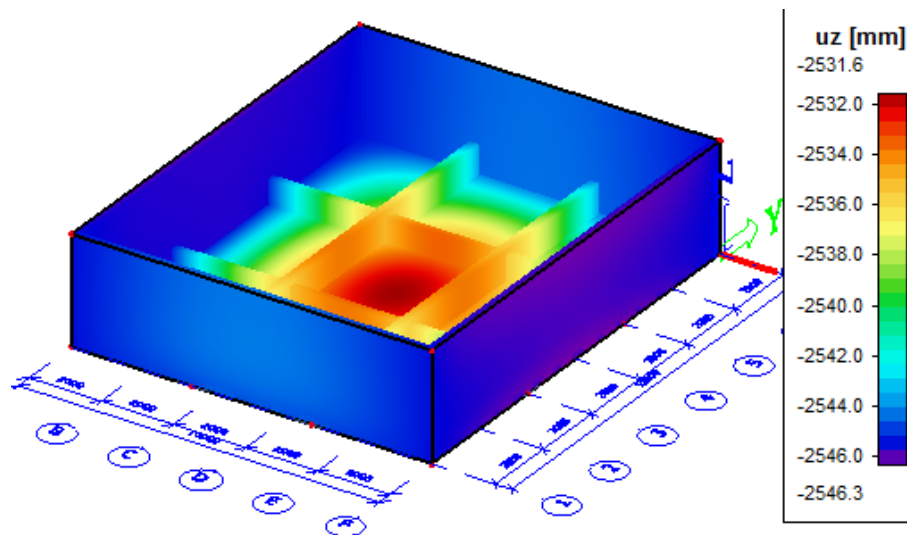
Figuur K.10.: Interne krachten wanden

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
S2	CS1 - Rechthoek	10,000	Combi1/1	-13,13	-1,80	38,22	-1,46	8,98	0,35
S1	CS1 - Rechthoek	4,902	Combi1/1	573,29	0,11	-3,35	-0,14	-59,78	0,55
S3	CS2 - Rechthoek	4,000	Combi1/1	447,13	-15,48	-34,66	1,22	-57,48	4,41
S3	CS2 - Rechthoek	8,000	Combi1/1	447,13	15,48	34,66	-1,22	-57,48	4,41
S4	CS2 - Rechthoek	1,000	Combi1/1	111,86	2,91	-99,14	-6,60	-16,87	-0,58
S4	CS2 - Rechthoek	11,000	Combi1/1	111,86	-2,91	99,14	6,60	-16,87	-0,58
S3	CS2 - Rechthoek	10,400	Combi1/1	212,03	2,09	88,54	-7,26	-33,96	-0,27
S3	CS2 - Rechthoek	1,600	Combi1/1	212,03	-2,09	-88,54	7,26	-33,96	-0,27
S4	CS2 - Rechthoek	6,000	Combi1/1	536,95	0,00	0,00	0,00	-77,43	1,41
S4	CS2 - Rechthoek	12,000	Combi1/1	-4,51	1,58	37,14	1,19	13,97	-1,31
S4	CS2 - Rechthoek	4,000	Combi1/1	447,13	15,48	-34,66	-1,22	-57,48	-4,41

Figuur K.11.: Interne krachten rib

In kNm/m	mx	my	mxy	nx	ny	nxy
Vloer midden	-14,56	-10,83	9,32	-195,00	-192,45	124,31
Vloer randen	28,76	32,18 -4,50	9,32	-337,63 85,43	64,78 -184,73	124,31
Wanden midden	7,20 -2,71	48,26 -5,00	8,60	-359,26 280,47	-435,16 3,03	73,72
Wanden randen	-2,87 6,86	4,43 -3,16	8,60	94,42 -50,00	89,41 -44,08	73,72
-	Mx	My	Mz	N		
Ribben	7,26 -7,26	-77,43 13,97	4,41 -4,41	573,29 -13,13		

Tabel K.1.: Overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 4 gekruiste ribben



Figuur K.12.: Controle zakking drijflichaam, model met 4 gekruiste ribben

is hier 10 meter en de maximaal toelaatbare opbolling is dan $\frac{10000}{250} = 40 \text{ mm}$. De opbolling is $2546 - 2532 = 14 \text{ mm}$. De opbolling is dus acceptabel.

K.2. Wapening

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Het benodigde wapeningsoppervlak A_s kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} * z}, \quad A_s = \frac{N}{f_{yd}} \quad (K.1)$$

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 164 = 155,8 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 152 = 144,4 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{200*1000*20}{1000} = 4000 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden. Zoals in tabel K.9 en K.10 te zien is, wordt deze waarde nooit overschreden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -14,56 + 9,32 = -5,24 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-5,24}{435 * 0,1558} * 1000 = -77 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 14,56 + 9,32 = 23,88 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{23,88}{435 * 0,1558} * 1000 = 352 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(K.2)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -195,00 + 124,31 = -70,69 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-70,69}{435} * 1000 = -163 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de onderzijde is $-77 - 163 = -240 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter gelegd, om een net te vormen met de overige wapening en aan de maximaal toelaatbare staafafstand te voldoen.

In de bovenzijde is $352 - 163 = 189 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 8 mm aangenomen. $\frac{189}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 3,76 \approx 4$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -10,83 + 9,32 = -1,51 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{-1,51}{435 * 0,1444} * 1000 = -24 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 10,83 + 9,32 = 20,15 \text{ kNm/m} \quad (\text{K.3})$$

$$A_{s,m,b} = \frac{20,15}{435 * 0,1444} * 1000 = 321 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -192,45 + 124,31 = -68,14 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{-68,14}{435} * 1000 = -157 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de onderzijde is $-24 - 157 = -181 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier worden 4 staven per meter van 8 mm in diameter geplaatst.

In de bovenzijde is $321 - 157 = 164 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 8 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{164}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 3,26 \approx 4$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 28,76 + 9,32 = 38,08 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{38,08}{435 * 0,1558} * 1000 = 562 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -28,76 + 9,32 = -19,44 \text{ kNm/m} \quad (\text{K.4})$$

$$A_{s,r,b} = \frac{-19,44}{435 * 0,1558} * 1000 = -287 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 85,43 + 124,31 = 209,74 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{209,74}{435} * 1000 = 482 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $-287 + 482 = 195 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 8 mm in diameter; $\frac{195}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 3,88 \approx 4$ staven per meter.

In de onderzijde is $562 + 482 = 1044 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Hier wordt een staafdiameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{1044}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,23 \approx 10$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 32,18 + 9,32 = 41,50 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -4,50 + 9,32 = 4,82 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{41,50}{435 * 0,1444} * 1000 = 661 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -32,18 + 9,32 = -22,86 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = 4,50 + 9,32 = 13,82 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{13,82}{435 * 0,1444} * 1000 = 220 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(K.5)

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 64,78 + 124,31 = 189,09 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{189,09}{435} * 1000 = 435 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In de bovenzijde van de vloer is $220 + 435 = 655 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{655}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,79 \approx 6$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $661 + 435 = 1096 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1096}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,69 \approx 10$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -7,20 + 8,60 = 1,40 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 2,71 + 8,60 = 11,31 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{11,31}{435 * 0,1558} * 1000 = 167 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 7,20 + 8,60 = 15,80 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{px,m} = -2,71 + 8,60 = 5,89 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{15,80}{435 * 0,1558} * 1000 = 233 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(K.6)

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 280,47 + 73,72 = 354,19 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{354,19}{435} * 1000 = 814 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $167 + 814 = 981 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{981}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,67 \approx 9$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $233 + 814 = 1047 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1047}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,26 \approx 10$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 48,26 + 8,60 = 56,86 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -5,00 + 8,60 = 3,60 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{56,86}{435 * 0,1444} * 1000 = 905 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -48,26 + 8,60 = -39,66 \text{ kNm/m} \quad (\text{K.7})$$

$$m'_{py,m} = 5,00 + 8,60 = 13,60 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{13,60}{435 * 0,1444} * 1000 = 217 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = 3,03 + 73,72 = 76,75 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{76,75}{435} * 1000 = 176 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $905 + 176 = 1081 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1081}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,56 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $217 + 176 = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{393}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,47 \approx 4$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 6,86 + 8,60 = 15,46 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -2,87 + 8,60 = 5,73 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{15,46}{435 * 0,1558} * 1000 = 228 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -6,86 + 8,60 = 1,74 \text{ kNm/m} \quad (\text{K.8})$$

$$m'_{px,r} = 2,87 + 8,60 = 11,47 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{11,47}{435 * 0,1558} * 1000 = 169 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 94,42 + 73,72 = 168,14 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{168,14}{435} * 1000 = 387 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $228 + 387 = 615 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{615}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,44 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $169 + 387 = 556 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{556}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,92 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -3,16 + 8,60 = 5,44 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 4,43 + 8,60 = 13,03 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{13,03}{435 * 0,1444} * 1000 = 207 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 3,16 + 8,60 = 11,76 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,r} = -4,43 + 8,60 = 4,17 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{11,76}{435 * 0,1444} * 1000 = 187 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(K.9)

Normaalkracht :

$$n_{py} = 89,41 + 73,72 = 163,13 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{163,13}{435} * 1000 = 375 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $207 + 375 = 582 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{582}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,15 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $187 + 375 = 562 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{562}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,97 \approx 5$ staven nodig.

Effectieve dikte controle

Vloer

- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 8 = 166 \text{ mm}$, deze waarde voor d_x is iets groter dan de aangenomen waarde van 164 mm. De afwijking is echter zo klein dat dit geen verschil maakt voor de benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de vloer is $d = 200 - 30 - 8 - \frac{1}{2} * 8 = 158 \text{ mm}$, deze waarde voor d_y is iets groter dan de aangenomen waarde van 152 mm. Ook hier is de afwijking zo klein dat dit geen verschil maakt voor de benodigde wapening.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de x-richting was dus goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de vloer is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, de aangenomen effectieve dikte in de y-richting was dus goed.

Wanden

- De effectieve dikte in de x-richting in het midden van de wanden is nu $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$. Dit is dezelfde waarde als de aangenomen d_x .
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in het midden van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, dus ook de aangenomen effectieve dikte in y-richting was goed.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de x-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 164 \text{ mm}$, dit komt overeen met de aangenomen waarde.
- De uiteindelijk werkelijke effectieve dikte in de y-richting in de randen van de wanden is $d = 200 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 152 \text{ mm}$, ook deze waarde komt overeen met de aangenomen waarde.

Overzicht

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel K.2.

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter, $\phi 8$	4 staven per meter $\phi 12$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	9 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 8$	10 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	10 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	10 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	4 staven per meter $\phi 8$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	6 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$

Tabel K.2.: Wapening overzicht model met 4 gekruiste ribben

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,20\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 4 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,20\% \end{aligned} \quad (\text{K.10})$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,20 * 0,20} = 0,20\% \quad (\text{K.11})$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 8^2 * 4)}{200 * 1000} = 0,67\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,90\%\end{aligned}\quad (K.12)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,67 * 0,90} = 0,78\% \quad (K.13)$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 0,78 + 6 * 8 * 0,20}{10 * 12} = 0,55\% \quad (K.14)$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 10 + 12^2 * 9)}{200 * 1000} = 2,15\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 4 + 12^2 * 10)}{200 * 1000} = 0,79\%\end{aligned}\quad (K.15)$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{2,15 * 0,79} = 1,31\% \quad (K.16)$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned}\rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,62\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 6)}{200 * 1000} = 0,62\%\end{aligned}\quad (K.17)$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,62 * 0,62} = 0,62\% \quad (K.18)$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,99 * 4 * 0,62 + (4 * 2,99 + 6 * 2,99) * 1,31}{10 * 2,99 + 12 * 2,99} = 0,93\% \quad (K.19)$$

K.3. Gegevens bij dunner model

Diepgang, hoogte en horizontale belasting

Het model is nu met een wand- en vloerdikte van 135 mm in Scia Engineer gebouwd. De opbolling is gecontroleerd en is nu 18,9 mm, wat ruim voldoet aan de maximaal toelaatbare eis van 40 mm. Door de lichter gedimensioneerde onderbouw is de diepgang nu kleiner, en dus ook de hoogte van het drijflichaam is kleiner. Hierdoor is ook de horizontale belasting kleiner. Deze nieuwe waarden zijn gevonden met behulp van maple, zie figuur K.13.

$$\begin{aligned} & \text{restart;} \\ & b := 10 : \\ & l := 12 : \\ & dv := 0.135 : dw := 0.135 : \text{gammab} := \frac{2500 \cdot 9.81}{1000} ; h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : h_rib_l \\ & \quad := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nb := 2 : nl := 2 : \\ & \qquad \qquad \qquad 24.52500000 \end{aligned} \tag{1}$$

Volume drijflichaam:

$$\begin{aligned} V &:= b \cdot l \cdot dv + 2 \cdot l \cdot (h + 0.45) \cdot dw + 2 \cdot b \cdot (h + 0.45) \cdot dw + b_rib_b \cdot h_rib_b \cdot b \cdot nb + b_rib_l \cdot h_rib_l \cdot l \\ & \quad \cdot nl ; \\ & \qquad \qquad \qquad 26.974220 + 5.940 h \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} Feigen &:= V \cdot \text{gammab} \cdot 1.2 + 1270.8 ; \\ & \qquad \qquad \qquad 2064.651295 + 174.8142000 h \end{aligned} \tag{3}$$

Archimides; opwaartse kracht = gewicht verplaatste water:

$$\begin{aligned} \rho &:= 1000 : \\ g &:= 9.81 : \\ eq1 &:= \frac{(\rho \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h)}{1000} = Feigen ; \\ & \qquad \qquad \qquad 1177.200000 h = 2064.651295 + 174.8142000 h \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \text{solution} &:= \text{solve}(\{eq1\}, \{h\}); \\ & \qquad \qquad \qquad \{h = 2.059737174\} \end{aligned} \tag{5}$$

assign(solution);

Resultaten:

$$\begin{aligned} \text{diepgang} &:= h; \\ & \qquad \qquad \qquad 2.059737174 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{hoogte} &:= \text{diepgang} + 0.45; \\ & \qquad \qquad \qquad 2.509737174 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \text{horizontale_kracht} &:= \frac{\rho \cdot g \cdot \text{diepgang}}{1000}; \\ & \qquad \qquad \qquad 20.20602168 \end{aligned} \tag{8}$$

Figuur K.13.: Diepgang model met 4 gekruiste ribben en dikte 135 mm

Stabiliteit

In figuur K.14 is de nieuwe stabiliteit van het model met 4 gekruiste ribben met de aangepaste vloer- en wanddikte bepaald met behulp van Maple.

restart;
 $b := 10 : l := 12 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : Qvp := 0.7 : Qvv := 2.25 : Qw := 0.5 : \text{diepgang} := 2.06 : hd := \text{diepgang} + 0.45 : h_rib_b := 0.667 : b_rib_b := 0.223 : nb := 2 : h_rib_l := 0.8 : b_rib_l := 0.267 : nl := 2 :$

Zwaartepunt berekenen:

Gewicht wanden woning:

$$G_w := 12 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot Q_w \cdot 2 \cdot 2 :$$

Gewicht vloer woning:

$$G_{vp} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vp} :$$

$$G_{vv} := 10 \cdot 12 \cdot Q_{vv} :$$

Gewicht wanden drijflichaam:

$$G_{wd} := 25 \cdot (dw \cdot b \cdot hd \cdot 2 + dw \cdot l \cdot hd \cdot 2) :$$

Gewicht vloer drijflichaam:

$$G_{vd} := 25 \cdot l \cdot b \cdot dv :$$

Gewicht ribben:

$$G_{rb} := h_rib_b \cdot b_rib_b \cdot b \cdot nb :$$

$$G_{rl} := h_rib_l \cdot b_rib_l \cdot l \cdot nl :$$

Zwaartepunt vanaf onderkant:

$$S := G_w \cdot (hd + 3) + G_{vp} \cdot (hd + (hd + 3) + (hd + 6)) + G_{vv} \cdot (hd + (hd + 3)) + G_{wd} \cdot \left(\frac{hd}{2} \right) + G_{rb} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_b}{2} \right) + G_{rl} \cdot \left(dv + \frac{h_rib_l}{2} \right) :$$

$$G := \frac{S}{G_w + G_{vp} \cdot 3 + G_{vv} \cdot 2 + G_{wd} + G_{vd} + G_{rb} \cdot nb + G_{rl} \cdot nl} ;$$

Drukkingspunt B:

$$B := \frac{\text{diepgang}}{2} ;$$

1.030000000

Afstand Metacentrum Mc tot B:

$$I_x := \frac{1}{12} \cdot l \cdot b^3 ;$$

1000

$$V := \text{diepgang} \cdot l \cdot b ;$$

247.20

$$BMc := \frac{I_x}{V} ;$$

4.045307443

Metacentrum vanaf onder:

$$M := B + BMc ;$$

5.075307443

$$MG := M - G ;$$

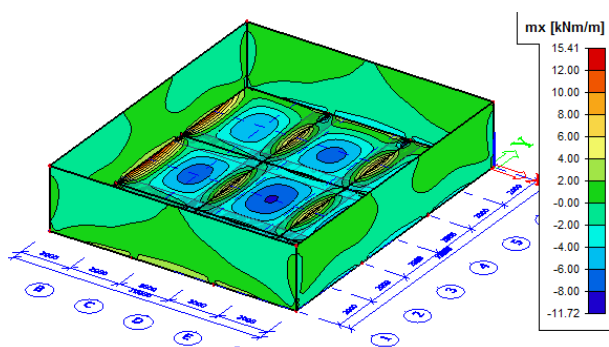
2.308525230

Figuur K.14.: Stabiliteit bepaling nieuw model met 4 gekruiste ribben

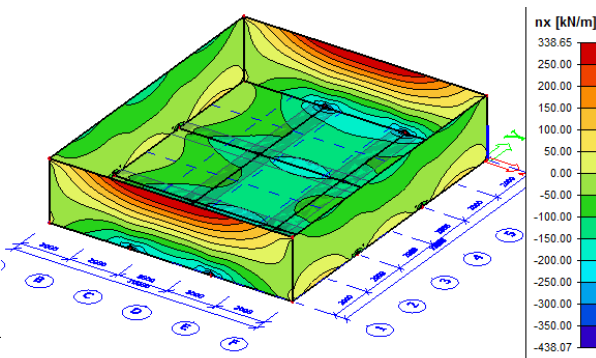
Nieuwe interne krachten bij kleinere dikte

Deze resultaten zijn meegenomen bij het model in Scia Engineer.

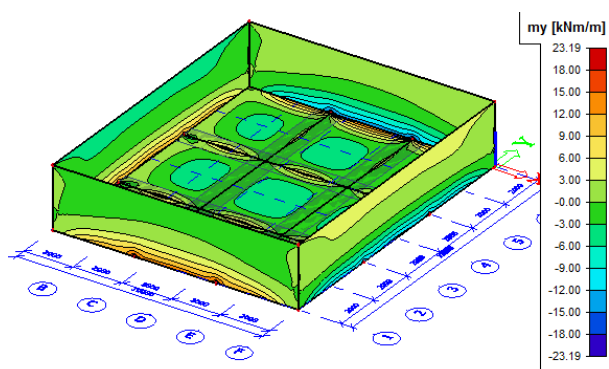
De interne krachten van het model met 4 gekruiste ribben zijn weergegeven in figuren K.15, K.16, K.17, K.18, K.19 en K.20.



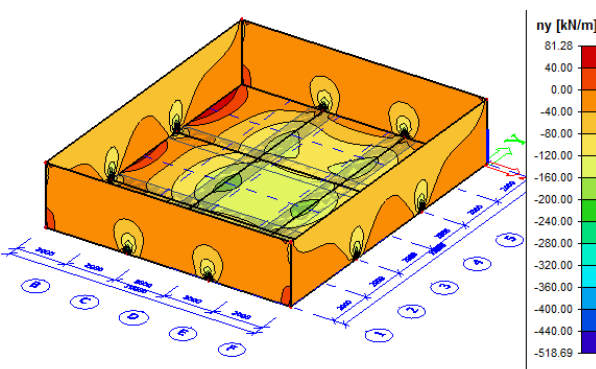
Figuur K.15.: Interne krachten, m_x



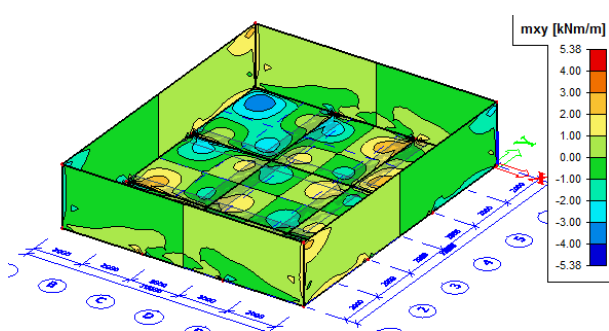
Figuur K.16.: Interne krachten, n_x



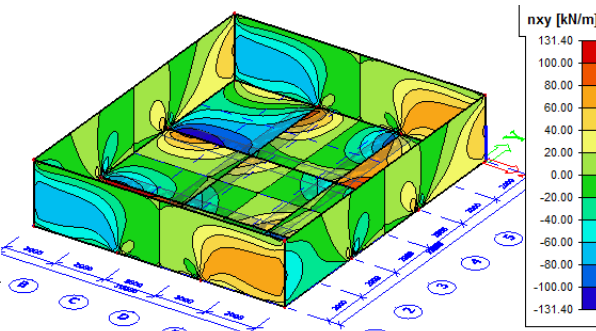
Figuur K.17.: Interne krachten, m_y



Figuur K.18.: Interne krachten, n_y



Figuur K.19.: Interne krachten, m_{xy}



Figuur K.20.: Interne krachten, n_{xy}

In kNm/m	mx	my	 mxy 	nx	ny	 nxy
Vloer midden	-11,72 7,00	-5,00 7,00	5,38	-195,0 -75,0	-70,0 -170,0	131,40
Vloer randen	15,41 -9,86	17,89 -8,47	5,38	-1,70 -387,30	-245,26 79,21	131,40
Wanden midden	-3,53 1,07	23,19 -3,56	3,56	338,65 -438,07	-518,69 -3,47	79,96
Wanden randen	5,55 -2,85	3,56 -7,00	3,56	82,71 -10,10	81,28 -48,91	79,96
-	Mx	My	Mz	N		
Rib	-7,01 7,01	-87,53 10,54	-2,74 2,74	610,89 -3,70		

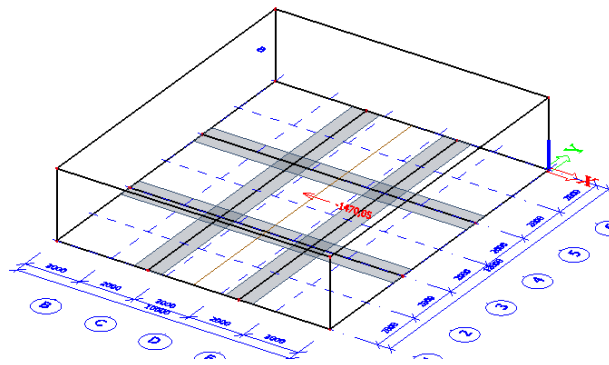
Tabel K.3.: Nieuw overzicht maximale en minimale interne krachten, model met 4 gekruiste ribben

K.4. Controle ordegrootte momenten, model met 4 gekruiste ribben

Het model met vloerdikte van 135 mm en wanddikte van 135 mm en 4 gekruiste ribben wordt bekeken.

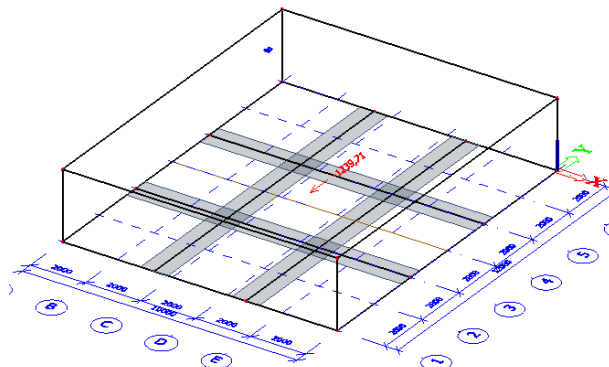
Normaalkracht

De snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 1470,05 kN, zie figuur K.21.



Figuur K.21.: Fx

De volgende snede in Scia Engineer geeft een resultante normaaldrukkracht in de vloer van 1239,71 kN, zie figuur K.22.

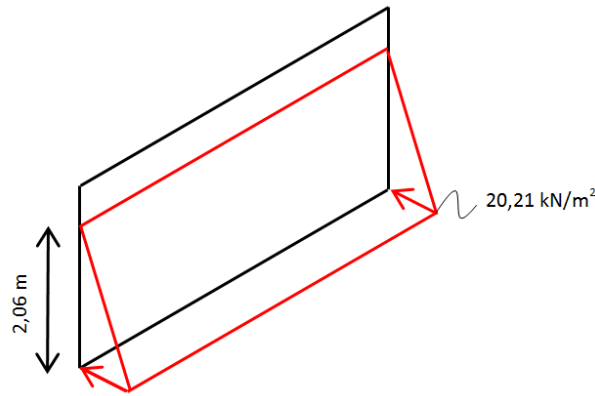


Figuur K.22.: Fy

Scia Engineer geeft een trekkracht van 516,18 kN in de ribben die de lengte overspannen en een trekkracht van 610,89 kN in de rib die de breedte overspant.

In figuur K.23 is de horizontale belasting op een wand weergegeven. Op een wand van 12 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 20,21 * 2,06 * 12 = 249,80 \text{ kN}$ en op een wand van 10 meter in lengte staat dan een totale horizontale kracht van $0,5 * 20,21 * 2,06 * 10 = 208,16 \text{ kN}$.

De resultante normaaldrukkracht in de vloer in de x-richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkracht die verwacht wordt door de horizontale belasting; $1470,05 - 610,89 * 2 = 248,27 \text{ kN}$. Er wordt namelijk 249,80 kN verwacht.



Figuur K.23.: Horizontale belasting op een wand

De resultante normaaldrukkraft in de vloer in de y-richting min de trekkracht in de rib geeft ongeveer de normaaldrukkraft die verwacht wordt door de horizontale belasting; $1239,71 - 516,18 \cdot 2 = 207,35 \text{ kN}$. Er wordt namelijk $208,16 \text{ kN}$ verwacht.

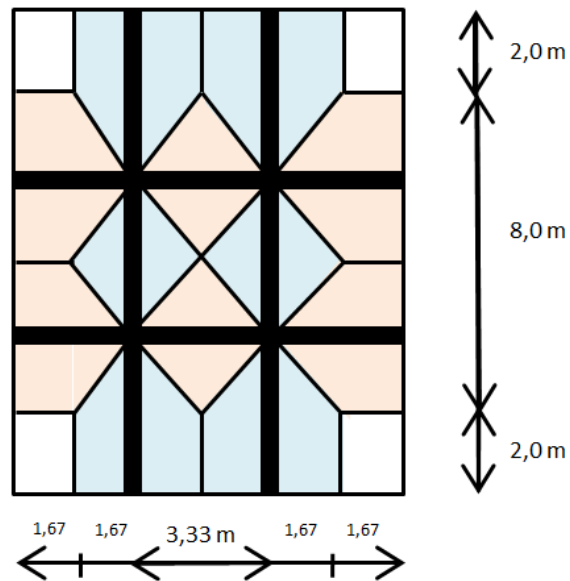
Ribben, opbuigend moment

De rib die de breedte overspant heeft een opwaartse belasting van $2,06 \cdot 9,81 \cdot 4 = 80,83 \text{ kN/m}$, het eigen gewicht van de rib is hier $0,223 \cdot 0,667 \cdot 25 = 3,72 \text{ kN/m}$ en het eigen gewicht van de vloer dat door deze rib gedragen wordt is $0,135 \cdot 25 \cdot 4 = 13,50 \text{ kN/m}$. Dit geeft een totale opwaartse belasting van $80,83 - 3,72 - 13,50 = 63,61 \text{ kN/m}$.

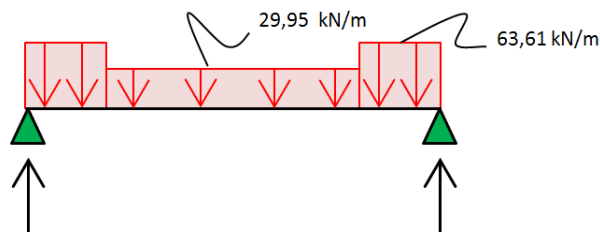
De rib die de lengte overspant heeft een opwaartse belasting van $2,06 \cdot 9,81 \cdot 3,33 = 67,29 \text{ kN/m}$, het eigen gewicht van de rib is hier $0,800 \cdot 0,267 \cdot 25 = 5,34 \text{ kN/m}$ en het eigen gewicht van de vloer dat door deze rib gedragen wordt is $0,135 \cdot 25 \cdot 3,33 = 11,24 \text{ kN/m}$. Dit geeft een totale opwaartse belasting van $67,29 - 5,34 - 11,24 = 50,71 \text{ kN/m}$.

Waar deze ribben elkaar kruisen zullen de opwaartse belasting en belasting van de vloer minder zijn, omdat daar het oppervlak door 2 ribben wordt gedragen. Voor de ribben die de breedte overspannen, is dit $0,5 \cdot 4 \cdot 1,67 \cdot 4 = 13,36 \text{ m}^2$. Dit geeft een gemiddelde q-last op dit deel van $2,06 \cdot 9,81 \cdot 2 - 0,135 \cdot 2 \cdot 25 - 0,223 \cdot 0,667 \cdot 25 = 29,95 \text{ kN/m}$. Als de rib als een ligger op 2 steunpunten wordt beschouwd, ziet het mechanica schema er uit zoals in figuur J.25. De horizontale oplegreacties zijn nul en de verticale zijn $\frac{63,61 \cdot 3,33 + 29,95 \cdot 6,67}{2} = 205,79 \text{ kN}$. Het moment in het midden van de overspanning kan nu met een snede bepaald worden: $205,79 \cdot 5 - 63,61 \cdot 1,67 \cdot (3,33 + \frac{1,67}{2}) - 29,95 \cdot 3,33 \cdot \frac{3,33}{2} = 421,95 \text{ kNm}$. Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is $73,06 \text{ kNm}$, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkraft en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{667}{2} + \frac{135}{2} = 401 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $\frac{1470,05}{2} \cdot 0,401 = 294,75 \text{ kNm}$. Het totale moment in de rib is dan $73,06 + 294,75 = 367,81 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van $421,95 \text{ kNm}$. Een verklaring hiervoor is te vinden in



Figuur K.24.: Plattegrond



Figuur K.25.: Mechanica schema met belasting

bijlage H.4.

Dezelfde berekeningen kunnen gedaan worden voor de rib die de lengte overspant. Waar de twee ribben elkaar kruisen, draagt ook deze rib $13,36 \text{ m}^2$. Dit geeft een gemiddelde q-last op dit deel van $2,06 * 9,81 * 1,67 - 0,135 * 1,67 * 25 - 0,267 * 0,800 * 25 = 22,77 \text{ kN/m}$. Deze rib kan net zoals hierboven als een ligger op twee steunpunten worden geschematiseerd. De horizontale oplegreacties zijn nul en de verticale zijn $\frac{50,71*4+22,77*8}{2} = 192,50 \text{ kN}$. Het moment in het midden van de overspanning kan nu met een snede bepaald worden: $192,50 * 6 - 50,71 * 2 * (4 + \frac{2}{2}) - 22,77 * 4 * \frac{4}{2} = 465,74 \text{ kNm}$.

Het opbuigende moment dat Scia Engineer in deze rib geeft is $87,53 \text{ kNm}$, deze waarde is dus veel kleiner dan de waarden die gevonden worden met de handberekening.

In Scia Engineer zat in de vloer een grote drukkracht en in de rib een grote trekkracht, deze samen geven nog bijdrage aan het moment in de rib. De normaalkrachten in Scia Engineer zullen centrisch aangrijpen op de elementen, waardoor de inwendige hefboomsarm niet zo groot is; $\frac{800}{2} + \frac{135}{2} = 467,50 \text{ mm}$. Het extra interne moment wordt dan $\frac{1239,71}{2} * 0,4675 = 289,78 \text{ kNm}$. Het totale moment in de rib is dan $87,53 + 289,78 = 377,31 \text{ kNm}$. Ook dit moment komt nog niet overeen met het te verwachten moment van $465,74 \text{ kNm}$. Een verklaring hiervoor is te vinden in

Wanden

In paragraaf ?? is een versimpeld mechanica schema weergegeven van een wand. Als we voor de eenvoud dezelfde berekening aanhouden als bij het model zonder ribben, dan zou de m_x in het midden van de wand hier zijn: $0,5 * 2,06 * 20,21 * \frac{1}{3} * 2,06 = 14,29 \text{ kNm/m}$. Scia Engineer geeft hier een waarde van 3,53 kNm/m. Dit komt niet overeen.

Als de m_y op dezelfde manier bepaald wordt als bij het model zonder rib, worden de volgende resultaten gevonden:

$$q_{gem} = \frac{0,45 * 0 + 2,06 * \frac{20,21}{2}}{2,06 + 0,45} = 8,29 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{K.20})$$

Het moment in het midden van de wand is dan:

$$m_y = \frac{1}{24} * 8,29 * 12^2 = 49,74 \text{ kNm/m} \quad (\text{K.21})$$

Scia Engineer geeft 23,19 kNm/m. Een verklaring waarom deze waarden afwijken van de waarden in Scia Engineer is gegeven in E.2.

Conclusie

De versimpelde handberekeningen lijken grofweg overeen te komen met de gevonden interne krachten in Scia Engineer. De afwijkende waarden zijn te verklaren; bij de handberekeningen voor het opbuigende moment in de rib is geen rekening gehouden met de exacte belastingafdracht van de vloer en bij de handberekeningen voor de momenten aan de randen van de vloer en wanden is er geen rekening gehouden met het complexere mechanisme die ook optreedt, namelijk dat de tegenwerkende vervormingen de momenten reduceren.

K.5. Nieuwe wapening bij kleinere dikte

Vloer

Wapening in het midden van de vloer

Voor de effectieve dikte in de x-richting wordt $d_x = 135 - 30 - \frac{1}{2} * 12 = 99 \text{ mm}$ aangenomen en voor platen mag $z=0,95d$ geschat worden $z_x = 0,95 * 99 = 94,05 \text{ mm}$. Voor de y-richting geldt: $d_y = 135 - 30 - 12 - \frac{1}{2} * 12 = 87 \text{ mm}$ en $z_y = 0,95 * 87 = 82,65 \text{ mm}$.

De druksterkte van het beton is $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$, f_{cd} is dan $\frac{f_{ck}}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$. Per meter vloer kan door het beton, zonder wapening al $A_c * f_{cd} = \frac{135*1000*20}{1000} = 2700 \text{ kN/m}$ (druk) opgenomen worden.

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{px,m} = -11,72 + 5,38 = -6,34 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 7,00 + 5,38 = 12,38 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{12,38}{435 * 0,09405} * 1000 = 303 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,m} = 11,72 + 5,38 = 17,10 \text{ kNm/m}$$

$$m'_{py,m} = -7,00 + 5,38 = -1,62 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{17,10}{435 * 0,09405} * 1000 = 418 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(K.22)

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -75,0 + 131,40 = 56,40 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{56,40}{435} * 1000 = 130 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Er is $303 + 130 = 433 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde van de vloer nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{433}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,83 \approx 4$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $418 + 130 = 548 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. $\frac{548}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,85 \approx 5$ staven per meter nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de vloer kan dan gevonden worden:

onderzijde :

$$m_{py,m} = -5,00 + 5,38 = 0,38 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = 7,00 + 5,38 = 12,38 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,o} = \frac{12,38}{435 * 0,08265} * 1000 = 344 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{py,m} = 5,00 + 5,38 = 10,38 \text{ kNm/m}$$

(K.23)

$$m'_{py,m} = -7,00 + 5,38 = -1,62 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,m,b} = \frac{10,38}{435 * 0,08265} * 1000 = 289 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -70,0 + 131,40 = 61,40 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{61,40}{435} * 1000 = 141 \text{ mm}^2/\text{m}$$

In het midden van de vloer is $344 + 141 = 485 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening in de onderzijde nodig. Er wordt een staafdiameter van 12 mm aangenomen. Dan zijn er $\frac{485}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,29 \approx 5$ staven per meter nodig.

In de bovenzijde is $289 + 141 = 430 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt voor wapeningsstaven van 12 mm in diameter gekozen, hier zijn dan $\frac{430}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 3,80 \approx 4$ staven per meter nodig.

Wapening aan de randen van de vloer

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

onderzijde :

$$m_{px,r} = 15,41 + 5,38 = 20,79 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -9,86 + 5,38 = -4,48 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{20,79}{435 * 0,09405} * 1000 = 508 \text{ mm}^2/\text{m}$$

bovenzijde :

$$m'_{px,r} = -15,41 + 5,38 = -10,03 \text{ kNm/m}$$

(K.24)

$$m'_{px,r} = 9,86 + 5,38 = 15,24 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{15,24}{435 * 0,09405} * 1000 = 373 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{px,m} = -1,70 + 131,40 = 129,70 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{129,70}{435} * 1000 = 298 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de bovenzijde is $373 + 298 = 671 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er komen hier staven van 12 mm in diameter; $\frac{671}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,93 \approx 6$ staven per meter.

In de onderzijde is $508 + 298 = 806 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Ook hier wordt weer een staaf-diameter van 12 mm genomen. Dan zijn er $\frac{806}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,13 \approx 8$ staven per meter nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

onderzijde :

$$m_{py,r} = 17,89 + 5,38 = 23,27 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,r} = -8,47 + 5,38 = -3,09 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,o} = \frac{23,27}{435 * 0,08265} * 1000 = 647 \text{ mm}^2/m$$

bovenzijde :

$$m'_{py,r} = -17,89 + 5,38 = -12,51 \text{ kNm/m}$$

(K.25)

$$m'_{py,r} = 8,47 + 5,38 = 13,85 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,r,b} = \frac{13,85}{435 * 0,08265} * 1000 = 385 \text{ mm}^2/m$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = 79,21 + 131,40 = 210,61 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{210,61}{435} * 1000 = 484 \text{ mm}^2/m$$

In de bovenzijde van de vloer is $385 + 484 = 869 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Er zullen staven van 12 mm in diameter komen te liggen, dan zijn er $\frac{869}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 7,68 \approx 8$ staven per meter nodig.

In de onderzijde is er $647 + 484 = 1131 \text{ mm}^2/m$ wapening nodig. Met een staafdiameter van 12 mm zijn er $\frac{1131}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,0 \approx 11$ staven per meter nodig.

Wanden

Voor het gemak worden alle vier de wanden hetzelfde gewapend, er wordt dus gedimensioneerd op de wanden met de grootste interne krachten.

Wapening in het midden van de wanden

Voor de wapening in de x-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{px,m} = -3,53 + 3,56 = 0,03 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,m} = 1,07 + 3,56 = 4,63 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{4,63}{435 * 0,09405} * 1000 = 113 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,m} = 3,53 + 3,56 = 7,09 \text{ kNm/m}$$

(K.26)

$$m'_{px,m} = -1,07 + 3,56 = 2,49 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,m} = \frac{7,09}{435 * 0,09405} * 1000 = 173 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px,m} = 338,65 + 79,96 = 418,61 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{418,61}{435} * 1000 = 962 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $113 + 962 = 1075 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{1075}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 9,51 \approx 10$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $173 + 962 = 1135 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{1135}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 10,04 \approx 11$ staven nodig.

Voor de wapening in de y-richting in het midden van de wanden kan gevonden worden:

buitenzijde :

$$m_{py,m} = 23,19 + 3,56 = 26,75 \text{ kNm/m}$$

$$m_{py,m} = -3,56 + 3,56 = 0,00 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{26,75}{435 * 0,08265} * 1000 = 744 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,m} = -23,19 + 3,56 = -19,63 \text{ kNm/m}$$

(K.27)

$$m'_{py,m} = 3,56 + 3,56 = 7,12 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,m} = \frac{7,12}{435 * 0,08265} * 1000 = 198 \text{ mm}^2/\text{m}$$

normaalkracht :

$$n_{py,m} = -3,47 + 79,96 = 76,49 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{76,49}{435} * 1000 = 176 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $744 + 176 = 920 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{920}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 8,13 \approx 9$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $198 + 176 = 374 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 8 mm in diameter, dan zijn er $\frac{374}{\frac{1}{4} * \pi * 8^2} = 7,44 \approx 8$ staven nodig.

Wapening aan de randen van de wanden

In de x-richting is aan de randen het volgende wapeningsoppervlak nodig:

buitenzijde :

$$m_{px,r} = 5,55 + 3,56 = 9,11 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = -2,85 + 3,56 = 0,71 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{9,11}{435 * 0,09405} * 1000 = 223 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{px,r} = -5,55 + 3,56 = -1,99 \text{ kNm/m}$$

(K.28)

$$m'_{px,r} = 2,85 + 3,56 = 6,41 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,px,r} = \frac{6,41}{435 * 0,09405} * 1000 = 157 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{px} = 82,71 + 79,96 = 162,67 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{162,67}{435} * 1000 = 374 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $223 + 374 = 597 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{597}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,28 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $157 + 374 = 531 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{531}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 4,70 \approx 5$ staven nodig.

In de y-richting kan dan het volgende wapeningsoppervlak worden gevonden:

buitenzijde :

$$m_{py,r} = -3,56 + 3,56 = 0,00 \text{ kNm/m}$$

$$m_{px,r} = 7,00 + 3,56 = 10,56 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{10,56}{435 * 0,08265} * 1000 = 294 \text{ mm}^2/\text{m}$$

binnenzijde :

$$m'_{py,r} = 3,56 + 3,56 = 7,12 \text{ kNm/m}$$

(K.29)

$$m'_{py,r} = -7,00 + 3,56 = -3,44 \text{ kNm/m}$$

$$A_{s,py,r} = \frac{7,12}{435 * 0,08265} * 1000 = 198 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Normaalkracht :

$$n_{py} = 81,28 + 79,96 = 161,24 \text{ kN/m}$$

$$A_{s,n} = \frac{161,24}{435} * 1000 = 371 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Aan de buitenzijde is $294 + 371 = 665 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Met wapeningsstaven van 12 mm in diameter zijn er $\frac{665}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,88 \approx 6$ staven per meter nodig.

Aan de binnenzijde is $198 + 371 = 569 \text{ mm}^2/\text{m}$ wapening nodig. Er wordt gekozen voor staven van 12 mm in diameter, dan zijn er $\frac{569}{\frac{1}{4} * \pi * 12^2} = 5,03 \approx 6$ staven nodig.

Rib

Er treedt een maximaal buigend moment van 87,53 kNm in het midden van de overspanning van de rib, dit moment is opbollend waarbij de trek dus aan de bovenkant van de rib zit. Aan de uiteindes van de rib zit er een moment van 10,54 kNm, deze is tegenovergesteld in richting. Er zit een maximale normaaltrekkkracht van 610,89 kN in de rib.

Midden

De inwendige hefboomsarm kan bepaald worden als de diameters van de toegepaste wapening gekozen zijn. In de bovenzijde is zeer veel wapening nodig, er wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. In de onderkant is door de grote trekkracht waarschijnlijk ook wapening nodig, hier wordt een staafdiameter van 25 mm aangenomen. De inwendige hefboomsarm voor de ribben die de breedte overspannen, is dan $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 * 0,5 - 20 * 0,5 = 689,5 \text{ mm}$. De inwendige hefboomsarm voor de ribben die de lengte overspannen, is dan $z = 135 + 800 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 * 0,5 - 20 * 0,5 = 822,5 \text{ mm}$ 10 mm is de staafdiameter van de beugelwapening.

De wapening in de bovenzijde van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned} A_s &= + \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= + \frac{87,53}{435 * 0,6895} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1696 \text{ mm}^2 \\ &= + \frac{87,53}{435 * 0,8225} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1649 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{K.30})$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{1696}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 3,45 \approx 4$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{1649}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 3,36 \approx 4$ staven nodig.

En in de onderkant komt:

$$\begin{aligned} A_s &= - \frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\ &= - \frac{87,53}{435 * 0,6895} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1113 \text{ mm}^2 \\ &= - \frac{87,53}{435 * 0,8225} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1160 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{K.31})$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{1113}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 3,54 \approx 4$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{1160}{\frac{1}{4} * \pi * 20^2} = 3,69 \approx 4$ staven nodig.

Uiteinden

Door het kleinere buigende moment in de uiteindes zal de benodigde wapening in de boven- en onderzijde minder verschillen. Daarom worden nu in beide zijdes staven van 20 mm in diameter geplaatst. Voor de rib die de breedte overspant, geeft dit een inwendige hefboomsarm van $z = 135 + 667 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 = 687 \text{ mm}$. Voor de rib die de lengte overspant, is de inwendige hefboomsarm dan $z = 135 + 800 - 35 * 2 - 10 * 2 - 25 = 820 \text{ mm}$ De wapening in de bovenzijde

van de rib wordt dan:

$$\begin{aligned}
 A_s &= -\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\
 &= -\frac{10,54}{435 * 0,687} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1369 \text{ mm}^2 \\
 &= -\frac{10,54}{435 * 0,820} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1375 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{K.32}$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{1369}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 2,79 \approx 3$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{1375}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 2,80 \approx 3$ staven nodig.

En in de onderkant komt:

$$\begin{aligned}
 A_s &= +\frac{M}{f_{yd} * z} + \frac{N}{f_{yd}} \\
 &= +\frac{10,54}{435 * 0,687} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1440 \text{ mm}^2 \\
 &= +\frac{10,54}{435 * 0,820} * 1000 + \frac{610,89}{435} * 1000 = 1434 \text{ mm}^2
 \end{aligned} \tag{K.33}$$

In de rib die de breedte overspant, zijn er $\frac{1440}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 2,93 \approx 3$ staven nodig. In de rib die de lengte overspant, zijn er $\frac{1434}{\frac{1}{4} * \pi * 25^2} = 2,92 \approx 3$ staven nodig.

Er komen in de onder- en bovenzijde dus 4 staven per laag, dit geeft een staafafstand van $\frac{223-35*2}{3} = 51 \text{ mm}$. Dit is groter dan 27 mm (korreldiameter+5), en voldoet dus aan de eis van minimaal toelaatbare staafafstand.

Overzicht

In tabel K.4 is de wapening die in het drijflichaam wordt geplaatst volgens bovenstaande berekeningen weergegeven.

Effectieve dikte controle

Overall zijn staven van 12 mm in diameter geplaatst, op de binnenzijde van het midden van de wanden in y-richting na. De effectieve dikte is dus overall dezelfde waarde als van tevoren aangenomen en er verandert dus niets aan de berekende benodigde wapening.

Het wapeningsoverzicht is weergegeven in tabel 6.5.

Wapeningspercentage

De uiteindelijk toegepaste wapeningspercentages kunnen nu berekend worden.

Vloer

In het midden van de vloer is het wapeningspercentage in de x en y-richting:

$$\begin{aligned}
 \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 4 + 12^2 * 5)}{135 * 1000} = 0,75\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 4)}{135 * 1000} = 0,75\%
 \end{aligned} \tag{K.34}$$

-	Vloer	Wanden
Midden	onderzijde	binnenzijde
x-richting	4 staven per meter, $\phi 12$	11 staven per meter $\phi 12$
y-richting	5 staven per meter, $\phi 12$	8 staven per meter $\phi 8$
Midden	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	5 staven per meter $\phi 12$	10 staven per meter $\phi 12$
y-richting	4 staven per meter $\phi 12$	9 staven per meter $\phi 12$
Randen	onderzijde	binnenzijde
x-richting	8 staven per meter $\phi 12$	5 staven per meter $\phi 12$
y-richting	11 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Randen	bovenzijde	buitenzijde
x-richting	6 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
y-richting	8 staven per meter $\phi 12$	6 staven per meter $\phi 12$
Rib, midden	bovenzijde	onderzijde
Rib, uiteinden	4 staven $\phi 25$	4 staven $\phi 20$
	3 staven $\phi 25$	3 staven $\phi 25$

Tabel K.4.: Nieuw wapening overzicht model met 4 gekruiste ribben

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{0,75 * 0,75} = 0,75\% \quad (\text{K.35})$$

Aan de randen van de vloer is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 8 + 12^2 * 6)}{135 * 1000} = 1,17\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 12^2 * 8)}{135 * 1000} = 1,59\% \end{aligned} \quad (\text{K.36})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{1,17 * 1,59} = 1,36\% \quad (\text{K.37})$$

Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de vloer wordt:

$$\frac{(10 * 12 - 6 * 8) * 1,36 + 6 * 8 * 0,75}{10 * 12} = 1,12\% \quad (\text{K.38})$$

Wanden

In het midden van de wanden is het wapeningspercentage in de x en y-richting nu:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 11 + 12^2 * 10)}{135 * 1000} = 1,76\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (8^2 * 8 + 12^2 * 9)}{135 * 1000} = 1,05\% \end{aligned} \quad (\text{K.39})$$

Het totale wapeningspercentage in het midden is dan:

$$\rho = \sqrt{1,76 * 1,05} = 1,36\% \quad (\text{K.40})$$

Aan de randen van de wanden is het wapeningspercentage in x en y-richting:

$$\begin{aligned} \rho_x &= \frac{A_s}{A_c} & \rho_y &= \frac{A_s}{A_c} \\ &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 5 + 12^2 * 6)}{135 * 1000} = 0,92\% & &= \frac{\frac{1}{4} * \pi * (12^2 * 6 + 12^2 * 6)}{135 * 1000} = 1,01\% \end{aligned} \quad (\text{K.41})$$

Het totale wapeningspercentage in de randen is dan:

$$\rho = \sqrt{0,92 * 1,01} = 0,96\% \quad (\text{K.42})$$

De randen van de wanden lopen tot 3 meter door, dus 6 meter per wand is rand. Dus het gemiddelde wapeningspercentage in de wanden wordt:

$$\frac{3 * 2,51 * 4 * 0,96 + (4 * 2,51 + 6 * 2,51) * 1,36}{10 * 2,51 + 12 * 2,51} = 1,14\% \quad (\text{K.43})$$

Ribben

De ribben kunnen geschematiseerd worden als T-liggers, omdat een deel van de vloer gerekend kan worden als onderdeel van de drukzone. In Eurocode 2 is een vereenvoudigde methode te vinden om de meewerkende breedte te bepalen, zie figuur H.29. De volgende vergelijkingen horen daarbij:

$$\begin{aligned} b_{eff} &= \sum b_{eff,i} + b_w \leq b \\ b_{eff,i} &= 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0 \end{aligned} \quad (\text{K.44})$$

Voor de ribben die de breedte overspannen geldt:

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 10 = 7 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en b_2 $2 - \frac{0,223}{2} = 1,89 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} b_{eff,1} &= 0,2 * 1,89 + 0,1 * 7 = 1,078 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \\ b_{eff,2} &= 0,2 * 1,89 + 0,1 * 7 = 1,078 \text{ m} \leq 1,4 \text{ m} \end{aligned} \quad (\text{K.45})$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,078 + 1,078 + 0,223 = 2,379 \text{ m} \leq 4 \text{ m}$.

Het wapeningspercentage in het midden van de ribben wordt dan:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 25^2}{802 * 2379} = 0,10\% \quad (\text{K.46})$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{3 * 0,25 * \pi * 25^2}{802 * 2379} = 0,08\% \quad (\text{K.47})$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de ribben is dan:

$$\frac{0,5 * 0,08 + 9,5 * 0,10}{10} = 0,10\% \quad (\text{K.48})$$

Voor de ribben die de lengte overspannen geldt:

Voor l_0 wordt $0,70 * l^2 = 0,70 * 12 = 8,4 \text{ m}$ genomen. Als de wanden van de vloer ook als ribben worden gezien, dan zijn b_1 en b_2 $1,67 - \frac{0,267}{2} = 1,53 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} b_{eff,1} &= 0,2 * 1,53 + 0,1 * 8,4 = 1,146 \text{ m} \leq 1,68 \text{ m} \\ b_{eff,2} &= 0,2 * 1,53 + 0,1 * 8,4 = 1,146 \text{ m} \leq 1,68 \text{ m} \end{aligned} \quad (\text{K.49})$$

De totale meewerkende flensbreedte is dan; $b_{eff} = 1,146 + 1,146 + 0,267 = 2,559 \text{ m} \leq 3,33 \text{ m}$.

Het wapeningspercentage in het midden van de ribben wordt dan:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 25^2}{935 * 2559} = 0,08\% \quad (\text{K.50})$$

En aan de uiteindes:

$$\frac{3 * 0,25 * \pi * 25^2}{935 * 2559} = 0,06\% \quad (\text{K.51})$$

Het moment is negatief tot ongeveer 25 cm van de randen af, waar het moment positief wordt. Het gemiddelde wapeningspercentage in de ribben is dan:

$$\frac{0,5 * 0,06 + 11,5 * 0,08}{10} = 0,08\% \quad (\text{K.52})$$

Minimum wapeningspercentage

Om te voorkomen dat de constructie bezwijkt zonder waarschuwing in de vorm van scheuren in de trekzone, is er een minimum vereist wapeningspercentage. Een versimpelde tabel is te vinden in het dictaat Gewapend Beton[5]. Deze tabel is weergegeven in figuur H.30. Met behulp van interpolatie kan gevonden worden dat voor het beton C30/37 en een hoogte groter dan 600 mm een minimum wapeningspercentage geldt van $\frac{0,11+0,13}{2} = 0,12\%$. Hieraan wordt in alle ribben niet voldaan.

In de rib die de breedte overspant zal de wapening in het midden van de overspanning in de bovenzijde verhoogd worden tot 8 staven van 20 mm in doorsnede, deze zullen dan in 2 lagen geplaatst moeten worden. Dan is het wapeningspercentage in het midden:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 20^2}{802 * 2379} = 0,13\% \quad (\text{K.53})$$

Het gemiddelde wapeningspercentage in die rib wordt dan:

$$\frac{0,5 * 0,08 + 9,5 * 0,13}{10} = 0,13\% \quad (\text{K.54})$$

In de rib die de lengte overspant zal de wapening in het midden van de overspanning in de bovenzijde verhoogd worden tot 4 staven van 32 mm in doorsnede. Dan is het wapeningspercentage in het midden:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 32^2}{802 * 2379} = 0,13\% \quad (\text{K.55})$$

In de onderzijde aan de uiteindes wordt de wapening verhoogd naar 3 staven van 32 mm in diameter:

$$\frac{3 * 0,25 * \pi * 32^2}{802 * 2379} = 0,10\% \quad (\text{K.56})$$

Het gemiddelde wapeningspercentage in die rib wordt dan:

$$\frac{0,5 * 0,10 + 11,5 * 0,13}{12} = 0,13\% \quad (\text{K.57})$$

De inwendige hefboomsarm is nu kleiner dan hiervoor aangenomen, echter omdat er nu meer wapening geplaatst is dan nodig was, kan ervan uit worden gegaan dat de wapeningshoeveelheid nog steeds ruim voldoet.

Deze wijzigingen zijn in tabel 6.5 toegepast.

K.6. Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

De fictieve elasticiteitsmodulus is te bepalen met tabel NB-1 uit de Nationale Bijlagen van Eurocode 2, deze is weergegeven in figuur E.30.

De berekeningen zijn voor dit model uitgevoerd met behulp van Maple, dit is weergegeven in figuur K.26.

```
restart;
Q1 := 3.6 : Q2 := 49.95 : l := 12 : b := 10 : dw := 0.135 : dv := 0.135 : diepgang := 2.06 : rho
:= 1000 : g := 9.81 : wapeningrhow := 0.0114 : wapeningrhov := 0.0112 : fcd := 20 : fyd
:= 435 :
```

(1)

Normaalkrachten:

```
NEdw1 := Q1·b·1000 :
NEdw2 := Q2·l·1000 :
NEdv1 := 0.5·diepgang·rho·g·diepgang·b :
NEdv2 := 0.5·diepgang·rho·g·diepgang·l :
```

Beton oppervlaktes:

```
Acw1 := (dw·b)·106 :
Acw2 := (dw·l)·106 :
Acv1 := (dv·b)·106 :
Acv2 := (dv·l)·106 :
```

Staal oppervlaktes:

```
Asw1 := wapeningrhow·Acw1 :
Asw2 := wapeningrhow·Acw2 :
Asv1 := wapeningrhov·Acv1 :
Asv2 := wapeningrhov·Acv2 :
```

Alpha's:

```
alpha_nw1 :=  $\frac{NEdw1}{(fcd·Acw1 + Asw1·fyd)}$  :
alpha_nw2 :=  $\frac{NEdw2}{(fcd·Acw2 + Asw2·fyd)}$  :
alpha_nv1 :=  $\frac{NEdv1}{(fcd·Acv1 + Asv1·fyd)}$  :
alpha_nv2 :=  $\frac{NEdv2}{(fcd·Acv2 + Asv2·fyd)}$  :
```

Elasticiteitsmodulussen:

```
Efw1 := (1.96 + 432·wapeningrhow + (20 - 196·wapeningrhow)·alpha_nw1)·1000;
6903.781102
```

(2)

```
Efw2 := (1.96 + 432·wapeningrhow + (20 - 196·wapeningrhow)·alpha_nw2)·1000;
7148.162795
```

(3)

```
Efv1 := (1.96 + 432·wapeningrhov + (20 - 196·wapeningrhov)·alpha_nv1)·1000;
6908.773820
```

(4)

```
Efv2 := (1.96 + 432·wapeningrhov + (20 - 196·wapeningrhov)·alpha_nv2)·1000;
6908.773820
```

(5)

Figuur K.26.: Elasticiteitsmodulus voor gescheurd beton en langdurig aanwezige belasting

Voor de wanden van 10 m wordt een fictieve elasticiteitsmodulus van 6904 N/mm² gevonden,

voor de wanden van 12 meter wordt een waarde van 7148 N/mm², en voor de vloer is een waarde van 6909 N/mm².

K.7. Kosten

Voor het wapeningspercentage in de rib die de breedte overspant, wordt nu de volgende waarde voor het wapeningspercentage ingevuld:

$$\frac{8 * 0,25 * \pi * 20^2 + 4 * 0,25 * \pi * 20^2}{667 * 223} = 2,53\% \quad (\text{K.58})$$

Voor het wapeningspercentage in de rib die de lengte overspant, wordt nu de volgende waarde voor het wapeningspercentage ingevuld:

$$\frac{4 * 0,25 * \pi * 32^2 + 4 * 0,25 * \pi * 20^2}{800 * 267} = 2,09\% \quad (\text{K.59})$$

De kosten zijn met behulp van Maple berekend:

```
restart;
dv := 0.135 : dw := 0.135 : l := 12 : b := 10 : h := 2.51 : Gamma_s := 7800 : rho_vloer := 0.0112 :
rho_wanden := 0.0114 : rho_ribb := 0.0253 : rho_ribl := 0.0209 : hb := 0.667 : hl := 0.8 : bb
:= 0.223 : bl := 0.267 : nb := 2 : nl := 2 :
```

Vloer:

$$\text{Kosten_vloer} := dv \cdot l \cdot b \cdot 400; \quad \text{€6.480,00} \quad (1)$$

Wanden:

$$\text{Kosten_wanden} := (2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot b \cdot h) \cdot 175 + dw \cdot 300; \quad \text{€19.367,50} \quad (2)$$

Ribben:

$$\text{Kosten_ribben} := (nb \cdot b \cdot hb + nl \cdot l \cdot hl) \cdot 175 + (nb \cdot bb + nl \cdot bl) \cdot 300; \quad \text{€5.988,50} \quad (3)$$

Wapening:

$$\begin{aligned} \text{wap_vloer} &:= \text{rho_vloer} \cdot dv \cdot l \cdot b \cdot 7800 : \\ \text{wap_wanden} &:= \text{rho_wanden} \cdot (2 \cdot b \cdot h \cdot dw + 2 \cdot l \cdot h \cdot dw) \cdot 7800 : \\ \text{wap_ribben} &:= (\text{rho_ribb} \cdot nb \cdot hb \cdot bb \cdot b + \text{rho_ribl} \cdot nl \cdot hl \cdot bl \cdot l) \cdot 7800 : \\ \text{Kosten_wapening} &:= (\text{wap_vloer} + \text{wap_wanden} + \text{wap_ribben}) \cdot 1.0; \\ &\quad \text{€4.163,73} \quad (4) \end{aligned}$$

Totale kosten:

$$\text{Kosten_vloer} + \text{Kosten_wanden} + \text{Kosten_ribben} + \text{Kosten_wapening}; \quad \text{€35.999,73} \quad (5)$$

Figuur K.27.: Kosten berekening model met 4 gekruiste ribben