Verankering staalconstructie E-RTO Offgas Cleaning Installation Gebr. Van der Lee

Firma: **Mesys Industrial Air Systems B.V.**
Projectnummer: **2025-130-01-000**
Project: **OCI E-RTO**

Klant: **Gebr. Van der Lee**
DocumentNr. **-**

Versie: **0**
Datum: **28-8-2026**

In dit document wordt het ankerontwerp van de van hoofdconstructie ten behoeve van de OCI E-RTO toegelicht.

Inhoudsopgave

1 Situatiebeschrijving 3

1.1 Overzicht installatie en constructie 3

1.2 Beschikbare ankers en anker lay-out 4

1.3 Toelichting ankerontwerp 6

2 Reactiekrachten en rotatiestijfheid 8

2.1 Reacties in vakwerk lengterichting 8

2.2 Reacties in portaal C 9

2.3 Reacties in portaal B 11

2.4 Reacties in portaal A 12

2.5 Uiterste reactiekrachten en vrijheidsgraden 13

2.6 Scharnierwerking en veerkracht door schotelveren 14

3 Dimensionering verankering 16

3.1 Belastingssituatie stramien A (poot A1 + A2) 17

3.2 Belastingssituatie stramien B (poot B1 + B2) 18

3.3 Belastingssituatie stramien C (poot C1 + C2) 20

3.4 Belastingssituatie stramien D (poot D1 + D2) 23

3.5 Belastingssituatie maximale drukkracht 23

3.6 Ondersabeling 24

4 Conclusie eindontwerp met montagevoorschriften 25

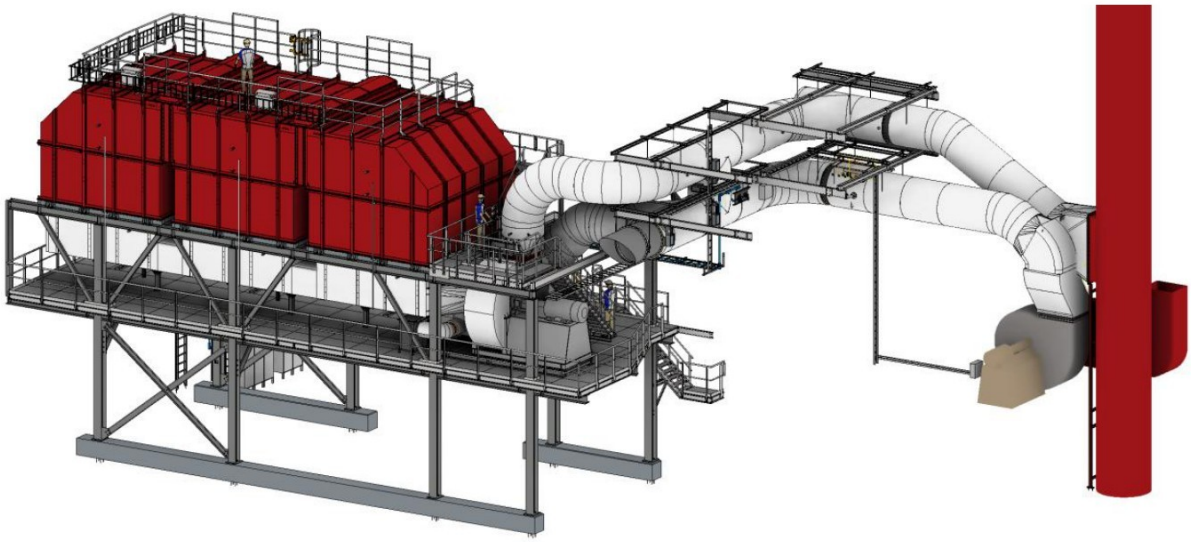
4.1 Ankers 25

4.2 Ondersabeling 26

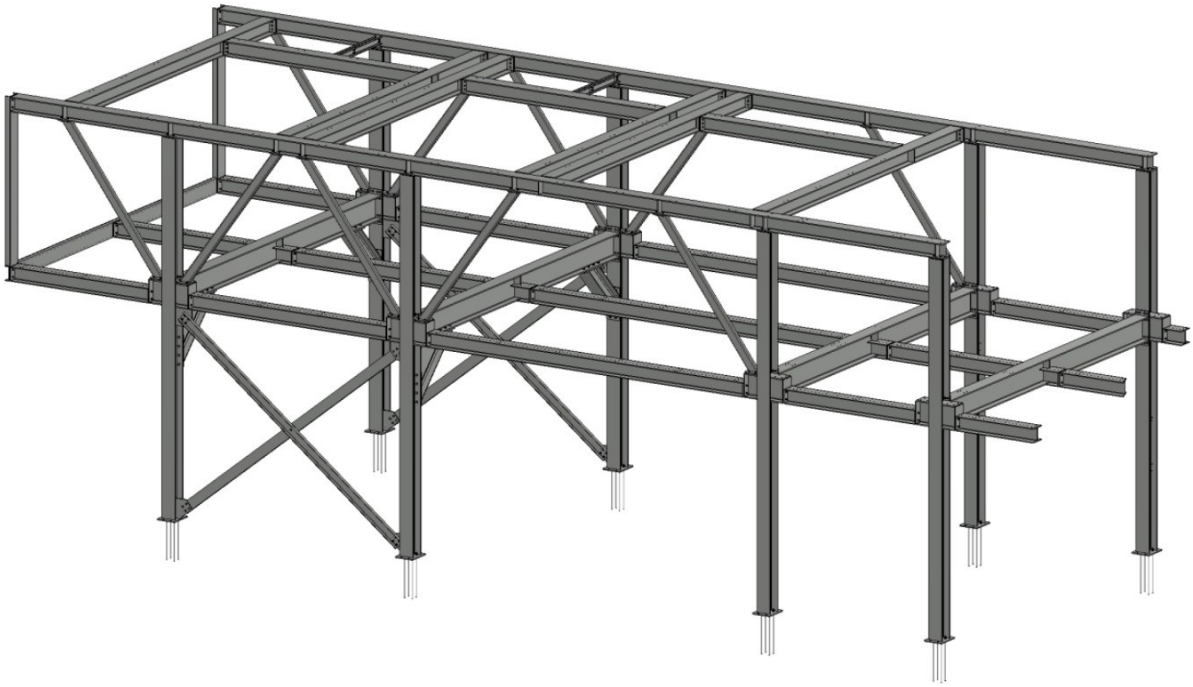
1 Situatiebeschrijving

1.1 Overzicht installatie en constructie

In Figuur 1 is een overzicht te zien van de gehele installatie, en in Figuur 2 is de dragende staalconstructie te zien.



Figuur 1 - Overzicht OCI totaal (per 27-08-2026)



Figuur 2 - Overzicht staalconstructie (per 27-08-2026)

1.2 Beschikbare ankers en anker lay-out

Specificaties ankergroep (8x identiek voor alle poten)

Ankers vooraf meegestort:

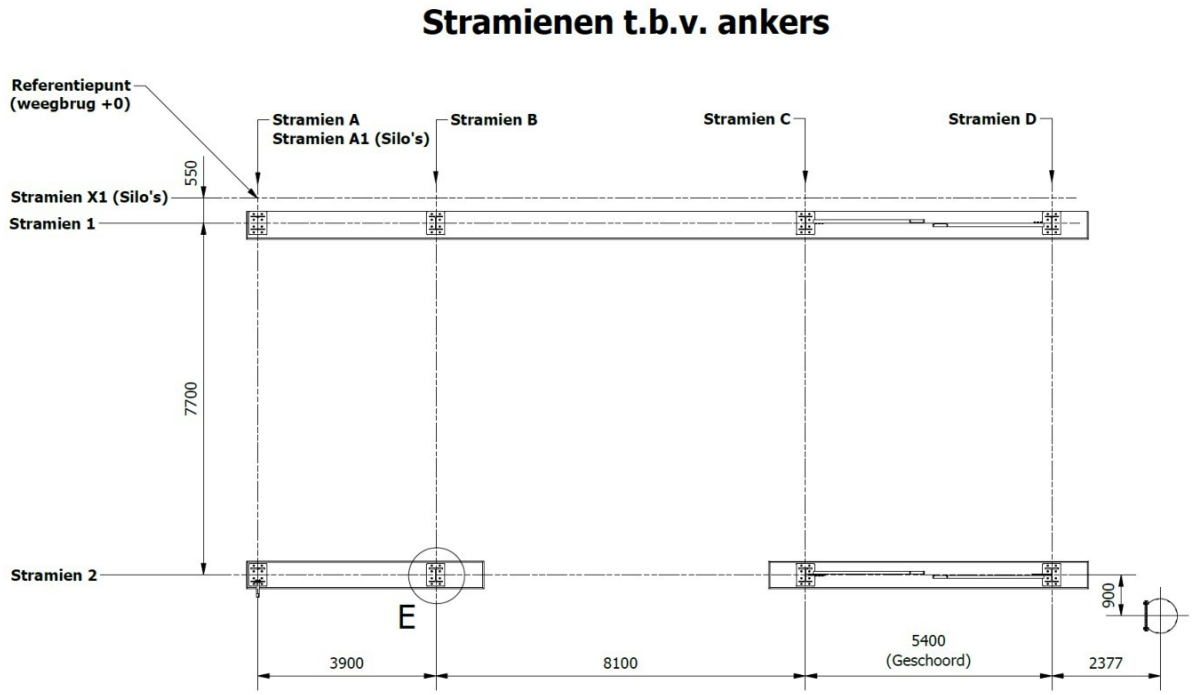
- Materiaal: M20, Staal, thermisch verzinkt, sterkteklasse 8.8
- Uitvoering: Rechte ankers met stalen eindplaatverankering
- Plaatsing: Meegestort in fundering / poer / wapening
- Diepte: 800 mm diep in beton, 100 mm boven beton ($L_{anker} = 900\ mm$)

Ankers achteraf verlijmd:

- Materiaal: Hilti Ankerstang HAS 8.8 HDG M20x1000 #419105
- Uitvoering: Rechte ankerstang, ingekochte ankerstang gehalveerd po lengtes van 500 mm
- Plaatsing: Geboord en verlijmd met HIT-HY 200-A V3 injectiemortel
- Diepte $H_{ef} = 370\ mm$, 130 mm boven beton ($L_{anker} = 500\ mm$)

Positionering ankers

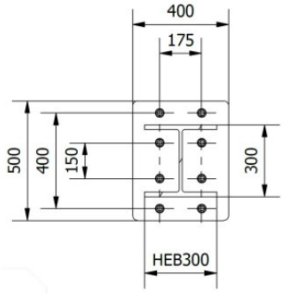
De positie van de ankergroepen zijn te zien in Figuur 3 in relatie tot de stramienen (maten in mm). Het beton is hierbij nog in de originele positie getekend en kan afwijken van deze tekening.



Figuur 3 - Anker layout (bovenaanzicht)

Uitvoering voetplaat

In Figuur 4 is het ankerpatroon te zien, maten in mm. De voetplaat (S355) is 20 mm dik.



Figuur 4 - Voetplaat constructie

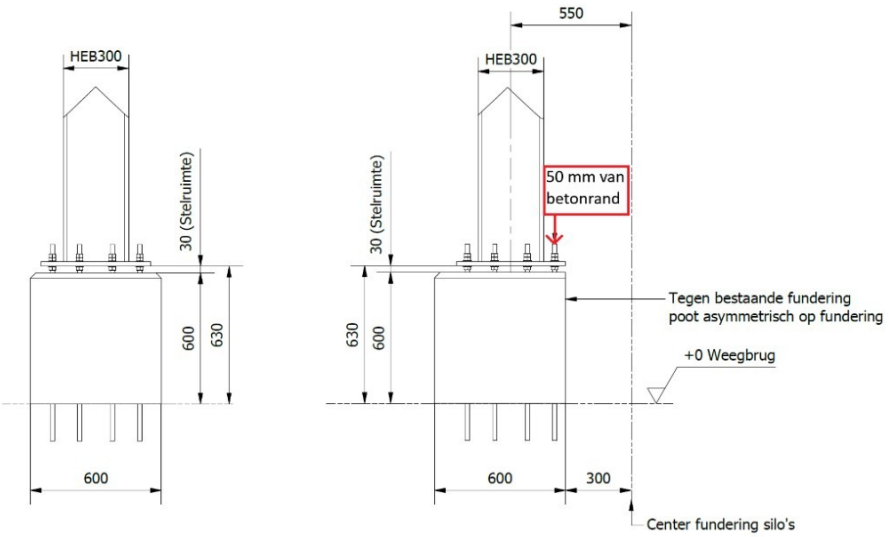
Wijzigingen na plaatsen oorspronkelijke ankers:
In Figuur 5 is een foto te zien van de ankers op locatie (foto van de poot op stramien A1). Door omstandigheden zijn de ankers op positie (1) onjuist gepositioneerd. De ankers op positie (2) zijn wel juist. Naderhand zijn extra ankers op positie (3) geboord en verlijmd zodat de constructie weer op de beoogde positie geplaatst kan worden. De wijziging heeft betrekking op alle poten (8 stuks). Alle poten staan nu tussen ankerrij (2) en (3). Ankerrij (1) valt buiten de voetplaat, en wordt niet meer benut.

Omdat de vier poten in stramien 1 niet in het center geplaatst zijn (50 mm uit het hart zodat de constructie een grotere en veiligere doorrijhoogte voor shovels heeft), is één rij ankers te dicht op de betonrand geplaatst, waardoor deze onvoldoende zijdekking heeft. Zie tevens de opmerking in Figuur 6. Daarom wordt in het nieuwe ontwerp rekening gehouden dat deze rij ankers niet benut wordt.

De verlijmde ankers hebben een lagere capaciteit dan de oorspronkelijk geplaatste ankers, en één ankerrij mag niet benut worden. Om deze lagere capaciteit werkbaar te maken wordt de voetplaatverbinding scharnierend uitgevoerd, in tegenstelling tot de voorheen momentvaste verbinding. In de nieuwe 2D constructieberekeningen is deze scharnierwerking meegenomen zodat de ankers met de juiste reactiekrachten ontworpen worden.



Figuur 5 - Uitvoering ankers



Figuur 6 - Positie poten t.o.v. fundering

1.3 Toelichting ankerontwerp

Om te voldoen aan de bevindingen op de vorige pagina, wordt de verankering als volgt uitgevoerd. In Figuur 7 is een visualisatie van de verankering te zien. Details worden nader toegelicht.

- Alle poten scharnierend uitvoeren.
  Scharnierend uitvoeren om fundering en ankers te ontlasten.
  De huidige voetplaat heeft een grote stijfheid, dus scharnierende werking garanderen met schotelveren.

- Alleen de 4 binnenste ankers benutten per poot.
  Dit i.v.m. het wegvallen van een ankerrij in stramien 1, en bevordering van de scharnierende werking.
  *De 4 buitenste ankers **niet** benutten (moeren lossen en afslijpen).*

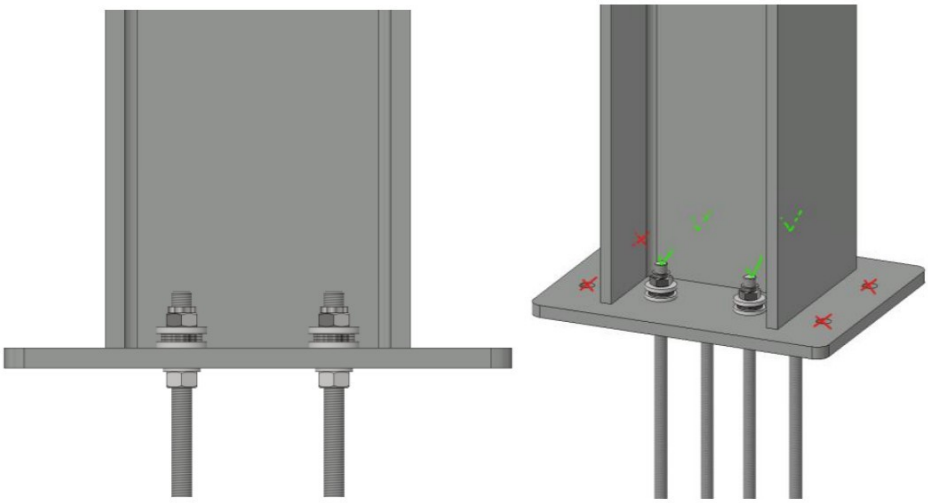
- Ankers toetsen op basis van verlijmde Hilti-ankers.
  Dit is de zwakste schakel in verhouding tot de vooraf geplaatste ankers.
  Ter controle een extra berekening met de engineerings-tool van Hilti.

- Voetplaat en poot intact laten.
  Gunstig voor krachtverdeling richting fundering via ondersabeling.

Draagmechanisme

De krachtsafdracht verloopt via:

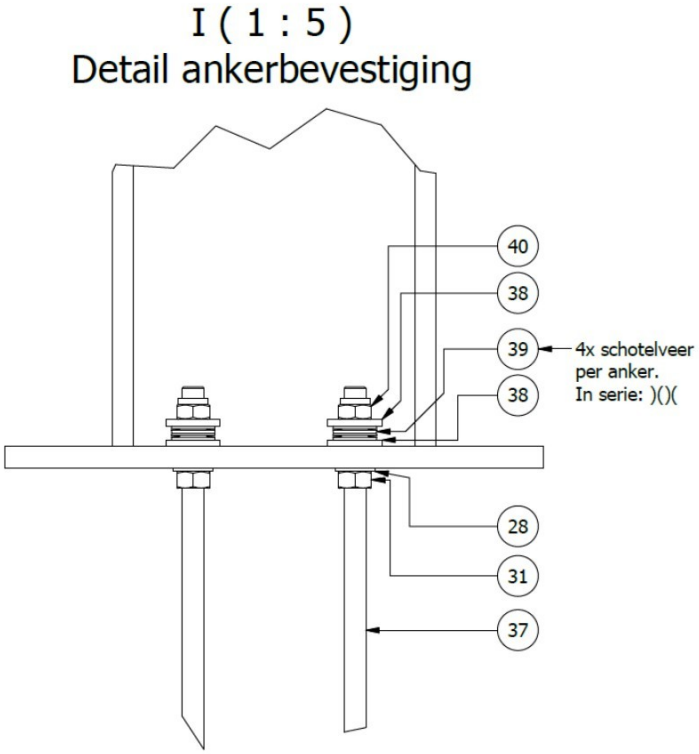
1. Verticale druk: *Kolom → voetplaat → ondersabeling → fundering*
2. Horizontale kracht: *Primair door wrijving*
   Secundair door ankers
3. Rotatie: *Via schotelveren*
4. Opwaartse kracht: *Via ankers*



Figuur 7 - Visualisatie van het ankerontwerp

Het nieuwe ontwerp van de verankering is te zien in Figuur 8, en op tekening *2513001021-000-000-Totaal staalconstructie E-RTO*. De opbouw bestaat uit de volgende componenten, overeenkomend met de posnummers op de genoemde tekening. De fundering en ondervulling is niet getekend.

Pos.	Omschrijving	Toelichting
40.	DIN 985 - M20	Borging van de verende verbinding tegen losraken. Boven de moer zit minimaal 3x vrije spoed (3x 2,5 = 7,5 mm).
38.	DIN 6340 21x50x6,0 (*ST 350+80 HV30 (ZF)*)	Stalen ring (Zinc Flaked) met hoge hardheid. Biedt bescherming tegen de harde/scherpe schotelveren.
39.	DIN 2093 40x20.4x2.5 (*Disc Spring DS-NS-51-304)*	Lage stijfheid van de poot realiseren, 4x in serie:)()(Dit geeft de laagste stijfheid en laagste voorspanning.
38.	DIN 6340 21x50x6,0 (*ST 350+80 HV30 (ZF)*)	Stalen ring (Zinc Flaked) met hoge hardheid. Biedt bescherming tegen de harde/scherpe schotelveren.
-	Voetplaat	Voetplaat 20 mm dik, zoals origineel gefabriceerd.
28.	DIN 126 - 22 ST-8.8 THVZ	Bestaande ring onder voetplaat.
31.	DIN 934 - M20	Bestaande stelmoer onder voetplaat.
37.	M20, 8.8 Anker THVZ	Per poot 2x meegestort, en 2x verlijmd. Dit is symmetrisch over het lijf van de poot.



Figuur 8 - Detail ankerbevestiging

2 Reactiekrachten en rotatiestijfheid

In de uitgevoerde 2D constructieberekeningen (bijlage **260422 RTO-machine opstelling Gebr. Van der Lee te Lelystad**, revisie 1), zijn voor verschillende situaties en combinaties reactiekrachten berekend per poot. In dit hoofdstuk wordt bepaald aan welke reactiekrachten en stijfheden alle ankergroepen moeten voldoen.

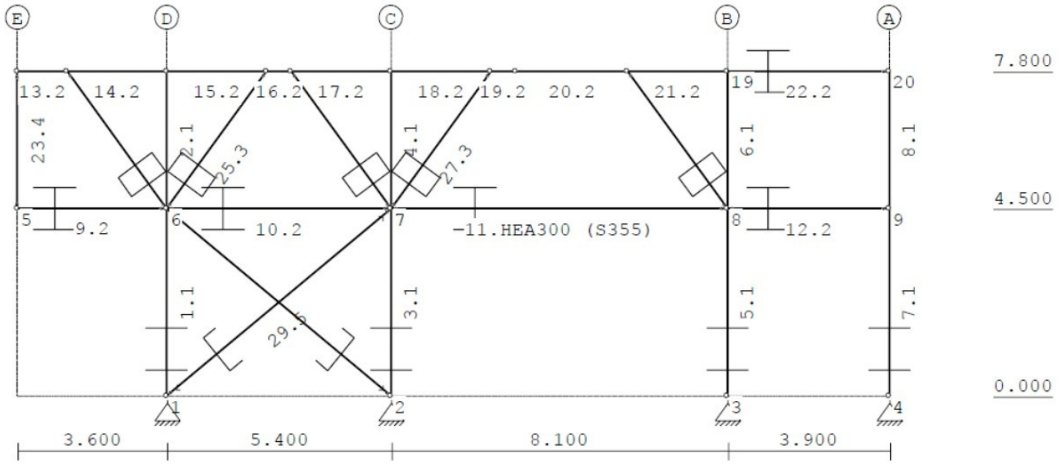
De reacties uit de fundamentele combinatie wordt in aparte 2D vakwerken/portalen berekend. Hiervan wordt voor de ankers de meest ongunstige verdeling gekozen.

2.1 Reacties in vakwerk lengterichting

In hoofdstuk 4 en 5 van de 2D berekening wordt de staalconstructie in stramien 1 en stramien 2 getoetst. De constructie wordt asymmetrisch belast tussen stramien 1 en 2, waarbij stramien 1 het meest ongunstig is voor zowel permanente belasting als variabele belasting. Stramien 1 is maatgevend voor de anker-reactiekrachten in lengterichting van de installatie.

De onderstaande reacties komen uit de constructieberekeningen: **4 Staalconstructie as 1 - wind // as 1**

GEOMETRIE



Reacties uit fundamentele combinatie voor vakwerk stramien 1 (en 2) (Blz. 30):

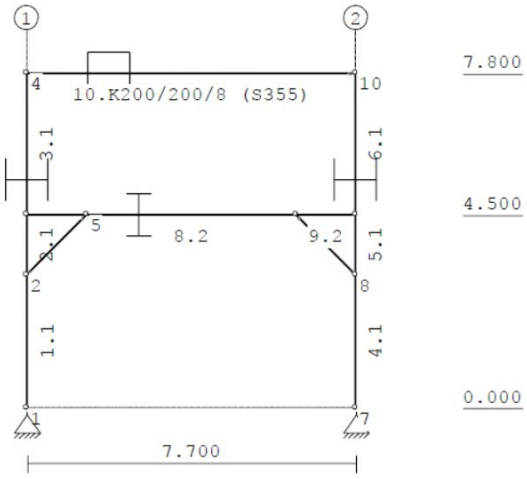
REACTIES Fundamentele combinatie

Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-67.39	0.08	429.42	672.99		
2	-0.54	67.53	526.45	792.74		
3	-0.35	0.88	325.76	422.34		
4	-0.63	0.50	31.50	42.54		

2.2 Reacties in portaal C

Portaal C wordt voorzien van schoren om de installatie meer stijfheid te geven. De reacties in portaal C zijn gebaseerd op twee verschillende situaties, afhankelijk van de het aantal lagen keramisch pakket in de RTO (onder en bovengrens). In de constructieberekeningen is dit te vinden onder: **6.4 Portaal as C met schoren – situatie 1** en **6.5 Portaal as C met schoren – situatie 2.** Situatie 2 bepaalt de laagste drukkracht op de poot in portaal C.

GEOMETRIE



Reacties uit fundamentele combinatie voor portaal C, situatie 1 (Blz. 63):

REACTIES Fundamentele combinatie

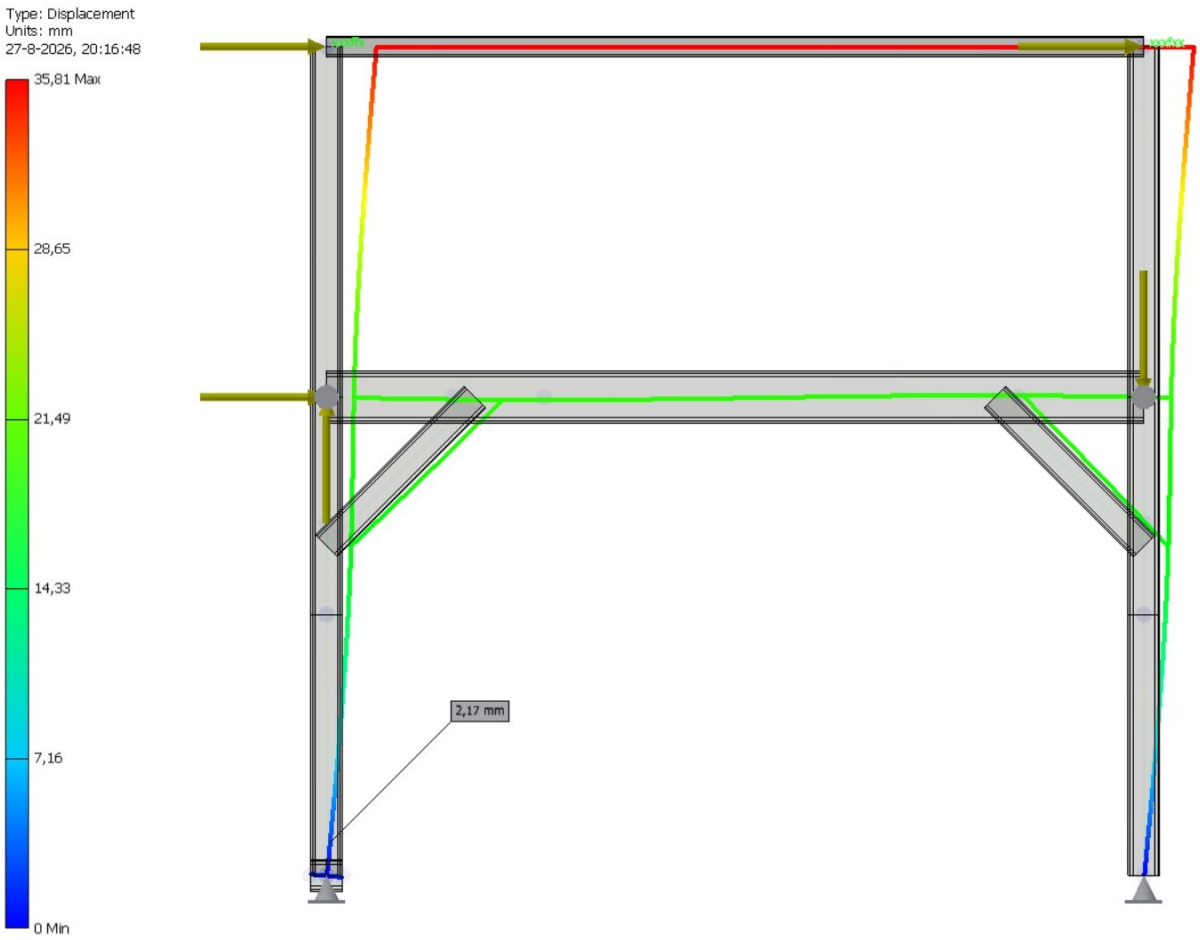
Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-40.12	99.27	612.57	1024.05		
7	-99.27	40.12	512.72	904.00		

Reacties uit fundamentele combinatie voor portaal C, situatie 2 (Blz. 69):

REACTIES Fundamentele combinatie

Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-40.50	98.82	491.07	878.25		
7	-98.82	40.50	413.72	785.20		

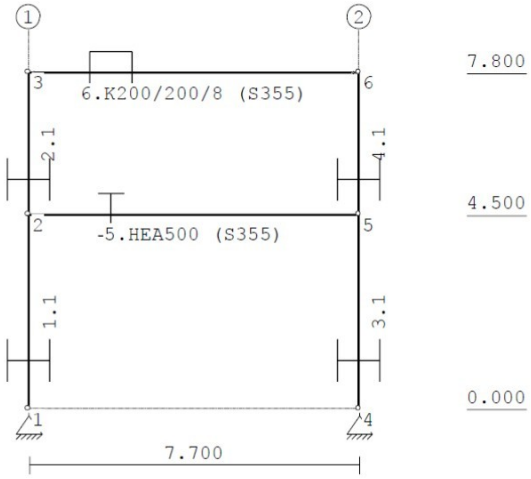
Portaal C is met schoren gesimuleerd. De maximale verplaatsing volgens de 2D berekening is hier benaderd. De poot heeft bij de scharnierende inklemming een verplaatsing van 2,17 mm op een hoogte van 300 mm. Deze verdraaiing (0,414°) moet worden opgevangen middels een flexibele inklemming.



2.3 Reacties in portaal B

De onderstaande reacties komen uit de constructieberekeningen: **6.7 Staalconstructie as B**

GEOMETRIE

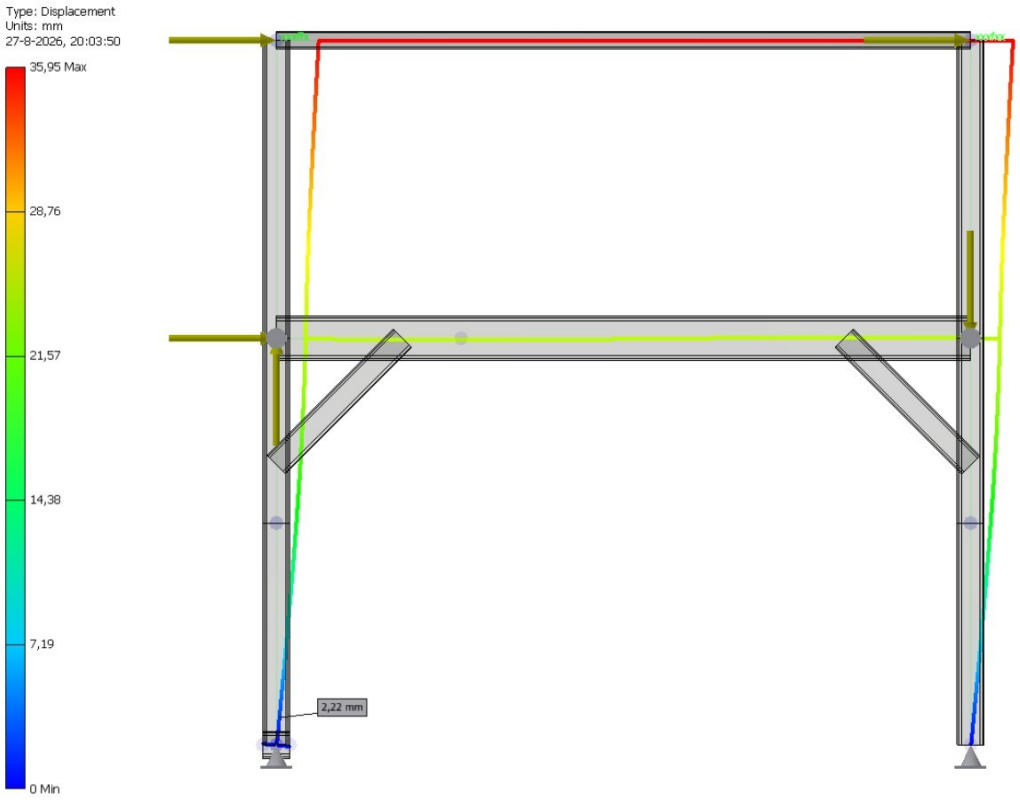


Reacties uit fundamentele combinatie voor portaal B (Blz. 96).

REACTIES Fundamentele combinatie

Kn.	X-min	X-max	Z-min	Z-max	M-min	M-max
1	-24.13	51.02	409.66	631.60		
4	-51.16	24.27	336.76	547.90		

Portaal B is zonder schoren gesimuleerd (schoren greyed out). De maximale verplaatsing volgens de 2D berekening is hier benaderd. De poot heeft bij de scharnierende inklemming een verplaatsing van 2,22 mm op een hoogte van 300 mm. Deze verdraaiing (0,424°) moet worden opgevangen middels een flexibele inklemming. Dit is vergelijkbaar met portaal C.

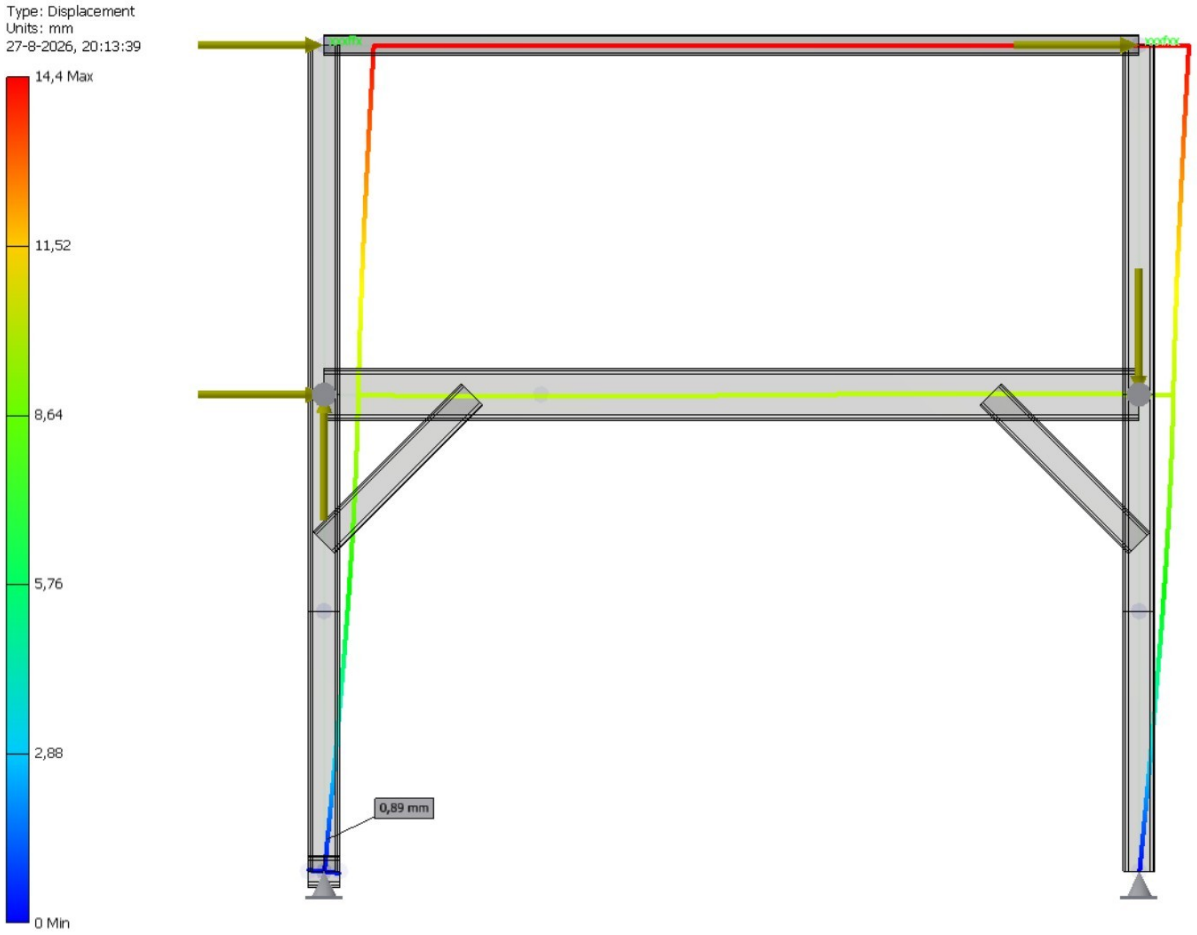


2.4 Reacties in portaal A

Portaal A is niet separaat berekend. De staalconstructie in stramien A is nagenoeg gelijk aan de staalconstructie van stramien B. De belastingen zijn verticaal en ook horizontaal gezien, veel geringer dan in stramien B.

De reacties komen uit de constructieberekeningen: **4 Staalconstructie as 1 - wind // as 1**. Deze zijn reeds behandeld.

Portaal A is zonder schoren gesimuleerd (schoren greyed out). De maximale verplaatsing volgens de 2D berekening is hier benaderd op basis van 10% van de totale windlast. De poot heeft bij de scharnierende inklemming een verplaatsing van 0,89 mm op een hoogte van 300 mm. Deze verdraaiing (0,170°) moet worden opgevangen middels een flexibele inklemming.



2.5 Uiterste reactiekrachten en vrijheidsgraden

Van de voorgaande paragrafen zijn de reactiekrachten van de fundamentele combinaties over zowel de portalen als het vakwerk in stramien 1 verzameld. De uiterste reactiekrachten zijn als volgt. X-richting is over de portaal-richting van de constructie, en Y-richting is in lengterichting van de constructie. Deze X- en Y-richting wordt ook toegepast in de berekeningen van de verankering.

Stramien A

-	*Drukkracht in Z-richting*	*31 tot 43 kN*	*Uitgaan van 0 kN als worst-case.*
-	*Windlast in Y-richting*	*0 kN*	
-	*Windlast in X-richting*	*-22 tot 22 kN**	** 10% van totale windlast geeft +/- 22 kN*
-	*Verdraaiing scharnier*	*0,89 op 300 mm (0,170°)*	

Stramien B

-	*Drukkracht in Z-richting*	*325 tot 631 kN*	
-	*Windlast in Y-richting*	*0 kN*	
-	*Windlast in X-richting*	*-52 tot 52 kN*	
-	*Verdraaiing scharnier*	*2,22 op 300 mm (0,424°)*	

Stramien C

-	*Drukkracht in Z-richting*	*413 tot 1024 kN*	
-	*Windlast in Y-richting*	*-68 tot 0 kN*	*(Windlast wordt opgevangen richting stramien D)*
-	*Windlast in X-richting*	*-100 tot 100 kN*	
-	*Verdraaiing scharnier*	*2,17 op 300 mm (0,414°)*	*(Vrijwel gelijk aan stramien B)*

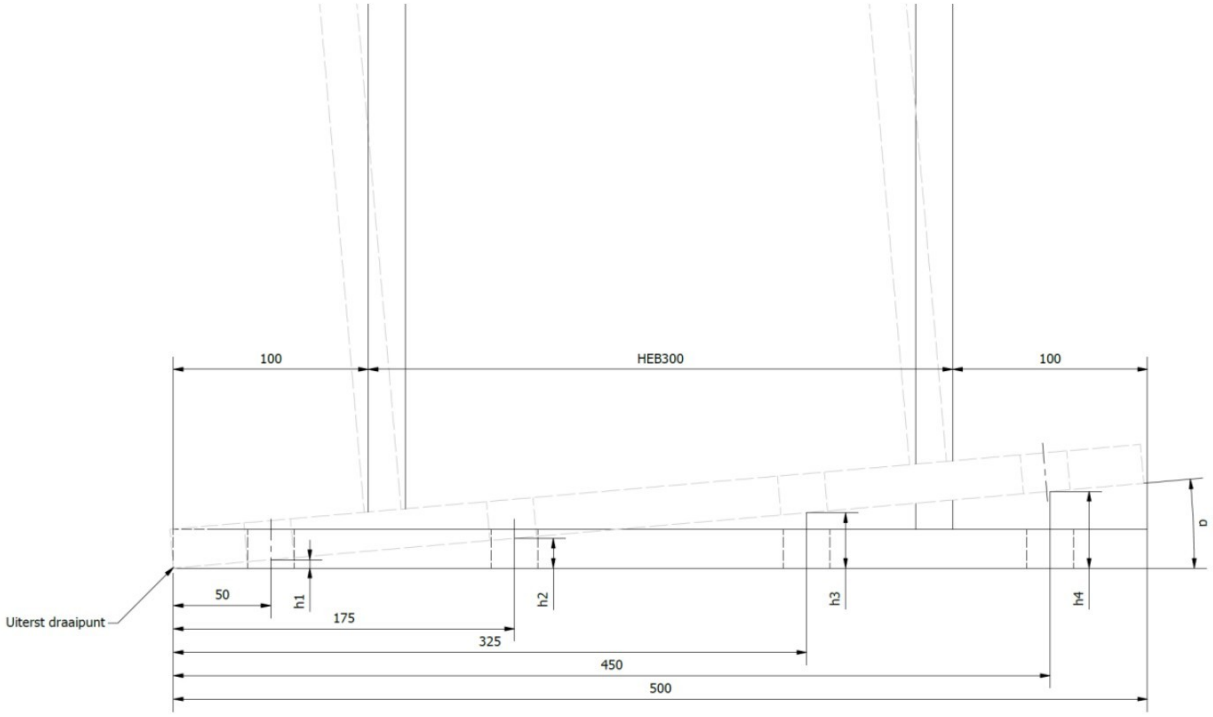
Stramien D

-	*Drukkracht in Z-richting*	*429 tot 673 kN*	
-	*Windlast in Y-richting*	*0 tot 68 kN*	*(Windlast wordt opgevangen richting stramien C)*
-	*Windlast in X-richting*	*-66 tot 66 kN**	** 30% van totale windlast geeft +/- 66 kN*
-	*Verdraaiing scharnier*	*-*	*Niet bepaald, maar valt gunstiger uit dan C.*

** Windlast in Y-richting is verschaald op basis van de reactiekrachten in stramien C en B die benoemd zijn in de 2D berekeningen.*

2.6 Scharnierwerking en veerkracht door schotelveren

Alle poten worden identiek uitgevoerd, en moeten de maximale rotatie van 2,22 op 300 mm (0,424°) kunnen opvangen met behulp van de schotelveren. De voetplaat heeft een vrij grote stijfheid. Als wordt case wordt aangenomen dat het kantelpunt zich aan de uiterste rand van de originele voetplaat bevindt, zoals aangegeven in Figuur 9. In de praktijk zal het kantelpunt wat meer richting het HEB profiel liggen (gunstiger).



Figuur 9 - Schematische weergave verdaaiing voetplaat

Op de positie van de ankers wordt met h_1 t/m h_4 weergegeven hoeveel verplaatsing er nodig is bij hoek α. Als uiterste geldt hoek $\alpha = 0{,}424°$ ofwel $h_x = \frac{2{,}22}{300} = 0{,}0074 \frac{mm}{mm}$. De afstand vanaf het draaipunt, vermenigvuldigd met deze waarde geeft de benodigde veerlengte per ankerrij:

$$h_1 = 0{,}0074 \cdot 50 = 0{,}370\ mm$$

$$h_2 = 0{,}0074 \cdot 175 = 1{,}295\ mm$$

$$h_3 = 0{,}0074 \cdot 325 = 2{,}405\ mm$$

$$h_4 = 0{,}0074 \cdot 450 = 3{,}33\ mm$$

De ankers ter hoogte van h_1 en h_4 worden niet benut. De schotelveren, die alleen op de binnenste 4 ankers ter hoogte van h_2 en h_3 geplaatst worden, moeten dus in staat zijn maximaal 2,405 mm verplaatsing op te vangen. In dit scenario is de voetplaat origineel en is het draaipunt als worst-case aangenomen. Als de voetplaat aan beide uiteinden 75 mm wordt ingekort, wordt de maximaal benodigde verplaatsing:

$$h_{3\ (smalle\ voetplaat)} = 0{,}0074 \cdot (325 - 75) = 1{,}850\ mm.$$

Inkorten van de voetplaat zal gunstiger uitvallen voor de verplaatsing en de schotelveren. In de onderstaande berekeningen wordt de voetplaat als origineel meegenomen.

Specificaties schotelveer
De geselecteerde schotelveer is als volgt, met in Figuur 10 de datasheet voor de mechanische eigenschappen. De bepaalde veerkrachten worden later gebruikt voor de ankerberekening.

Disc spring without contact flats with dimensions De 40,0 mm, Di 20,40 mm and t 2,50. mm. Made of 51CrV4. Standard: DIN 2093; DIN EN 16983.

Disc Spring 40,00 x 20,40 x 2,50 ( ) l_0 = 3,45

Material

Number	1.8159	
Specification	51CrV4	
Name	-	
Temperature of Use	20	°C
Youngs Modulus	206.000	N/mm²
Poisson Ratio	0,3	

Spring Dimensions

Outer Diameter	40,00 mm	De
Inner Diameter	20,40 mm	Di
Thickness	2,50 mm	t
reduced Thickness	mm	t'
unloaded Height	3,45 mm	lo

Curve Parameter

h_0 / t	0,38
K_4 * h_0' / t'	
E_1	

s / h_0 [ ]	Deflct. [mm]	Height [mm]	Spring Force [N]
0,00	0,00	3,45	0,0
0,10	0,10	3,36	1.375,5
0,20	0,19	3,26	2.703,2
0,30	0,29	3,17	3.988,5
0,40	0,38	3,07	5.236,7
0,50	0,48	2,98	6.453,1
0,60	0,57	2,88	7.642,9
0,70	0,67	2,79	8.811,5
0,80	0,76	2,69	9.964,3
0,90	0,86	2,60	11.106,4
1,00	0,95	2,50	12.243,2

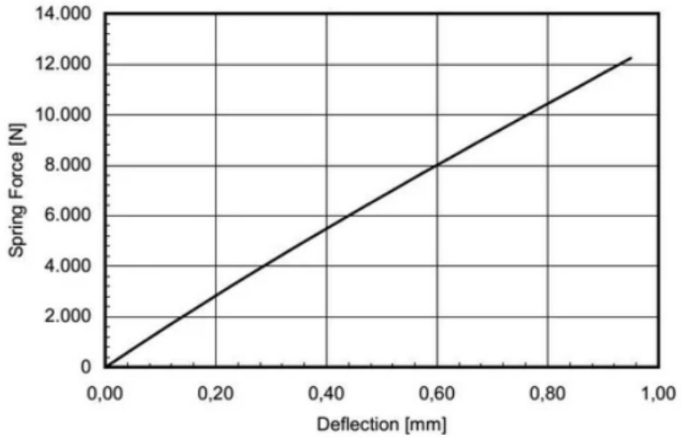
Single Disk Spring

Seriell		i	*Number of Springs in the Spring-Stack*
Parallel		n	
Total Height (unloaded)	mm	Lo	

Test Load F(0,75*h_0) acc. to DIN 2093 (single disk spring)

s/h_0	l_{test} [mm]	s [mm]	F_{test} [N]
0,75	2,74	0,71	9.389,6

Force vs. Deflection Curve



Figuur 10 - Datasheet schotelveer

De beschikbare ruimte voor het schotelverenkpakket is maximaal 15,5 mm. Dit is bepaald op basis van de beschikbare lengte van het anker boven de voetplaat (inclusief 3x vrije spoed boven de borgmoer). In rust is de schotelveer 3,45 mm hoog. Met 5 schotelveren zal altijd een voorspanning aanwezig zijn, maar dat gaat ten koste van de maximale veerweg. 4 schotelveren in rust geeft 13,8 mm bouwhoogte, wat in de beschikbare ruimte past. Om een kleine voorspanning te voorzien, worden de veren +/- 0,8 mm gecomprimeerd. Gezien de spoed van het anker 2,5 mm is, kan de borgmoer 120° verdraaid worden om $\frac{2,5\ mm}{360°} \cdot 120° = 0,833\ mm$ indrukking te geven. Dat is praktisch en gecontroleerd uit te voeren. Na aandraaiien van de borgmoer wordt gerekend met 13,0 mm bouwhoogte van het voorgespannen schotelverenpakket.

Veerkracht door voorspanning in anker:
13,0 mm / 4 schotelveren = 3,25 mm. Dit komt volgens het datablad overeen met $\approx 2.700\ N$.

Veerkracht in anker na 2,405 mm lift:
(13,0 mm – 2,405 mm)/4 schotelveren = 2,645 mm. Dit komt volgens het datablad overeen met $\approx 10.500\ N$.
Ter controle, als de voetplaat 75 mm ingekort is geldt bij een 1,850 mm lift een veerkracht van $\approx 8.800\ N$.

3 Dimensionering verankering

De ankers worden bepaald op basis van de reactiekrachten en vrijheidsgraden uit het vorige hoofdstuk.

Alle verankeringen worden per poot identiek uitgevoerd. Als worst case worden de poten als volgt getoetst:

Belastingssituatie stramien A *(portaal niet-geschoord)*
Geldig voor poot A1, A2.
- 22 kN horizontaal opvangen in X-richting, bij een drukkracht van 0 kN op de voetplaat.
- Toelaatbare verdraaiing van voetplaat in X-richting: *0,89 op 300 mm (0,170°).*

Belastingssituatie stramien B *(portaal niet-geschoord)*
Geldig voor poot B1, B2.
- 52 kN horizontaal opvangen in X-richting, terwijl drukkracht uit de poot 325 kN is.
- Toelaatbare verdraaiing: *2,22 op 300 mm (0,424°).*

Belastingssituatie stramien C *(portaal geschoord)*
Geldig voor poot C1, C2.
- 100 kN horizontaal opvangen in X-richting, terwijl drukkracht uit de poot 413 kN is.
  Of
  68 kN horizontaal opvangen in Y-richting (richting stramien D), terwijl drukkracht uit de poot 413 kN is.
- Toelaatbare verdraaiing: *2,22 op 300 mm (0,424°) (verplaatsing gelijk houden aan stramien B).*

Belastingssituatie stramien D
Geldig voor poot D1, D2.
- Deze situatie valt tussen stramien B en C, en zal voldoen als zowel berekening B als C voldoet.

Belastingssituatie maximale drukkracht
Geldig voor alle poten, maar op basis van maximale kracht op poot C1.
- 1024 kN drukkracht in de poot opvangen.

Ankerberekening Hilti
De capaciteit van de Hilti-ankers worden voor verschillende belastingssituaties berekend met de Hilti engineeringstool. Hier bestaat de keuze tussen tussen de volgende berekeningtypes:

- Rigid (star) berekening
- Controle stijfheid voetplaat

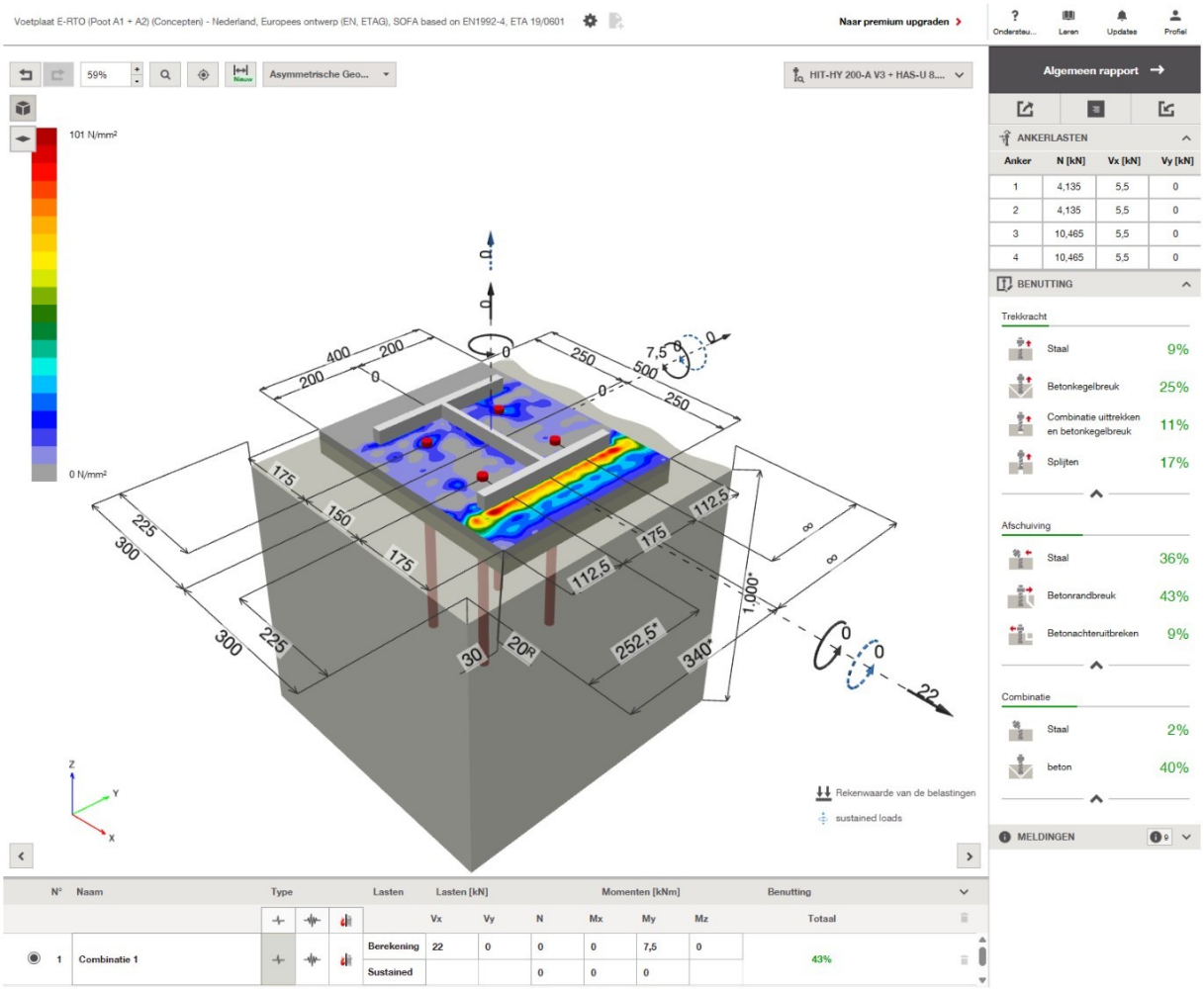
De resulaten van de rigide berekening vallen voor de ankers ongunstiger uit. Deze methode is toegepast. Daarnaast maakt worden de flexibiliteit/vering hoofdzakelijk uit de schotelveren gehaald. Enige vervorming via de voetplaat (die van zichzelf al behoorlijk stijf is door zijn dikte van 20 mm), zal gunstig bijdragen op de vereiste verdraaiing van poot.

3.1 Belastingssituatie stramien A (poot A1 + A2)

De situatie in poot A1 en A2 wordt berekend met behulp van de engineeringstool van Hilti. Input voor de berekening is als volgt:

- Ankers: M20 ankers, H_{eff} 370 mm, HIT-HY 200-A V3 + HIT-Z
- Toepassing: Algemene constructie, Primaire kolommen
- Betontype: Normaal beton, C30/37, niet gescheurd, v.z.v. wapening
- Afmetingen: Op basis van as-built constructie
- Berekeningstype: Rigide (star)
- Afstandsmontage: Afstandsmontage met ondersabeling
- Plaatsing: Met boorgatspeling (speling aanwezig, niet opgevuld).

- Reactiekrachten:
  Vx = 22 kN
  Vy = 0 kN
  Vz = 0 kN
  My = 7,5 kN *Benaderd o.b.v. 10,5 kN ankerlast door schotelveren als gevolg van kanteling. Er wordt met een hogere kanteling gerekend van 2,22 op 300 mm (0,424°).*



De verbinding voldoet voor poot A1 en A2

3.2 Belastingssituatie stramien B (poot B1 + B2)

De situatie in poot B1 en B2 wordt berekend met behulp van de engineeringstool van Hilti. In de betreffende poten is altijd een drukkracht aanwezig van 325 kN of meer, welke helpt bij het wegnemen van de horizontale afschuifkrachten in de ankers middels weerstand tussen voetplaat, ondersabeling en fundering.

Volgens EN 1993-1-8 is de beschikbare wrijvingsweerstand maximaal $\mu = 0{,}20 N_{c,Ed,\min}$, mits blijvend contact en een geschikt gespecificeerde staal-grout-betoninterface zijn gegarandeerd.

De voetplaat kan dus een maximale afschuifkracht van $325\,kN \cdot 0{,}20 = 65\,kN$ opvangen via wrijvings-weerstand, mits de staal-grout-betoninterface dit toelaat. Deze bijdrage kan theoretisch alle afschuifkracht opvangen ($65 > 52\,kN$) en de ankers volledig ontlasten.

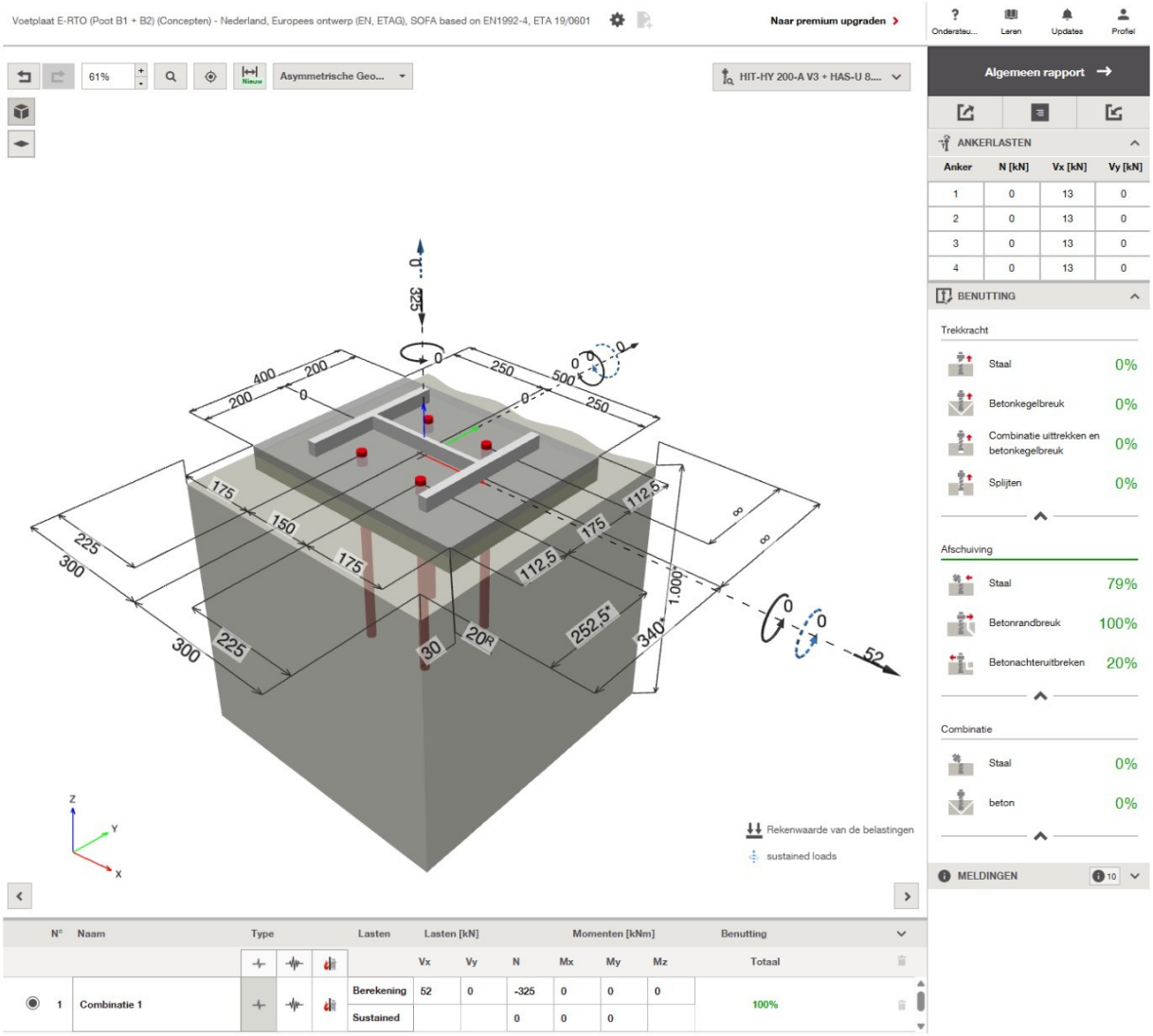
De verankering is conservatief gecontroleerd op de volledige ontwerpafschuifkracht zonder gunstige bijdrage van wrijving. De uitvoering van de ondersabeling wordt nader gespecificeerd.

Ter indicatie zal de verticale drukkracht gunstige weerstand bieden tegen kantelen van de poot. Dit wordt buiten beschouwing gelaten in de berekening. Als het draaipunt onder de flens van het HEB300 profiel zit, werkt een gunstig buigmoment van 325 kN op 0,15 m = 50 kNm tegen de externe belastingen (hoofdzakelijk wind). Dit zal gunstig bijdragen aan een lagere verplaatsing van het gehele portaal, en dus de veerkrachten in de schotelveren.

Input voor de berekening is als volgt:

- Ankers: M20 ankers, H_{eff} 370 mm, HIT-HY 200-A V3 + HIT-Z
- Toepassing: Algemene constructie, Primaire kolommen
- Betontype: Normaal beton, C30/37, niet gescheurd, v.z.v. wapening
- Afmetingen: Op basis van as-built constructie
- Berekeningstype: Rigide (star)
- Afstandsmontage: Afstandsmontage met ondersabeling
- Plaatsing: Met boorgatspeling (speling aanwezig, niet opgevuld).

- Reactiekrachten:
  Vx = 52 kN
  Vy = 0 kN
  Vz = 325 kN



Betonrandbreuk zit op 100% bij de maximale zijwaartse kracht van 52 kN die volledig op de ankers werkt, wat in theorie voldoet. De Hilti berekening houdt geen rekening met de wrijving van de voetplaat door V_x. Echter valt de belasting van de ankers in de praktijk veel gunstiger uit als de wrijvingskracht in de voetplaat een zeer groot of volledig aandeel van de afschuifkracht opneemt. Ondersabeling is hierbij essentieel.

Verplaatsing van de poot resulteert door de schotelveren in een treklast van 10,5 kN op de ankers die het verst van het kantelpunt zitten. Dit is acceptabel en wordt gunstig gereduceerd door de drukkracht van de poot doordat deze afschuifkracht opneemt via wrijving, en recht wil blijven staan.

Praktisch gezien worden de ankers dus gunstiger dan poot A1 en A2 belast.

De verbinding voldoet voor poot B1 en B2

3.3 Belastingssituatie stramien C (poot C1 + C2)

De situatie in poot C1 en C2 wordt berekend met behulp van de engineeringstool van Hilti. In de betreffende poten is altijd een drukkracht aanwezig van 413 kN of meer, welke helpt bij het wegnemen van de horizontale afschuifkrachten in de ankers middels weerstand tussen voetplaat, ondersabeling en fundering.

Volgens EN 1993-1-8 is de beschikbare wrijvingsweerstand maximaal $\mu = 0{,}20 N_{c,Ed,\min}$, mits blijvend contact en een geschikt gespecificeerde staal-grout-betoninterface zijn gegarandeerd. De voetplaat kan dus een maximale afschuifkracht van $413\ kN \cdot 0{,}20 = 82{,}6\ kN$ opvangen via wrijvingsweerstand, mits de staal-grout-betoninterface dit toelaat.

De constructieberekening is uitgevoerd in twee onafhankelijke vlakken (portaal vlak, en haaks daarop). Uit het portaal ontstaat een maximale horizontale reactiekracht van 100 kN in één richting (aandeel wind is ongeveer 51 kN). Haaks op het portaal, is als uiterste horizontale fundamentele reactiekracht van 68 kN bepaald. Deze maximale fundamentele combinaties, afkomstig uit twee apart berekende vlakken, zal nooit gelijktijdig op de voetplaat werken, dus er zal een situatie ontstaan tussen beide resultaten.

Conservatief wordt aangenomen dat de maximale afschuifkracht 100 kN in X-richting, en gelijktijdig 25% van 68 kN = 17 kN in Y-richting. Dit is een inschatting tussen de reactiekrachten die onafhankelijk in twee vlakken berekend zijn.

De verankering zelf is niet in staat om zuiver $V_x = 100\ kN$ en $V_y = 17\ kN$ op te vangen. Daarom wordt in deze berekening de aanwezige wrijvingsweerstand van de poot gebruikt. Deze is maximaal 82,6 kN bij μ=0,20.

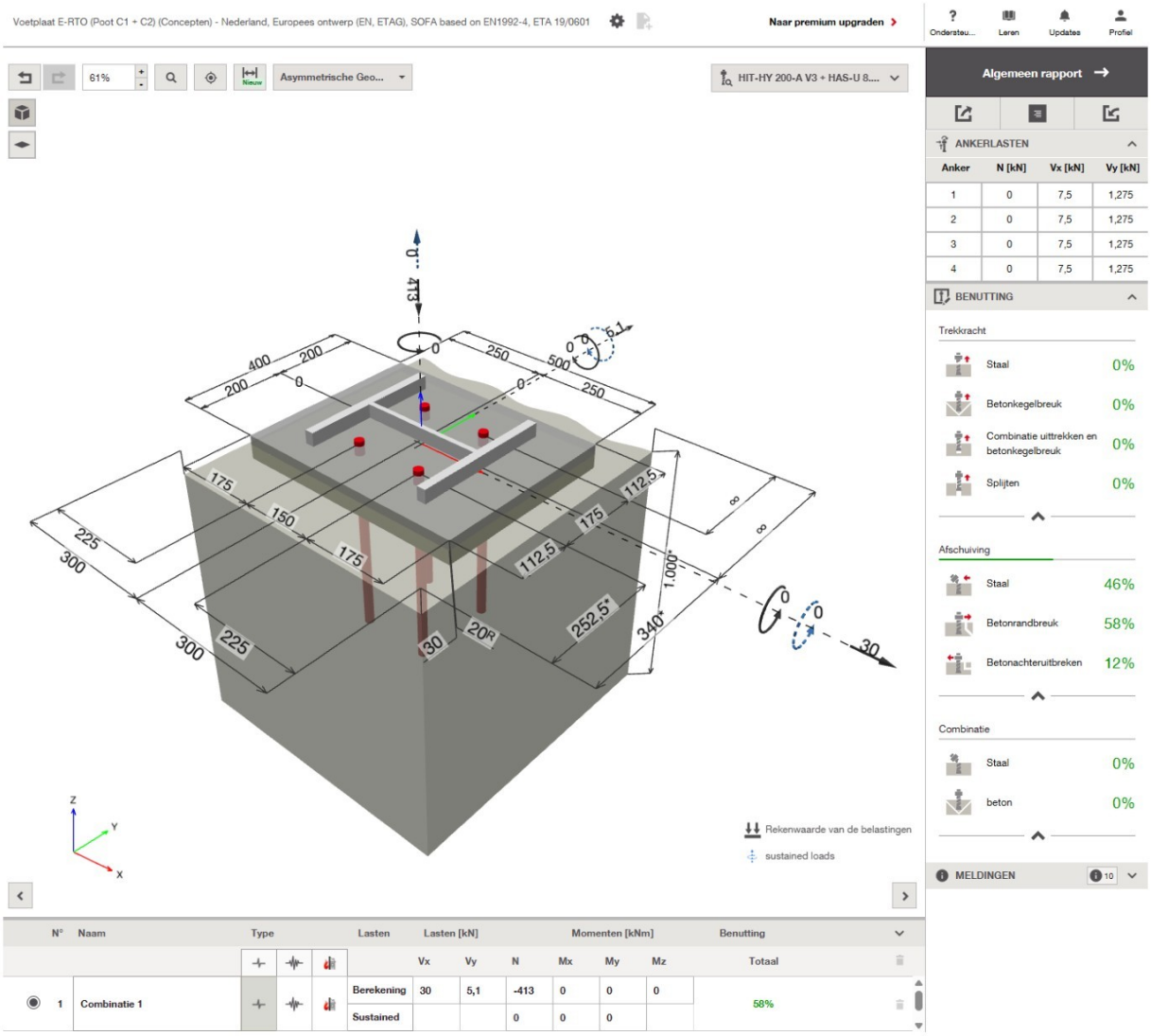
De wrijvingskracht zal een aandeel hebben van $\frac{100+17}{82{,}6} \cdot 100\% \approx 70\%$. De ankers moeten dus de resterende 30% aan afschuifkracht opvangen. Dat is 30 kN in X-richting en 5,1 kN in Y-richting. Een vereiste is dat de ondersabeling in deze situatie μ = 0,20 is.

Ter indicatie zal de verticale drukkracht gunstige weerstand bieden tegen kantelen van de poot. Dit wordt buiten beschouwing gelaten in de berekening. Als het draaipunt onder de flens van het HEB300 profiel zit, werkt een gunstig buigmoment van 413 kN op 0,15 m = 62 kNm tegen de externe belastingen (hoofdzakelijk wind). Dit zal gunstig bijdragen aan een lagere verplaatsing van het gehele portaal, en dus de veerkrachten in de schotelveren.

Input voor de berekening is als volgt:

- Ankers: M20 ankers, H_{eff} 370 mm, HIT-HY 200-A V3 + HIT-Z
- Toepassing: Algemene constructie, Primaire kolommen
- Betontype: Normaal beton, C30/37, niet gescheurd, v.z.v. wapening
- Afmetingen: Op basis van as-built constructie
- Berekeningstype: Rigide (star)
- Afstandsmontage: Afstandsmontage met ondersabeling
- Plaatsing: Met boorgatspeling (speling aanwezig, niet opgevuld).

- Reactiekrachten:
  Vx = 5,1 kN *(17 kN gereduceerd tot 30%, overige 70% via wrijving opvangen)*
  Vy = 30 kN *(100 kN gereduceerd tot 30%, overige 70% via wrijving opvangen)*
  Vz = 413 kN



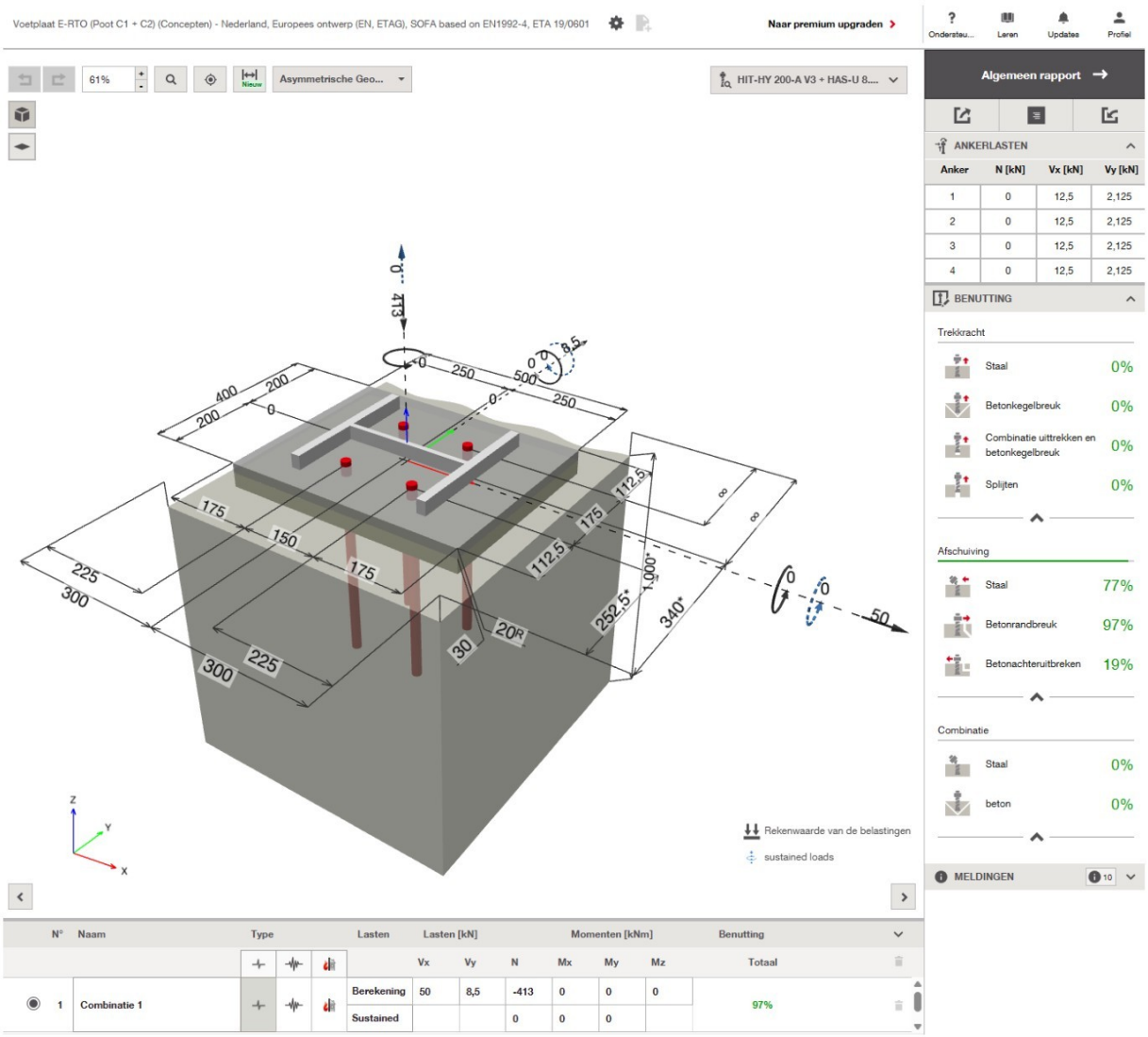
De essentiële ondersabeling moet ontworpen worden voor een wrijvingsweerstand van μ = 0,20 (hoger is beter).

Verplaatsing van de poot resulteert door de schotelveren in een treklast van 10,5 kN op de ankers die het verst van het kantelpunt zitten. Dit is acceptabel en wordt gunstig gereduceerd door de drukkracht van de poot doordat deze recht wil blijven staan.

In de situatie waarbij 68 kN horizontaal opvangen wordt in Y-richting (richting stramien D) valt gunstiger uit dan de hiervoor berekende worst-case in X-richting. Deze belasting werkt altijd gunstig van de kopse kant van de betonbalk af. Zelfs al zal de belasting richting de kopse kant van het beton werkt zal de verbinding voldoen. Afstand van de kopse kant van het beton tot het hart van de ankergroep is geverifieerd met de as-built situatie. Een aanvullende Hilti-berekening voor deze load-case hier niet uitgewerkt.

De verbinding voldoet voor poot C1 en C2

Ter controle is ook gekeken wat de maximale toelaatbare afschuifkracht via de ankers is. In plaats van 30% afschuifkracht via de ankers, is hieronder 50% aangehouden (Vx = 50 kN en Vy = 8,5 kN). Dat resulteert in een 97% benutting op betonrandbreuk (zwakste schakel). De resterende 50% moet hier tot stand komen via de weerstand in de voetplaat en ondersabeling. Dat komt overeen met 58,5 kN aan wrijvingskracht.



Bij maximale benutting van de ankers moet ten alle tijden 58,5 kN via wrijving opvangen worden. Teruggerekend naar de minimaal benodigde wrijvingscoëfficiënt, geldt $\mu_{min} = \frac{58{,}5\ kN}{413\ kN} = 0{,}14$. Hier moet de ondersabeling aan voldoen. De minimaal vereiste wrijvings-coëfficiënt in deze verbinding is bepaald op μ_{min} = 0,14 (58,5 kN).

De verbinding voldoet voor poot C1 en C2 (Controle met μ ≥0,14)

3.4 Belastingssituatie stramien D (poot D1 + D2)

De belastingssituatie op stramien D (poot D1 en D2) vallen tussen de situatie van stramien B en C in. Deze stramienen voldoen, waardoor geen aanvullende berekening uitgevoerd wordt voor deze verankering.

De verbinding voldoet voor poot D1 en D2

3.5 Belastingssituatie maximale drukkracht

In stramien C1 geldt de hoogst mogelijke drukkracht van 1024 kN. Het ontwerp van de verankering houdt rekening met vier M20 ankers. Vier ankers zijn niet in staat om deze drukkracht op te vangen en falen door overschrijding van de vloeigrens en treksterkte.

Ondersabeling van de voetplaat is noodzakelijk om de hoge belasting over te dragen naar de fundering.

Op de voetplaat van 400x500 mm geldt een vlaktedruk van $\frac{1024\ kN}{400\ mm \cdot 500\ mm} = 5{,}12\ MPa.$

Mocht de kracht zich volledig concentreren onder het HEB300 profiel (300x300 mm). De vlaktedruk wordt hiermee $\frac{1024\ kN}{300\ mm \cdot 300\ mm} = 11{,}3\ MPa.$

Bij het kantelen van de poot wordt sterk conservatief aangenomen dat de drukzone een oppervlak van 100 x 400 mm heeft. Dan eindigt de spanning in de meest ongunstige (veranderlijke) situatie op 25,6 MPa. De ondersabelmortel zal deze kracht ook doorgeven (en verdelen) richting de fundering.

De ondersabeling zo sterk zijn als de sterkteklasse van het beton (C30/37). Een groutsterkte van ≥80 MPa geeft voldoende reserve en robuustheid van de ondersabeling te waarborgen.

3.6 Ondersabeling

Onder de voetplaat moet een ondersabeling aangebracht worden om de drukkracht op te vangen, en om horizontale belastingen op te kunnen vangen in de vorm van wrijvingskracht.

- Ondersabelingshoogte: +/-30 mm
- Vereiste sterkte: ≥ 80 MPa
- Wrijvingscoëfficiënt: ≥0,20 *Ondergrens = 0,14. Het ontwerpdoel is ≥0,20. Geldt voor de staal -> grout en grout -> fundering.*

Wrijvingscoëfficiënt

In alle berekeningen wordt uitsluitend μ = 0,20 toegepast. Uit de controleberekening geldt een veilige ondergrens van μ = 0,14. De verbinding bestaat uit een volledig ondersabelde voetplaat op een hoogwaardige cementgebonden groutlaag.

De onderstaande waarden zijn indicatief en dienen uitsluitend ter motivatie van de gekozen uitvoerings-maatregelen. De constructieve berekening is gecontroleerd op een minimale vereiste wrijvingscoëfficiënt van μ ≥ 0,14, en een nominale wrijvingscoëfficiënt van μ ≥ 0,20 (doelstelling).

Situatie	**Verwachte μ**
Glad gelakte voetplaat op gladde grout	0,10 - 0,20
Gelakte voetplaat op normaal groutoppervlak	0,15 - 0,25
Licht opgeruwde coating op grout	0,20 - 0,35
Blank gestraald staal op grout	0,20 - 0,40

Om er zeker van te zijn wordt gekozen om de onderzijde van de voetplaten in stramien C en D op te ruwen voor een grotere wrijvingscoëfficiënt.

Voorschriften voor het plaatsen van de ondersabeling

- Coating op onderzijde voetplaat opruwen (alleen in stramien C en D)
- Voetplaat volledig ondersabeld tot onderzijde (en niet voorbij de onderzijde)
- Krimpvrije cementgebonden grout ≥ 80 MPa
- Fundering mechanisch opgeruwd
- Cementhuid verwijderen
- Geen holle ruimtes
- Volledige contactvulling
- Voetplaat niet losstaand op stelmoeren laten staan

4 Conclusie eindontwerp met montagevoorschriften

Concluderend en samenvattend wordt de verankering van de staalconstructie als volgt uitgevoerd.

Draagmechanisme

De krachtsafdracht verloopt via:

1. Verticale druk: *Kolom → voetplaat → ondersabeling → fundering*
2. Horizontale kracht: *Primair door wrijving*
   Secundair door ankers
3. Rotatie: *Via schotelveren*
4. Opwaartse kracht: *Via ankers*

4.1 Ankers

Per poot zullen uiteindelijk 4 ankers gebruikt worden. In totaal zijn er 8 poten met in totaal 32 individuele ankers. Zie detail I op tekening *2513001021-000-000-Totaal staalconstructie E-RTO* voor een de mechanische tekening.

Algemeen

- Alle kolomvoeten identiek uitvoeren (8x)
- HEB300 op voetplaat 500 × 400 × 20 mm
- Voetplaat blijft volledig behouden en niet inkorten
- Alleen de binnenste 4 ankers worden constructief benut
- Buitenste ankerrijen mogen constructief niet benut worden en worden losgenomen en afgewerkt

Ankers

Elke kolomvoet is reeds uitgevoerd met:

- 2 × bestaande meegestorte M20 ankers
- 2 × verlijmde Hilti HAS-U 8.8 HDG M20 ankers
- Verlijming met Hilti HIT-HY 200-A V3
- Effectieve verankeringsdiepte verlijmde ankers:
  - $h_{ef} = 370\text{mm}$
- Alle constructieve controles uitgevoerd op basis van de verlijmde ankers (maatgevende situatie)

Schotelveren

Per constructief benut anker:

- 4 × schotelveer DIN 2093
- Type: 40 × 20,4 × 2,5 mm
- Materiaal: 51CrV4
- Opstelling volledig in serie:)()(
- Boven en onder het veerpakket een geharde DIN 6340 ring
- Borging met DIN 985 M20 borgmoer

Voorspanning schotelveren

- Veerpakket voorgespannen door de borgmoer circa 120° aan te draaien (2 vlakken van 6-kant).
- Doelindrukking circa 0,8 mm.
- Initiële veerkracht circa 2,7 kN per anker.
- Maximale berekende veerkracht circa 10,5 kN per anker bij maximale kolomrotatie.

Rotatie-eis

Verbinding moet minimaal kunnen opnemen:

- Vrije verdraaiing van de poot en voetplaat: 0,424° in portaal-richting
- Maximale vereiste veerweg door schotelveren: 2,4 mm

4.2 Ondersabeling

Alle poten (8 stuks) worden ondersabeld volgens de onderstaande gegevens. De toevoeging van de **ondersabeling is een essentiële vereiste** voor de poten in stramien C en D, maar wordt uitgevoerd op alle poten (waaronder de poten in stramien A en B).

Onder alle voetplaten:

- Volledig ondersabeld uitvoeren
- Ondersabelingshoogte circa 30 mm
- Krimpvrije cementgebonden grout, druksterkte minimaal 80 MPa
- Geen holle ruimten toegestaan
- Volledige contactvulling vereist
- Voetplaat mag na ondersabelen niet vrij op stelmoeren blijven staan

Eisen funderingsoppervlak

Voor het aanbrengen van de grout:

- Cementhuid verwijderen
- Beton mechanisch opruwen
- Losse delen verwijderen
- Oppervlak reinigen
- Geschikt maken voor volledige hechting van de groutlaag

Coating voetplaat

Ter plaatse van het contactvlak:

- Coating aan onderzijde voetplaat opruwen (of volledig verwijderen) over de volledige contact-oppervlakte tussen voetplaat en grout voor de poten in stramien C en D.
  Voor de poten in stramien A en B is dit overbodig.
  Doel: betrouwbare afdracht van drukbelasting, realiseerbare wrijvingscoëfficiënt $\mu = 0{,}20$.