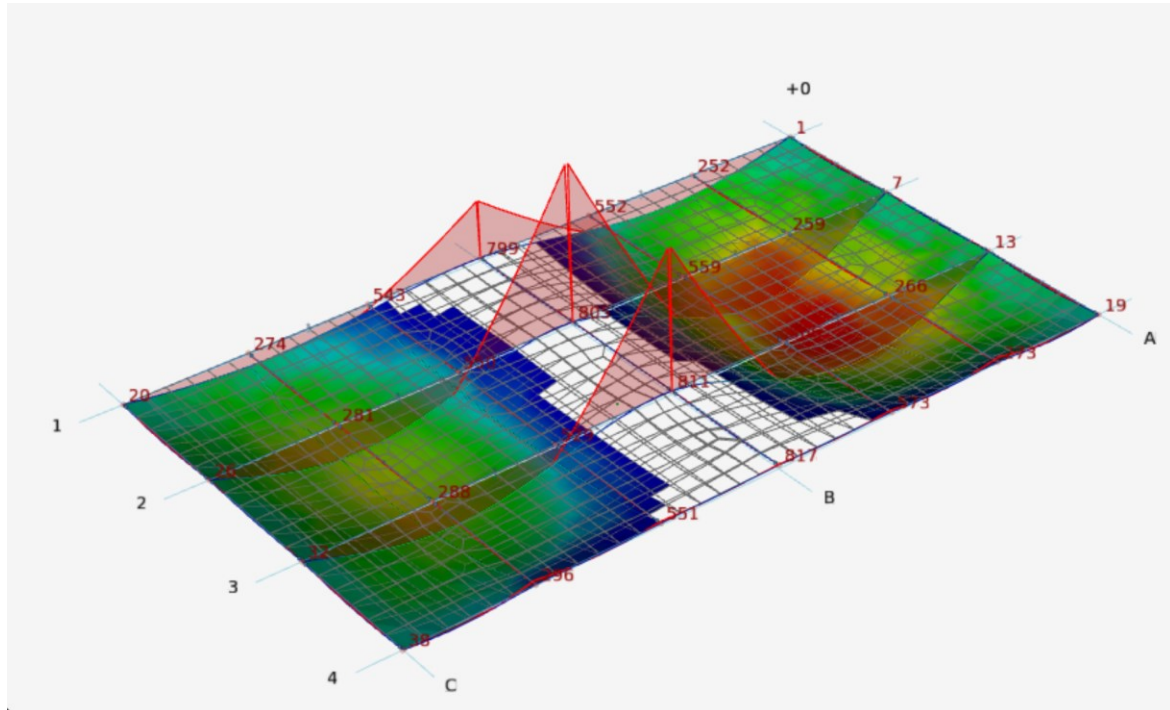


Handleiding wateraccumulatie in XFEM4U



Datum: 18-01-2024

Versie: 0.5(vorige versies zijn vervallen)

Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
1. Wateraccumulatie begrippen.....	4
2. Literatuur.....	8
3. Handleiding	9
3.1 Voer de constructie in	9
3.2 Afschot	9
3.3 Stijfheid en oriëntatie dakplaat.....	10
Aandachtspunten	10
3.5 Belastinggevallen en combinaties	11
3.6 Waterbelasting invoeren	12
3.7 Spuwerberekening	13
3.8 Bereken de constructie	14
4 Achtergrond, varianten	16
4.1 Veiligheidsfactoren/modelfactor	16
4.2 Stabiliteit	17
4.3 Voorbeelden bij beide velden belast met waterbelasting	18
4.4 Voorbeeld in geval een enkel dakvlak belast is met waterbelasting.....	21
4.5 Voorbeelden waarbij de ligger niet doorgaand is maar scharnierend aansluit	25
4.6 Samenvatting variantenstudie	29
4.7 Varianten tussen IPE270 en IPE300.....	Error! Bookmark not defined.
5 Scenario's en stappenplan	30
5.1 Methoden om de stabiliteit van een dakconstructie te vergroten	30
5.2 Stappenplan	30
6 Aandachtspunten bij het gebruik van de wateraccumulatiemodule in XFEM4U	32
7 Q&A.....	33
Wat te doen bij gelijke overspanningen van een meervelds dakligger/gording?	33

Inleiding

Deze handleiding omvat een algemene inleiding in het onderwerp wateraccumulatie en spuwers. Daarnaast bevat het een informatie hoe wateraccumulatie en spuwers te berekenen in de software van Struct4U.

In augustus 2002 zijn tijdens zware regenbuien enkele daken in Nederland ingestort van grotere gebouwen. Het betrof daken van grotere gebouwen met een publieksfunctie. Onder andere enkele zwembaden, evenementenhal en een warenhuis. Naar aanleiding hiervan zijn er kamervragen gesteld. Daarna is er onderzoek uitgevoerd door VROM. In de tweede helft van de 20^e eeuw zijn stalen dakconstructies vrij licht geconstrueerd waarbij ontwerpers en constructeurs soms onvoldoende bewust waren van het risico van wateraccumulatie. Spuwers werden vaak niet toegepast.

In de huidige nationale bijlage bij de Eurocode zijn rekenregels opgenomen voor de dimensionering van spuwers alsmede regels om de wateraccumulatie te berekenen.

Wateraccumulatie is op dit moment weer **actueel** omdat bij veel pandeigenaren de wens bestaat om hun bestaande panden te voorzien van **zonnepanelen**. Bij de toepassing van zonnepanelen is het ook van belang om te controleren of er door het bijkomende gewicht geen wateraccumulatie kan optreden.

In geval van **nieuwbouw** is het ook belangrijk om de ontworpen dakconstructie te controleren op wateraccumulatie. Door de gestegen materiaalprijzen en rente is een economische dimensionering van de constructie voor ontwerpers weer een actueel onderwerp.


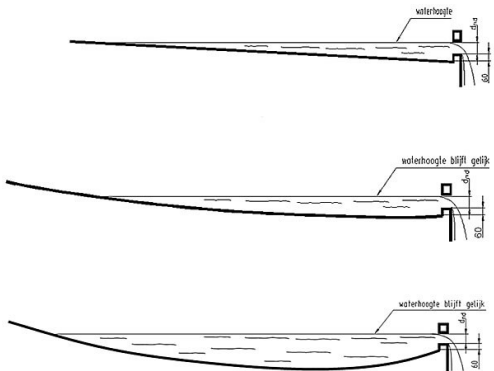
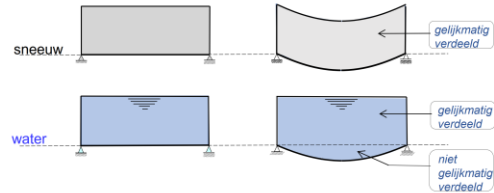
In **2023** is in de software van **Struct4U** een methode voor de berekening **wateraccumulatie in 3D** geïmplementeerd door **Ing. Tjietze Kampen** en **Ing. Rob Baaij**. De gehanteerde rekenmethode is de rekenmethode van Professor Johan Blaauwendraad.

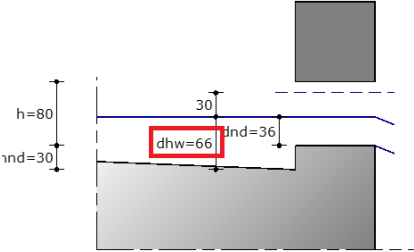
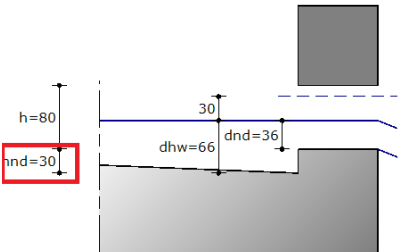
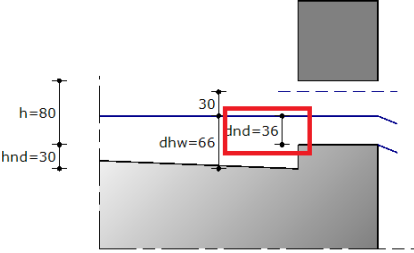
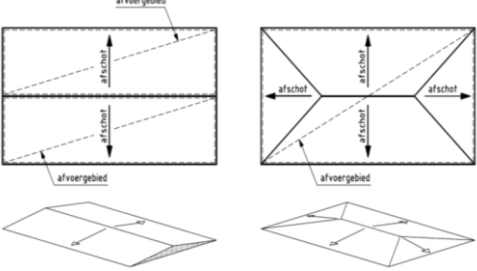
Deze handleiding is geschreven voor constructeurs die in de alledaagse praktijk met dit onderwerp te maken hebben.

Januari 2024


Ing. Maarten Vroegindeweyj

1. Wateraccumulatie begrippen

Begrip/index	Betekenis	Afbeelding
<p>Wateraccumulatie</p>	<p>Het woord accumulatie betekend 'opstapelen, verzamelen, opeenhopen, ophopen'.</p> <p>Als we het over wateraccumulatie hebben bedoelen we de 'ophoping van water t.g.v. regenval'. Er treedt een belasting verhogend effect op doordat de initiële hoeveelheid water op een dak kan zorgen voor een doorbuiging van de dakconstructie. Dit gebeurt met name bij slappe dakconstructies. Vervolgens kan zich meer water ophopen op het dak als gevolg van de initiële doorbuiging.</p> <p>Dit kan zorgen voor onomkeerbaar effect waardoor een onderdeel van het dak ofwel het gehele dak bezwijkt.</p>	 <p>Afbeelding Adviesbureau Hageman</p>  <p>Afbeelding Schouten Engineering & Consultancy</p>
<p>Verskil regenwaterbelasting ten opzichte van bijvoorbeeld sneeuwbelasting</p>	<p>Ten gevolge van sneeuwbelasting zal de constructie doorbuigen. Er zal echter niet meer sneeuw op het dak blijven liggen als gevolg van de doorbuiging.</p> <p>Bij regenwaterbelasting is dit anders.</p> <p>Als gevolg van de doorbuiging van de constructie ten gevolge van de regenwaterbelasting zal er meer regenwater op dak blijven staan. Dit zorgt voor een extra belasting en een extra doorbuiging.</p>	 <p>Afbeelding Prof. Johan Blaauwendraad</p>

<p>Wanneer is wateraccumulatie van significant belang bij de dimensionering ofwel beoordeling van dakconstructies?</p>	<p>Met name bij stalen dakconstructies met I-profielen en houtconstructies met grote overspanningen. Dit omdat deze constructies gevoelig zijn voor doorbuiging. Betonnen daken zijn minder gevoelig voor doorbuiging.</p>	
<p>d_{hw}</p>	<p>Waterhoogte t.p.v. spuer</p>	 <p>(doorsnede spuer)</p>
<p>h_{nd}</p>	<p>Bovenzijde dakbedekking tot onderzijde spuer</p>	
<p>d_{nd}</p>	<p>Waterhoogte boven onderzijde noodafvoer</p>	
<p>Afvoergebied</p>	<p>Het afvoergebied is een zone binnen het dakvlak waarvoor geldt dat al de neerslag die daar valt zich verzamelt op dat gedeelte van dat gebied.</p> <p>Binnen dat gebied worden de spuers berekend en ook gecontroleerd of er wateraccumulatie kan optreden.</p>	 <p>Afbeelding NEN-EN 1993-1-3 + N.B.</p>

<p>A</p>	<p>Oppervlakte afvoergebied</p>	<p>Afbeelding NEN-EN 1993-1-3 + N.B.</p>
<p>Spuwer/ Noodoverstort</p>	<p>Een spuyer binnen het domein van de wateraccumulatie is een bouwkundig element wat zorg moet dragen voor het afvoeren van regenwater in geval de hemelwaterafvoeren onverhoopt verstopt raken.</p> <p>Er zijn in basis 2 soorten noodoverstorten vanuit de Eurocode 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Rechthoekig element door de gevel. 2) Ronde noodoverstort in het dakvlak. <p>Er zijn nog meer methoden voor de voorziening van een noodoverstort. Onder andere het dubbel uitvoeren van een HWA of de toepassing van een pluviastelsel.</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>Afbeeldingen NEN-EN 1993-1-3 + N.B.</p>
<p>Breedte/hoogte spuwer</p>		
<p>Regels noodafvoeren</p>	<p>In de NEN-EN 1993-1-3 Hoofdstuk 7: Belasting door regenwater staan de regels</p>	

	<p>voor de dimensionering van regenwater omschrijving.</p> <p>In de software van Struct4U is een spuerberekening voorzien.</p>	
<p>Zeeg</p>	<p>Een zeeg is een opwaartse bolling van een constructieonderdeel.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a dome-shaped structure. A dashed horizontal line represents the original flat surface. A solid curved line represents the upward bulge. A vertical double-headed arrow labeled w_c indicates the height of the bulge at its center. A lower vertical double-headed arrow labeled w_{max} indicates the maximum depth of the structure below the original surface level.</p>
<p>Afschot</p>	<p>Afschot in het dak is de helling van de bovenzijde van het dak. Doorgaans is dat de dakbedekking. Afschot word vaak gerealiseerd door de constructie onder afschot te bouwen. Maar het kan ook gerealiseerd worden met o.a. afschotisolatie.</p>	

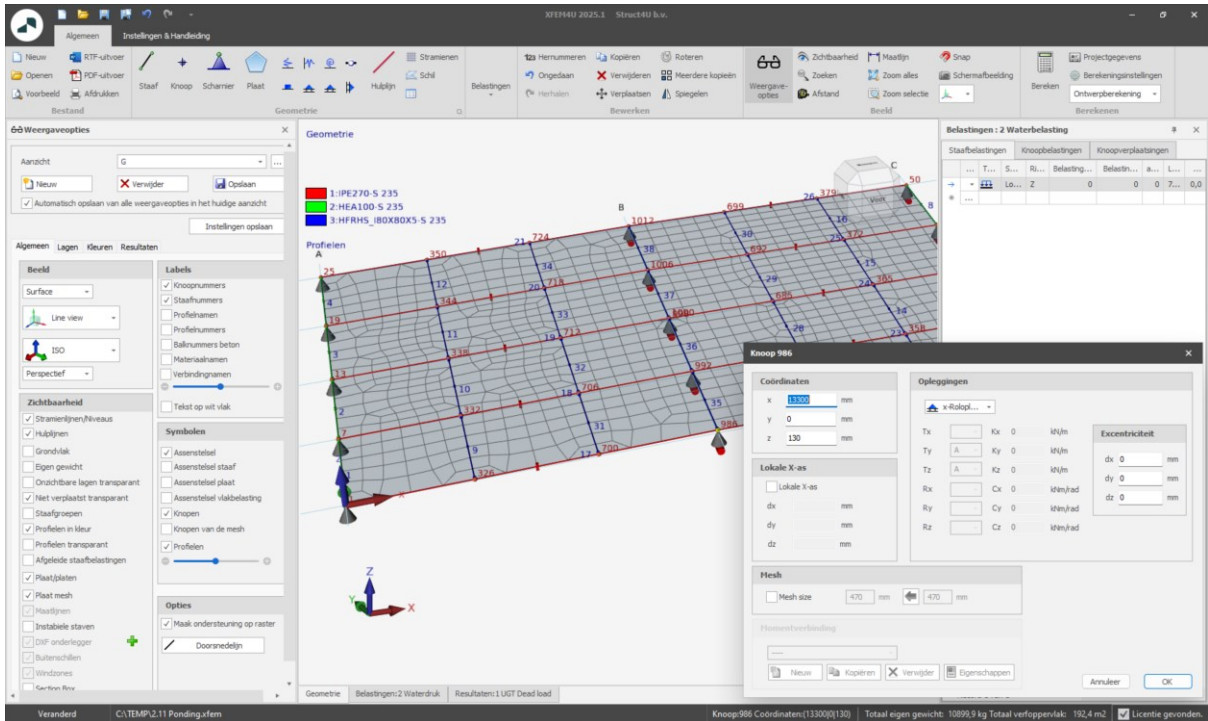
2. Literatuur

Titel	Auteur, datum	Link
Instortingen van lichte platte daken	VROM	Platte daken 15056/1 (inspectiesignaal.nl)
Eurocode 1 deel 3 Sneeuw NEN-EN 1991-1-3 Hoofdstuk 7		
Wateraccumulatie (Technisch dossier #1)	C.H. van Eldik, M.C. Pauw Bouwen met Staal	Wateraccumulatie (Technisch dossier #1) - Publicaties - Bouwen met Staal
Instructional model for understanding roof ponding	Prof. Johan Blaauwendraad	3.pdf (heronjournal.nl)

3. Handleiding

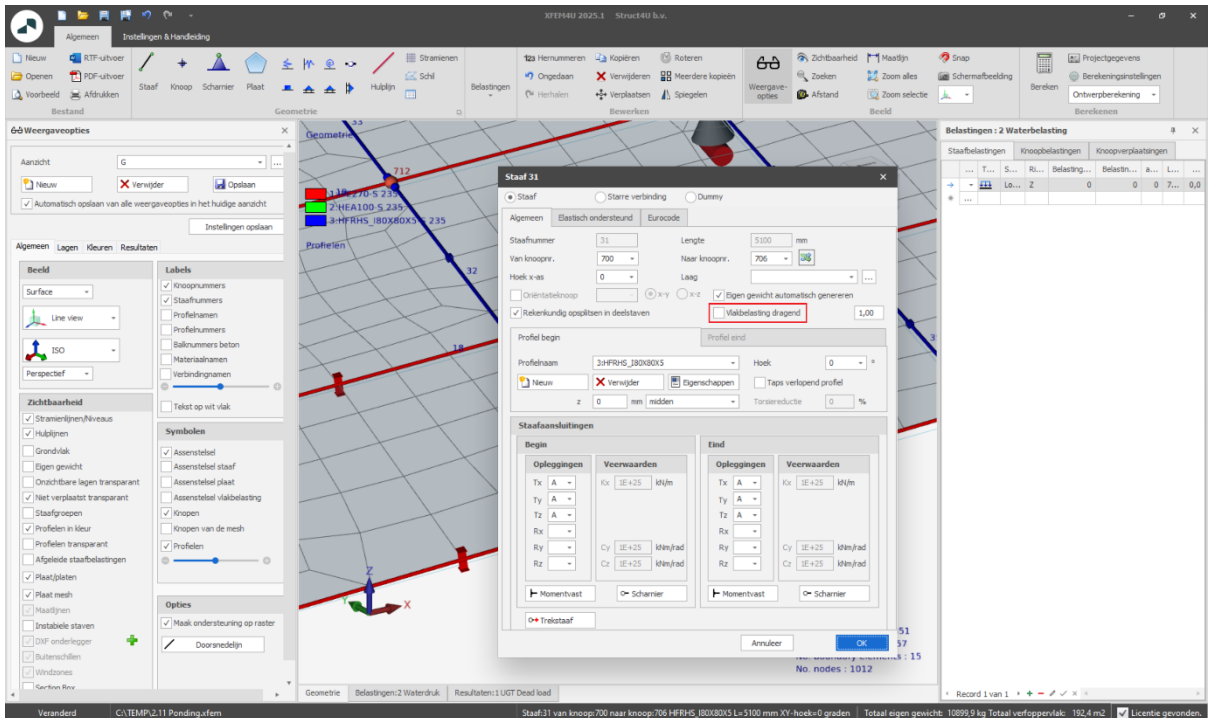
3.1 Voer de constructie in

In dit voorbeeld berekenen we een dak onder afschot. Het afschot in het dak geef je aan door het dak in 3D te tekenen met afschot.



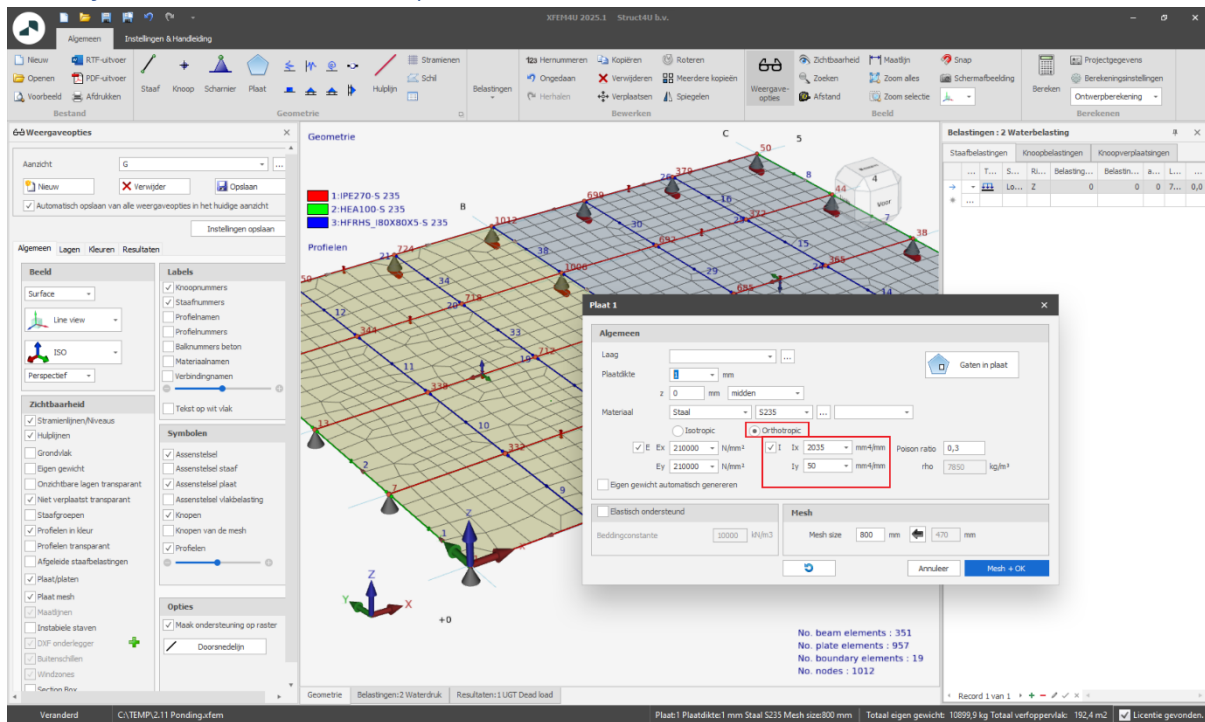
3.2 Afschot

De knopen met afschot leg je dus hoger.

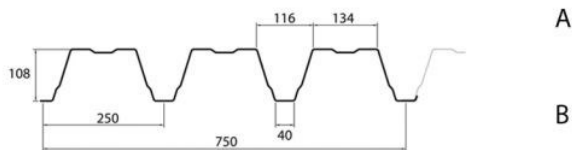


Let erop dat de koppelstaven **niet** als vlakbelasting dragend zijn aangemerkt.

3.3 Stijfheid en oriëntatie dakplaat



De stalen dakplaten hebben in X en Y richting een andere stijfheid.

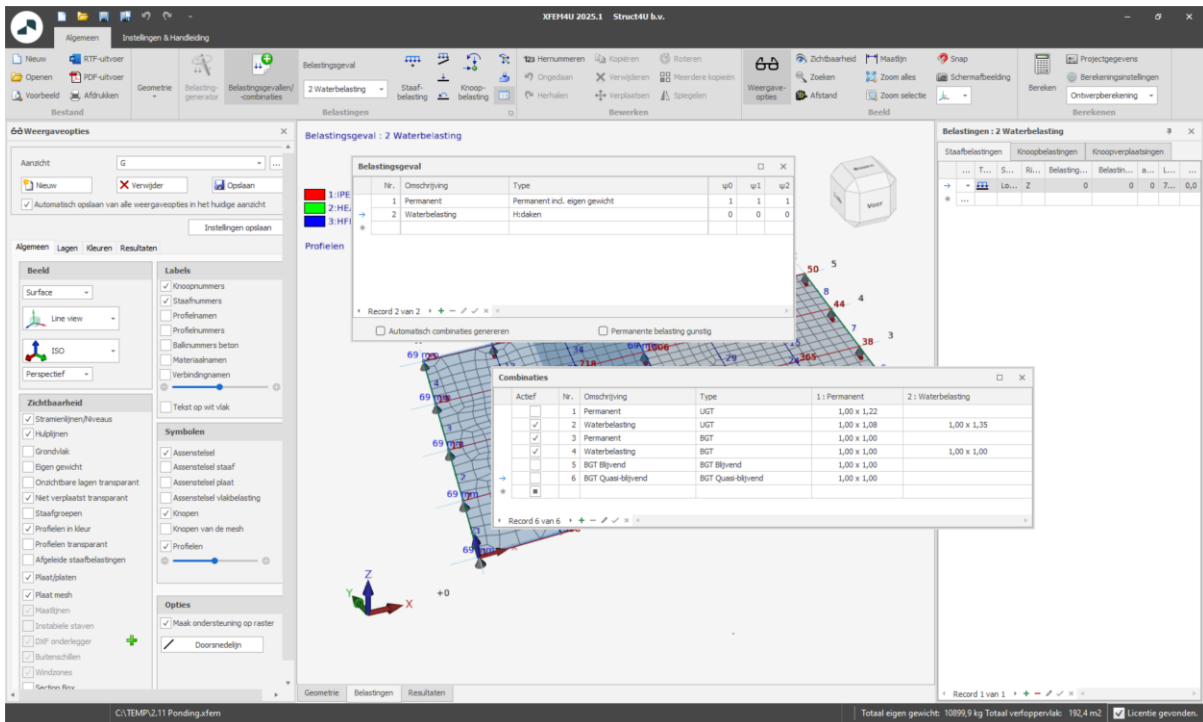


Voorbeeld van een SAB106R dakplaat

Aandachtspunten

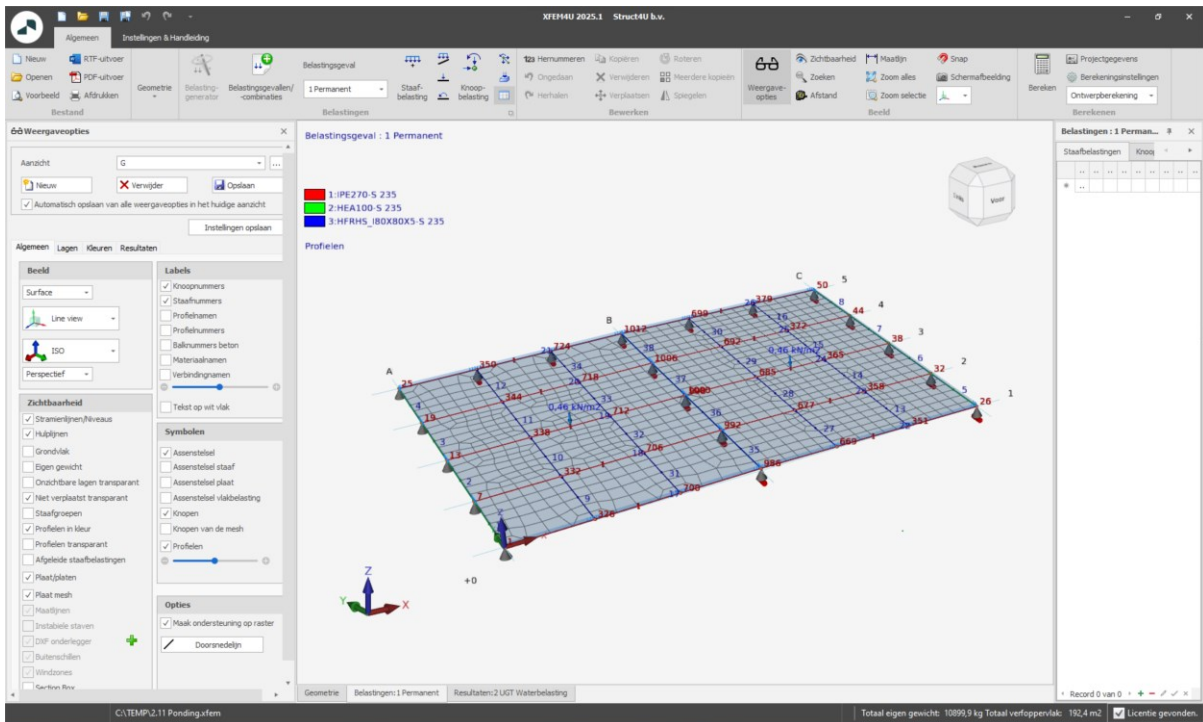
- Zet 'Assenstel plaat' aan in de weergaveopties zodat het assenstelsel van de plaat zichtbaar is.
- Kies voor 'Orthotropic i.p.v. 'Isotropic' zodat je in X-richting een andere stijfheid kunt invoeren dan in de Y-richting. De stijfheid in X- en Y-richting voor veel gebruikte dakplaten zijn [hier](#) te vinden.

3.5 Belastinggevallen en combinaties

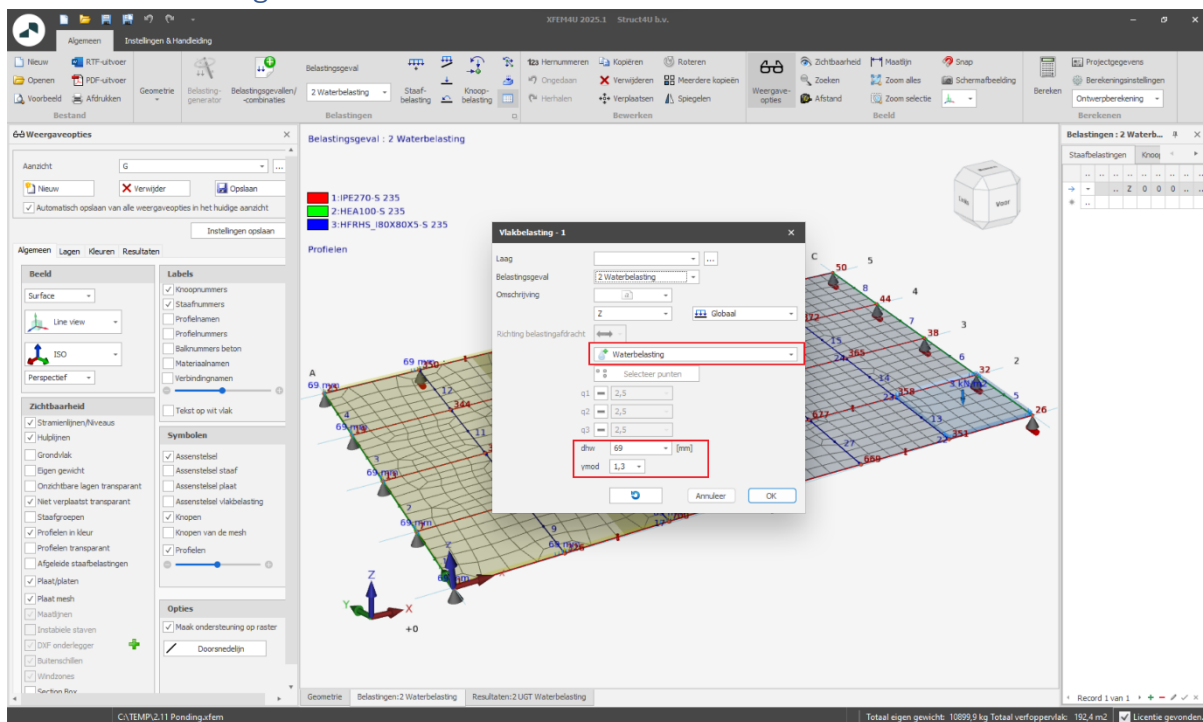


Maak de bovenstaande belastinggevallen en combinaties aan.

Voer de vlakbelastingen in van het eigen gewicht en eventuele zonnepanelen.



3.6 Waterbelasting invoeren



Voor het invoeren van de waterbelasting gebruiken we een oppervlaktebelasting. Zorg dat deze in het belastinggeval 'Waterbelasting' zit.

3.7 Spuwerberekening

The screenshot shows the XConstruct 2024.2 interface with the following data and results:

Projectgegevens:

- Afvoer gebied A: 465 m²
- Aantal spuwers n: 4
- Breedte spuwer b: 500 mm
- Hoogte spuwer h: 80 mm
- hnd: 30 mm

Berekening:

- Regenintensiteit $i_r = 0,00005 \text{ [m}^3 \text{ h/m}^2 \text{]}$
- Berekening noodvoercapaciteit rechthoekige spuwer: $Q_r = A \cdot i_r = 465 \times 0,00005 = 0,023 \text{ m}^3 \text{ / s}$
- Regenwaterdebiet: $d_{nr} = 0,7 \cdot \left(\frac{Q_r}{b \cdot n} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,7 \cdot \left(\frac{0,023}{0,5 \times 4} \right)^{\frac{2}{3}} \times 10^3 = 36 \text{ mm}$
- Waterhoogte boven onderzijde noodvoer: $d_{nr} = 36 \text{ mm}$
- Waterhoogte t.p.v. spuwer: $d_{nw} = d_{nr} + h_{nd} = 36 + 30 = 66 \text{ mm}$
- Regenwaterbelasting t.p.v. spuwer: $q = 0,66 \text{ kN/m}^2$

Conform paragraaf 7.3(3) is er 30 mm extra hoogte in de spuwer nodig ter voorkoming van de een verstoring

Minimale spuwerhoogte:

- $30 + d_{nr} = 30 + 36 = 66 \text{ mm}$
- $h_{\text{min}} = 30 + d_{nr} - h_{nd} = 30 + 36 - 30 = 36 \text{ mm}$

Berekening diameter ronde spuwer bij gelijke dnd:

- Ronde spuwer: $d_{nr} = 0,29 \cdot \left(\frac{Q_r}{d} \right)^{\frac{2}{3}}$
- Minimale benodigde diameter: $d_{\text{min}} = \left(\frac{d_{nr}}{0,29} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot 1,56 \cdot 10^3 = \left(\frac{36}{0,29} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot 1,56 \cdot 10^3 = 123 \text{ mm}$

Spuwer voldoet

Bereken het benodigde aantal spuwers met behulp van XConstruct. In dit geval is het zo dat d_{hw} 66 mm is.

Voer deze in de vlakbelasting in in XFEM4U.

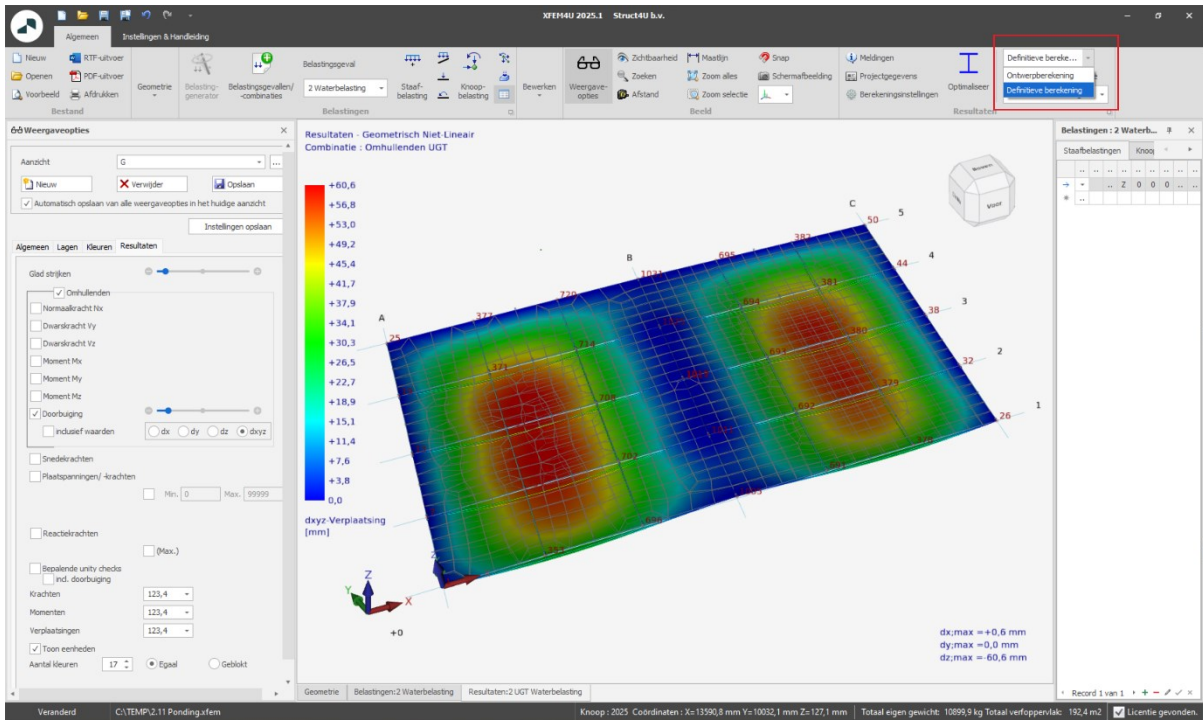
The screenshot shows the XFEM4U 2025.1 interface with a 3D model of a roof structure. The model is loaded with a water load, and the maximum height of the water is indicated by a red circled line. The model is composed of three profiles:

- 1: IPE270-S 235
- 2: HEA100-S 235
- 3: HFRHS_BOX80X5-S 235

The 3D view shows the roof structure with a grid of nodes and elements. The water load is applied to the top surface of the roof. The maximum height of the water is indicated by a red circled line, which is 66 mm. The model is shown in a perspective view, and the axes are labeled X, Y, and Z.

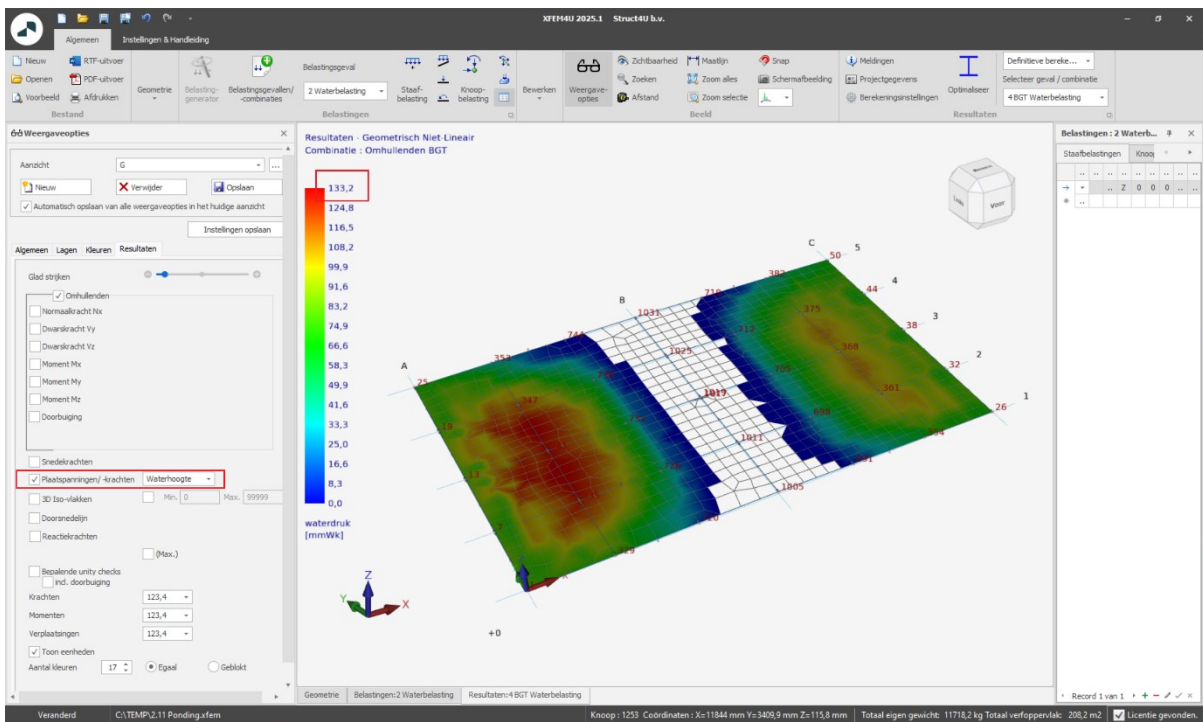
Bij de rood omcirkelde lijn is zichtbaar dat de maximale hoogte is waarop het regenwater kan komen op basis van de ingevoerde d_{hw} .

3.8 Bereken de constructie



Kies voor **Definitieve berekening** zodat het iteratieve proces van gestart wordt om de wateraccumulatie te berekenen. In dit geval waren er 99 iteraties nodig om evenwicht te bereiken.

Het bleek dat het dak geen waterdragend vermogen had bij een IPE270-profiel. We wijzigen dit in een IPE300 profiel.



Er kon evenwicht bereikt worden.

- Onder plaatsspanningen/krachten kies **Waterhoogte**.

- Er is zichtbaar hoeveel water er opgehoopt is. In dit geval maximaal 172 mm.

Doordat het dak als dakplaat ingevoerd is, is ook de accumulatie van de dakplaat zelf meegenomen. Er wordt dus ook gekeken naar de waterberging t.g.v. de doorbuiging van de dakplaat.

Er is evenwicht gevonden. Dat wil echter niet zeggen dat het dak ook constructief gezien voldoet. Als we naar de Unity Checks kijken blijken de dakliggers te bezwijken op sterkte. De Unity Check van [1.27](#). Dit voldoet duidelijk niet. In het volgende hoofdstuk gaan we in op de achtergronden en gaan we diverse varianten berekenen totdat we een variant hebben die voldoet.

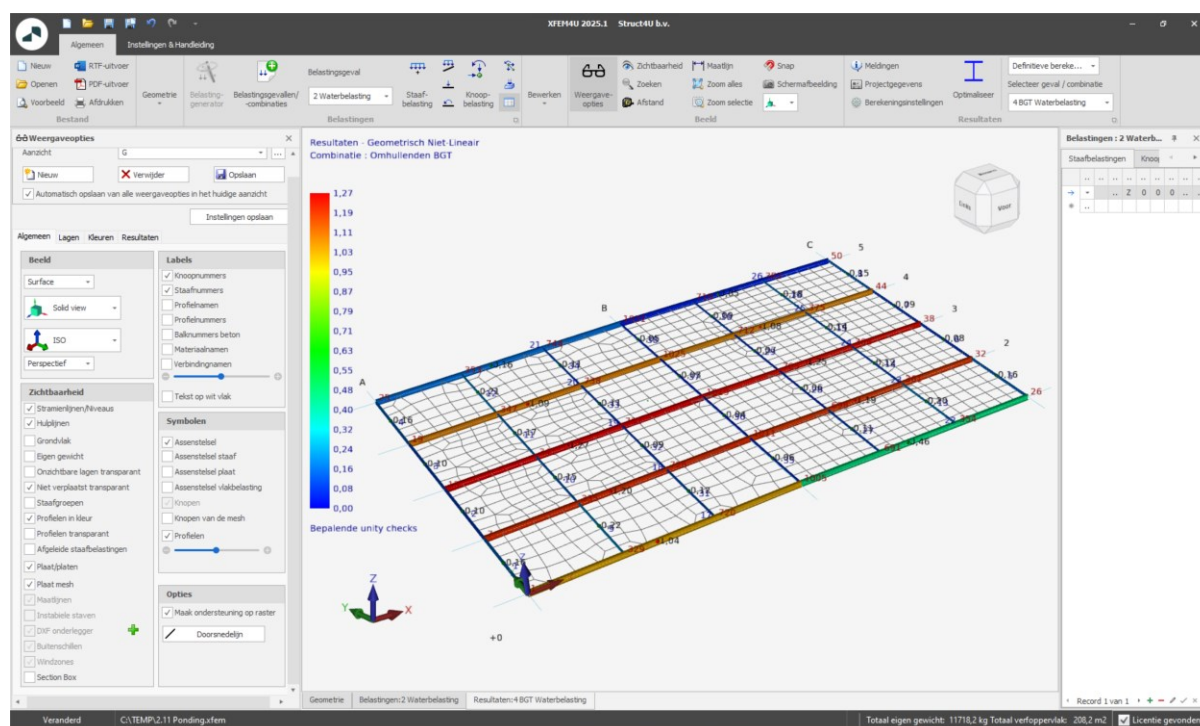
4 Achtergrond, varianten

4.1 Veiligheidsfactoren/modelfactor

Het berekenen van de **iteratieve krachtsverdeling** in de constructie tijdens de berekening van wateraccumulatie wordt gedaan **zonder** veiligheidsfactoren op de belastingen. De stijfheid(EI) van de gehele constructie wordt tijdens deze berekening gedeeld door de modelfactor(γ_M) van 1.3. (Conform NEN-EN 1991-3)

Voor bestaande constructies kan een modelfactor van **1.1** aangehouden worden. Dit is nog niet opgenomen in de huidige Eurocodes en/of NEN8700-serie. Het is echter wel het voornemen om deze op te nemen in de nationale bijlage van de nieuwe Eurocode.

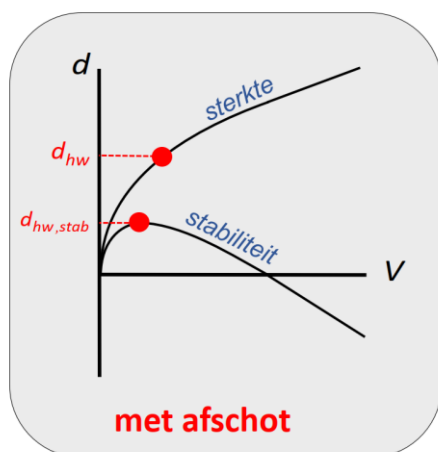
In geval er evenwicht is zal het **watervolume** uit de iteratieve berekening gebruikt worden voor de toetsing in de UGT. De UGT zal getoetst worden zonder modelfactor in de stijfheid. Ook in deze berekening kunnen iteraties plaatsvinden maar het watervolume is vanaf dat moment een vast gegeven.



4.2 Stabiliteit

Wateraccumulatie is feitelijk een stabiliteit vraagstuk. De vraag is wat er gebeurt met de constructie op het moment dat we het waterniveau opvoeren op de constructie, kijken naar de doorbuiging en vervolgens kijken naar het nieuwe volume wat op het dak

De stijfheid van het dak kan eenvoudig weergegeven worden in het V-d diagram. Hierin is zichtbaar bij hoeveel mm verplaatsing hoeveel m3 water er op het dak geborgen kan worden. Let op: Dit gaat alleen over de stabiliteit van het dak. Niet over de toetsingen van de liggers.



Afbeelding Professor Johan Blaauwendraad

In de bovenstaande afbeelding is zichtbaar welke 2 scenario's er zijn. We gaan de constructie van het voorbeeld kijken wat er gebeurt als we de dakliggers gaan verzwaren.

4.3 Voorbeelden bij beide velden belast met waterbelasting

<p>IPE270 $d_{nd} = 69 \text{ mm}$</p> <p>-Geen evenwicht -UC = niet relevant</p>	<p>Wateraccumulatie V-d diagram</p>
<p>IPE300 $d_{nd} = 69 \text{ mm}$</p> <p>-Wel evenwicht -Maximale waterhoogte 132 mm</p> <p>-UC = 1.27</p>	<p>Wateraccumulatie V-d diagram</p>
<p>IPE300 $d_{nd} = 50 \text{ mm}$</p> <p>Wel evenwicht</p>	

Waterhoogte **88**
mm

UC = 0.93

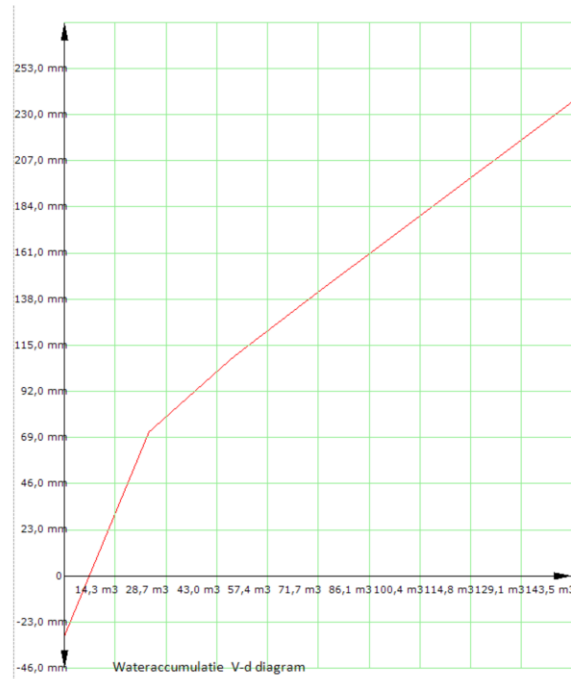


IPE330
 $d_{nd} = 69$ mm

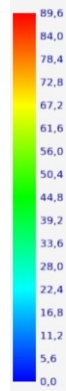
Wel evenwicht

Waterhoogte **89**
mm

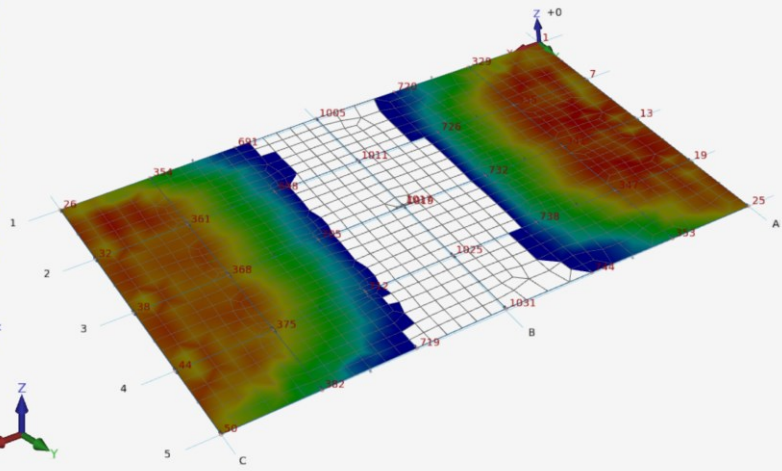
UC = 0.79



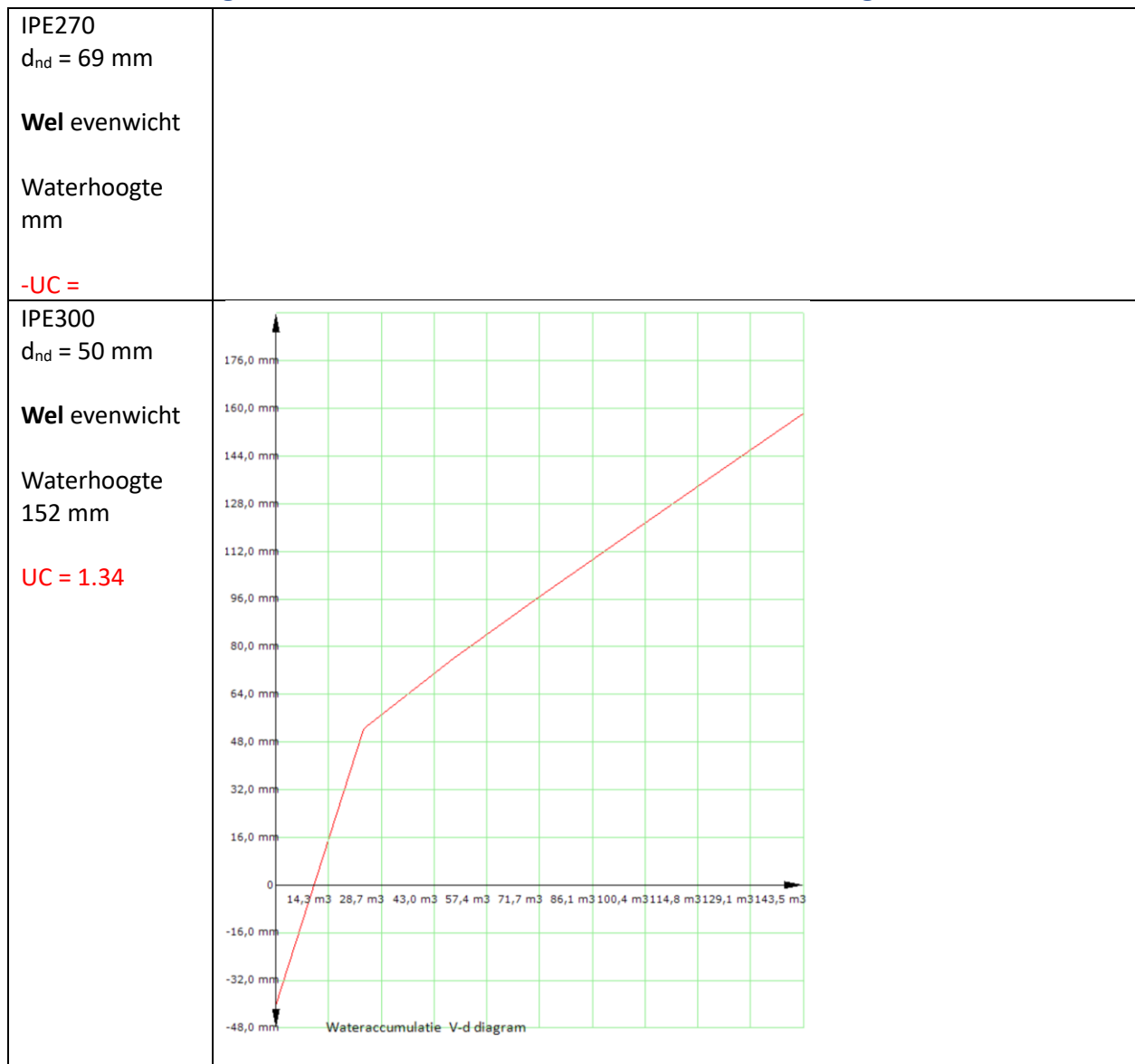
Resultaten - Geometrisch Niet-Linear
Combinatie - Omhullenden UGT

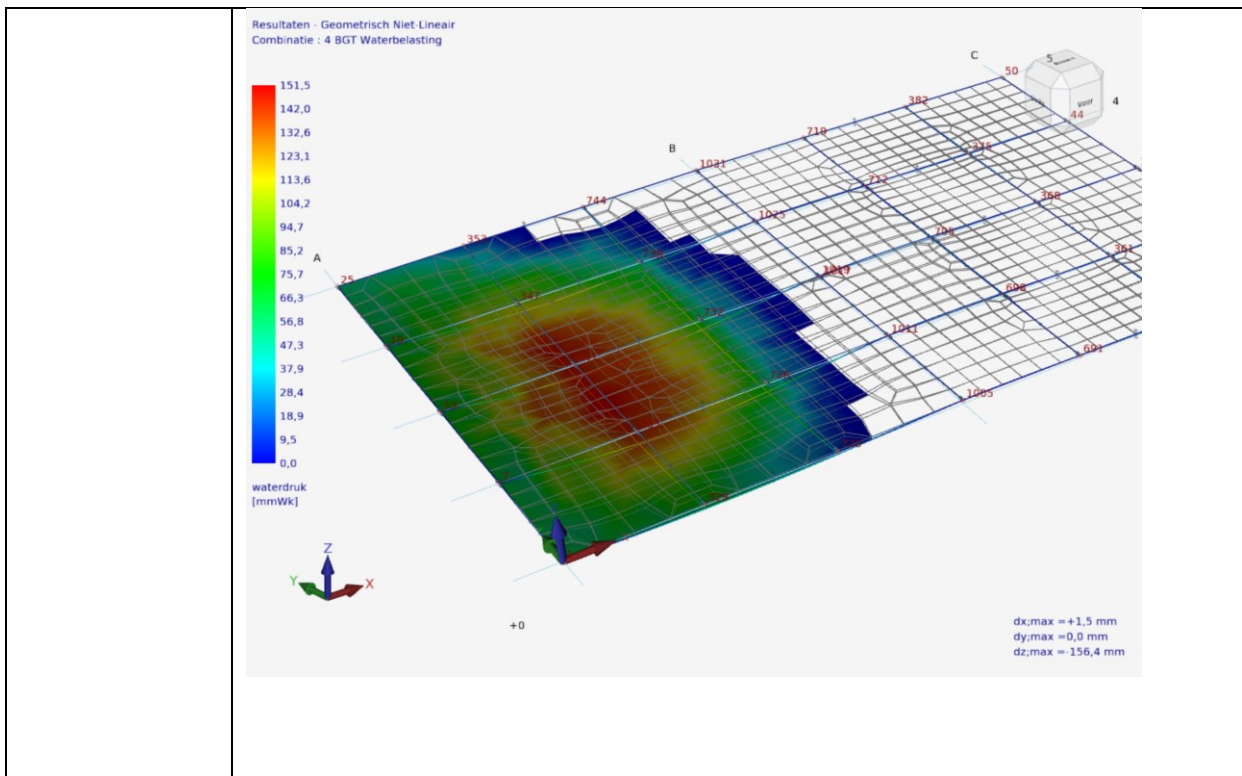


waterdruk
[mmWk]

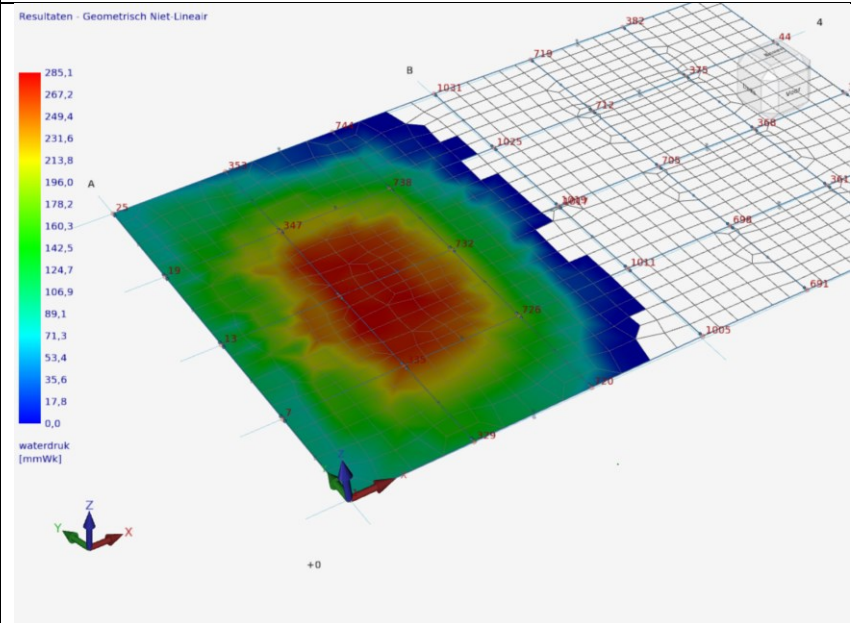


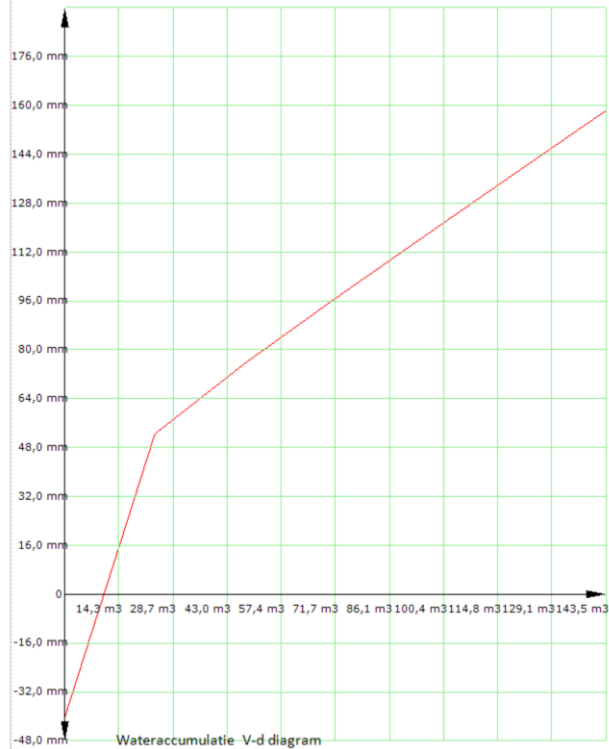
4.4 Voorbeeld in geval een enkel dakvlak belast is met waterbelasting





IPE300
 $d_{nd} = 285 \text{ mm}$
Wel evenwicht
 Waterhoogte
 mm
UC = 2.36



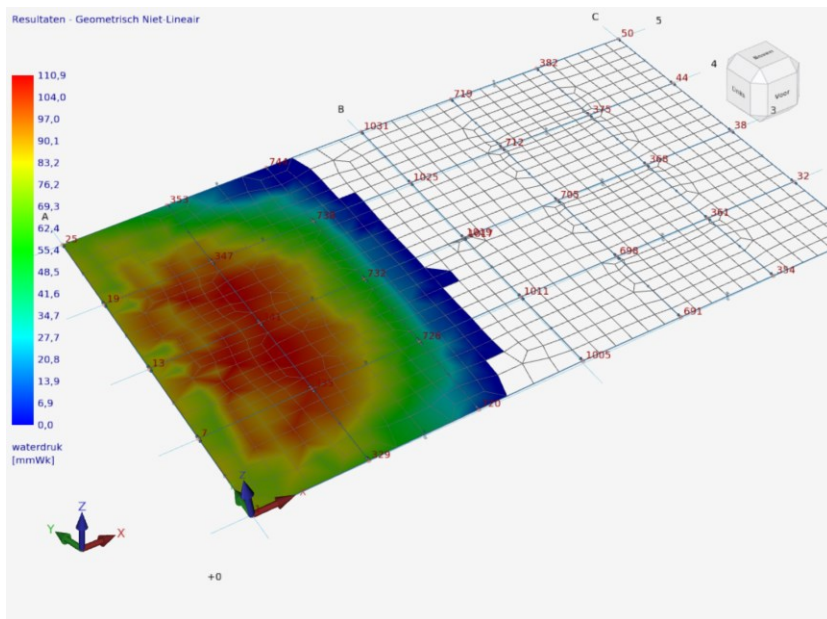


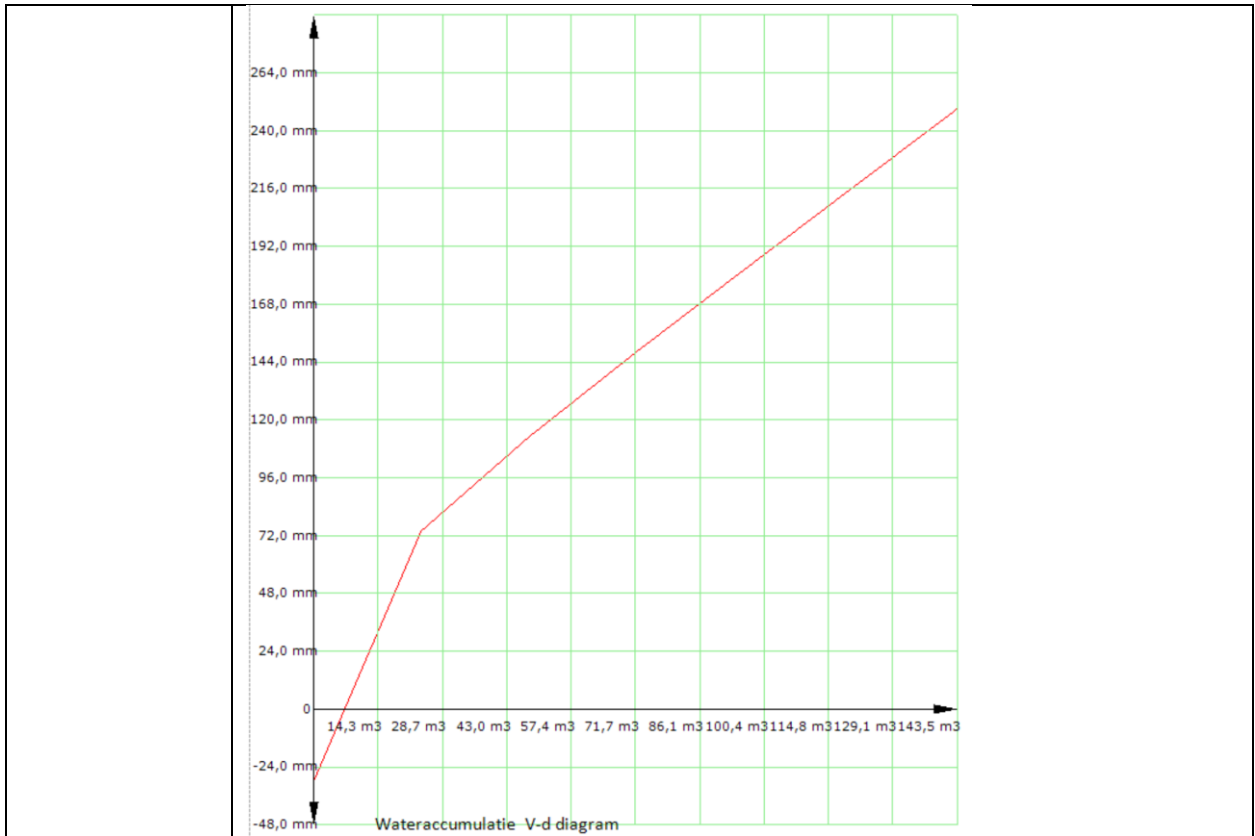
IPE330
 $d_{nd} = 69 \text{ mm}$

Wel evenwicht

Waterhoogte
110 mm

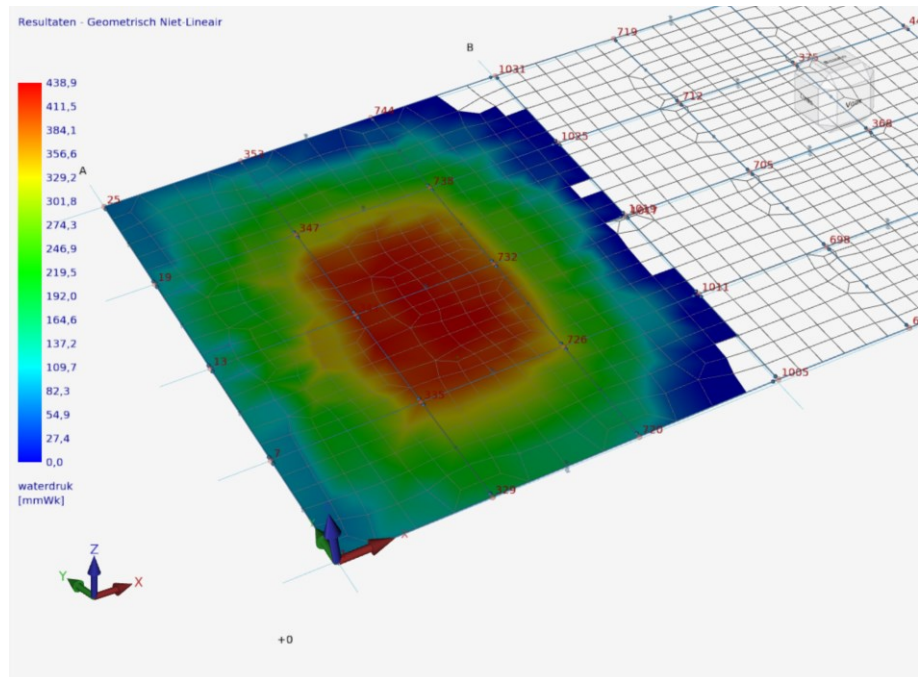
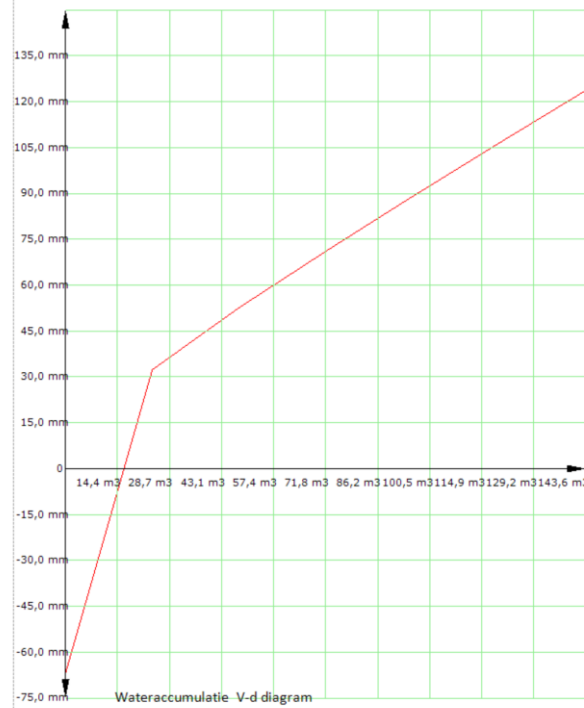
UC = 0.89





4.5 Voorbeelden waarbij de ligger niet doorgaand is maar scharnierend aansluit

IPE330
 $d_{nd} = 69 \text{ mm}$
Wel evenwicht
 Waterhoogte
439 mm
 UC = 2.83

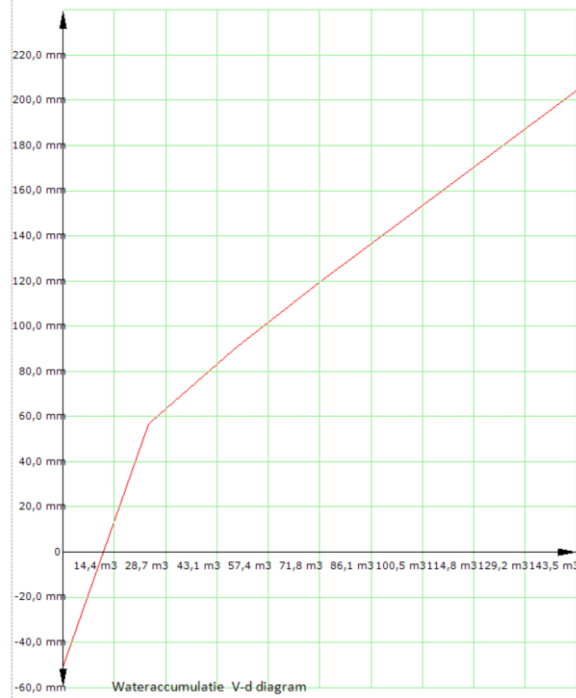


IPE360

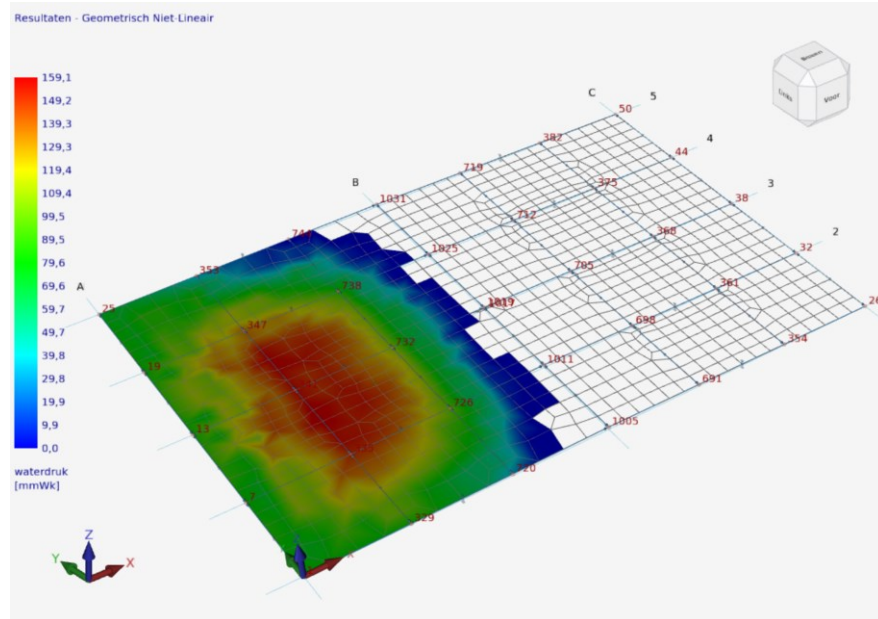
Wel evenwicht

Waterhoogte
159 mm

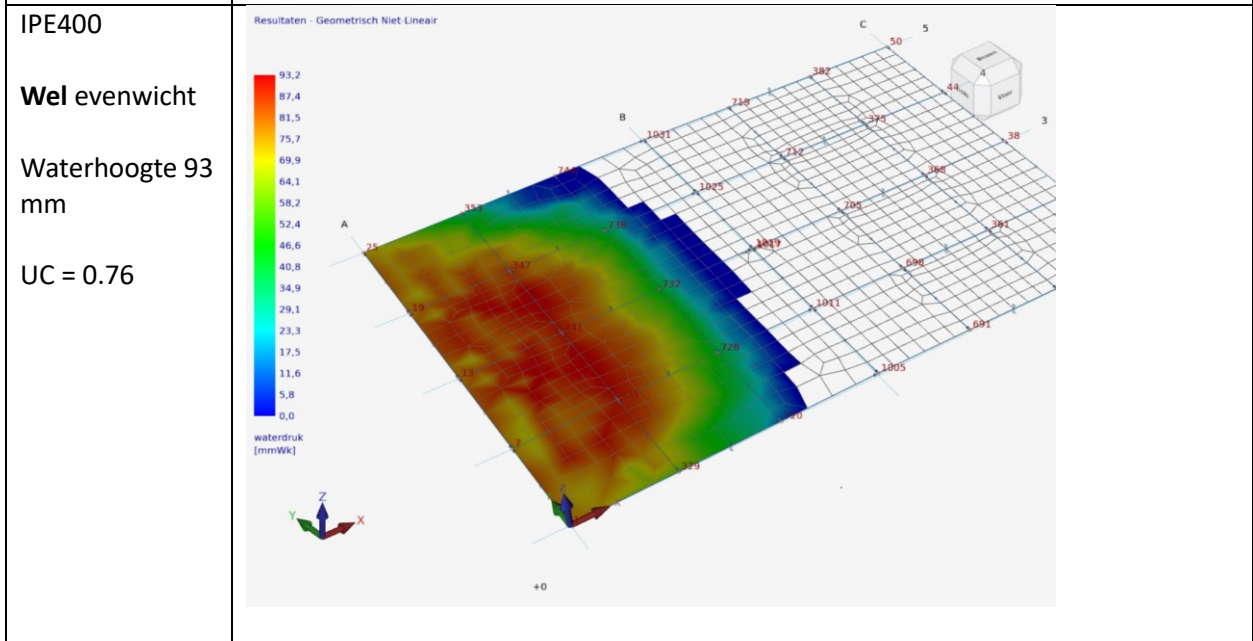
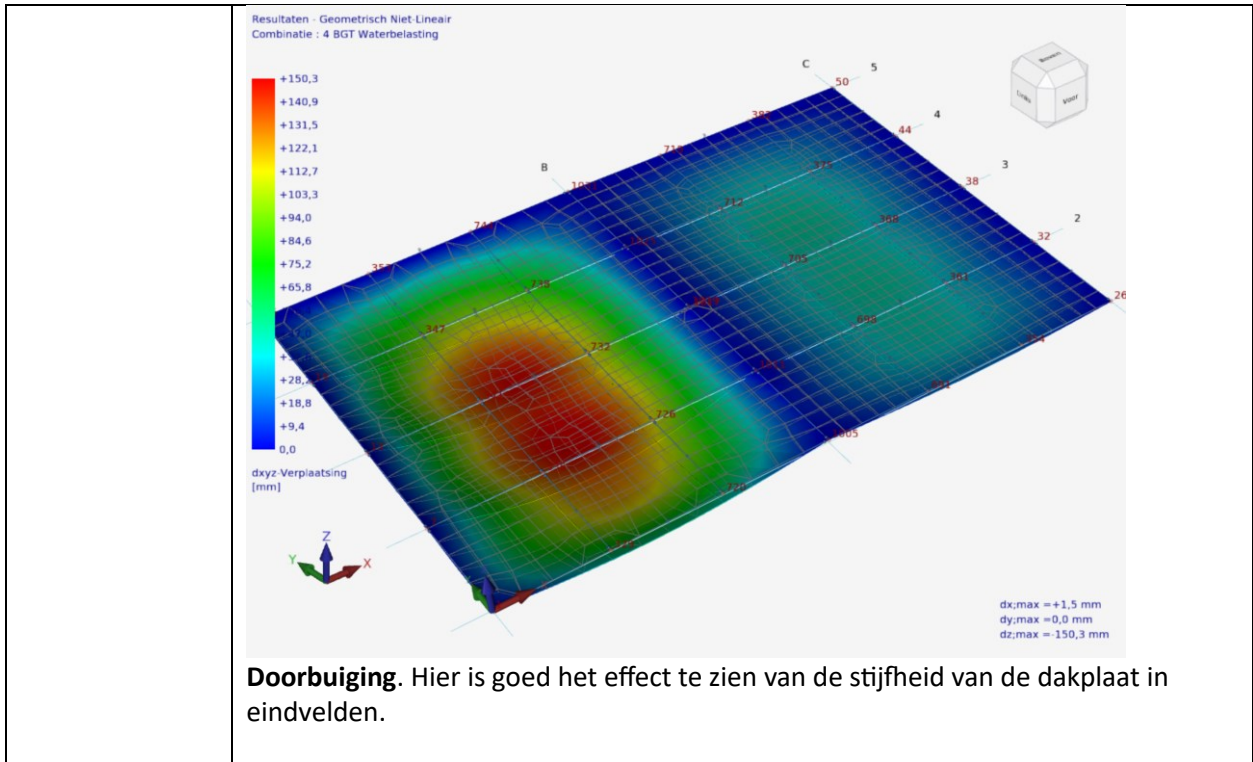
UC = 1.26

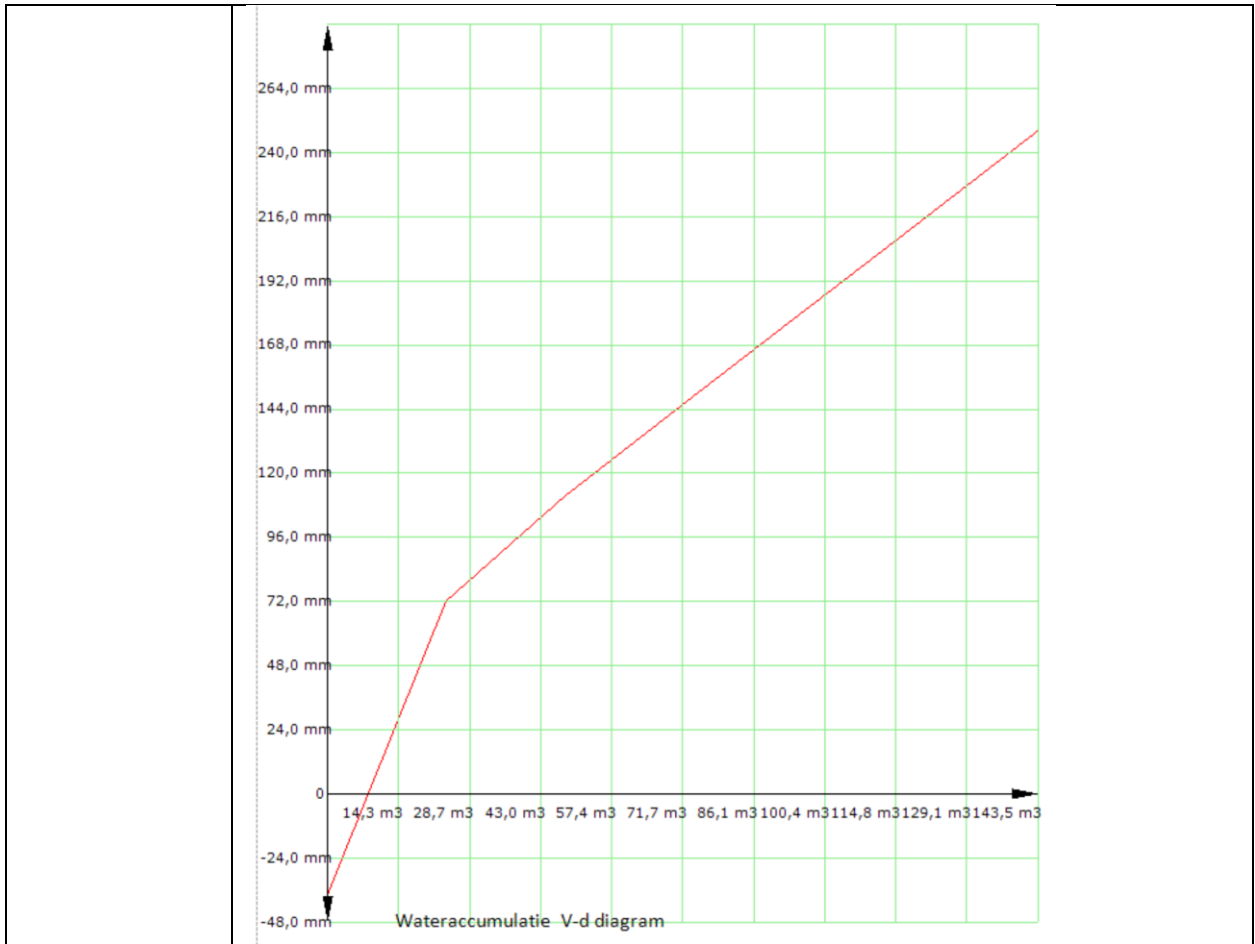


Waterdruk



Verplaatsing





4.6 Samenvatting variantenstudie

Eigen gewicht van de dakconstructie + zonnepanelen excl. Eigen gewicht liggers:

$$q_G = 0.46 \text{ kN/m}^2$$

$$d_{nd} = 69 \text{ mm}$$

Theoretisch berekende waterhoogte ten tijde van gevonden evenwicht. Daarachter de Unity Check van de ligger.

Profiel hoofdligger	Doorgaand 2 velden belast	Doorgaand 1 veld belast	Enkelveld
IPE270	Geen evenwicht	Geen evenwicht	
IPE300	132 mm / 1.27	285 mm / 2.36	
IPE300(d_{nd} 50 mm)	88 mm / 0.93	152 mm / 1.34	
IPE330	89 mm / 0.79	110 mm / 0.89	439 mm / 2.83
IPE360			159 mm / 1.26
IPE360(d_{nd} 50 mm)			132 mm / 0.93
IPE400			93 mm / 0.76

Je ziet goed hoeveel invloed meer spuwers en/of een lagere h_{nd} hebben op een constructie.

5 Scenario's en stappenplan

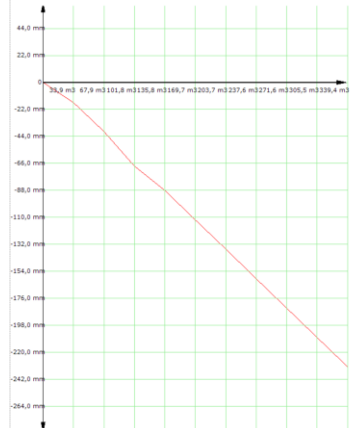
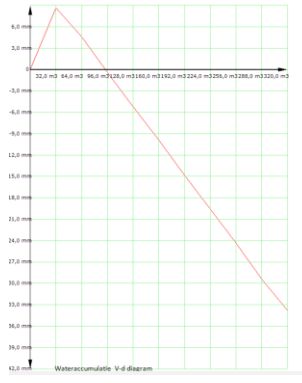
We zien dat er een aantal scenario's zijn voor een constructie. In de volgende paragraaf zien we wat te doen in welk scenario.

5.1 Methoden om de stabiliteit van een dakconstructie te vergroten

Er zijn 5 manieren om de stabiliteit van de dakconstructie te vergroten:

1. (Plaatselijk) Zwaardere profielen toepassen.
2. Afschot verhogen.
3. Zeeg toepassen.
4. Meer spuwvers toepassen.
5. h_{nd} verlagen.

5.2 Stappenplan

V-d grafiek/scenario	Sub scenario	Wat te doen?
<p>1. Er wordt geen evenwicht bereikt</p> 	<p>Dak stort in.</p>	<p>Constructie aanpassen.</p>
<p>2. Er kan accumulatie optreden (stabiliteit maatgevend).</p> 	<p>2.1 Wel evenwicht. (positieve tak grafiek) Constructie voldoet op sterkte.</p>	<p>Dakconstructie voldoet.</p> <p>N.B. Aandachtspunt is wel dat het in de basis een 'gevaarlijke' constructie is. Verhoog de waterhoogte om te onderzoeken of je niet net tegen de grens zit van accumulatie.</p>

	<p>2.2 Wel evenwicht. (positieve tak grafiek) Constructie voldoet niet op sterkte</p> <p>Dak stort in.</p>	<p>Constructie aanpassen.</p> <p>Let wel op N.B. van subscenario 2.1.</p>
	<p>2.3 Wel evenwicht(positieve tak grafiek) Plasvorming op het dak. Constructie voldoet niet op sterkte.</p> <p>Dak stort in.</p>	<p>Constructie aanpassen.</p>
	<p>2.4 Geen evenwicht. (negatieve tak grafiek)</p> <p>Dak stort in.</p>	<p>Constructie aanpassen.</p>
<p>3. Er kan geen accumulatie optreden(sterkte maatgevend)</p>	<p>3.1 Wel evenwicht Constructie voldoet niet op sterkte</p>	<p>Constructie aanpassen.</p>
	<p>3.2 Wel evenwicht Constructie voldoet</p>	

6 Aandachtspunten bij het gebruik van de wateraccumulatiemodule in XFEM4U

- Voer niet te **grote dakconstructies** in omdat de rekestijd dan gaat toenemen vanwege de grote hoeveelheid iteraties. Het beste is om een kleiner representatief deel van de dakconstructie in te voeren.
- Er **moet** altijd een dakplaat als **plaat** gemodelleerd worden om de regenwaterbelasting op te zetten.
- Gebruik de '**Definitieve berekening**' (GNL) om wateraccumulatie te berekenen.
- Zet de berekening van het eigen gewicht van de plaat **uit** zodat je vervolgens een aangepaste stijfheid kunt invoeren voor een dakplaat.
- De zeeg zoals deze in de staaf gedefinieerd wordt heeft **geen** invloed op de berekening van de wateraccumulatie. Deze zeeg wordt alleen gebruikt bij de toetsing van de doorbuiging.
- Zeeg is nog niet voorzien in het huidige systeem. Je kunt het wel simuleren door deze te modelleren.

7 Q&A

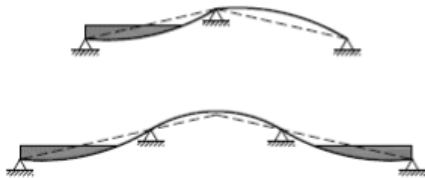
Wat te doen bij gelijke overspanningen van een meervelds dakligger/gording?

In geval van een meervelds dakligger of gording met gelijke overspanningen kan tijdens de berekening van de wateraccumulatie een 'minder ongunstige' krachtsverdeling optreden doordat beide velden exact gelijk belast worden.

Volgens de NEN-EN 1991-1-3 Sneeuw H7.1 moet vanzelfsprekend de meest ongunstige situatie beschouwd worden. Het is zo dat beide situatie maatgevend kunnen zijn. Advies is dus om beide scenario's te berekenen.

Om te voorkomen dat dit optreedt tijdens de iteratieve berekening is het advies om de overspanningen qua afmeting iets afwijkend in te voeren. Controleer bij de weergave van de waterhoogte of dit daadwerkelijk opgetreden is.

Ongunstige wateraccumulatiegedrag



Minder ongunstige wateraccumulatiegedrag

