

# MODELLERING EN EEN NUMERIEKE BENADERING VAN DE SCHADE AAN GEMETSELDE GEBOUWEN DOOR BODEMDALING

Januari 2024

Het onderzoeksprogramma LOSS werkt aan de kennisbasis van bodemdaling en de gevolgen daarvan. In LOSS ontwikkelen we kennis over waarom en hoe de bodem daalt, hoe je bodemdaling kan voorspellen en welk beleid relevant is bij het omgaan ermee of voorkomen ervan. Alfonso Prospero is promovendus in het LOSS programma en focust op het ontwikkelen van een betrouwbare aanpak voor de beoordeling van de door nederzettingen veroorzaakte schade aan gebouwen als gevolg van bodemdaling. Dit is de samenvatting van de bevindingen uit twee papers: 'Sensitivity modelling with objective damage assessment of unreinforced masonry façades undergoing different subsidence settlement patterns' en '2D and 3D Modelling Strategies to Reproduce the Response of Historical Masonry Buildings Subjected to Settlements'.

De artikelen zijn te citeren als:

1. *Alfonso Prospero, Michele Longo, Paul A. Korswagen, Mandy Korff, Jan G. Rots, Sensitivity modelling with objective damage assessment of unreinforced masonry façades undergoing different subsidence settlement patterns, Engineering Structures, Volume 286, 2023, 116113, ISSN 0141-0296.*  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116113>
2. *Prospero, A., Longo, M., Korswagen, P. A., Korff, M., & Rots, J. G. (2024). 2D and 3D Modelling Strategies to Reproduce the Response of Historical Masonry Buildings Subjected to Settlements. International Journal of Architectural Heritage, 1-17.*  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15583058.2024.2325472>

Deze onderzoek zijn onderdeel van het NWA project *Living on Soft Soils: Subsidence and Society* (grantnr.: NWA.1160.18.259).

## Samenvatting

Om schade aan gebouwen als gevolg van bodemdalingsprocessen te onderzoeken is het van belang echte gebouwen te onderzoeken, maar hiervoor zijn vaak maar weinig mogelijkheden. Numerieke modellen bieden dan een betrouwbaar alternatief om de relatie tussen de verzakking van de bodem en de schade aan gebouwen te onderzoeken.

### **Wat zijn de mogelijkheden van de numerieke modellen?**

Met numerieke modellen kunnen we het ontstaan en de verspreiding van schade (in de vorm van scheuren) aan gebouwen door bodemdaling in beeld brengen. Daarnaast kunnen we met de modellen bestuderen wat de invloed is van de kenmerken van het gebouw, het verloop van de zakking en de veroorzaakte schade. Kenmerken van een gebouw zijn bijvoorbeeld de vorm van het gebouw, het aantal ramen en deuren en het type fundering.

De modellen maken het mogelijk om te onderzoeken welke omstandigheden leiden tot de meeste kans op schade: wat is de meest kwetsbare toestand. Om de invloed van verschillende omstandigheden te onderzoeken is in het eerste onderzoek bijvoorbeeld gebruik gemaakt van acht verschillende zettingsconfiguraties die elk met vier soorten ondiepe funderingen zijn gemodelleerd.

In de drie figuren op de volgende bladzijde zijn een aantal voorbeelden gegeven van de input in het model en de resultaten.

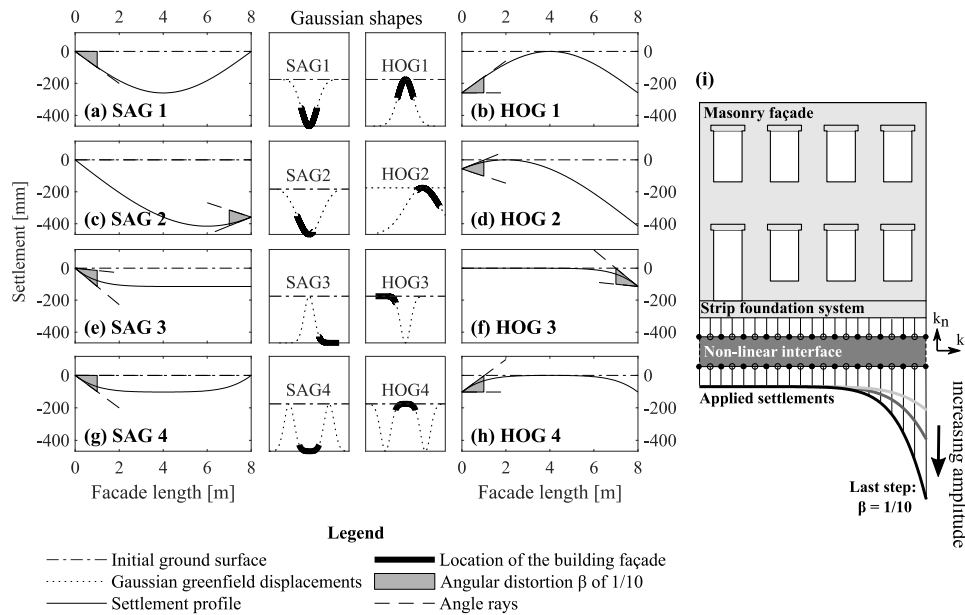
### **Resultaten en hoogtepunten uit het eerste onderzoek**

- Er is nu een verbeterde modelleringstechniek voor verder onderzoek en toekomstige studies.
- De modelruns laten zien dat de schade aan de constructie afhankelijk is van de geometrie van het model: gedrongen gevels met een kleine verhouding lengte/ hoogte (<1) vertoonden minder schade dan 'slanke' gevels.
- De modelruns laten zien dat gebouwen met funderingen van gewapend beton minder kwetsbaar zijn voor zakkings dan de gebouwen met gemetselde funderingen.
- De resultaten van de numerieke analyses variëren sterk op het gebied van schade en vervorming en zijn afhankelijk zettingsconfiguraties.
- Voor meer dan 80% van de modellen wordt zichtbare scheurvorming, dat zijn scheuren groter dan 1 mm, gemiddeld bereikt bij een relatieve rotatie (angular distortion,  $\beta$ ) van 1/1000.

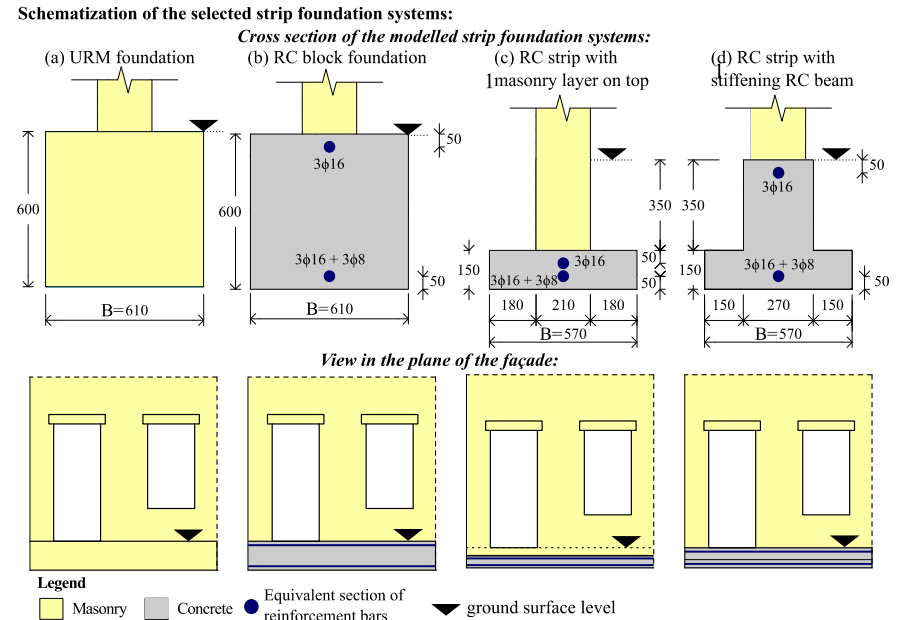
2D- en 3D-modelleringsbenaderingen kunnen beide worden gebruikt om het gedrag van gebouwen te simuleren. Het identificeren van de beste modelleringsbenaderingen, in termen van numerieke prestaties, rekenkundige tijd en modelleringslast, is cruciaal om te beoordelen welk model kan worden gebruikt om schade aan gebouwen te onderzoeken. Het tweede onderzoek evalueert het gebruik van verschillende modelleringsbenaderingen en hun prestaties, zie figuur 4. Bovendien onderzoekt het verder het effect van de gebouwkenmerken, zoals de interne draagmuur. Dit onderzoek bouwt voort op de resultaten van het eerste onderzoek.

### **Resultaten en hoogtepunten uit het tweede onderzoek**

- De aanwezigheid van dwarse wanden beïnvloedt de resultaten van de numerieke modellen.
- 2D-modellen die de effecten van dwarse wanden bevatten, komen overeen met de meer complexe 3D-modellen.

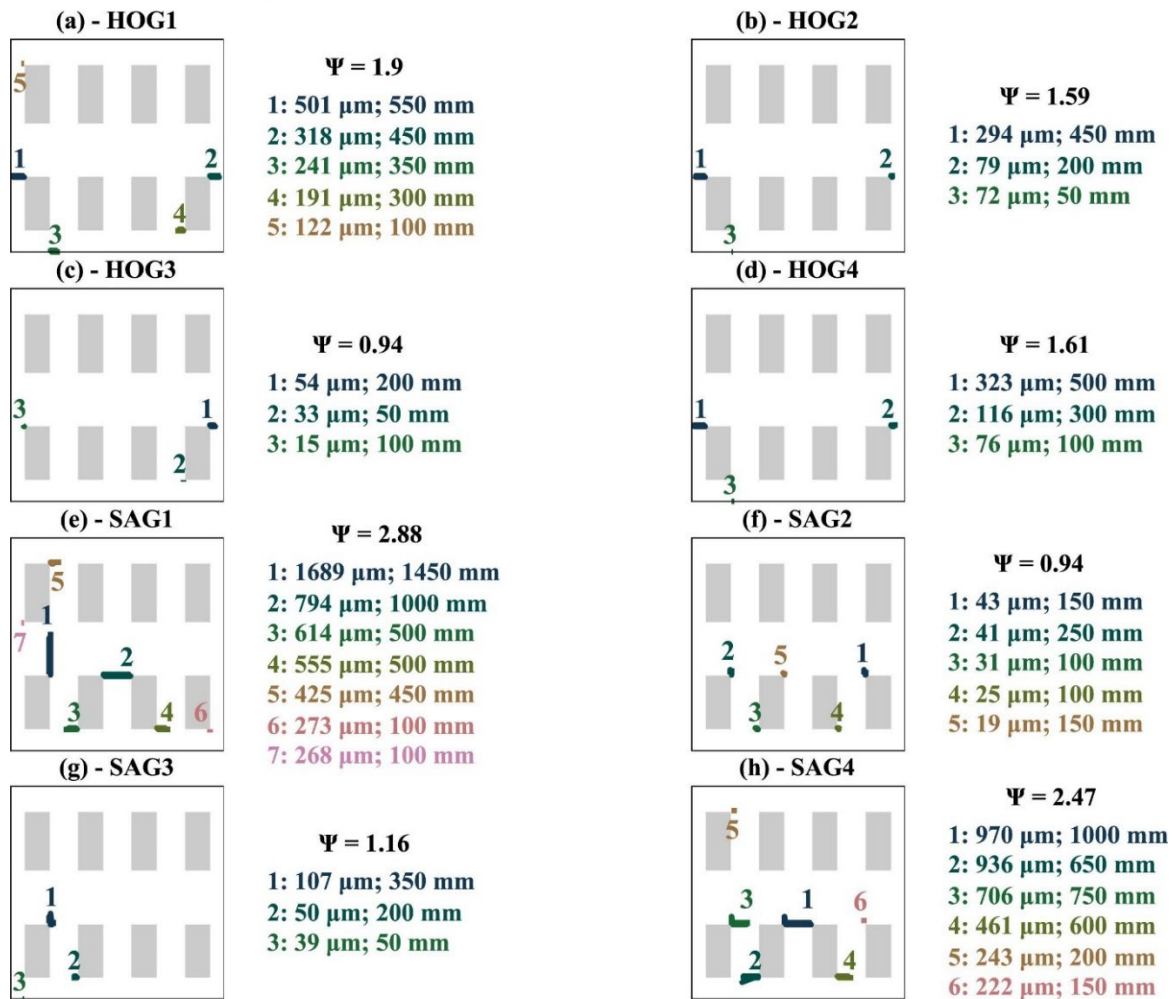


**Figuur 1. De 8 verschillende zettingsvormen en het aangenomen model.**



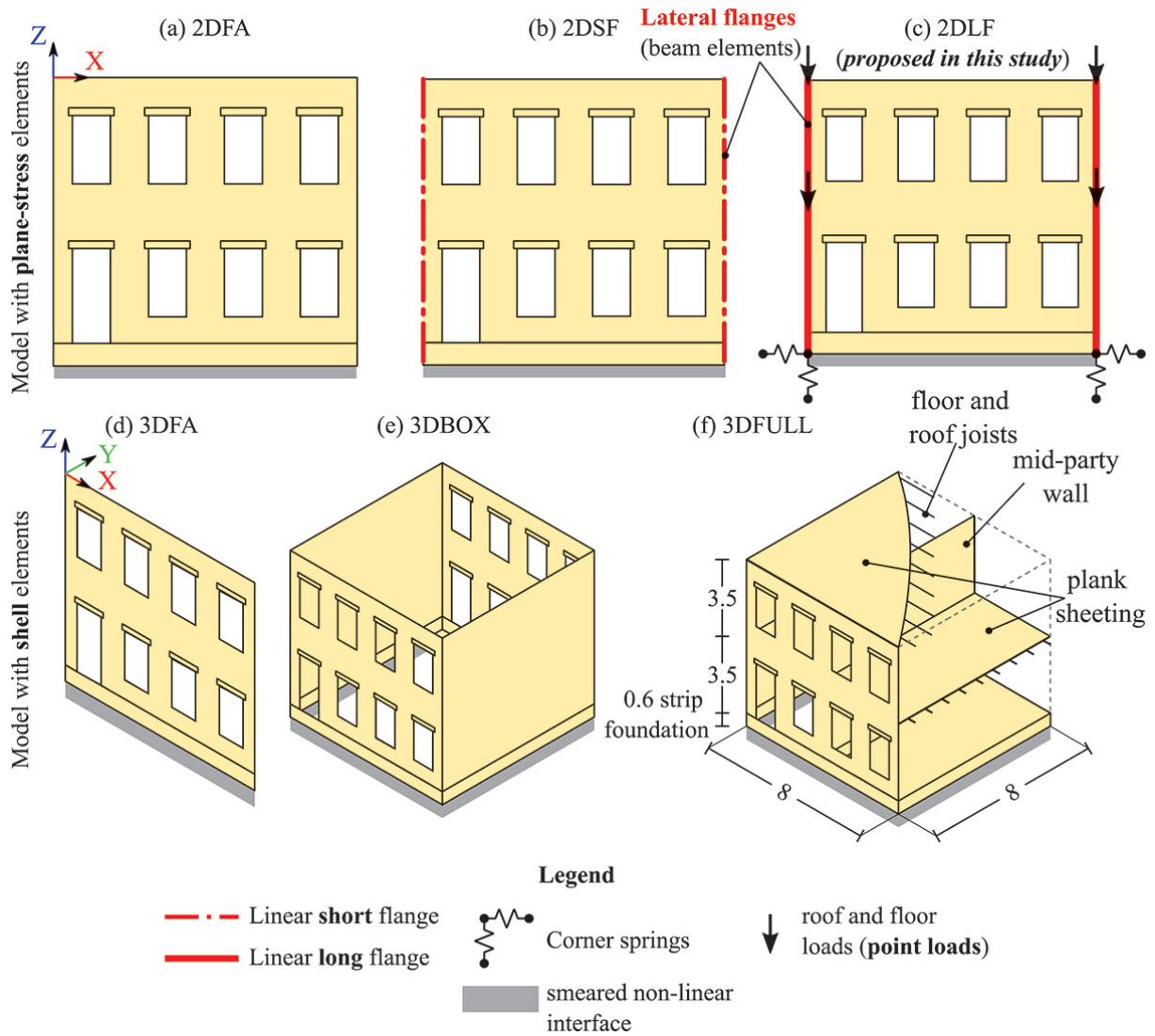
**Figuur 2. De geselecteerde funderingen op staal.**

**Crack patterns** of the reference masonry façade for all the settlement profiles



For each crack: identification number N: width in micrometers  $\mu\text{m}$ ; length in millimeters mm

**Figuur 3. De resultaten van de analyses in termen van scheurvorming. De waarde psi ( $\psi$ ) is een maat voor de schade, een hoger getal betekent meer schade. De scheuren hebben een lengte en een breedte.**



Figuur 4 - De zes geselecteerde modelleringsbenaderingen uit de laatste stand van de techniek