

STEDELIJKE BODEMDALING BESTRIJDEN: EEN METHODE VOOR MAATREGELKEUZE EN BEOORDELING

Applicability and effectiveness of structural measures for subsidence (risk) reduction in urban areas.

In het onderzoeksprogramma LOSS wordt gewerkt aan de kennisbasis van bodemdaling: waarom en hoe daalt de bodem, hoe kun je bodemdaling voorspellen en welk beleid is relevant is bij het omgaan ermee of voorkomen ervan? Dit is de samenvatting van de bevindingen uit de paper 'Applicability and effectiveness of structural measures for subsidence (risk) reduction in urban areas'.

Het artikel is te citeren als:

Nappo, N., & Korff, M. (2024). Applicability and effectiveness of structural measures for subsidence (risk) reduction in urban areas. Department of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft & Deltares. In: Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, Vol. 382, pp. 733–766. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-733-2020>

Dit onderzoek is onderdeel van het NWA project Living on Soft Soils: Subsidence and Society (grantnr.: NWA.1160.18.259).

Samenvatting

In veel steden wereldwijd, zoals Jakarta, Shanghai, Mexico-Stad en ook Gouda, zakt de bodem langzaam weg. Dit heet bodemdaling of zetting. Het is een sluipend probleem dat gebouwen, wegen en infrastructuur kan beschadigen en het risico op overstromingen vergroot. Deze paper gaat in op maatregelen tegen bodemdaling in stedelijke gebieden.

Wat is het doel van het onderzoek?

Deze paper helpt bij het kiezen van technische maatregelen om bodemdaling in steden te voorkomen of te beperken. De auteurs stellen een tweestapsmethode voor:

- Vraag/Antwoord systeem: een soort beslisboom die helpt bepalen welke maatregel geschikt is voor een specifieke situatie.
- Effectiviteitsindicatoren: vier criteria om te beoordelen hoe goed een maatregel werkt.

Welke maatregelen zijn er?

De maatregelen zijn verdeeld in drie groepen:

1. Waterbeheer

- Herstel waterniveau: water terugpompen in de ondergrond.
- Infiltratieputten en retentievijvers: regenwater laten infiltreren.
- Injectieputten: water diep in de bodem injecteren.

2. Bodemverbetering

- Versnellen van consolidatie: water sneller uit de bodem laten ontsnappen.
- Dynamische verdichting: bodem verdichten door zware gewichten te laten vallen.
- Grondinjecties: materialen in de bodem spuiten om deze te versterken.

3. Bouwkundige aanpassingen

- Funderingen verbeteren.

- Gebouwen opvijzelen.
- Flexibele leidingen toepassen.
- Drijvende of amfibische woningen als alternatief.

Hoe beoordeel je of een maatregel goed werkt?

De vier indicatoren zijn:

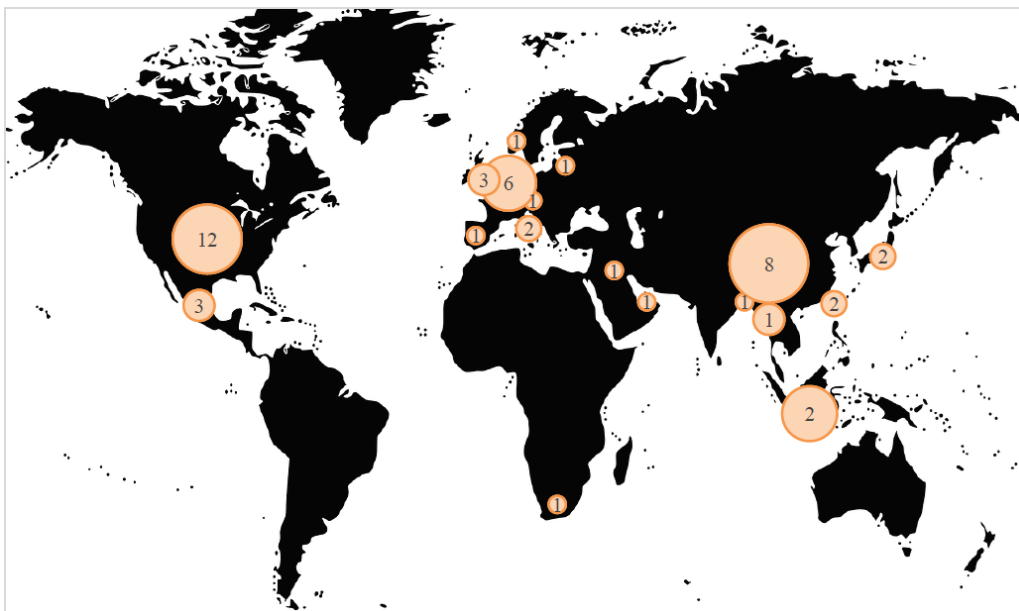
1. Reductiepotentieel: hoeveel bodemdaling wordt voorkomen/verminderd?
2. Operationele betrouwbaarheid: werkt de maatregel stabiel en zonder veel onderhoud?
3. Negatieve effecten: veroorzaakt het geen schade of negatieve effecten elders?
4. Levensduur: hoe lang blijft het effectief?

Elke maatregel krijgt een score van 1 (slecht) tot 3 (goed) per indicator.

Wat is onderzocht?

De methode is getest op 49 praktijkvoorbeelden uit 18 landen, waaronder Nederland, China, Indonesië en de VS. Voorbeelden zijn:

- Shanghai: gebruik van injectieputten om bodemdaling door grondwaterstandverlaging te beperken.
- Jakarta: heeft veel schade door bodemdaling en gebruikt o.a. retentievijvers en funderingsverbetering.
- San Joaquin Valley (VS): zet in op grondwaterherstel via oppervlaktewater.



FIGUUR 1 - LOCATIES CASESTUDIES GEBRUIKT IN DE PAPER

Wat zijn de conclusies?

- De voorgestelde methode helpt bij een eerste selectie van maatregelen.
- Lokale omstandigheden (zoals bodemtype, schaal, kosten en neveneffecten) blijven belangrijk.
- Er is dringend behoefte aan meer data en systematische evaluatie van maatregelen.
- De aanpak kan later worden uitgebreid naar niet-technische maatregelen en landelijke gebieden.

TABEL 1 - UIT DE PAPER MET ALLE ONDERZOCHE TECHNISCHE MAATREGELEN TEGEN BODEMDALING IN STEDELIJKE GEBIEDEN

Maatregel tegen bodemdaling	Alternatieve namen	Beschrijving
Grondwatermanagement		
Aanvullen van watervoerende lagen (oppervlakte-infiltratie en greppels)	Geplande infiltratie, Kunstmatige infiltratie	Water wordt verspreid of opgevangen aan het oppervlak zodat het infiltreert in een ondiepe watervoerende laag via doorlatende bodems (zand of grind). Greppels kunnen ook worden gebruikt om afstromend water op te vangen en te laten infiltreren.
Compartimentering	–	Grote polders worden onderverdeeld in kleinere compartimenten met verticale waterdichte barrières (bijv. damwanden of kleiwanden) om het grondwaterpeil per compartiment stabiel te houden.
Infiltrerende riolering	Infiltratiegreppel, Geperforeerde buis, Schoonwatercollector Drainage buis	Geperforeerde buizen (meestal van PVC) verspreiden overtollig regenwater in de bodem. Ze kunnen worden aangesloten op retentievijvers of infiltratieputten.
Injectieput	Aanvulput, Kunstmatige vloeistofinjectie, Diepe putten	In diepe watervoerende lagen wordt de grondwaterdruk hersteld door vloeistoffen te injecteren via putten in poreuze geologische lagen.
Infiltratieput	Bioporiënbuis	Regenwater wordt opgevangen in een geperforeerde buis (ca. 10 cm diameter) en verspreid in slecht doorlatende bodems. Kan worden gevuld met organisch afval voor bodemverbetering.
Retentievijver	Retentiebekken, Opvanggebied, Regenwateropvang	Permanente opvanglocatie voor regenwater in stedelijk gebied. Door drainage aan de bodem kan water infiltreren en het grondwaterpeil op peil houden.
Grondverbetering		
Versnellen van consolidatie	–	Verticale drains, zandkolommen of greppels worden tot max 35 m diep geplaatst om poriënwater sneller af te voeren uit slappe of organische bodems.
Dynamische verdichting	–	Een zwaar stalen gewicht wordt herhaaldelijk op de grond gedropt om de ondergrond te verdichten.
Mechanisch mengen van grond, mixen	Diep mengen van grond	Grond wordt gemengd met cement of bindmiddelen om de sterkte en andere eigenschappen te verbeteren.

Grondinjecties	Holtevuiling, Stabilisatie van ondergrond	Additieven worden geïnjecteerd in de ondergrond om draagkracht en stabiliteit te verbeteren. Materialen: zand, vliegashuis, kalk, harsen, schuimen.
Bouwkundige aanpassingen		
Vijzelen van gebouwen	-	Een gebouw wordt opgevijseld om een nieuwe fundering te bouwen op een hoger niveau.
Ophogen van lineaire infrastructuur (wegen)	Zandophoging	Wegen of spoorlijnen worden opgehoogd met zand of ander materiaal.
Flexibele aansluitingen	Flexibele koppelingen	Flexibele verbindingen tussen onderdelen van ondergrondse infrastructuur (zoals leidingen) om verschilvormingen op te vangen.
Drijvende en amfibische woningen	-	Woningen gebouwd op water met een drijvend systeem aan de basis.
Verbeterde funderingen	Versterking, vervanging, herstel	Diverse technieken (*) zoals onderheien, micropalen, injecties, geotextielversterking
Lichtgewicht bouwmaterialen	-	Gebruik van lichte aggregaten (bijv. puimsteen, EPS, gerecycled plastic) om belasting op de bodem te verminderen.
Doorlatende verharding	Waterdoorlatende bestrating	Verharding die regenwater laat infiltreren in de bodem (bijv. poreus asfalt).
Herstellen van scheuren	-	Gebruik van schuimen, harsen of cement om scheuren in gebouwen of wegen te dichten.
Verplaatsen van gebouwen	-	Gebouwen worden fysiek verplaatst naar een andere locatie, vaak bij monumenten.
(*) Verschillende methoden kunnen worden toegepast om funderingen (van gebouwen) te herstellen, verbeteren of vervangen om hun constructieve capaciteit te herstellen: <i>Vijzelen</i>, ook wel heffing of nivellering genoemd. Dit is een hersteltechniek die wordt gebruikt om verzakte of ongelijke betonplaten weer waterpas te maken. Kleine gaten worden in de betonplaat geboord en een sterk cementmengsel wordt eronder geïnjecteerd om de plaat terug naar zijn oorspronkelijke positie te brengen. Als basismateriaal kunnen cementmengsels, polymeerhars, zand, grind, as en polyurethaanschuim worden gebruikt. <i>Onderpinnen</i>. Hierbij wordt een nieuwe fundering onder een bestaande fundering geïnstalleerd om diepere bodemlagen met betere geomechanische eigenschappen te bereiken. Deze methode kan worden gebruikt om een bestaande fundering te		

versterken of om de bodem te verbeteren voordat een nieuwe fundering wordt geplaatst. Er zijn verschillende technieken mogelijk.

- *Plaatsen van (extra) palen:* Hierbij worden extra palen of micropalen onder een bestaande (ondiepe) fundering geplaatst om de belasting opnieuw te verdelen.
- *Beperken van bacteriële aantasting van houten palen:* Houten palen worden behandeld met speciale coatings om ze te beschermen tegen onverwachte anaerobe omstandigheden en afbraak.
- *Beperken van negatieve kleeft/wrijving rond palen:* Wanneer palen door samendrukbare gronden gaan, kunnen ze negatieve kleeft ondervinden door neerwaartse schuifkrachten. Dit kan worden verminderd door:
 - het aanbrengen van anti-wrijvingscoatings rond de palen,
 - het verbeteren van de bodem met injecties,
 - of het gebruik van slanke paalprofielen (zoals H-palen of prefab palen) met een kleiner oppervlak.