



Frank de Kievit
Universiteit Utrecht



Thomas Sweijen
Universiteit Utrecht
CRUX Engineering



Alraune Zecha
Universiteit Utrecht



Kim de Groot
B&P
Bodeminjectie



A.E.C. van der Stoel
CRUX Engineering

WATERGLASINJECTIE ALS GRONDVERBETERINGSTECHNIEK: WAT IS DE INVLOED VAN ORGANISCH STOF IN DE BODEM

Introductie

Waterglasinjecties worden vaak toegepast als grondverbeteringstechniek om zandlagen te versterken voor tijdelijke of permanente situaties. Dit betreft zogenaamde hard gels en deze worden toegepast als grondkerende injectielagen, als grondverbetering onder (monumentale) fundaties en als paalpuntinjectie ter verhoging van het paal-draagvermogen.

Uit ervaring tijdens projecten blijkt dat de druksterkte in het geïnjecteerde zand kan variëren, qua locatie en diepte. Als gevolg hiervan zijn ontwerpwaardes voor druksterktes van geïnjecteerd zand relatief laag (met typerende ontwerpwaarden van < 1 MPa) terwijl in het veld veel hogere drukwaardes gehaald kunnen worden met gemiddelden van ca. 1,5 tot 3,0 MPa.

Tijdens verschillende kernboringen van geïnjecteerd zand kwam naar voren dat organische stof mogelijk een rol speelt bij de variatie in druksterkte. Zo zijn donkergekleurde kernboringen van een injectielaag, met een hoog organisch stofgehalte, vaak lager in druksterkte. Deze kernen bevatten ook vaak vetachtige opeenhopen van grondeigen organisch materiaal. Wanneer een kernboring met name bestaat uit zandig materiaal is de druksterkte meestal vrij hoog. Deze observaties deden vermoeden dat organische stof invloed heeft op de druksterkte.

Om de afhankelijkheid nader te bestuderen heeft Frank de Kievit (Universiteit Utrecht) zijn afstudeeronderzoek uitgevoerd in samenwerking met CRUX en B&P Bodeminjectie, met als thema: de interactie van organische stof en waterglasinjecties.

Hoe kan organische stof waterglas beïnvloeden?

Een waterglasinjectie voor grondverbetering bestaat uit de injectie van een mengsel van waterglas, water en harder (een zogenaamde hard gel). Tijdens een waterglasinjectie wordt het aanwezige grondwater in de poriën van de zandlaag vrijwel geheel vervangen door het injectiemateriaal, daarom heeft grondwater dikwijls geen directe invloed op de kwaliteit van de injectie. Organische stof daarentegen blijft als vaste stof in de bodem zitten, ook tijdens een injectie. Tijdens en na de injectie lost organische stof op als gevolg van de hoge alkaliniteit van de injectie (de injectie is basisch en heeft een hoge pH), wat mede wordt onderbouwd door een toenemende oplosbaarheid van organisch stof met een toenemende pH (Curtin et al., 2016). Het oplossen van organische stof door waterglasinjecties is ook geobserveerd tijdens de aanleg van het Station Spui in Den Haag waar organisch materiaal opgelost werd rondom de waterglasinjectie en vervolgens bemalingsfilters deed verstopen (Luger et al., 2006).

De onderzoeksvraag voor dit werk is dan ook hoe de organische stof in de bodem het uithardingsmechanisme van waterglasinjecties kan doen verstoren en hoe dit de druksterkte kan verminderen.

Beproevingen

De beproevingen bestonden uit twee onderdelen. Ten eerste werden zogenaamde krimp proeven (ofwel synerese proeven) uitgevoerd waar een mengsel van water, waterglas en harder (dus een hardgel) werd gemengd met organische stof. Nadat de gel was uitgehard ging het krimpen, dat zichtbaar was door de afname in gel volume en wat toename in vrij water. Krimp is nodig om een hoge druksterkte te verkrijgen, waarschijnlijk omdat de gel van dichtere structuur wordt en tevens zich meer hecht aan het zand. In dit onderzoek waren de volgende stoffen gebruikt: een hard gel met triacetine als harder, een standaard filterzand en gedroogd veen als organische stof.

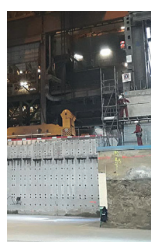
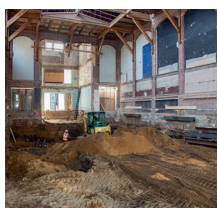
De krimp nam over tijd toe totdat een constante waarde van de gelvolume werd bereikt. Deze



Figuur 1 – Kernen van zand, organische stof en hard gel zoals geprepareerd voor druksterkte beproeving in het laboratorium. Links is een kern met 2% organisch stofgehalte en rechts een kern met 8% organisch stofgehalte.

Diepgravende bouwtechnieken

We stabiliseren wat oud is en steun nodig heeft, zodat ondergrondse uitbreiding haalbaar/betaalbaar wordt.



www.soilid.nl
Telefoon 076-549 83 70

We faciliteren nieuwbouw door droge bouwkuipen op te leveren en we maken liftputten in bestaande gebouwen

Soil-ID bouwkundige bodeminjecties

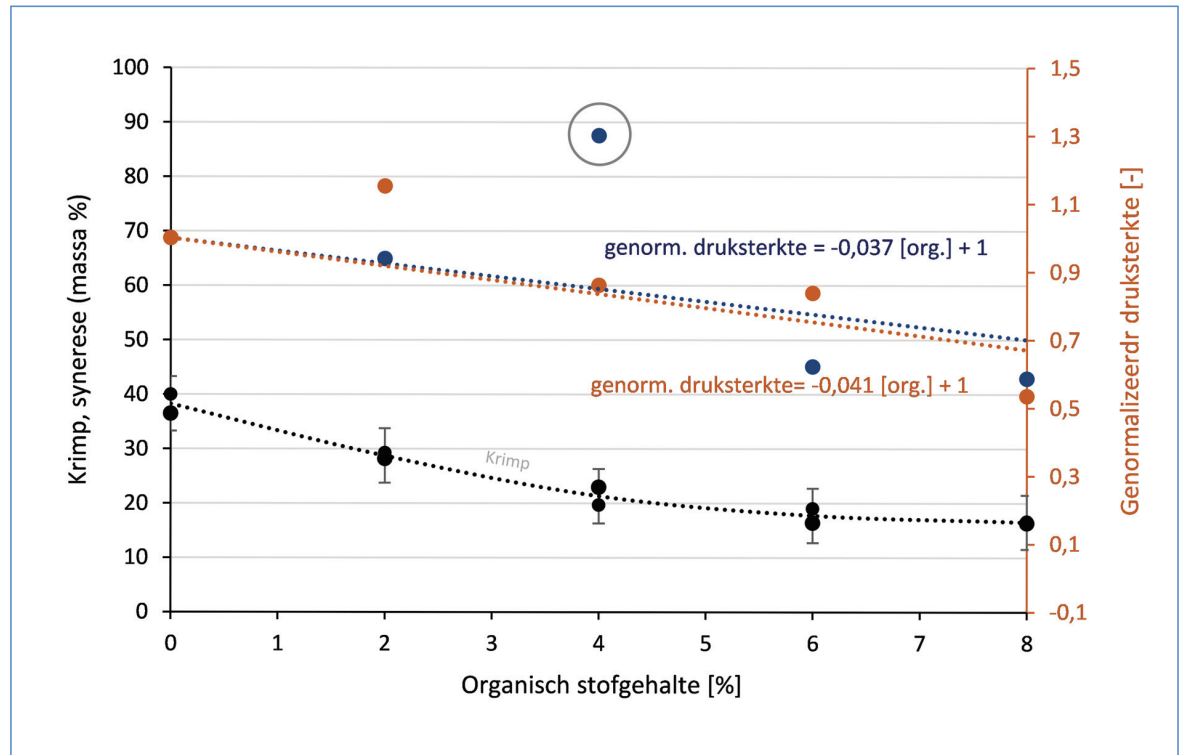
Bouw voor de zekerheid op Soil-ID bouwkundige bodeminjecties

SAMENVATTING

Waterglasinjecties worden vaak toegepast als grondverbeteringstechniek om zandlagen te versterken voor tijdelijke en/of permanente situaties. Het betreft zogenaamde hardgels die worden toegepast als grondkerende injectielagen, als grondverbetering onder (monumentale) fundaties en/of als paalpuntinjectie ter verhoging van het paaldraagvermogen. Tijdens projecten blijkt uit kernboringen in geïnjecteerd zand dat de druksterkte nogal kan variëren met locatie

en diepte. De resultaten van het afstudeeronderzoek van Frank de Kievit (Universiteit Utrecht) laten zien dat organische stof mogelijk een rol speelt bij deze variatie in druksterkte en dat het daarom aan te raden is het organische stofgehalte mee te nemen in het ontwerp, hetzij door dit vooraf te bepalen, hetzij door een proefinjectie uit te voeren.

Figuur 2 – Totale krimp en genormaliseerde druksterkte als functie van het organische stofgehalte (equivalent aan percentage in bodem bij een porositeit van 0,35). Initiële druksterkte 1e meetronde (blauwe lijn) bedraagt 0,50 MPa en 2e meetronde (oranje lijn) bedraagt 0,75 MPa (Zie De Kievit et al, 2021).



constante waarde kan uitgedrukt worden in het percentage organische stof (zie figuur 2). Uit de beproevingen volgde dat de totale krimp zonder organisch materiaal ca 40% bedroeg (de gel was 40% in massa afgenomen en het vrij water was ca. 40% toegenomen). Met een toenemend organische stofgehalte nam de krimp af tot ca. 15% bij 10% organisch stofgehalte. De afname in krimp betekende ook dat een lagere dichtheid van de gel werd gerealiseerd, hetgeen invloed had op de druksterkte.

Ten tweede is de druksterkte bepaald van synthetische kernen (geprepareerd in het laboratorium) van uitgeharde hard gels, zand en verschillende organische stofgehaltes. Deze proeven zijn uitgevoerd op de TU Delft. Het mengsel werd in een emmer geprepareerd en vervolgens in een mal geplaatst en aangedrukt, voordat de hardgel was uitgehard. Nadat het mengsel was uitgehard werd de druksterkte bepaald middels een zogenaamde

unconfined compression test. De boven- en onderkant van het mengsel zijn glad gemaakt middels een afwerking van gips.

Uit de resultaten volgt dat door een toenemende organisch stofgehalte de druksterkte afneemt. Bij een organisch stofgehalte van 8 % nam de druksterkte met 50 tot 60% af van de waarde zonder organisch materiaal (zie figuur 2). Opgemerkt wordt dat de druksterkte zonder organische stof 0,50MPa bedraagt (voor de 1e meetronde) en 0,75MPa voor de 2e meetronde, omdat hier minder verdroging van de kernen had plaats gevonden. Interessant genoeg had de absolute druksterkte in deze proeven weinig effect op de percentuele afname in druksterkte als functie van organische stof. De druksterktes liggen lager dan kernboringen van injectielichamen in het veld, wat een welbekend fenomeen is voor bodeminjecties (zie bijvoorbeeld Krizek en Spizo, 2000). Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het opmengen van zand tijdens

de laboratoriumproeven, waardoor de korrelstructuur verbroken wordt, wat in het veld juist bijdraagt aan de druksterkte.

Conclusie

Uit de beproevingen blijkt dat de druksterkte bij waterglasinjecties gereduceerd wordt door een toenemend organisch stofgehalte in de bodem. Achterliggend proces is een afname in krimp (synerese) bij toenemende organisch stofgehalte. Omdat de ontwerpwaarden voor waterglasinjecties normaliter laag zijn ten opzichte van wat behaald kan worden, is een afname in druksterkte met organisch stofgehalte vaak niet kritisch. Derhalve is het aan te raden om het organisch stofgehalte in de beschouwing mee te nemen tijdens complexere projecten met waterglasinjecties ter grondverbetering, met name wanneer:

- waterglasinjecties voor een langere duur een goede werking moeten hebben;
- waterglasinjecties uitgevoerd worden in com-



- ▶ BODEMAFSLUITING
- ▶ GRONDSTABILISATIE
- ▶ INJECTIES
- ▶ WELAFDICHTING

Wij adviseren u graag ▶

BODEMINJECTIE.NL

BEL: 0347 - 37 03 03

Éven weg van *bits en bites...*



We leven in digitale tijden, maar velen willen gewoon papier in handen hebben. Een **relatiemagazine** is zeer effectief als marketinginstrument. Het ultieme visitekaartje voor uw onderneming. U wekt vertrouwen en claimt autoriteit binnen uw vakgebied. U creëert bedrijfsherkenning, loyaliteit en binding bij al uw relaties.

Als uitgever van gerenommeerde tijdschriften (als Geotechniek/Geokunst) zijn wij dé partij om mee in zee te gaan. **Uitgeverij Educom** regelt van idee tot en met verspreiding. Biedt uw magazine digitaal aan en plaatst het op uw website. Informeer naar de mogelijkheden via: info@uitgeverijeducom.nl

www.uitgeverijeducom.nl



plexe bodemopbouwen, waar veen/klei insnijdingen in zandige pakketten kunnen voorkomen; waar wellicht waterglasinjectie niet direct de meest voor de hand liggende oplossing is;

- ontwerpwaardes van waterglasinjecties in een project relatief hoog moeten zijn i.v.m. het ontwerp-proces.

Het beschouwen van het effect van organisch materiaal op de injectie in projecten kan tweevoudig, namelijk: 1) door het bepalen van het organisch stof gehalte in de bodem en deze te vergelijken met eerdere (on)succesvolle projecten of 2) door het beproeven van de druksterkte middels een proefinjectie óf een synthetische kern in het laboratorium (met bodemeigen materiaal).

Vervolgonderzoek

Daarnaast zijn verschillende openstaande vragen nog niet beantwoord. Zo is het achterliggende mechanisme vooralsnog niet duidelijk: komt de interactie tussen gel en organisch materiaal door een verstoring van de gelstructuur, vermindering in werking van de harder of door uitwisseling van (kat)ionen tussen organische stof en gel? Heeft

het type harder invloed op de gevoeligheid voor organisch materiaal en/of heeft het type organisch materiaal invloed? Voor meer informatie wordt verwezen naar De Kievit et al. (2021).

Referenties

- Curtin, D., Peterson, M. E., & Anderson, C. R. (2016). pH-dependence of organic matter solubility: base type effects on dissolved organic C, N, P, and S in soils with contrasting mineralogy. *Geoderma*, 271, 161-172.
- Luger, H. J., extern Hoek, E. E., & van Tol, A. F. (2006). Souterrain The Hague: clogging of groundwater wells above a gel layer during construction of an underground tram station. *Tunnelling. A Decade of Progress*.
- Krizek, R. J., & Spino, M. J. (2000). Spatial and directional variations in engineering properties of an in situ silicate-grouted sand. In *Advances in Grouting and Ground Modification* (pp. 139-154).
- De Kievit, F., (2021) Silicate gels in civil engineering: The effect of organic matter content of soils on the hydraulic conductivity and strength of silicate gels. Scriptie aan de Universiteit Utrecht. ●



Figuur 3 – Proefopstelling.



Geotechniek

- Grondonderzoek
- Funderingen en grondconstructies
- Bouwkuipen
- Boortunnels en sleufloze technieken
- State-of-the-art dijkoetsing
- Zettingsarme of -vrije systemen
- Dynamica en aardbevingen

Geohydrologie

- Bemalingen en pompproeven
- Grondwaterstatistiek en klimaat
- Infrastructurele projecten
- Grondwaterneutraal bouwen
- Omgevingsbeïnvloeding en monitoring
- Bodemenergiesystemen
- Geochemie

Omgeving

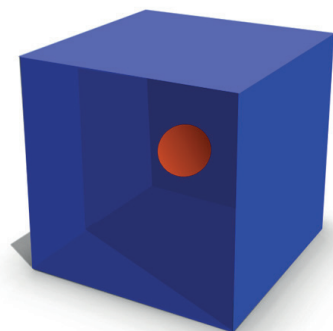
- Belendingsonderzoek
- Geluids- en trillingspredicties
- Vervormingsanalyses
- Schadepredicties
- Monitoringsplannen
- Monitoring en begeleiding
- Schadeonderzoek

Grondverbetering

- Bodeminjectie
- Jetgrouting
- Mixed-in-Place
- Compensation grouting (compaction)
- Compensation grouting (fracture)
- Grondbevrozing

+31 (0)20 4943070
info@cruxbv.nl
cruxbv.nl

Amsterdam
Delft
Eindhoven



Bodem

- Milieuhygiënisch bodemonderzoek
- Toepasbaarheid grond en bouwstoffen
- Werken in verontreinigde grond
- Milieukundige begeleiding
- Adviesing asbestsanering