



REKENREGELS = PROGRAMMEERREGELS?

Bij het automatiseren van rekenregels uit de NEN9997-1 voor paalfunderingen blijkt dat een aantal niet gemakkelijk zijn te vatten in programmeertaal. Daarbij leidt het nadenken over hoe we dit kunnen oplossen in universele principes die in alle gevallen gelden, tot onverwachte inzichten en tot het besef dat een aantal rekenregels met een

praktische in steek (en niet perse een logische) is gekozen. We vonden deze opvallend genoeg om te delen in dit artikel.

Groeperen

We richten ons nu specifiek op het automatisch groeperen van sonderingen binnen een constructie

met als doel de optimale ξ factoren (toets artikel 7.6.2.3) te vinden en het bepalen van de maximaal toegestane afstand tussen onderzoekspunten (toets artikel 3.2.3 (e)). In beide gevallen speelt de variatie van het berekende draagvermogen per sondering in vergelijking met alle sonderingen in de groep een rol.

Voorafgaand aan het opstellen van de programmeercode zijn 2 voorwaarden gesteld waar de NEN9997-1 niet eenduidig uitsluit over geeft:

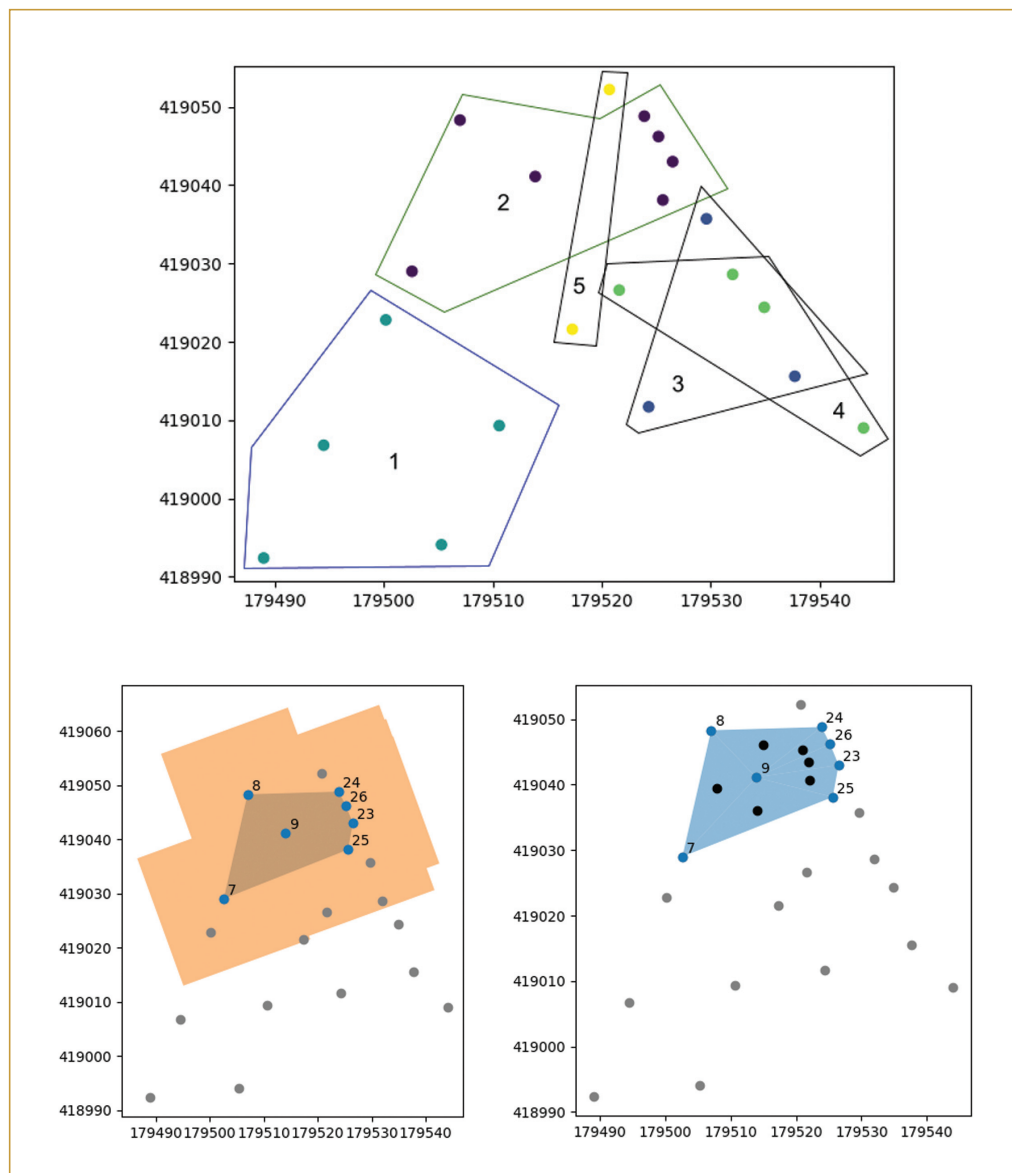
1. Sonderingen binnen een groep moeten altijd naast elkaar liggen en niet worden doorsneden door een andere groep (continuïteit van de groep).
2. Sonderingen kunnen in meerdere groepen voorkomen wanneer de variatiecoëfficiënt voldoet aan de norm.

Ten aanzien van voorwaarde 1 merken we op dat sonderingen op de rand van een constructie ook samen kunnen vallen met een groep die zich op enige afstand bevindt in het bouwwerk. De variatie/samenhang van de ondergrond laat zich namelijk niet beperken door het oppervlak van een constructie. De vraag is alleen tot welke afstand dit argument kan worden volgehouden, we hebben dit daarom beperkt waardoor een aantal potentiële groepen afvalt.

Voor voorwaarde 2 geldt dat sonderingen geotechnisch binnen 2 of meerdere groepen kunnen vallen wanneer de variatie van de afzonderlijke groepen voldoet. Zo kan een sondering in een groep voldoen aan een paalbelasting op niveau x en in een naastgelegen groep bij dezelfde paalbelasting op niveau y. Uiteindelijk gaat het erom dat de variatie van de ondergrond op een funderingsniveau wordt getoetst.

Coderen

Door de regels voor de maximale onderlinge afstand van onderzoekspunten en de eerder gestelde voorwaarde 1 voor de continuïteit van de groep is het groeperen van sonderingen een driedimensionaal probleem. Door gebruik te maken van het juiste cluster algoritme is het mogelijk om groepen te vinden in deze puntenwolk van afzonderlijk draagvermogens. We kijken op basis van de afstand binnen de puntenwolk naar



Figuur A – Boven de uitkomst van het cluster algoritme voor 5 groepen. Linksonder de convexe polygoon afgedekt met vierkanten van 25 bij 25 meter. De oriëntatie van de vierkanten is 20 graden. Rechtsonder is een visualisatie van de ruimte controle. De zwarte punten zijn de middelpunten van de Delaunay-triangulatie.

SAMENVATTING

De rekenregels uit de NEN9997-1 voor paalfunderingen vertalen zich niet altijd naar programmeerregels. Om toch het groeperen van palen te automatiseren zijn aannames nodig die de geest van de rekenregels volgen. Dit leidt tot

fundamentele discussies over de interpretatie van deze regels. In dit artikel worden een aantal aannames besproken die zijn gedaan tijdens de ontwikkeling van het cluster algoritme.

combinaties van groepen. Als randvoorwaarden zijn twee uitersten toegekend, namelijk alle sonderingen zijn onderdeel van een groep of elke sondering is onderdeel van zijn eigen unieke groep. Omdat de voorkeur uitgaat naar zo groot mogelijke verzamelingen sonderingen, verhogen we het aantal te vormen groepen dat het algoritme zoekt in stappen met één. Wiskundig is dit $n =+ 1$ met $n => 1$ en $n =< \text{aantal onderzoekspunten}$. Waarbij n het aantal groepen is dat het algoritme vormt. Dit gebeurt net zolang totdat alle sonderingen in minimaal één geldige groep zijn geplaatst. Elke groep die door het cluster algoritme wordt aangedragen wordt gevalideerd aan de hand van de eisen van de NEN9997-1. In dit stadium wordt gekeken of de groep voldoet aan:

1. de variatiecoëfficiënt van het berekende paal draagvermogen binnen de groep
2. de gewenste draagkracht (vooraf opgegeven)
3. de ruimtelijke continuïteit
4. de hart op hart afstand conform artikel 3.2.3 (e)

Continuïteit

Om de continuïteit van een groep te controleren is ook enige interpretatie van de norm noodzakelijk om de toetsing te automatiseren. Een groep kan bestaan uit n sonderingen, hierdoor kunnen we de groep beschrijven als een punt, lijn of polygoon afhankelijk van het aantal sonderingen. Op basis van de geometrie wordt gekeken naar het middelpunt of de middelpunten van de Delaunay-triangulatie van de groep. Zijn, ten opzichte van het middelpunt, de dichtstbijzijnde twee sonderingen onderdeel van de groep, dan is de groep continu. Zo niet dan wordt de groep doorbroken door een sondering van een andere groep. Ter verduidelijking: groepen die een cirkel vormen met daarbinnen een sondering die geen onderdeel van de groep is, zijn niet continu.

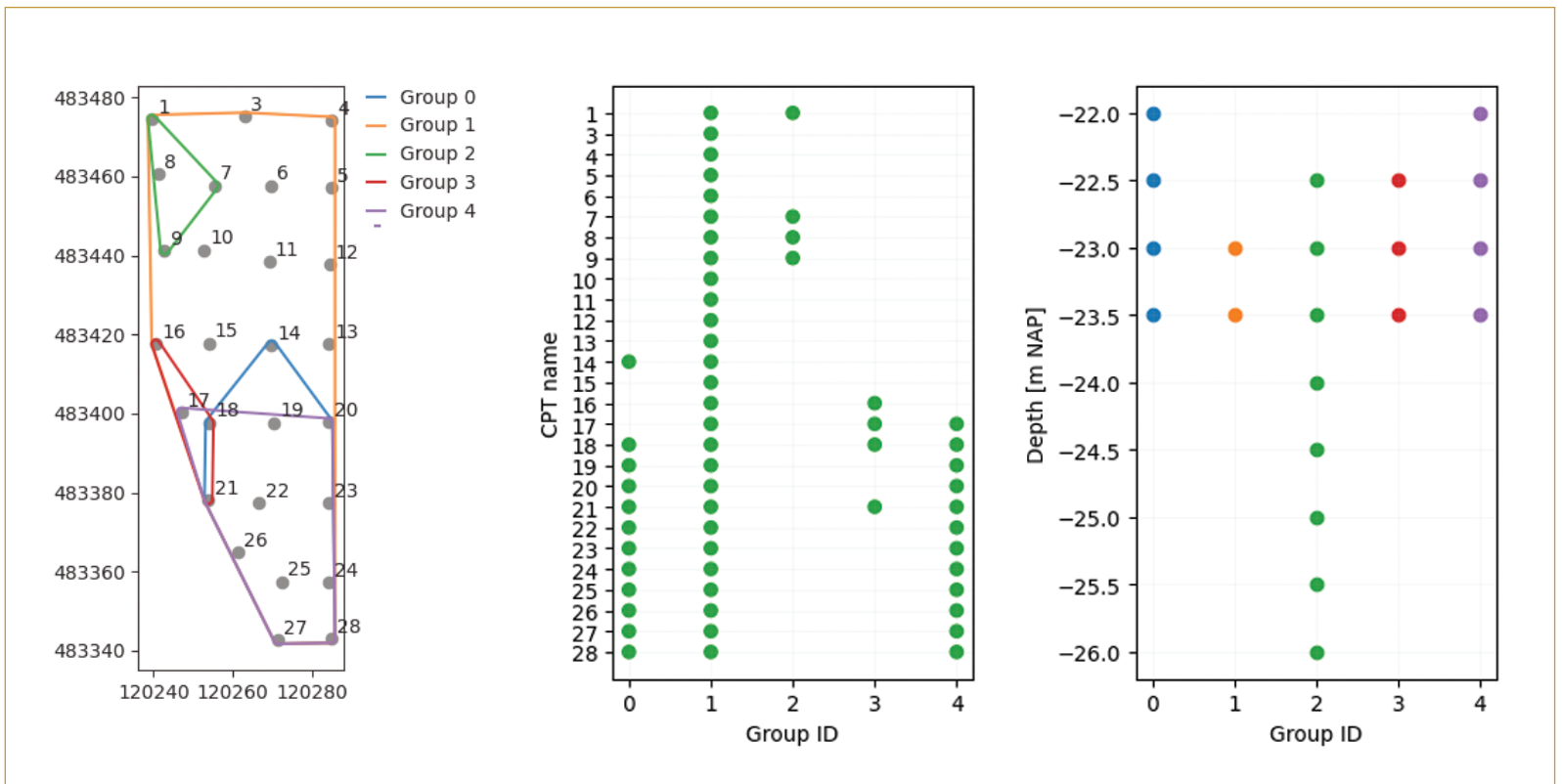
In figuur A is het resultaat weergegeven van het cluster algoritme voor vijf te vormen groepen. De kleur geeft aan in welke groep de betreffende sondering is geplaatst. Twee groepen voldoen

ruimtelijk aan de voorwaarden, de overige groepen niet. Deze groepen, groep 3, 4 en 5 zijn niet continu omdat sonderingen aanwezig zijn in het domein van de groep die niet tot de groep behoren.

De gekozen cluster methode leidt in theorie tot n faculteit aan groepen als alle sonderingen zelf voldoen aan het gewenste draagvermogen bij weinig variatie tussen de sonderingen. In de praktijk komt dit gelukkig zelden voor. Wel zijn subgroepen van groepen mogelijk, immers kunnen sonderingen onderdeel zijn van meerdere groepen. Door te prioriteren op groeps grootte, funderingsniveau of opeenvolgende geldige paalpunt niveaus vinden we relevante groepen.

Sondeerplan conform NEN9997-1 artikel 3.2.3 (e)

Artikel 3.2.3 (e) stelt dat de onderlinge afstand tussen sonderingen gemiddeld niet groter mag zijn dan 25, 20 of 15 meter, gegeven een bepaalde variatie van de draagkracht op basis van de sonde-



Figuur B – Resultaat van de groepen, sonderingen per groep en op welke niveaus wordt voldaan aan het vereiste draagvermogen. Middelste paneel: groen geeft valide groep met correcte hart op hart afstand weer.

ringen in een groep. Opvallend is hierbij overigens de term gemiddelde afstand tussen de onderzoekspunten. Dit levert geen voordeel op omdat volgens hetzelfde artikel alle representatieve oppervlaktes van de verschillende sonderingen moeten overlappen en we deze afstand in de praktijk dus niet kunnen middelen.

In artikel 3.2.3 (e) wordt gesproken over vierkanten die moeten overlappen. De lengte en breedte van de vierkanten moeten overeenkomen met de getoetste hart op hart afstand waarbij de sondering in het hart ligt. In figuur 3.a van de norm is als voorbeeld gebruik gemaakt van een regelmatig raster van sonderingen waar de vierkanten precies in passen. Maar wanneer de oriëntatie van de vierkanten draait voldoet het voorbeeld niet meer aan de gestelde eis, wat natuurlijk merkwaardig is aangezien de sondering niet van locatie is gewijzigd. Door te definiëren dat het oppervlak een vierkant is, is naast afmeting dus ook de oriëntatie van belang.

Waarom tijdens het opstellen van de norm gekozen is voor een vierkant en niet voor cirkels, hexagonen of een andere polygoon wordt niet benoemd. Dit heeft vermoedelijk te maken met een praktische werkwijze waar men met deze regels eenvoudig

een vast stramien konden tekenen over een constructie. Het hanteren van overlappende cirkels met een equivalente diameter zou hier echter passender zijn. Het is logisch om te veronderstellen dat een sondering in alle richtingen representatief is voor dezelfde afstand. Het vierkant kan namelijk ook 360 graden draaien waarbij deze een cirkel beschrijft met een diameter gelijk aan de diagonaal van het vierkant. We hebben dit in de code opgelost door ervan uit te gaan dat alle vierkanten dezelfde oriëntatie hebben en dat deze gelijk is aan de oriëntatie van de langste zijde van de constructie. Vervolgens wordt getoetst of de convexe polygoon op basis van de sonderingen in de groep wordt afgedekt door de vierkanten van de betreffende hart op hart afstand. Gezien de vorm van de gedefinieerde oppervlaktes moet hier altijd een adviseur een controle uitvoeren.

De afstanden tussen de sonderingen toetsen we binnen de gevormde groepen. Het artikel gaat uit van delen van het bouwwerk waar de variatie van de draagkracht moeten worden getoetst bij hetzelfde paalpuntniveau, dus dit lijkt aan te sluiten op de gevolgde methode.

Resultaten

Het resultaat van het bovenstaande groeperen

wordt getoond in figuur B. Alle sonderingen voldoen in 1 groep bij het opgegeven benodigde paal draagvermogen (groep 1 in het oranje) op NAP -23 m. Simpelweg het combineren van sonderingen in een zo groot mogelijke groep hoeft echter niet per se te leiden tot de hoogste draagkracht. Relatief goede sonderingen in een kleine groep met een hogere ksi kunnen alsnog tot een hoger paal draagvermogen leiden. Dit is ook ditmaal het geval, omdat we 4 andere groepen vinden met een hoger draagvermogen. Dit leidt ertoe leidt dat één groep op NAP -22 m voldoet en 2 groepen op NAP -22,5 m.

Conclusie

Het automatiseren van delen van de NEN9997-1 dwingt tot het maken van interpretaties van de norm zodat deze voor alle berekende gevallen tot dezelfde resultaten leidt. Dit proces van de huidige rekenregels vatten in programmeerregels leidt tot inzichten dat de oorspronkelijke regels niet altijd even logisch zijn opgesteld of geen eenduidig uitsluitsel geven. Wellicht ligt hier voor de huidige normcommissie een taak om de regels enigszins om te buigen zodat dergelijke initiatieven worden ondersteund. Het resultaat (kortere palen) lijkt ons gezien de huidige uitdagingen in de bouw de moeite waard. ●

CEMS



PileCore

Pile design made easy

- Automatically determines skin friction zones
- Smart grouping for a sustainable optimized design
- Visual feedback of all calculated results

Visit <https://nuclei.cemsbv.io> to sign up and test our samples for free.

cemsbv.nl
info@cemsbv.nl

CRUX