

Op staal gefundeerde bedrijfsvloeren Zettingen beheersen of voorkomen

Bedrijfspannen en magazijnen worden steeds hoogwaardiger en de eisen wat betreft de belastbaarheid en functionaliteit van de bedrijfsvloeren nemen ook toe. Machines worden zwaarder, gangpaden smaller en stellingen hoger. Warehouse-vloeren met magazijnstellingen worden daarom ook in toenemende mate supervlak uitgevoerd. Scheurvorming of hoogteverschil door zettingen worden in steeds mindere mate geaccepteerd. Innovaties in de afgelopen jaren laten echter zien dat op staal gefundeerde bedrijfsvloeren nog steeds met de hoogst mogelijke kwaliteit, functionaliteit en duurzaamheid in een groot deel van Nederland gerealiseerd kunnen worden. Gelijkwaardig aan vloeren op palen.



Geologische kaart van Nederland

Op basis van de geologische kaart van Nederland kan relatief eenvoudig worden vastgesteld waar niet op staal gefundeerd kan worden. De rode zone in het westen van het land bestaat voor een groot deel uit klei en veen, al zijn er daar ook wel een aantal locaties waar het zand tot aan maaiveld komt. In de paarse zone is door de grote rivieren enkele meters klei afgezet.

Geologische kaart van Nederland

In de zone van Breda tot Venlo, die ook wel de logistieke hotspot wordt genoemd, wordt de situatie anders. Daar bestaat de ondergrond veelal uit zand met hier en daar leem- en kleilaagjes. Het zijn juist die situaties waarbij met ingenieurswerk de juiste keuze kan worden gemaakt.

Sneller en goedkoper

Wanneer de bodem vanaf maaiveld uit goed verdicht zand bestaat is een vloer op staal in vrijwel alle gevallen zonder meer de beste oplossing. De zetting en vervorming van de vloer op staal is dan niet hoger dan van een vloer op palen, die ook vervormt. Over het vervormen van een vloer op palen bestaan nog wel eens misverstanden, maar ook die kan al snel 10 tot 20 mm



Vloer met grote zetting die blijft hangen aan een kolom

bedragen. Een vloer op staal brengt de belasting direct over naar de ondergrond en kan dus dunner en met minder wapening worden gerealiseerd. Omdat er geen paalfundering gerealiseerd wordt, kan er sneller en goedkoper gebouwd worden. Uiteraard levert het niet toepassen van grote hoeveelheden beton en wapeningsstaal ook grote duurzaamheidsvoordelen op. Het zijn deze voordelen die de verleiding groot maken om, ook in situaties dat de ondergrond niet volledig uit vast zand bestaat, een vloer op staal toe te passen. Er zijn echter ook veel voorbeelden waarbij dat niet goed heeft uitgedaan. In die gevallen is er schade aan de vloer ontstaan of zijn er zakkingsverschillen opgetreden die functioneel gebruik van de vloer onmogelijk maken, door scheurvorming of scheefstaande magazijnstellingen.



Stellingenmagazijn

Elke vloer zakt

De eisen die aan zettingen gesteld worden kunnen (heel) sterk variëren. Net als voor een paalfundering geldt voor een staalfundering dat geen zetting niet mogelijk is. Enkele centimeters zetting is voor de meeste toepassingen geen enkel bezwaar. Voor een magazijn met stellingen en een inbouw mezzanine in Moerdijk heeft ABT meer dan tien jaar geleden een vloer ontworpen op 10 - 15 cm zetting. Daarbij is geen schade of afname van de functionaliteit opgetreden. Er zijn echter ook enkele vloeren in Moerdijk waarbij zettingen wel tot problemen hebben geleid, omdat in het ontwerp onvoldoende met zettingen rekening is gehouden. In de regel wordt, afhankelijk van het gebruik, de volgende zettingseis gehanteerd:

- | | |
|-------------------------|-------------|
| - Hoogbouwmagazijn | 20 - 50 mm |
| - Brede gangen magazijn | 30 - 60 mm |
| - Bulkopslag | 50 - 200 mm |

Voor het berekenen van de zetting van een vloer is de gelijkmatige of equivalente vloerbelasting van belang. Als er een bulkopslag mogelijk is, waarbij pallets over een groot oppervlak tegen elkaar worden geschoven, is sprake van een gelijkmatige belasting. Bij gebruik als stellingenmagazijn zijn vooral stellingpoten aanwezig. In de stellingzones is dan een relatief hoge equivalente belasting aanwezig, van bijvoorbeeld 5 ton/m². Met de nagenoeg onbelaste gangpaden kan de equivalente vloerbelasting tot wel een factor 2 lager zijn. Bij hooggelegen samendrukbare lagen is het verschil in stelling- en gangpadbelasting relevant, bij diepere lagen is de spreiding in de ondergrond voldoende om de verschillen in types vloerbelasting te nivelleren.

Stellingenmagazijn

Bij magazijngebouwen ziet men regelmatig dat in eerste instantie van stellingen gebruik wordt gemaakt, waarna in een tweede fase bulkopslag wordt toegepast. Het is in die situaties te overwegen om een vloer op staal te ontwerpen op stellinggebruik met een relatief strikte zettingseis en een bulkbelasting waarvoor dan meer zetting wordt toegelaten.

Bulkopslag

Het ontwerp van een bedrijfsvloer op staal met heterogene ondergrond is een intensief samenspel tussen de constructeur en de geotechnisch adviseur. Vaak wordt er gesproken over beddingsconstanten, maar die term is erg verwarrend. De veerijfheid van de ondergrond is namelijk allesbehalve constant.

Enerzijds is de veerijfheid hoger als de belasting een



Bulkopslag

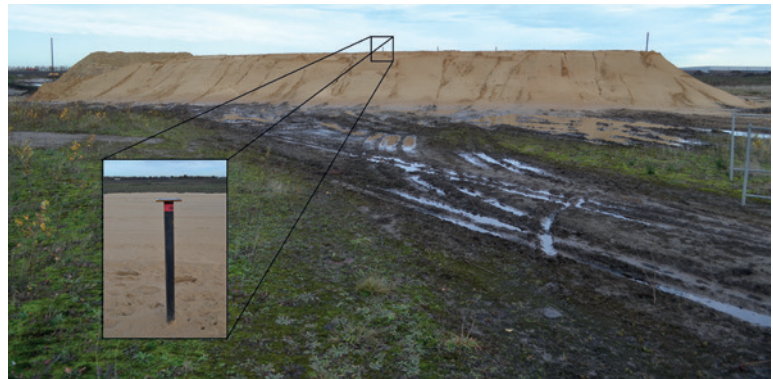
kleiner oppervlak heeft en anderzijds neemt de stijfheid toe als de belasting hoger is. Het eerste effect wordt veroorzaakt doordat een belasting op een klein oppervlak beter gespreid wordt en het tweede effect ontstaat doordat grondlagen niet meer dan maximaal samengedrukt kunnen worden. Dit laatste effect speelt bij de belastingen van bedrijfsvloeren echter meestal

niet. De beddingsconstante voor het berekenen van de krachtwerking in een vloer door een stellingpootlast kan wel een factor 10 of meer hoger zijn dan die geldt voor de zetting van de vloer.

Vershil sondering en boring

Het berekenen van zettingen is geen sinecure. Sonderingen geven meestal een eerste beeld van de bodemgesteldheid. Dit beeld kan echter nog wel eens afwijken van wat later wordt vastgesteld op basis van een grondboring. En zelfs het resultaat van een boring wordt op basis van onderzoek op grondmonsters in het laboratorium nog wel eens bijgesteld. Dit fenomeen, in combinatie met de Nederlandse volksaard om te besparen op grondonderzoek, heeft er al bij diverse projecten toe geleid dat achteraf verkeerde keuzes zijn gemaakt. Zo bleek bij het project vidaXL van meer dan tachtigduizend vierkante meters in Venlo op een diepte van circa 10 m geen klei of veen in de ondergrond aanwezig te zijn, maar leem. Onderstaande afbeelding toont de in eerste instantie uitgevoerde sondering met daarnaast de later uitgevoerde boring. Pas in een laat stadium werd uiteindelijk toch voor een economischer fundering op staal gekozen. Voorbeelden andersom, waarbij meer zetting optrad dan verwacht zijn er ook te over.

Tot enkele jaren geleden was het inzicht dat het uitvoeren van samendrukkingsproeven op grondmonsters de meest betrouwbare methode was om zettingen te kunnen bepalen. Het grootste probleem met deze werkwijze is dat een erg klein grondmonster enigszins verstoord en daarna beproefd wordt. Het aantal proeven is in de meeste gevallen ook gering met regelmatig grote variatie in resultaten. Het is dan erg lastig om een reële waarde te bepalen. Ook de praktijk heeft laten zien dat deze



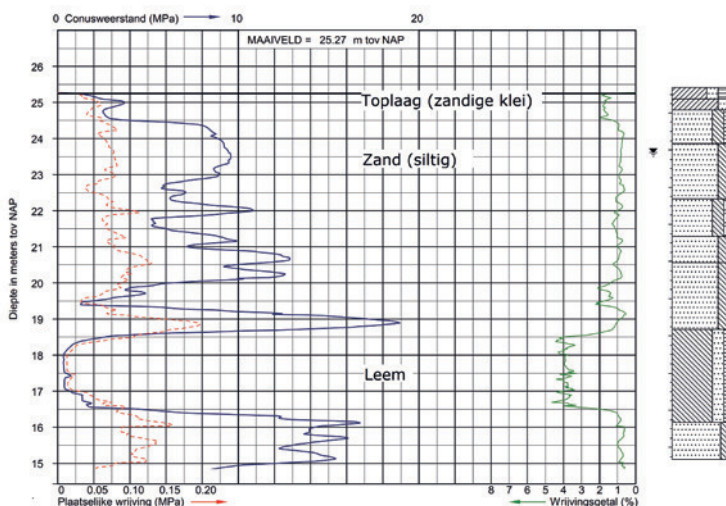
Proefvoorbelasting bij vidaXL met uitvergroting van een zakbaak

werkwijze niet zaligmakend is. In de afgelopen jaren is het uitvoeren van proef-voorbelastingen meer en meer toegepast om zettingen nog beter te voorspellen en recent is de methode van CDC compactie van de firma Cofra gebruikt om enerzijds zettingen te reduceren en anderzijds gedetailleerd inzicht te krijgen in de bodemgesteldheid.

Proef-voorbelasten geeft inzicht

Voorbelasten is een methode die vooral bij infra-structurele projecten veel gebruikt wordt om zettingen te beheersen. Voor bedrijfsvloeren blijkt deze methode veelal te tijdrovend en kostbaar om voor een hele vloer toe te passen, al zijn er wel projecten waarbij dit is gebeurd. Bij projecten waar een beperkte zone zettingsgevoelig is, wordt voorbelasten wel frequenter overwogen. Om zettingen te forceren wordt er vaak granulaat voor de werkvloer eerst op die locaties, met een laagdikte van enkele meters, neergelegd. Bij metingen van deze voorbelastingen bleek dat de gemeten zetting regelmatig significant afweek van de eerder zo minutieus berekende zetting. Deze ervaring heeft ertoe geleid dat inmiddels bij diverse projecten, in aanvulling op een zorgvuldig grondonderzoek, proef-voorbelastingen zijn uitgevoerd om de zetting daadwerkelijk te meten. Bij de proefvoorbelasting wordt een bult zand/grond neergelegd die even zwaar is als de vloer met belasting en ongeveer tweemaal zo breed is als de diepteligging van de samendrukbare grondlagen. Door met zakbaken (peilstokken die in de bult grond staan) de zakkings van de bult te meten en met waterspanningsmeters de ontwikkeling van de waterdruk in de samendrukbare lagen te volgen, kan een zeer betrouwbare zettingsanalyse worden uitgevoerd. Zetting ontstaat vooral doordat water uit de samendrukbare lagen geperst wordt; dit wordt met waterspanningsmeters gecontroleerd en vergeleken met de zettingsmetingen. Bij diverse projecten is de haalbaarheid van een vloer op staal gefundeerd, hiermee op een bijzonder betrouwbare

Resultaten sondering en boring van project vidaXL



manier aangetoond. Er zijn ook voorbeelden dat het resultaat dusdanig tegenviel dat uiteindelijk onverwacht alsnog voor een vloer op palen gekozen moest worden.

Compactie-techniek

Met de ontwikkeling van hogere en geautomatiseerde magazijnstellingen als onderdeel van de ontwikkeling van de distributie voor online verkopen zijn de eisen aan zettingsverschillen strenger geworden. Een totaalzetting van 30 mm is dan wel toelaatbaar, maar niet als de zetting op 10 m afstand maar 10 mm bedraagt en het



zettingsverschil dus 20 mm bedraagt (2 mm/m^3). In een smalle gangen magazijn kunnen stellingen dan te scheef gaan staan en rollenbanen waarover pakketten bewegen kunnen dan de verkeerde kant uit gaan lopen.

Het sonderen op 25 m tussenafstand biedt hiervoor geen uitkomst meer. Het geeft op een te grof raster informatie over de bodem. De internationaal veel toegepaste, maar in Nederland nog relatief onbekende CDC (Cofra Dynamic Compaction) compactie-techniek van Cofra blijkt hiervoor zowel letterlijk als figuurlijk twee vliegen in één klap te slaan.

CDC-compactie

De techniek bestaat uit het op een vooraf bepaald stramien slaan op de ondergrond met een heiblok op een



Visualisatie effect
CDC-compactie

grote stalen voetplaat. Hiermee kan tot op een diepte van 5 tot 8 m los zand verdicht worden. Bij een recent project bleek de compactie op basis van een vergelijk van de sonderingen voor en na, na een eerste 'pass' (werkgang) een zettingsreductie van tien tot twintig procent te realiseren. De compactie zorgt er tevens voor dat het verschil tussen vaste en losse plekken afneemt en daarmee dus ook het zettingsverschil. De techniek kent een stop-criterium, waarbij gestopt wordt met het slaan bij het behalen van een uit een veldproef bepaalde zetting per slag of een maximaal aantal slagen per locatie. Ieder compactie-punt kan gezien worden als een proef met meetresultaten die als 'big data' geanalyseerd kunnen worden. Het visueel maken van deze data maakt het mogelijk potentieel zettingsgevoelige plekken te lokaliseren en voor te belasten. De resultaten van een eerste project in Breda zijn daarbij veelbelovend. In bovenstaande afbeelding zijn de rood/paarse zones relatief zettingsgevoelig en krijgen daarom extra 'aandacht'. De techniek lijkt zeker ook voor locaties waar sprake is van geroerde of losgepakte grond tot grotere diepte veel potentie te bieden.

Uitvoering
CDC compacte
werkzaamheden

Visualisatie effect CDC-compactie

Een andere techniek, met rollercompactie (CRC) biedt vergelijkbare mogelijkheden, wanneer de te verdichten en onderzoeken lagen tot 2 m diep liggen. Deze techniek heeft een hogere uitvoeringssnelheid.

De recente ontwikkelingen van proef-voorbelasten en CDC-compactie laten zien dat het vak van bedrijfsvloer-advisering en zeker ook de geotechnische ondersteuning daarbij, nog altijd in ontwikkeling is. De trend naar hoger, zwaarder en vlakker als het om vloeren gaat, zal verdere innovatie nodig maken om op staal te kunnen blijven funderen. Doordat in het kader van duurzaamheid materiaalbesparing steeds meer aandacht zal gaan krijgen, zal er zeker een toekomst blijven voor op staal gefundeerde bedrijfsvloeren met een hoogwaardig ontwerp. ●

Niki Loonen, Senior adviseur Civiele Techniek ABT