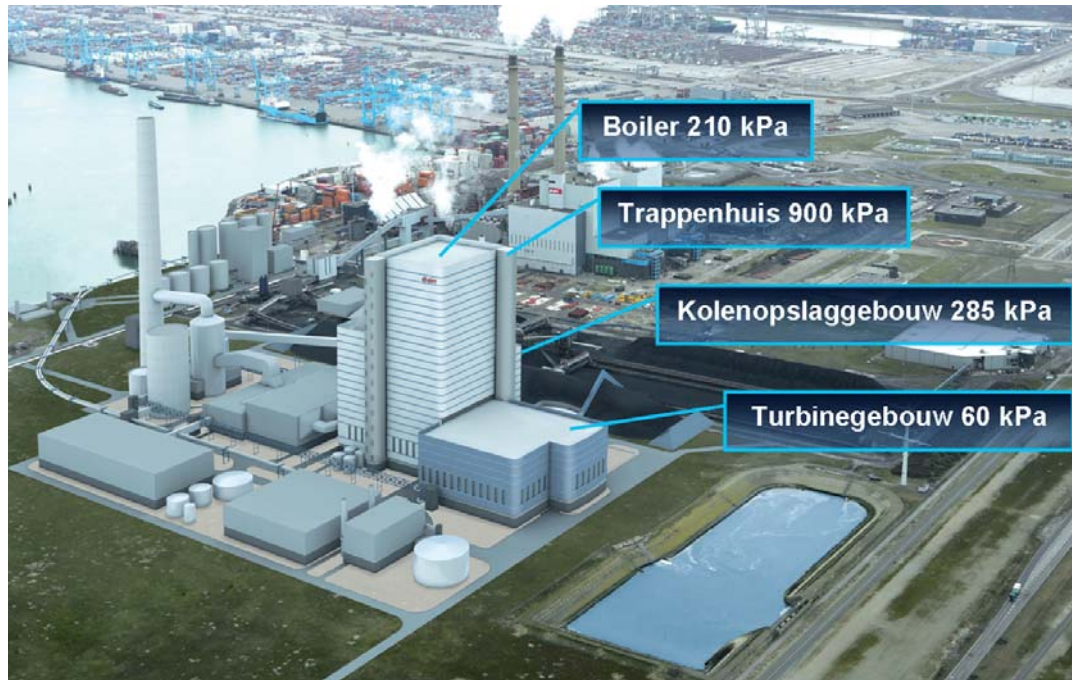


Samenvatting

Fundering nieuwe elektriciteitscentrale MPP3 op de Maasvlakte

Voor de fundering van de nieuwe kolen-centrale van E.ON op de Maasvlakte heeft E.ON gekozen voor grote diameter (1,5 m) boorpalen. Aan deze beslissing ging een zorgvuldige afweging van staal- of paal-fundering vooraf waarbij uitgebreide zettingsanalyses zijn gemaakt. De predictie van het gedrag van de boorpalen is geverifieerd met een belastingsproef.

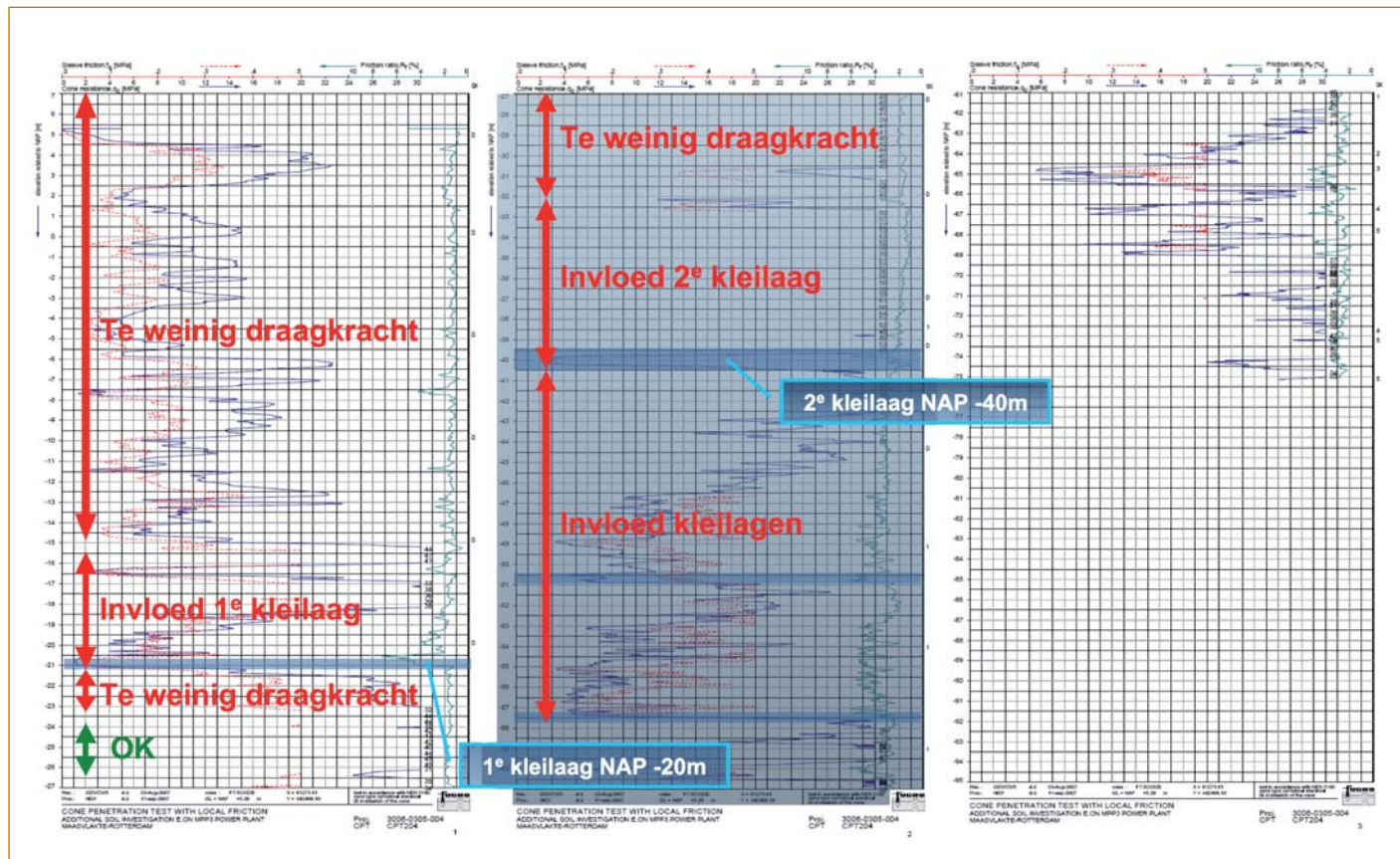


De huidige elektriciteitscentrale op de Maasvlakte is de grootste centrale van E.ON Benelux. Aanvankelijk draaide deze centrale op aardgas en stookolie, maar sinds een ombouw in de jaren tachtig op kolen. Het is nu de enige poederkool-gestookte centrale van E.ON Benelux. De twee units van de huidige kolencentrale zijn samen goed voor 1040 MW.

De nieuwe derde unit van de 'Maasvlakte Power Plant' (MPP3), zie figuur 1, is een zeer moderne kolencentrale waar met poederkool stoom wordt geproduceerd. Het stoom wordt door een turbine en een generator omgezet in elektriciteit.

Daarmee wordt een rendement bereikt van ruim 46% en dat is veel hoger dan in traditionele kolencentrales. Hiermee daalt ook de CO₂-uit-

Figuur 1 Artist impression Maasvlakte Power Plant 3 (MPP3).



Figuur 2 Sondering met daarop aangegeven (on)mogelijke paalpuntniveaus grote diameter boorpalen.

stoot met ongeveer 20%. De nieuwe centrale heeft een capaciteit van 1100 MW (8% van de Nederlandse elektriciteitsbehoefte) en behoort daarmee tot de grootste kolengestookte eenheden die in de wereld worden gebouwd. De bouwkosten bedragen ongeveer 1,2 miljard euro. Dit jaar is met de bouw gestart en de centrale moet in 2012 in gebruik worden genomen.

Grondonderzoek

Door Fugro is grondonderzoek uitgevoerd in 3 fasen, van grof naar fijn, parallel aan het ontwerp van de centrale dat door E.ON Engineering zelf werd gedaan. De bodemopbouw is typisch voor de Maasvlakte (zie sondering *figuur 2*). De toplaag bestaat uit zand van het opgespoten terrein, hetgeen prima geschikt is om lichte funderingen op staal te funderen. Tot ca. NAP -20 m is een zandlaag aanwezig die doorsneden wordt met siltlagen; hier zou een lichte paalfundering toegepast kunnen worden. Op NAP -20 m is een kleilaag met dikte tot 2,0 m aanwezig (hierna te noemen '1e kleilaag'). Vervolgens is tot NAP -40 m een vaste zandlaag aanwezig met conusweerstand boven 30 MPa. Op NAP -40m treffen we de zgn. '2e kleilaag' aan, welke overgeconsolideerd is en een dikte heeft van ca. 1 m. Deze is onderdeel van de formatie van Kedichem. Daaronder zitten wat minder vast gepakte zand- en siltlagen.

Zettingsanalyse

Het 'power-island' is het centrale deel waar de boiler en de turbine zich bevinden. Het betreft verschillende gebouwen en constructies die tezamen op een betonplaat worden gefundeerd en gekenmerkt worden door enerzijds hoge belastingen en grote verschilbelastingen (zie *figuur 1*) maar anderzijds door strenge eisen t.a.v. zettingen en verschilzettingen. De zettingseis tussen de kolommen van de boiler is maximaal 15 mm. Dit noodzaakte tot uitgebreide zettingsanalyses voor het funderingsontwerp.

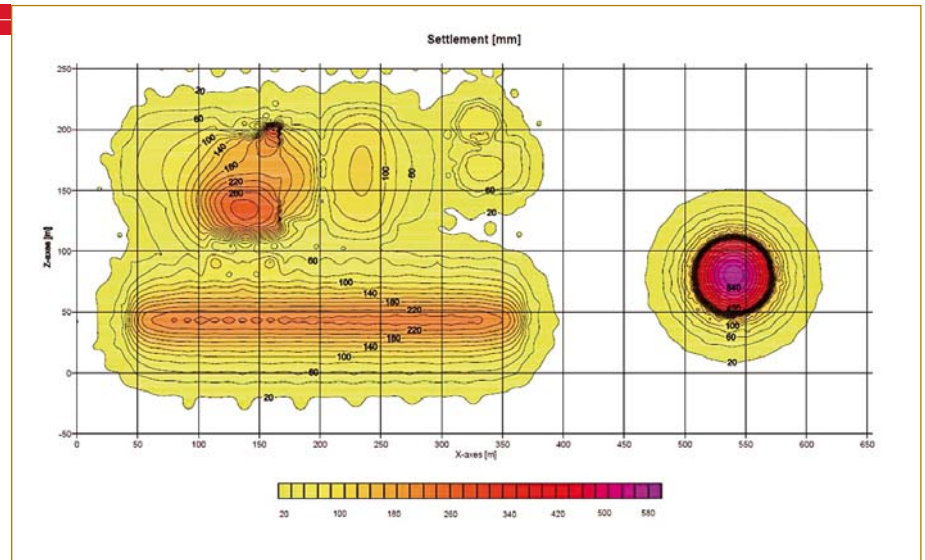
Fundering op staal

Allereerst is gekeken naar de mogelijkheid van een fundering op staal. Daartoe is een zettingsanalyse uitgevoerd in 2 stappen:

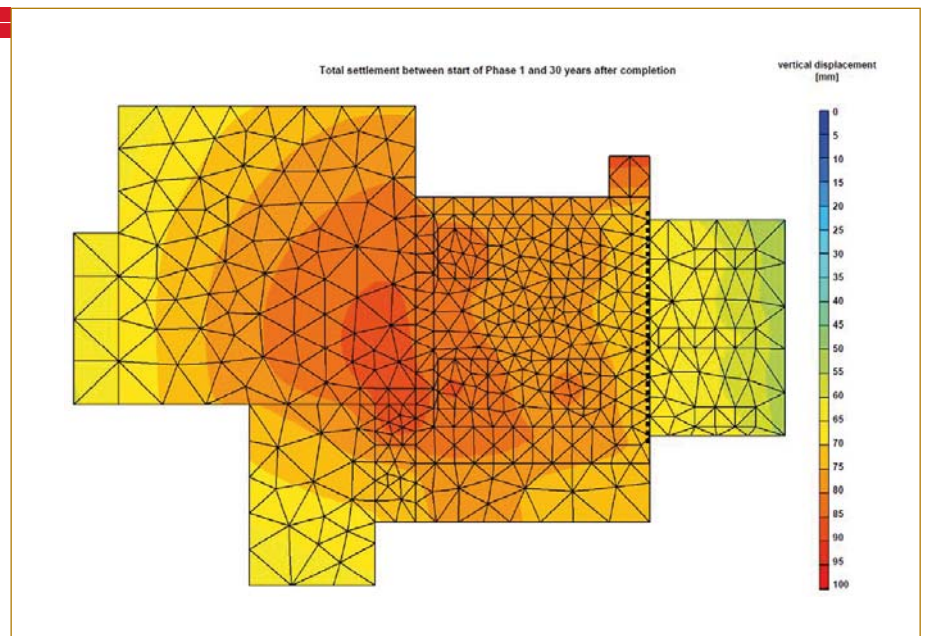
1. analytisch en
2. met een eindige elementen methode.

In stap 1 is als indicatie een semi 2D zettingsanalyse gedaan met behulp van de software MSettle. In deze berekening is geen bouwfasering toegepast, alle belastingen zijn gelijktijdig aanbracht. Verder is de funderingsplaat flexibel gemodelleerd hetgeen een conservatieve benadering is. Het resultaat van deze stap 1 is een

Figuur 3
Resultaat 3D EEM zettingsberekening fundering op staal.



Figuur 4
Resultaat 3D EEM zettingsberekening fundering op palen.



maximale zetting van ca. 280 mm in 30 jaar. Het tijd-zettingsdiagram laat zien dat ca. 75% van de zetting optreedt in het eerste jaar. In het zettingspatroon zijn de individuele kolommen van de boiler duidelijk zichtbaar; de zettingsverschillen voldoen in dit geval niet aan de eis.

In stap 2 is een meer gedetailleerde zettingsanalyse uitgevoerd, gebruik makend van Plaxis 3D Foundation. Voor de slappe lagen is het Soft Soil Creep model gebruikt en voor de zandlagen het Hardening Soil model. In deze stap is gevarieerd met de vloerdiktes en de locaties van voegen en zijn stijfheden toegekend aan de funderingsplaten. Het resultaat van deze stap zijn absolute zettingen die nagenoeg gelijk zijn aan de MSettle berekening van stap 1 (zie *figuur 3*). De stijve funderingen zorgen wel voor

kleinere verschilzettingen door meer spreiding, maar er wordt nog niet aan de verschilzettingseis voldaan.

Paalfundering

Naar aanleiding van de zettingsanalyse van de fundering op staal is besloten om te kijken naar een paalfundering. Voor palen met een vereist draagvermogen van ca. 8000 kN komt alleen het praktische paalniveau tussen NAP -24 m en NAP -26 m in aanmerking. Dat niveau is gelegen net onder de 1e kleilaag. Vanwege de invloed van de 2e kleilaag op de fundering van de paalgroep, is gekeken naar de zettingen van een dergelijke fundering. Dit betreffen z.g.n. w_2 zettingen (NEN 6743). Zetting van de individuele palen treedt ook op, maar deze zijn gelijkmatig. Bij de analyse is rekening gehouden met de bouw-

fasering; alleen de zettingen vanaf de kritieke (derde) fase waarin de turbine wordt opgesteld, zijn beschouwd.

De zettingsanalyse voor de paalfundering is ook in twee stappen gedaan; eerst met MSettle semi 2D en vervolgens met Plaxis. Het aangrijpingspunt van de belasting ligt daarbij ongeveer op het paalpuntniveau NAP -26 m.

Het resultaat van stap 1 van de zettingsanalyse paalfundering zijn zettingen variërend van 15 - 120 mm. De restzetting ter plaatse van de kolommen is nog 60 - 90 mm na fase 2, dus er treedt nog 30 mm verschilzetting in fase 3 op (eis 15 mm). De grootste zetting komt uit de 2e kleilaag op NAP -40 m. Deze laag is gemodelleerd op 1 m dikte, maar varieert in werkelijkheid van 0,5 m tot 1,3 m en kan dus leiden tot extra verschilzettingen. Benadrukt wordt dat dit dus alleen de w_2 zettingen (paalgroepzakking) betreffen.

In stap 2 van de zettingsanalyse van de paalfundering is de stijfheid van de fundering in rekening gebracht. Dit is weer gedaan in een 3D Plaxis berekening.

In deze stap is bovendien gevarieerd met de configuratie van de vloerplaten. Het eindresultaat van deze zettingsberekening (zie figuur 4) zijn absolute zettingen van 50 - 95 mm hetgeen een reductie van 20 - 30% betekent als gevolg

van herverdeling van belastingen door de stijvere fundering. De zettingen die optreden vanaf de kritische bouwphase 3 bedragen 35 - 75 mm. Bij twee berekende vloerconfiguraties bedroegen de verschilzettingen tussen de boilerkolommen slechts 10 mm waarmee voldaan wordt aan de verschilzettingseis.

Geconcludeerd kan worden dat de 2e kleilaag toch boven de grensspanning (dus maagdelijk) belast wordt ondanks de overconsolidatie. De verschilzettingen zijn echter te beperken door op de juiste wijze rekening te houden met de bouwfasering en stijfheid van de fundering.

Paaltest

Bauer Funderingstechnieken heeft het funderingswerk aangenomen met grote diameter boorpalen. Omdat boorpalen standaard niet erg stijf zijn heeft Bauer voorgesteld om een voorspanning aan te brengen middels een liftcell in de paalvoet. Dat moet resulteren in kleinere zetting (w_1) en dus hogere paalveerstijfheid. Twee van de zes testpalen hebben een paalpuntniveau van NAP -26 m. Eén van deze testpalen heeft een diameter van 1500 mm en heeft een liftcell in de paalvoet. De andere met een diameter van 1200 mm heeft geen liftcell. De liftcell voor het opspannen en de drukcel om te meten zijn gecombineerd in één unit welke onderaan de wapeningskorf is bevestigd (zie figuur 5). Het resultaat van de test met de Ø 1200 mm paal (zonder liftcell) geïnterpoleerd naar de Ø 1500 mm paal is een (w_1) zetting van 70 mm. Dat komt overeen met de door Fugro berekende paal-

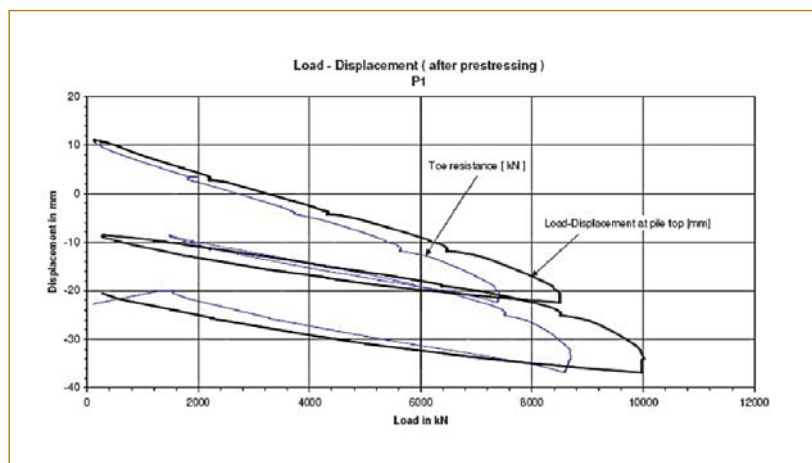
veerstijfheid. De 1500 mm paal zelf (met liftcell) onderging tijdens de test een zakking van slechts 35 mm (zie figuur 6). Het effect van de liftcell is derhalve met de paaltest aangetoond; 35 mm minder zetting (50% reductie) en daarmee een hogere paalveerstijfheid.

Conclusies

Bij grote industriële projecten zoals electriciteitscentrales spelen hoge geconcentreerde belastingen en grote verschilbelastingen een bepalende rol. Zettingsverschillen zijn cruciaal in verband met gevoelige installaties en apparatuur. In dit geval is een fundering op staal niet mogelijk gebleken vanwege de zettingsgevoelige ondergrond en moest overgestapt worden op een paalfundering. Met de juiste stijfheidskeuze van de fundering en rekening houdend met de bouwfasering blijkt aan de verschilzettingseis te kunnen worden voldaan. De aangenomen optimalisatie van de paalveerstijfheid van de van nature slappe boorpalen is aangetoond met behulp van een paaltest. ■



Figuur 5 Gecombineerde lift- en drukcell onderaan de paalwapening.



Figuur 6 Last-zakkingsgrafiek testpaal Ø 1500 mm met liftcell.