



**ir. Rik-Jan Wildeboer**  
Geotechnisch adviseur,  
Mobilis



**ir. Ruud Arkesteijn**  
Specialist ondergronds bouwen,  
Mobilis & TU/e



**ir. Vincent van Delft**  
Constructeur /  
Geo adviseur, ConGeo



**ir. Jeroen de Leeuw**  
Senior constructeur /  
Geo adviseur, ConGeo

## TETEM III EN IV IN ENSCHEDE

# MONUMENTALE SCHOORSTEEN VRAAGT OM EEN BIJZONDERE BOUWKUIP EN AANPAK

### Introductie

Ondergrondse parkeergarages zijn vaak gewenst in stedelijk gebied. Een ontwerp- en bouwproces met bijzondere aandacht voor risicomanagement en monitoring is daarom onmisbaar voor een succesvol project. Voor het project Tetem III ging dit nog een stap verder. Een monumentale schoorsteen van 32 m hoog, bovendien op staal gefundeerd, bevond zich op de contour van de beoogde parkeergarage en maakte als te behouden constructie onderdeel uit van het project. In dit artikel wordt beschreven hoe de stabiliteit van de schoorsteen is gewaarborgd met aanpassing van het bouwkuipontwerp en een weldoordacht plan van aanpak.

### Projectbeschrijving

De Koopmans bouwgroep ontwikkelt een tweetal appartementencomplexen aan de Hulsmanstraat in de wijk Roombeek te Enschede waar van 1915 tot 1959 de Twentsche Textiel Maatschappij (Tetem) gelegen was. Op het hoogtepunt was de Nederlandse stad Enschede één van de belangrijkste textielsteden van de wereld.

Het project is één van de laatste ontwikkelprojecten in het vernieuwde Roombeek na de desastreuze vuurwerkramp op 13 mei 2000. De nieuwbouwcomplexen met de naam TETEM III en TETEM IV, bestaan uit moderne appartementen van diverse groottes met een ondergrondse parkeergarage. Tetem I en II zijn gerenoveerde gebouwen van het

Tetem-terrein met respectievelijk woningen en een kunstacademie.

TETEM III bestaat uit 10 bovengrondse woonlagen en 2 ondergrondse parkeerlagen. De monumentale schoorsteen van de voormalige textiel fabriek wordt buiten de contouren van de parkeergarage gehouden, de vorm van het complex is hierop aangepast. De bovenbouw van Tetem III heeft een bijzonder architectonisch ontwerp waarmee de schokgolf van de vuurwerkramp wordt verbeeld van de explosie, die plaatsvond op 500 m ten zuiden van de projectlocatie.

### Grondgesteldheid

De projectlocatie ligt binnen de Twentse Heuvelrug, waardoor het maaiveldniveau varieert van NAP +40 tot +42 m en waarin ook de freatische grondwaterstand een uitzonderlijk groot verhang vertoont.

De grondopbouw kenmerkt zich door de aanwezigheid van 3 geologische lagen (zie figuur 3):

- In het bovenste deel van maaiveld tot NAP +32,5 á +30,5 m is de grondopbouw sterk variërend. Dit uit zich in het wel/niet aanwezig zijn van tussen-zandlagen in het bovenliggende leempakket.
- Onder dit variërende lagenpakket is een watervoerend zandpakket gelegen, met hoge qc-waarden die oplopen tot 30 á 50 MPa.
- Vanaf NAP +22 m tot de maximaal verkende diepte wordt een overgeconsolideerde leemlaag aangetroffen.

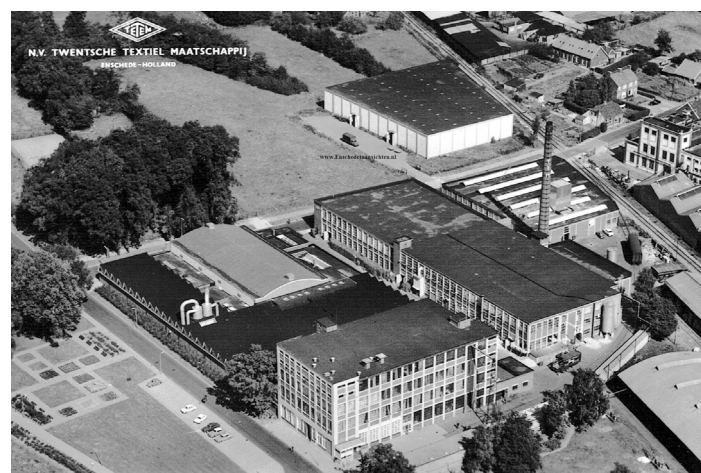
### Bouwkuip Tetem III

Toen Mobilis door zusteronderneming Koopmans werd gevraagd om de bouwkuip te ontwerpen en realiseren was er nog geen bouwmethodiek bepaald. Er werd nog gedacht aan een "natte bouwkuip" met onderwaterbeton, een stempelraam en stalen damwanden. Uit een variantenstudie kwam echter een andere voorkeursvariant naar voren.

Het gekozen bouwkuipprincipe binnen de aanwezige grondopbouw is in figuur 3 schematisch weergegeven. Met een Cutter Soilmix-wand (CSM-wand) als keerwand konden problemen met de inbrengbaarheid in de vaste zandlaag worden voorkomen. Door de panelen (ongewapend) door te zetten tot in de diepe overgeconsolideerde leemlaag is een polderconstructie gerealiseerd (zie figuur 3). Hiermee werd een "droge bouwkuip" mogelijk, omdat opbarsten vanuit het watervoerende zandpakket met een zeer beperkt debiet aan spanningsbemaling kon worden voorkomen. Door de droge bouwwijze en afstemming met de gemeente en andere stakeholders kon er ook worden gekozen voor tijdelijke verankering. Hiermee werd het gewenste steunpunt voor de CSM-wand gecreëerd en konden problemen m.b.t. de asymmetrische bouwkuipvorm worden opgelost. Tezamen met een optimalisatie van de keldervloerdikte en ontgravingsniveau hebben deze ontwerpkeuzes gezorgd voor een significant goedkopere, duurzamere en vooral snellere bouw van het ondergrondse casco. Een nadeel van de droge bouwwijze

### Projectbetrokkenen

Ontwikkelaar	Koopmans
Opdrachtgever	Vesteda Investment Management
Architect	Tangram Architecten
Ontwikkelaar / hoofdaannemer	Koopmans Bouw (TBI)
Onderaannemer onderbouw	Mobilis (TBI)
Funderingswerkzaamheden	Voorbij Funderingstechniek
	Vroom Funderingstechniek
CSM-wanden	BodemBouw
Palen schoorsteen	Hoolwerf Heiwerken
Ontwerp bouwkuip	Mobilis
Constructief ontwerp	Lucassen Bouwtechniek
Advisering vizelwerk	ConGeo
Vizelsysteem	Freyssinet Zuidwest
Monitoring	4RISK Landmeetdienst



**Figuur 1** - Archief foto van Tetem-terrein met 40 m hoge schoorsteen.



## SAMENVATTING

Voor de bouw van woonblokken Tetem III en IV in Enschede heeft Koopmans TBI-zusterbedrijf Mobilis ingeschakeld voor de fundering en bouwkuip van de twee ondergrondse parkeergarages. Op een historische locatie met gevoelige belendingen zijn de kelderconstructies gerealiseerd met speciale aandacht voor het behoud van een monumentale schoorsteen op de rand van de bouwkuip. De bestaande schoorsteenfundering is hiervoor overgepakt naar een nieuwe

paalfundering. De benodigde specifieke constructie is uitgewerkt, rekening houdend met de aanwezige krachtswerking uit de schoorsteen en beïnvloeding vanuit alle te doorlopen bouwkuipfasen. Doelgerichte monitoring van de vervormingen en de mogelijkheid tot het bijsturen met dubbele vijzels zijn hierbij van belang geweest. In dit artikel is het proces van ontwerp en monitoring toegelicht, met de focus op de schoorsteenfundering naast Tetem III.

**Figuur 2 –**  
Artist impression  
Tetem III.



was echter een groter risico op vervormingen van de 6 à 8 m grondkerende CSM-wanden en dien-ten-gevolge van achterliggende belendingen. Dit verhoogde het risico t.a.v. het gebouw van AKI-ArTEZ, aanwezige kabels en leidingen, maar vooral ook voor de monumentale schoorsteen. De CSM-wanden van de bouwkuip, moesten immers direct naast deze schoorsteen worden aangebracht.

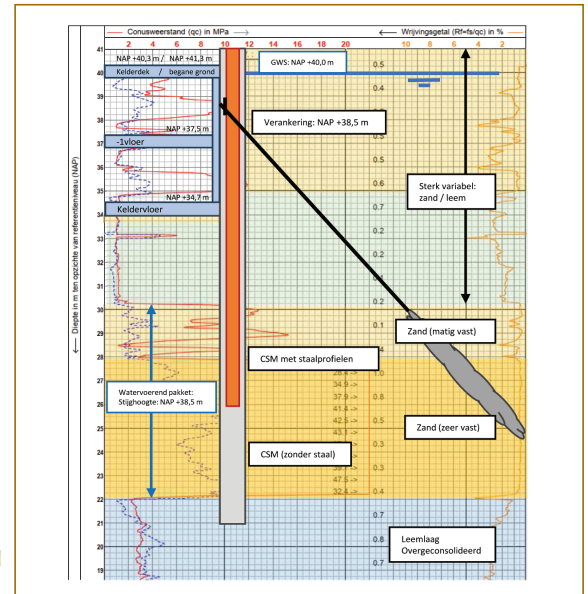
De volgende bouwfasering is gehanteerd voor het realiseren van de bouwkuip:

1. Aanbrengen voorzieningen ter stabilisatie van de schoorsteen (hieronder nader toegelicht)
2. Realisatie CSM-wanden tot NAP +21 m (met staalprofielen tot NAP +26 m)
3. Aanbrengen funderingspalen in de bouwkuip (buisschroef- en ankerpalen)
4. Ontgraven tot NAP +38 m en aanbrengen horizontale verankering grondkering
5. Ontgraven tot maximaal ontgravingsniveau NAP +34 m met bemaling in watervoerend pakket
6. Realisatie betonwerk keldervloer en optrekken betonwerk t/m de -1-vloer
7. Verwijderen verankering, -1-vloer fungeert hierna als stempel voor CSM-wanden
8. Vervolg betonwerk tot maaiveld en bovenbouw (door Koopmans)

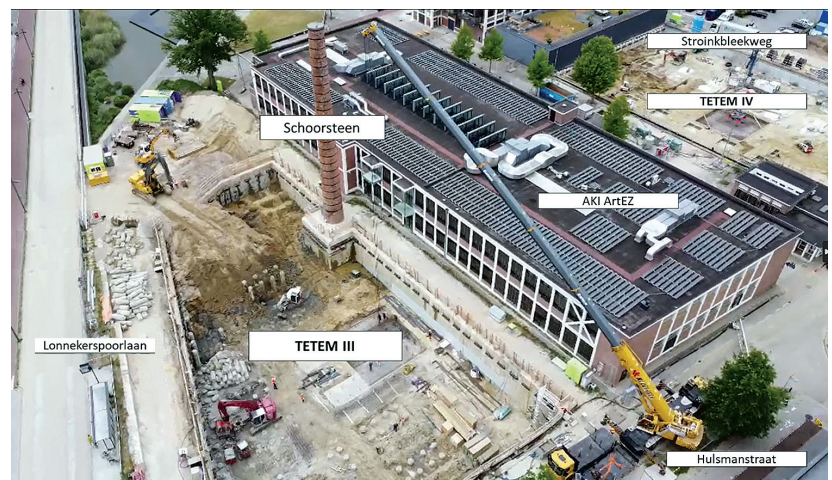
### Schoorsteen

De schoorsteen uit 1925 bestaat uit een metselwerk wand van rode radiaalstenen, gefundeerd op een ronde gewapende betonpoer. Van deze betonnen poer was alleen bekend dat deze op staal was gefundeerd. Op basis van onderzoek is de diameter van ca. 6 m en het dikteverloop vast-

**Figuur 3 –** Grondgesteldheid met bouwkuip-principe 1.



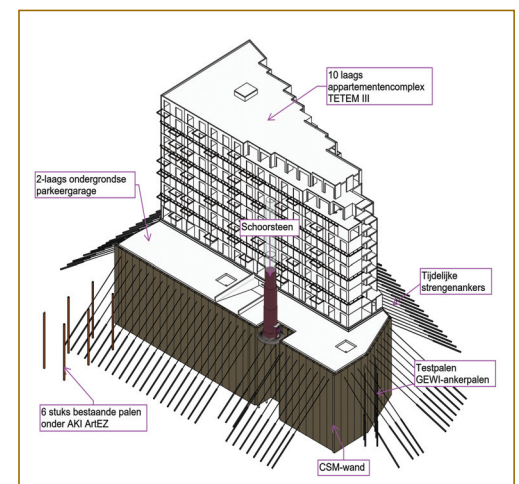
**Figuur 4a –**  
Overzicht van  
bouwkuip Tetem III  
tijdens plaatsen  
torenkraan;  
met schoorsteen  
en Tetem IV op  
de achtergrond  
(Foto: Stravers  
Torenkranen).



gesteld, evenals het aanlegniveau ca. 1,7 m onder maaiveld.

De aanwezige lengte van de schoorsteen is korter dan de oorspronkelijk tekening (figuur 5) aangaf. Dit is veroorzaakt door de vuurwerkkramp, waardoor het bovenste deel van de schoorsteen (circa 8 m) verloren is gegaan.

Uit een eerste inmeting volgde dat de bestaande schoorsteen niet meer recht stond. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door een reeds optreden zakingsverschil tijdens de bouw, maar mogelijk is dit ook veroorzaakt door de drukgolf tijdens de vuurwerkkramp. De initiële horizontale scheefstand aan de top, op 32 m hoogte, bedroeg 14 cm.



**Figuur 4b –** 3D view bouwkuip TETEM III.



# ConGeo

**Specialisten in de combinatie van:  
Geotechniek en Constructies**

**Complexe geotechniek - Bouwkuipen  
Staalwerk - Hulpwerk**

[www.ConGeo.nl](http://www.ConGeo.nl)



## ADVIES EN UITVOERING SAMEN LATEN KOMEN

Als je echt scherp wilt adviseren moet je de draagkracht ook controleren. Proefbelastingen geven veel inzicht in de werkelijke draagkracht van het paalsysteem. Samen met onze partners streven wij naar optimalisatie en een hogere kwaliteit op het gebied van funderingstechnieken. Nu en voor de toekomst.

- Trillings- en geluidsarme palen
- Engineering
- Advies en onderzoek

**VROOM**  
FUNDERINGSTECHNIEKEN

T. 0299409500 | E. [info@vroom.nl](mailto:info@vroom.nl) | [VROOM.NL](http://VROOM.NL) | [werkenbijvroom.nl](http://werkenbijvroom.nl)



### BODEMBOUW

BOUWEN begint in de BODEM... met een gedegen ontwerp, een praktische bouwmethode en een strakke maar realistische planning. BodemBouw wil graag als partner uw ondergrondse ontwerp verder uit te werken tot een kwalitatief plan en voert dit plan met veel specialisme uit.

Neem een kijkje op [www.bodembouw.nl](http://www.bodembouw.nl) en contacteer ons voor uw vraagstuk of project

[contact@bodembouw.nl](mailto:contact@bodembouw.nl)

T. 0031 85 877 2002  
Veghelsedijk 2E  
Uden

De CSM-wand moest direct naast de schoorsteen gerealiseerd worden. Zakking en rotatie van de fundering op staal, met directe gevolgen voor de stabiliteit van de bovenliggende schoorsteen, werd als top risico gezien. Enerzijds in de bouw fase, waarin direct naast de fundering op staal van de schoorsteen de CSM-panelen in sleuven werden aangebracht en anderzijds een extra zakking/rotatie als gevolg van het vervormen van de CSM-wand door het ontgraven van de bouwkuip.

## Nieuwe fundering voor de schoorsteen

Gekozen is voor een oplossing, waarbij de bestaande fundering op staal is overgenomen door een paalfundering. Om de bestaande poer zo min mogelijk te beïnvloeden en de stabiliteit van

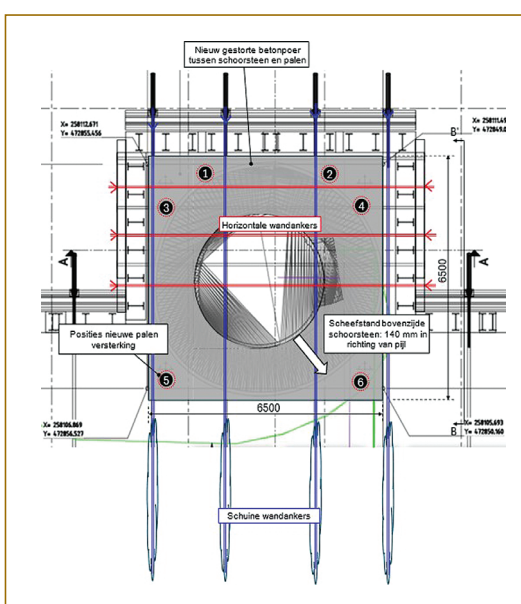
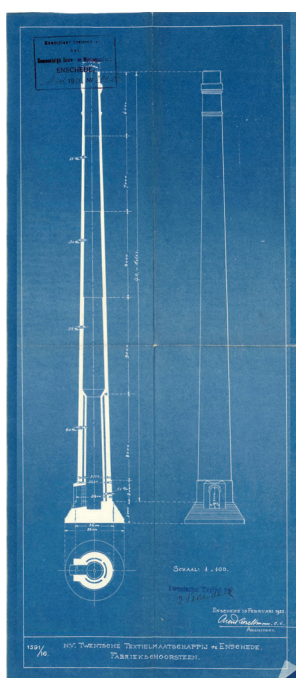
de schoorsteen tijdens de uitvoering te behouden zijn direct naast de poer 6 schroefinjectiepalen aangebracht tot in het vast gepakte zandpakket (zie figuur 6a). Aan de zijde van de bouwkuip is de afstand tussen de palen en de nog te realiseren CSM-panelen zeer gering ( $< 1,0$  m). Bovendien moesten de CSM-panelen dieper aangebracht worden dan de paalpunten. Tijdens het maken van de CSM-panelen is er daarom vanuit gegaan dat de direct naastgelegen paal zijn draagkracht volledig zou kunnen verliezen; voor deze redundantie was het nodig om twee extra palen toe te passen (6 i.p.v. 4). De palen zijn, in theorie, grondverdringend en trillingsvrij.

## Ophangen schoorsteen

De dubbelwandige metselwerk muur van de schoor-

steen en met name ook de krachtswerking in dit metselwerk moest ongemoeid worden gelaten om mogelijke instabiliteit en/of schade te voorkomen. Er was geen mogelijkheid de nieuwe paalfundering van de schoorsteen direct onder of strak tegen het metselwerk aan te brengen. De nieuwe palen zijn dan ook direct naast de bestaande fundatiepoer aangebracht. Dit resulteerde in een afstand tussen de nieuwe palen en de schoorsteen van ruim 1,70 m. De belasting uit de schoorsteen moest deze afstand naar de palen overbruggen. Er moest een manier worden gevonden om de bestaande poer aan de nieuwe paalfundering te verbinden. Vanwege de aflopende dikte van de poer aan de rand en het ontbreken van wapeningsgegevens was het niet mogelijk om de benodigde krachtoverdracht via de bestaande poer te laten verlopen. Gekozen is om direct boven de bestaande poer een nieuwe poer te storten waar de bestaande poer vervolgens "aan is opgehangen" (zie figuur 8).

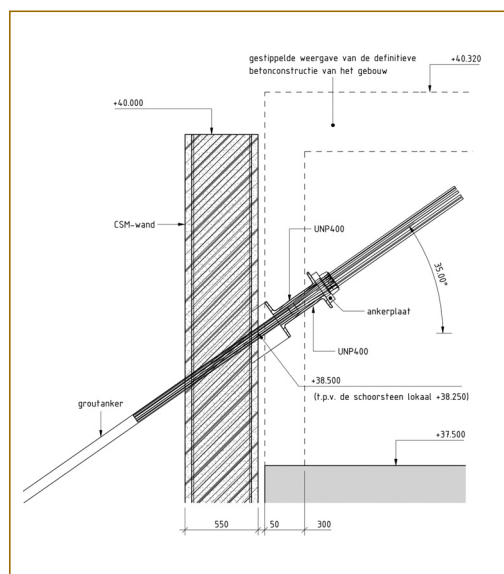
**Figuur 5 –** Oorspronkelijke tekening uit 1925 van de schoorsteen.



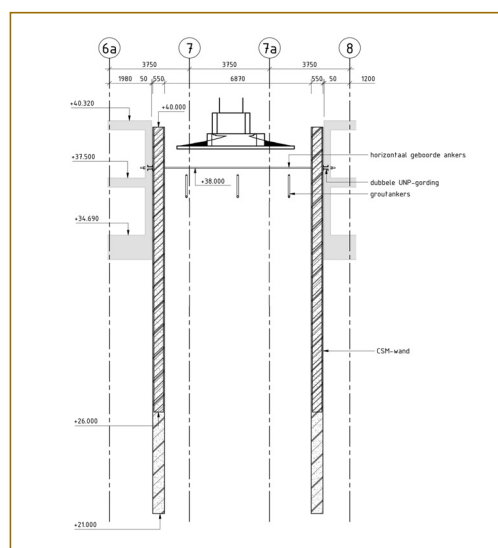
**Figuur 6a –** Bovenaanzicht stabiliteitsconstructie schoorsteen.

Rond de schoorsteen zijn op zeer korte afstand allereerst 50 verticale ankerstaven ingeboord en verlijmd in de bestaande poer (zie figuur 8 en 9). De belasting uit de schoorsteen, die op de bestaande poer drukt, kon zo via deze ophangstaven, naar de bovenliggende nieuwe poer worden overgedragen. Deze nieuwe poer is ontworpen en gewapend op de volledige belastingafdracht van de schoorsteen inclusief windbelasting.

Omdat de capaciteit van de verticaal ingeboorde staven binnen het systeem van belastingafdracht cruciaal was, zijn na aanbrengen proeven op deze ankerstaven uitgevoerd. Enige twijfel over de staat en vereiste capaciteit van de bestaande poer zijn weggenomen door elk van de ingeboorde betonankers te beproeven op de ontwerpbelasting van 150 kN.



**Figuur 6b –** Detail verankering CSM-wand (strengankers).



**Figuur 6c –** Doorsnede CSM-wand t.p.v. schoorsteen (bestaande schoorsteenfundering zonder nieuwe palen en poer).



**Figuur 7 –** Aanbrengen van schroefinjectiepalen rond de schoorsteen.



Door de rek in de ingeboorde staven was het mogelijk dat de bestaande poer, en daarmee ook de schoorsteen wand, een lichte rotatie zou ondervinden t.o.v. de 90 cm dikke nieuwe poer. Om te voorkomen dat door deze rotatie hoge inklemkrachten tussen het metselwerk van de schoorsteen en de nieuwe poer zou worden veroorzaakt, is rondom de schoorsteenwand een uitvulling met EPS toegepast (zie figuur 8). Enkel over de onderste centimeters is het beton direct tegen het metselwerk gestort t.b.v. de afdracht van horizontale windbelasting. Zodoende werden de ingeboorde staven enkel axiaal belast en werd buiging van deze staven voorkomen.

## Vervormingsprognose fundering en schoorsteen

Er moest ten allen tijde worden voorkomen dat de initiële scheefstand groter zou worden. Om inzicht in het vervormingsgedrag te verkrijgen, gedurende het grondwerk binnen de bouwkuip, zijn berekeningen uitgevoerd met Plaxis.

Vanaf het eerste ontwerpstadium is hierbij gekozen voor 2D-berekeningen. Ten opzichte van een 3D-model is een 2D-model wat meer flexibel ten aanzien van het doorvoeren van modelaanpassingen. Dit was van belang vanuit de vele uitgevoerde ontwerpende berekeningen.

Er is getoetst met de waarden uit het 2D-model, wetende dat deze resultaten, juist vanwege de 3D-effecten, conservatief zouden moeten zijn. Dit bleek later ook uit de monitoring (zie figuur 17). Het uitvoeren van een extra toetsingsberekening met een 3D-model was nog een optie toen het ontwerp was vastgesteld. Volgens de verwachting zou dit niet leiden tot een gewijzigd ontwerp en dit is dit dan ook niet meer uitgevoerd.

## Invloed CSM-sleuf

Allereerst is de invloed op de fundering van de schoorsteen bepaald van het aanbrengen van de CSM-wand en het hierbij aanbrengen van een sleuf, gevuld met nog niet uitgehard soil-mix-materiaal. Het allereerst aanbrengen van de palen bleek het meest gunstige scenario voor de vervorming van de schoorsteen. Bij het optreden van zakking zouden deze palen direct worden geactiveerd.

Direct naast deze nog niet uitgeharde sleuf, gemiddeld als grondlaag met zeer lage  $c'$ ,  $\phi'$  en stijfheid, zou de nieuwe paalfundering veel belasting af kunnen gaan dragen, met name aan de paalpunt. Een grote paalpuntzakking met bijbehorende rotatie van de schoorsteen zou dan op kunnen treden. Om de afdracht van belasting via de paalpunt zo goed mogelijk in rekening te brengen is gebruik gemaakt van plaat-elementen om de palen te modelleren.

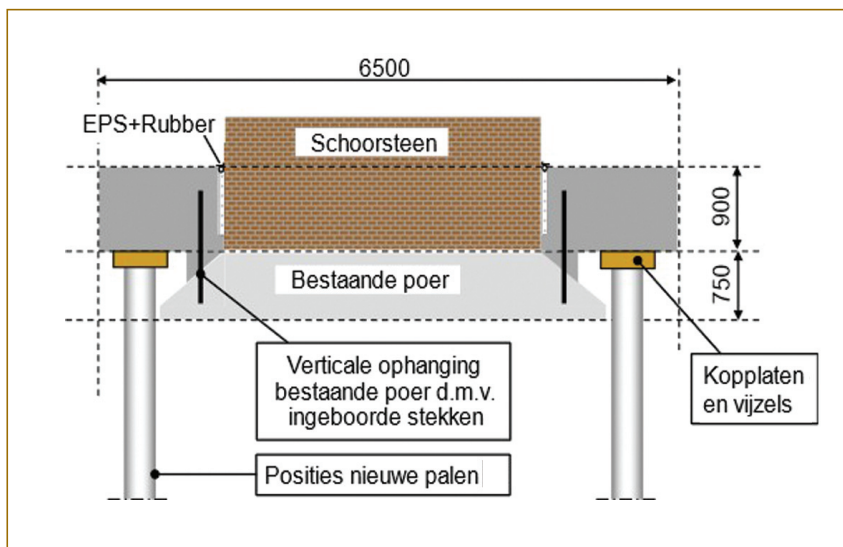
Anders dan bijvoorbeeld met embedded beams kon de vorm van de punt hiermee beter worden benaderd, waarmee ook een betere korrelspanningsverdeling rond de punt werd berekend. Dit was dan weer van belang, omdat direct naast de punt de niet uitgeharde soilmix aanwezig was.

Omdat de werkelijke situatie, met name voor deze bouwfase, toch nog veel onzekerheid bevatte is uiteindelijk gekozen voor een robuuste oplossing met dubbele palen onder de voorste hoeken. Hierdoor werd herverdelingsmogelijkheid gecreëerd, mocht een paalpunt toch willen wegzakken in de sleuf, bijvoorbeeld bij paalafwijkingen.

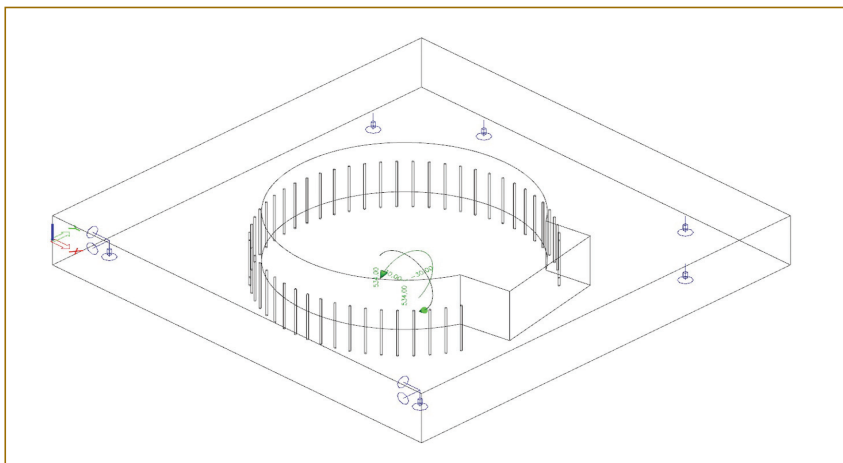
Uiteindelijk is voor deze fase een paalkopzakking van 7 mm berekend voor de palen aan de bouwkuipszijde, resulterend in een rotatie, waarbij de schoorsteen horizontaal aan de bovenzijde 20 mm verplaatste. Dit is als acceptabel gesteld, omdat deze verplaatsing de huidige excentriciteit juist verminderde.

Daarnaast is een 2e Plaxis-model opgesteld, waarin de palen als embedded pile zijn gemodelleerd. Hierin is de volledige fasering van de bouwkuip ingevoerd. Naast de bepaling van de rotatie van de fundering van de schoorsteen ten gevolge van de bouwkuipfasering, konden hiermee ook de snedekrachten in de palen worden vastgesteld. Uit dit model, waarin ook een windbelasting op de schoorsteen in rekening is gebracht, is een

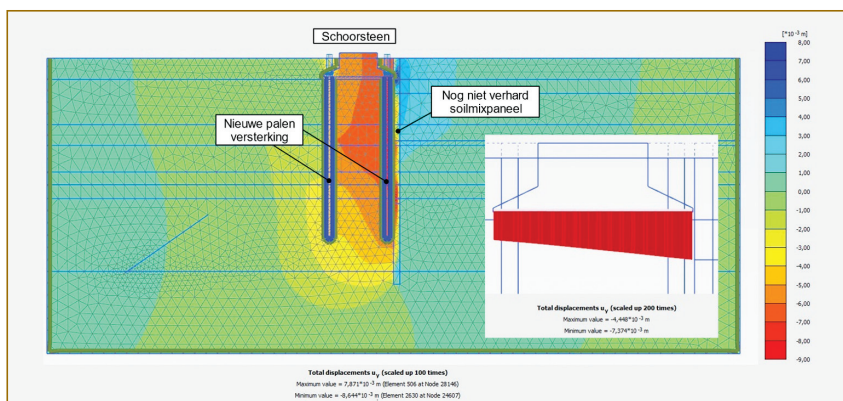
**Figuur 8 –**  
Dwarsdoorsnede  
ophangconstructie  
schoorsteen.



**Figuur 9 –**  
Constructiemodel  
nieuwe betonnen  
poer (met windbe-  
lasting).



**Figuur 10 –**  
Constructiemodel  
nieuwe betonnen  
poer (met windbe-  
lasting).



extra paalzakking van 13 mm voor de paal aan de bouwkuipzijde berekend, met een bijbehorende horizontale verplaatsing van de bovenzijde van de schoorsteen van 56 mm ten gevolge van rotatie. Ook deze verplaatsing verminderde de huidige scheefstand.

Deze berekende 56 mm totale theoretische verplaatsing van de bovenzijde van de schoorsteen (76mm in totaal) was veel kleiner dan de verplaatsing die nodig was om de initieel aanwezige horizontale scheefstand van ca. 140 mm teniet te doen. Deze 140 mm werd voor de toetsing als uiterst toelaatbare waarde gehanteerd.

### Overpakken op de nieuwe fundering

Voor de fasen van ontgraving van de bouwkuip was het gewenst om de belasting vanuit de aanwezige fundering op staal volledig over te dragen op de nieuwe palen.

Dit is mogelijk gemaakt door het opnemen van platte vijzels in de poer direct boven de palen. Er zijn per paal twee platte vijzels boven elkaar toegepast, om tevens correctiemogelijkheden te bieden voor de fase direct nadat de CSM-wand is aangebracht en de fase waarin de bouwkuip maximaal is ontgraven. Door middel van een staalconstructie rond deze vijzels is een horizontale opsluiting gecreëerd voor de afdracht van de aanwezige horizontale (wind)belastingen. Op deze staalconstructie zijn deuvels aangebracht voor de verdere koppeling met de betonnen poer.

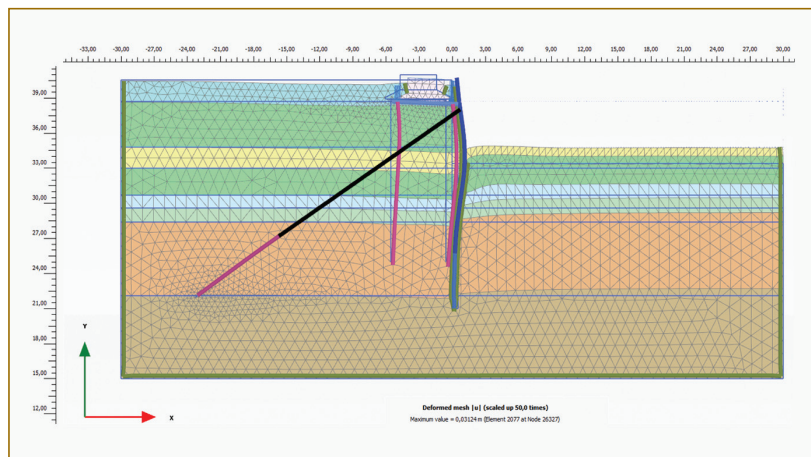
### Horizontale opsluiting nieuwe fundatiepoer

Om de vervorming van de CSM-wand te beperken is gekozen voor het toepassen van een verankering. Geometrisch moest hierbij rekening worden gehouden met de positie van de palen en de ankers in beide richtingen (zie figuur 6). Aan de voorzijde zijn ankers onder een verticale ankerhoek van 35 toegepast. De zijwanden zijn onderling gekoppeld door middel van horizontale ankerstangen (zie figuur 6 en 13). Tevens zijn de bouwkuipwanden op een lager niveau door een extra stalen gording onderling gekoppeld om te voorkomen dat in de hoeken aanzienlijke scheurvorming in de CSM-wand zou kunnen optreden en om eventueel ankeruitval op te kunnen vangen.

### Monitoring schoorsteen

De monitoring van de schoorsteen en belendingen is een cruciaal onderdeel van het project geweest en nodig voor het beheersen van de risico's. Een overzicht van de toegepaste meetinstrumenten en -punten is weergegeven in figuur 14.

De belendende objecten en K&L binnen het invloedsgebied zijn voorzien van meetpunten. Daarnaast zijn binnen en buiten de bouwkuip peilbuizen geplaatst. In de CSM-wanden zijn op de



**Figuur 11 –** Met 2D-Plaxis berekende maximale vervormingen tijdens maximale ontgraving van de bouwkuip (bovengrensbepaling).

maatgevende posities hellingbuizen opgenomen voor monitoring van de horizontale vervormingen. De schoorsteen was rondom voorzien van tiltsensoren en een groot aantal meetstickers op meerdere niveaus. De tiltsensoren zijn gedurende het gehele project aanwezig geweest en leverden, in aanvulling op de bemande inmeting van meetstickers, een continue monitoring waarmee ten alle tijden afwijkend gedrag ten aanzien van de verticale helling gesignaleerd kon worden.

### Installatie palen

De scheefstand van de schoorsteen voor start van de werkzaamheden was 140 mm in zuidwestelijke richting, zie de pijl in figuur 6a. Tijdens het aanbrengen van de laatste paal rond de schoorsteen, funderingspaal nr. 6, was een verzakking opgetreden waardoor de scheefstand van de schoorsteen toenam tot circa 190 mm. De verplaatsing werd waarschijnlijk veroorzaakt door kortsluiting met funderingspaal nr. 5 tijdens het afpersen van het grout. Uit deze verplaatsing is gebleken dat de bestaande fundering van de schoorsteen gevoelig was voor verstoringen.

### Installatie CSM-panels rondom schoorsteen

Na het realiseren van de palen en de nieuwe funderingspoer zijn de CSM-panels gerealiseerd. De werkvolgorde voor het installeren van de CSM-panels rondom de schoorsteen met de bijbehorende gemeten verplaatsingen aan de kop van de schoorsteen zijn in figuur 15 weergegeven.

In verband met beïnvloeding van de schoorsteen zijn de panels aan de noordkant, tegengesteld aan de scheefstand van de schoorsteen, eerst gerealiseerd. Per dag is maximaal één paneel gerealiseerd direct naast een hoekpaal.

Uiteindelijk is ervoor gekozen om de schoorsteen voorafgaand aan het installeren van de CSM-wanden niet op de palen te zetten maar de constructie zelf naar evenwicht te laten zoeken (vijzels niet onder druk). Wel was zeker gesteld dat alleen de paalfundering de belasting uit de schoorsteen



**Figuur 12 –** Opgenomen platte vijzels in de constructie direct bovenop de kopplaat op de palen.

volledig kon dragen, ook met het wegvallen van één hoekpaal. Hiermee is sprake van een redundant systeem.

Aanvullend op de periodieke meetrondes is de schoorsteen ten tijde van de kritische CSM-panels continue gemonitord met twee Total Stations. De betreffende werkdagen zijn afgesloten met een overleg tussen de betrokken partijen waarin de resultaten van de monitoring zijn besproken en de vervolgstappen zijn vastgesteld.

In de resultaten van de monitoring werd een duidelijke relatie waargenomen tussen het realiseren van de panels en de verplaatsing van de schoorsteen: de kop van de schoorsteen verplaatste in de richting van de werkzaamheden.

De uitwijking aan de kop van de schoorsteen t.g.v. installatie van de panels aan de noordzijde was slechts 3 mm en 10 mm. De verplaatsing door paneel 73 aan de oostzijde was verwaarloosbaar. Door realisatie van de panels aan de zuidkant is de kop van de schoorsteen circa 15 mm verplaatst in zuidelijke richting. De berekende verplaatsing aan de kop van de schoorsteen door installeren van de CSM-panels was 20 mm.





**Figuur 13 – Constructiemodel nieuwe betonnen poer (met windbelasting).**

De totale netto bijkomende uitwijking aan de kop van de schoorsteen na realisatie van alle CSM-panelen bedroeg slechts 5 mm in richting van de initiële scheefstand schoorsteen. Hiertoe kon gesproken worden over een succesvolle uitvoering van de CSM-wanden. Tevens kon worden gesteld dat de paalfundering (deels) was geactiveerd.

### Vijzelen schoorsteen

Na het aanbrengen van de CSM-panelen en voorafgaand aan het uitvoeren van het grondwerk is de eerste vijzelactie uitgevoerd om zeker te stellen dat de palen volledig waren geactiveerd en om de scheefstand van de schoorsteen te reduceren. Voor het sturen van de vervormingen middels de vijzels zijn twee criteria gehanteerd:

1. De rotatie van de schoorsteen naar achteren mocht niet meer worden dan de initiële scheef-

stand. Bij een grotere rotatie zou instabiliteit van de schoorsteen immers een risico zijn.

2. De rotatie naar voren mocht, tijdens volledig ontgraven van de bouwkuip, niet zo groot zijn, dat de initiële scheefstand teniet zou worden gedaan en de schoorsteen naar voor zou gaan hellen. Ook voor deze situatie is er een risico op instabiliteit.

De waterdruk in de eerste laag vijzels werd zodanig opgevoerd zodat de scheefstand werd teruggebracht van 190 mm naar 70 mm. Deze gereduceerde scheefstand was voldoende om de maximale bijkomende berekende vervorming van 23 mm in beide richtingen op te kunnen vangen binnen de gestelde criteria.

Direct voor het aanbrengen van de groutankers van de bouwkuipwand, en voordat werd ontgraven tot maximaal ontgravingsniveau van de bouwkuip, werd de eerste laag vijzels gefixeerd door vervangen van het water in de vijzels door groutvulling. Een correctie met de tweede laag vijzels was dan nog mogelijk.

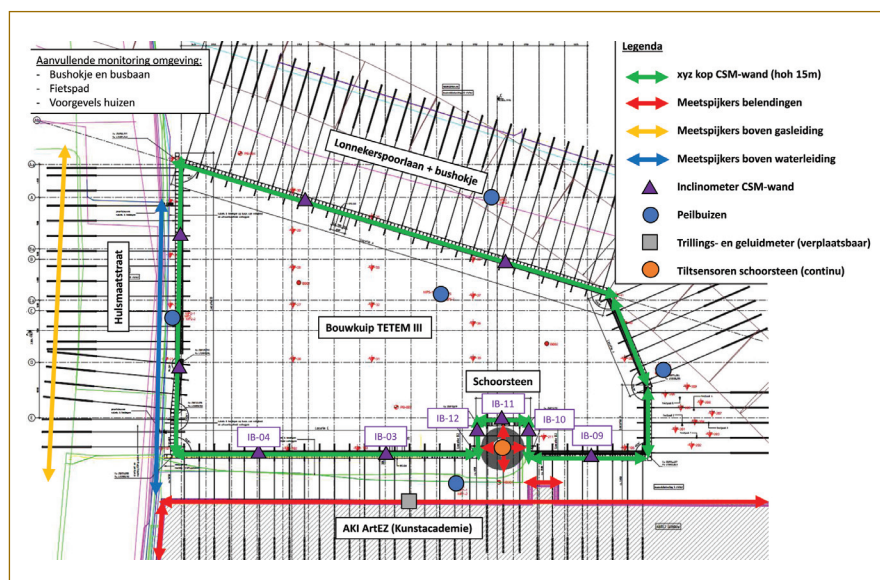
Uiteindelijk is geen noemenswaardige extra vervorming van de schoorsteen meer opgetreden t.g.v. ontgraven van de bouwkuip en lossen van de ankers. Een verdere vervormingscorrectie met behulp van de 2e laag vijzels is dan ook niet uitgevoerd. Ook deze vijzels zijn uiteindelijk gegroot ten behoeve van fixatie.

### Monitoring grondkeringen

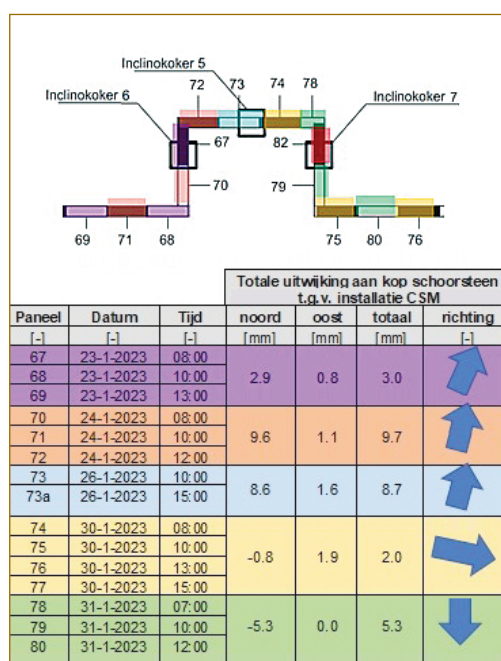
De resultaten van de verschillende hellingbuizen in de CSM-panelen langs ArtEZ, incl. de schoorsteen, zijn weergegeven in figuur 17. Zie figuur 14 voor de locatie van de verschillende inclinobuizen.

In de bouwfase waarin de CSM-wanden vrijstaand waren (linker grafiek in figuur 17) varieerde de verplaatsing aan de kop van de grondkering tussen circa 1 en 12 mm. Er was in die fase geen sprake van translatie van de onderzijde van de inclinobuizen. Na het installeren/afspannen van de ankers op NAP +38,5 m en volledig ontgraven van de bouwkuip (middelste grafiek in figuur 17) was de toename van de maximale vervorming beperkt, wel is duidelijk de "buikvorming" zichtbaar voor de drie inclinobuizen langs ArtEZ buiten de invloedzone van de schoorsteen. Uit een vergelijking met de inmeting van XYZ aan de kop van de inclinobuizen volgde dat er een kleine translatie van zo'n 5 mm had plaatsgevonden aan de onderzijde van de inclinobuizen. Dit gold ook voor de inclinobuis bij de schoorsteen. Deze translatie is in de grafiek van figuur 17 verdisconteerd. In deze fase is de verplaatsing aan de kop wel groter gebleken dan voorspeld was; dit is mogelijk te verklaren doordat de grond achter de wand tijdens het afspannen stijver reageerde.

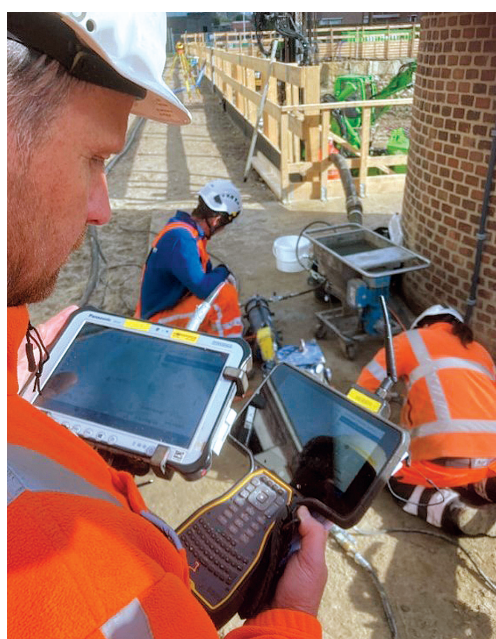
In de eindfase (rechter grafiek in figuur 17) waarin de ankers spanningsloos zijn gemaakt en de CSM wanden horizontaal werden gesteund door



**Figuur 14 – Constructiemodel nieuwe betonnen poer (met windbelasting).**



**Figuur 15 – CVerplaatsingen aan de kop van de schoorsteen t.g.v. installeren CSM panelen.**



**Figuur 16 – Continue monitoring scheefstand schoorsteen in twee richtingen tijdens vijzelwerkzaamheden.**



de -1-vloer (NAP +37,5 m) was de toename van de vervorming aan de kop beperkt tot 5 mm. Dit was vergelijkbaar met de prognose.

Van de drie inclinobuizen rond de schoorsteen was er helaas slechts één over de volledige hoogte (tot teen staalprofiel) in te meten. In deze hellingbuis IB-10 is geen buikvorming zichtbaar; de maximale vervorming haaks op ArtEZ (Oost-West) lijkt hier dus significant kleiner te zijn geweest.

Ten opzichte van de prognose in Plaxis voor de schoorsteen (op basis van ongunstig grondprofiel) bedroeg de totale vervorming minder dan de helft. Dit verschil valt goed te verklaren door de eerder genoemde 3D-effecten. Hierbij valt te denken aan schijfwerking in de twee haakse wanden en bouwkuiphoeken die de (buig)stijfheid vergroten.

De maximale vervormingen van de CSM-wand zijn binnen de 17 mm gebleven. In de ontwerpfase is een hogere freatische waterstand gehanteerd met een ongunstig bodemprofiel waardoor de berekende vervormingen een goede bovengrens zijn gebleken. De vervormingen op basis van een gunstig bodemprofiel met een aangepaste (gemeten) freatische waterstand komen redelijk goed overeen met de metingen.

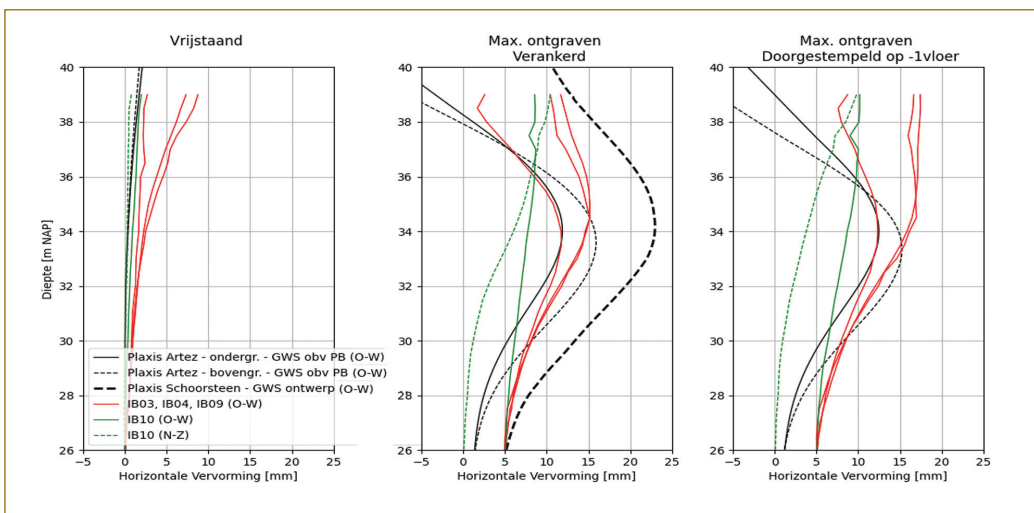
De meetpunten op de gevel van het belendende AKI-ArTEZ zijn circa 2 á 4 mm omhoog gekomen, waarschijnlijk als gevolg van zwel vanuit de overgeconsolideerde grondlagen. Er is geen schade opgetreden aan belendende objecten, waardoor gesproken kon worden over een succesvolle uitvoering.

## Monitoring peilbuizen en barrièrewerking

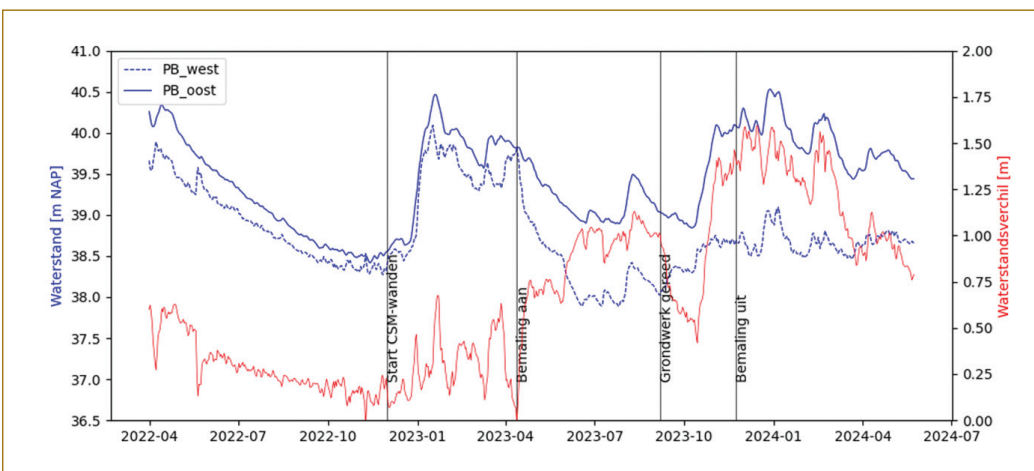
De gemeten freatische waterstanden in de peilbuizen ten oosten en westen van de bouwkuip zijn weergegeven in figuur 18. Het verhang tussen beide peilbuizen (onderlinge afstand is circa 35 m) als gevolg van grondwaterstroming binnen de Twentse Heuvelrug is duidelijk zichtbaar en werd vergroot door de werkzaamheden. Door barrièrewerking, en mogelijk ook de bemaling, nam het verschil in waterstand toe van 0,25 á 0,50 m tot 1,0 m. In de (zeer natte) wintermaanden was het verschil zelfs 1,50 m. Ook dit zal invloed hebben gehad op de vervormingen van de CSM-wanden aan beide bouwkuipsijden.

### Tot slot

Met Tetem III krijgt Enschede een iconisch gebouw op een bijzondere plaats. De kelderconstructie maakt de bouw complex; vooral het behoud van de monumentale schoorsteen heeft speciale aandacht gevraagd t.a.v. het bouwkuipontwerp, risicobeheersing en monitoring. Door de risico's in alle processtappen te beschouwen en bij te sturen waar nodig, is de onderbouw inmiddels gereed zonder schade aan de belendingen. En de schoorsteen staat misschien wel rechter dan ooit tevoren. ●



Figuur 17 – Continue monitoring scheefstand schoorsteen in twee richtingen tijdens vijzelwerkzaamheden.



Figuur 18 – Freatische waterstanden voor, tijdens en na de werkzaamheden (ruim 2 jaarcyclus).



Figuur 19 – Stort begane grondvloer/dek van Tetem III (op de achtergrond is de ruwbouw van Tetem IV op hoogte).