

Verlenging vraagt vijzelbare kolommen

De verlenging van piste 3 van SnowWorld Zoetermeer naar 305 m staat op een voormalige stortplaats. De langswanden zijn over de hele lengte afgeschoord, waardoor ongelijke zettingen een cruciaal aandachtspunt is. Een paalfundering mag om milieuredenen niet. Betonpoeren met stalen vijzelbare kolommen zijn ingezet, en worden permanent gemonitord om direct te kunnen ingrijpen.

ing. J.A.M. Roosendaal

Jan Roosendaal is ontwerper bij ASK Romijn in Roosendaal.



Eind 2015 wordt besloten om de derde piste van SnowWorld Zoetermeer te verlengen. Het bestaande gebouw is eind vorige eeuw gebouwd op een voormalige stortplaats en heeft een lengte van 190 m. Dit gebouw wordt met 115 m verlengd tot 305 m. De lengte van de skibaan is dan 300 m (*afb. 3*). Het bestaande gebouw is gedeeltelijk tegen een 17 m hoge berg aangebouwd, de laatste stramienassen staan er bovenop. Om in de uitbreiding de vereiste helling te halen, is een constructie ontworpen die de baan onder de helling van 14° plaatst, ofwel bijna 25%.

Daardoor wordt een totale constructiehoogte aan de nok bereikt van ruim 70 m boven maaiveld.

Geschoord portaal

Voor de constructie onder de skibaan is gekozen voor een afgeschoorde pendelconstructie, zowel in langs- als dwarsrichting. In de dwarsrichting is voor een geschoord portaal gekozen, zie *afbeelding 3*. De hoofdkolommen onder de baan bestaan uit HD-profielen, terwijl de schoren en de horizontale staven van buisprofielen zijn gemaakt. Het voordeel van buisprofielen is dat ze bij een relatief slanke doorsnede in alle richtingen een gelijke drukcapaciteit bezitten.

Pen-gatkoppelingen

De schoren en de kolommen zijn met een zui-vere scharnierverbinding door pen-gatkoppelingen verbonden (*afb. 1*). Deze koppeling geeft een goede, statisch bepaalde verbinding, wat nodig is om er zeker van te zijn dat de door het 3D-rekenprogramma bepaalde krachten in de knopen en in de staven ook daadwerkelijk optreden. Door de zich verplaatsende kolomvoeten leiden niet-volledige scharnierverbindingen tot ongewenste secundaire krachten en momenten. Bovendien zijn de verbindingen esthetisch meer verantwoord dan grote schetsplaten met veel bouten.

Voeten in aarde

De bestaande baan kon in langsrichting worden afgesteund naar windbokken op maaiveldniveau. Een uitbreiding naar een hoogte van 54 m was voor deze bokken niet



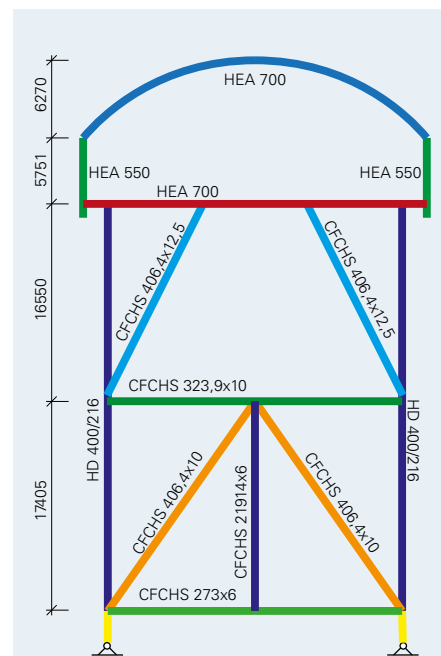
1. Pen-gatverbinding (Ø 120 mm, S355J0).



2. Bestaande kolom met uitschuifstelsel.

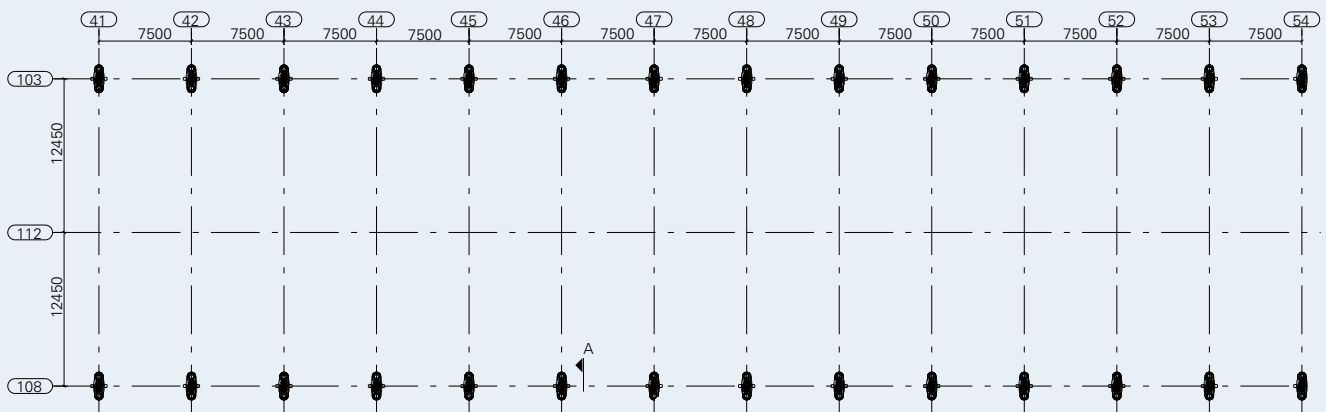
voorzien, zodat het nieuwe deel, om de windbelasting af te kunnen voeren naar de berg, nieuwe afschoringen in de langsrichting van de baan moet hebben (*afb. p. 30-31*). Om de trek- en drukkrachten op de fundatie zoveel mogelijk te minimaliseren, zijn beide nieuwe langswanden over de gehele lengte afgeschoord. Een groot, maar onderkend nadeel van deze oplossing is de eis ten aanzien van de maatvastheid van de oplegpunten in het systeem. Immers, een zakking van één of meerdere van de kolomvoeten geeft direct een andere krachtsverdeling in de schoorstaven en een wijziging in de veronderstelde oplegkrachten. En als de exacte plaats en grootte van deze zetting onbekend is, verandert het statisch bepaalde systeem in statisch onbepaald en dat heeft rekentechnisch nogal wat voeten in de aarde – in dit geval in de berg.

Het zou daarom voor de hand liggen om een fundatiesysteem te kiezen dat minder onderhevig is aan onberekenbare zettingen, zoals een paalsysteem. Niet in de laatste plaats

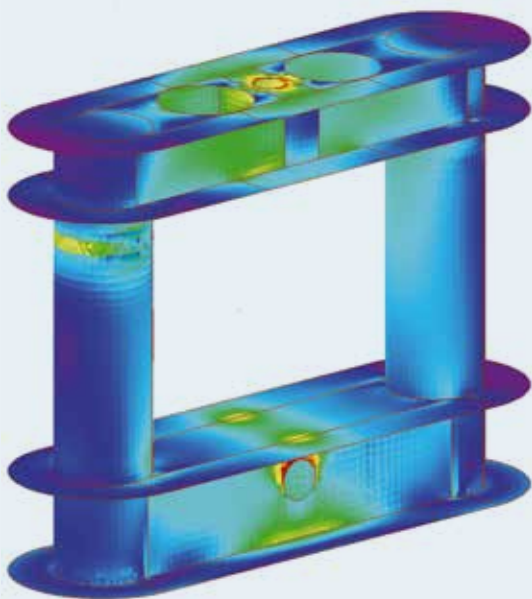


3. Skibaandoorsnede. Het portaal is een statisch bepaalde structuur bestaande uit een dubbel K-verband. De eindpunten van de bovenste schoren in het K-verband zijn uit elkaar getrokken om van de vloerbalk van de skibaan een driefeldsligger te maken, die daardoor lichter kon worden uitgevoerd en waardoor tevens de vloerstijfheid werd verhoogd. De portalen van de skibaan bestaan uit rondgewalste dakliggers die momentvast op de kolommen zijn aangesloten. De overspanning van de dakliggers is 30 m. Tussen de kolommen van de skibaan en de portaalvloerligger zijn koudebrugonderbrekingen aangebracht om ijsvorming aan de onderzijde van de baan te voorkomen.

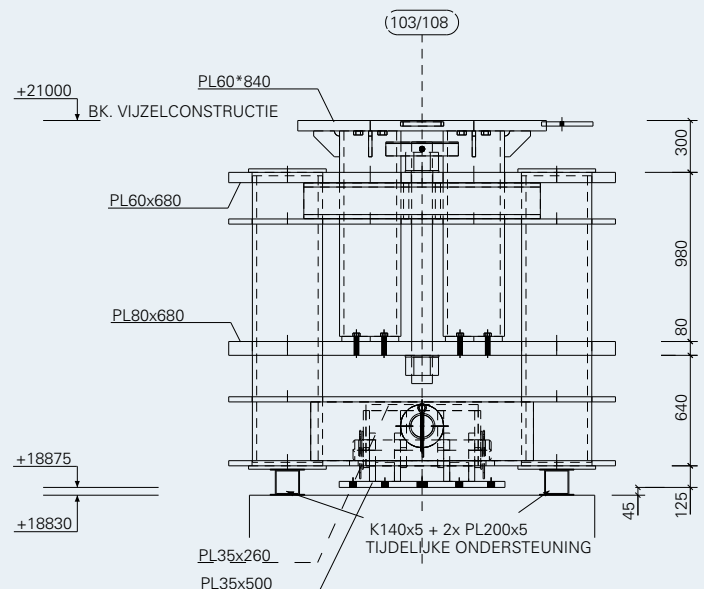
vanwege de aanwezigheid van klei- en veenlagen. Dit is echter om milieutechnische redenen niet toegestaan. Het risico bestaat dat er afvalstoffen zich mengen met het grondwater. Om deze reden is gekozen voor een fundatie op staal. Onder beide kolomrijen in langsrichting zijn tegen elkaar aanliggende poeren aangebracht met een afmeting van 7,5x8,0 m en een dikte van 0,7 m. De zettingen die de poeren gedurende de gebruiksperiode van 50 jaar zullen ondergaan wordt, onder andere op basis van vooraf aangebrachte proefbelastingen, geschat op maximaal 600 mm. Omdat de zetting in de berg op ieder



4. Plattegrond met posities stalen vijzelkolommen.



5. De spanningsberekening is elastisch-plastisch uitgevoerd, waarbij de grenswaarde voor de vloeigrens is gesteld op 355 N/mm². Duidelijk is te zien dat met name rondom de contactvlakken met de rotatieas in de rotatiebox de spanningen oplopen tot in het vloeigebied. Deze spanningen worden veroorzaakt door de contactdruk van de ronde pen op de gatwand van het plaatmateriaal. Aan de bovenzijde van het draagkader geeft



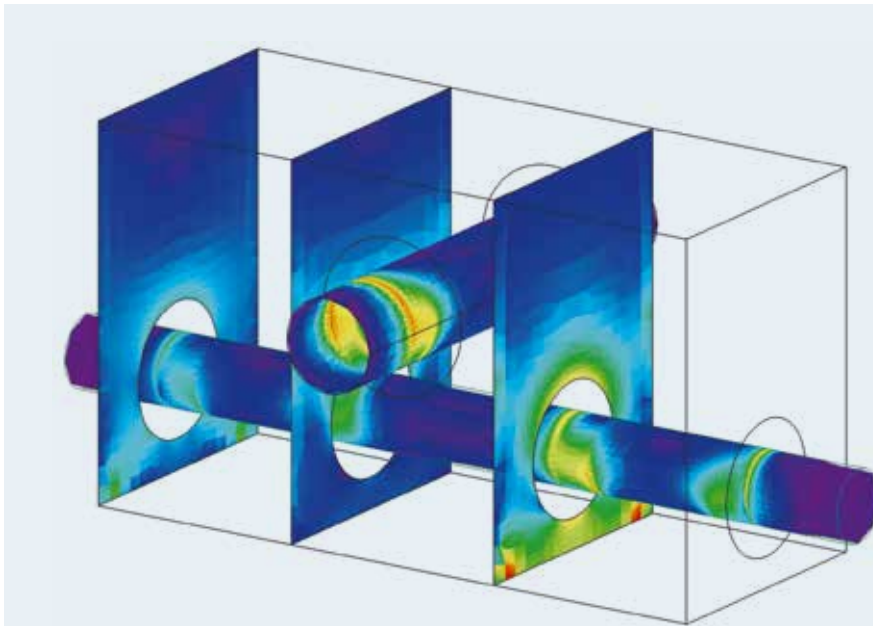
het contactvlak met de M120-moer hogere combinatiespanningen. De groene vlakken op de zijkant van de zijwanden duiden op een hogere waarde voor de spanningen uit buiging. Er zal in het plaatmateriaal rondom het contactvlak met de buis (rode vlakken) materiaalvloeit optreden, waarna er door materiaalstuik een groter contactvlak ontstaat en de equivalente spanningen afnemen.

moment een verticale verplaatsing of rotatie in een willekeurige poer kan veroorzaken en deze zakking grote invloed heeft op de krachten in de kolommen en stabiliteitschoren, moeten alle kolomvoeten worden uitgerust met een mechanisme dat deze verplaatsing in constructieve zin compenseert: de kolomvoet moet op het aanvangsniveau kunnen worden teruggebracht.

Vijzelbare kolom bestaande bouwdeel

In het bestaande deel van de constructie is destijds gekozen voor een eenvoudig uitschuifbaar systeem met in elkaar geschoven profielen aan de kolomvoeten en met een kogelscharnier op de voetplaat. Al naar gelang de grootte van de zetting, kunnen na een bepaalde periode de kolommen worden verlengd, zodat de oorspronkelijke niveaus

weer worden bereikt (afb. 2). Deze oplossing kon destijds voor het eerste deel van de ski-baan worden toegepast, omdat de verschillen in zettingen door het ontbreken van verticale verbanden in langsrichting niet direct tot constructieve problemen leidden en de krachten in de onderste kolommen ook een stuk kleiner zijn. De grotere kolomkrachten in de nieuwbouw



6. EEM-beeld van de rotatiebox. Door de rotatiebox lopen twee elkaar kruisende assen met diameter 150, resp. 120 mm in S355J0. De assen zijn slanker weergegeven dan de werkelijke diameter, die nagenoeg gelijk is aan de gatdiameter, omdat het rekenprogramma schemavlakken weergeeft op het constructieve plaatmidden. Duidelijk zijn de verhoogde spanningen te zien op de contactvlakken tussen as en plaat. Dit zijn

gecombineerde meerdimensionale spanningen (Von Mises) uit buiging, afschuiving en axiaalspanning, voortkomende uit een niet-lineaire analyse en uitgaande van een isotropisch elasto-plastisch materiaalgedrag. De Von Mises-spanning (σ_v = equivalente spanning) wordt als volgt door het FEM-programma bepaald:

$$\sigma_v = \sqrt{0.5[(\sigma_{xx} \cdot \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} \cdot \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} \cdot \sigma_{xx})^2 + 6\sigma_{xy}^2 + 6\sigma_{yz}^2 + 6\sigma_{zx}^2]} \leq f_y$$



Deze gecombineerde spanning voorziet ook in een toetsing waarbij een normaalspanning in de y-richting wordt meegenomen, iets wat niet het geval is volgens toetsing 6.1 uit NEN-EN 1993-1-1. Deze laatste is alleen geschikt voor een 2D-profieltoetsing en staat geen vloeispanningen toe. Om lokaal plooi te voorkomen moeten plaatdiktes groot genoeg worden gekozen.

worden veroorzaakt door zowel de hoogte, resulterend in een groter koppel uit de windbelasting, als door de grotere stramienmaat. Kon bij de bestaande baan worden volstaan met een periodieke correctie van de zetting van één keer per jaar, voor de nieuwe constructie zal dit niet toereikend zijn. Vanwege de krappe toleranties in de constructie vindt bij zettingsverschillen van meer dan 5 mm een te grote herverdeling van krachten over naastgelegen portalen plaats. De schuifconstructie moet dus op ieder moment met een grote nauwkeurigheid kunnen worden gecorrigeerd. Er werden op basis van verwachtingen en rekenresultaten de volgende eisen gesteld:

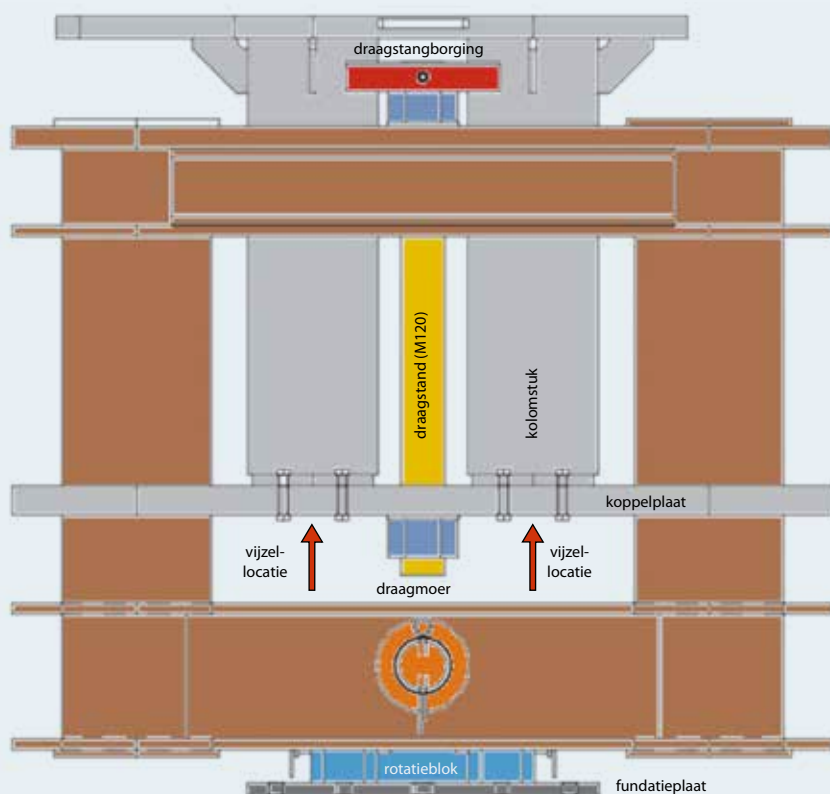
- voldoen aan NEN-EN 1993-1-1;
- voldoende nauwe toleranties en stijfheid bezitten om de totale vervormingsgrens van het portaalstatief bij windbelasting niet te overschrijden;
- sterk genoeg om in beide hoofdrichtingen

grote dwarskrachten en buigende momenten over te brengen;

- minimale opvijzelbaarheid van 1 mm en een maximale van 600 mm;
- x- en y-rotatiecapaciteit van minimaal 1 graad;
- vanwege de toekomstige uitwisselmogelijkheid met een boutverbinding aan de portaal kolom zijn verbonden;
- in een reguliere staalbouw constructie werkplaats kunnen worden gefabriceerd.

Voor de voetconstructie van de uitbreiding is gekozen voor een relatief zware, speciaal voor dit project door ASK Romein ontworpen en vervaardigde schuifconstructie, bestaande uit buisprofielen en dikke platen. De centrale as van de constructie wordt gevormd door een M 120-draadeinde klasse 8.8, met een trekweerstand $F_{t,Rd} = 3260$ kN. *Afbeelding 7* toont een portaal/kolomvoet in

montagesituatie. *Afbeelding 7 rechts* is de tekening van een vijzelbare kolomvoet. In deze afbeelding is de uitschuifbare verlenging van de portaal kolom te zien. Deze verlenging bestaat uit twee gekoppelde zware buisprofielen (B356x25 mm), het kolomstuk. Via de koppelplaat, waarmee de twee buizen zijn verbonden, hangt de bovenconstructie met een M120-draadeinde aan de onderconstructie. Deze onderconstructie, het draagkader, brengt de belasting vervolgens over naar de rotatiebox. De rotatiebox, die ervoor zorgt dat de poer een rotatie kan ondergaan ten opzichte van de portaalconstructie, is door massieve assen verbonden met de fundatieplaat die de krachten ten slotte afgeeft op de in de betonpoer opgenomen ankers. In *afbeelding 7* is met rode pijlen de plaats aangegeven waar twee enkelwerkende hydraulische drukvijzels wordt geplaatst.



7. De uitschuifbare/vijzelbare portaal/kolomvoet in montagesituatie. Het draagkader is tijdelijk ondersteund, zodat de portaalkolom verticaal kan worden gemonteerd. De centrale geborgde as onder de ophangstaf vormt het scharnierende draaipunt waarmee het draagkader met de rotatiebox is verbonden.

Aan onderzijde van deze ruimte is een dikke staalplaat aanwezig. Dit is de bovenzijde van de onderbalk van het draagkader. De bovenzijde van de vijzelruimte wordt begrensd door de koppelplaat, die direct verbonden is met de voetplaat van de portaalkolom. Door met hydraulische drukvijzels de koppelplaat en daarmee de portaalkolom omhoog te drukken, kan men de constructie terugbrengen naar het gewenste niveau.

In afbeelding 7 is de afsteuning van de portaalkolom op het draagkader weergegeven. In feite hangt elke hoofdkolom en daarmee dus de skihal aan één draadeind M120. Dit principe maakt het mogelijk om elke kolom per millimeter nauwkeurig omhoog te brengen naar elke gewenste positie.

Zijwaardse windbelasting dominant

De zwaarte van deze constructie wordt in hoofdzaak bepaald door de ten opzichte van

de baanlengte zijwaartse belasting uit de wind loodrecht op de skibaan. De gecombineerde spanningen op de buizen loopt in enkele delen bij deze belastingcombinatie in de uiterste grenstoestand op tot aan de vloei-grens. De vormveranderingen bij belastingomkering is bepalend voor de toleranties in afmetingen van de buizen, assen en de sparingen in de platen. Hierdoor ontstaat een werkbouwkundige nauwkeurigheid in productie en uitvoering.

De vijzel- of schuifconstructie is in twee fasen gedimensioneerd. Allereerst is een losse vijzelconstructie op basis van een schets-ontwerp in SCIA Engineer opgebouwd, bestaande uit buizen, platen en assen. Alle onderdelen zijn als platen gemodelleerd, zodat er elastisch-plastisch volgens de eindige elementen-methode gerekend kan worden. Was deze methode tot voor kort alleen mogelijk met dure werktuigbouwkundige

rekenpakketten, zoals Ansys, Nastran, Strand7 of Abaqus of wetenschappelijke software als DIANA, tegenwoordig voorzien ook de betaalbare 3D-bouwkundige rekenpakketten, hoewel niet geheel vergelijkbaar, in deze mogelijkheid. Het biedt de constructeur de mogelijkheid om een goede indruk te krijgen van de spanningen in de constructie en draagt daardoor bij aan het maken van de juiste keuze voor materiaaldiktes en, indien nodig, voor de plaats en omvang van lokale versterkingen. Dit leidt niet alleen tot een optimalisatie in materiaalgebruik, maar biedt de constructeur ook in grote mate een mogelijkheid tot spanningstoetsing, die op de traditionele manieren niet mogelijk was. Het zelf ontwerpen van niet-reguliere bouwkundige constructies is met de software een stuk makkelijker geworden. Afbeeldingen 5 en 6 tonen de spanningsbeelden als resultaten van de EEM-berekening. Te zien is dat op



8. Monitorsysteem met gekoppelde vloeistof-waterpassysteem. De druksensoren zijn onderling gekoppeld met leidingen. In totaal zijn 34 sensoren geïnstalleerd, waarvan 1 op een zettingsarme locatie. Dit is de referentiesensor ten opzichte waarvan alle hoogtes worden gemeten. Op de locatie van de referentie-

sensor wordt de communicatie-unit (rechts) opgesteld die ervoor zorgt dat er een draadloze verbinding wordt gemaakt met een server. Hierop bevindt zich de monitoringswebsite waarmee de monitoringsdatabase met alle gemeten waarden op elk moment kunnen worden bekeken.

De sensoren hebben een nauwkeurigheid van $\pm 0,25$ mm. Meting vindt elk kwartier plaats. De meetwaarden worden gekoppeld aan de signalerings- en interventiewaarden en in een tabel of grafiek met kleuren inzichtelijk gemaakt.

sommige locaties de vloeigrens wordt bereikt. Dit is in de situatie waarbij dit optreedt, de uiterste grenstoestand, toegestaan. Nadat de vijzelconstructie als *single object* is gedimensioneerd, zijn in het 3D-rekenmodel onder alle kolomvoeten de uitschuifbare kolom, met een hoogte vanaf de poer van bijna 3 m, aangebracht. Op deze manier kan ook de invloed van de vijzelconstructie op stijfheid van de totale skibaanconstructie worden bepaald. De vijzelconstructie blijkt nadelig te zijn voor de totale verplaatsing van de hoofdconstructie. Op basis van deze analyse is besloten om de dikte van de vier buizen te vergroten.

Monitoren

Door een gespecialiseerd bedrijf (Brem) is voor de skibaanconstructie een systeem ontworpen dat SnowWorld in staat stelt om gedurende de gebruiksfase het niveau van de poeren exact te monitoren. Het monitorsysteem bestaat uit een automatisch

waterpassysteem dat is samengesteld uit in serie geschakelde druksensoren. De zettingen worden op elke locatie vergeleken met een referentiesensor die zich op een zettingsarme locatie bevindt.

Het systeem geeft online via de metingen aan of er op een bepaalde plaats een te grote zakking heeft plaatsgevonden. Daarbij gaat het met name om differentieële zettingen, ofwel zettingsverschillen. Een poer mag niet meer dan 5 mm zakking vertonen ten opzichte van een naastgelegen poer op dezelfde langsstramienas; de bewuste poer zou dan namelijk aan zijn burens kunnen gaan 'hangen'. Door het ingeven van grenswaarden kan bij een overschrijding met sms en/of e-mail alarm worden gegenereerd. De geregistreerde zettingen van de poeren in de periode mei 2016 tot mei 2017 varieerden van ± 50 mm nabij de aansluiting op de bestaande baan, tot ruim 200 mm bij het laatste en hoogste portaal. De grote verschillen zijn verklaarbaar door de verschillen in

permanente belasting tussen de verschillende portaalvoeten.

Het vijzelen

Bij een overschrijding van de zettingslimiet moet de betreffende kolom worden opgevijzeld. Hiertoe worden twee 100 tons gekoppelde hydraulische drukvijzels onder de twee buizen in het kolomstuk in de vijzelpening geplaatst. De gemiddelde waarde voor de zwaarst belaste portaaldoorsnede bedraagt ongeveer 120 ton, dus zo'n 55 ton per vijzel. De werkelijke waarde is sterk afhankelijk van de dikte van de sneeuwlaag op het moment van vijzelen. Deze varieert in de loop van de tijd. Bij windsnelheden van meer dan 1,5 m/s mag niet meer gevijzeld worden; de krachten zijn dan te wisselend en kunnen te groot zijn om een correcte vijzeling mogelijk te maken. Het uiteindelijke opvijzelen van de kolomvoet vindt plaats als de oliedruk in de vijzels

Projectgegevens

Locatie Buytenparklaan 30, Zoetermeer • Opdracht SnowWorld Leisure, Zoetermeer • Architectuur Algra & Marechal Architecten, Roosendaal • Constructief ontwerp ASK Romein Staalbouw, Roosendaal • Fundatieontwerp ingenieursbureau Arcade, Kontich (B) • Uitvoering en staalconstructie ASK Romein, Roosendaal • Brandadvies Adviesburo Hamerlinck, Roosendaal • Fundatieadvies Inpijn-Blokpoel, Son • Monitoring fundatie ontwerp en uitvoering Brem Funderingexpertise, Reeuwijk • Data aanvang bouw (exclusief aanbrengen proefbelastingen van medio 2015): week 8 2016; tussentijdse oplevering skibaan met sneeuw: week 39 2016; oplevering: week 51 2016



9. De stalen trappentoren (vluchtrap), waarmee het panoramaterras bovenin de piste bereikbaar is. De trap steunt aan de bovenzijde af tegen de skibaan en is aan de onderzijde centraal op een verstelbare voet aangesloten om zettingen van de poer te compenseren. Deze voet (afb. 9) is eenvoudiger uitgevoerd dan de verstelbare voeten onder de skibaanportalen, maar is eveneens voorzien van een twee-assig rotatiesysteem.

met een pomp groot genoeg is om de cylinders in beweging te brengen, dat is dan enkele tientallen atmosfeer. De druk uit de vijzels op de onderzijde van het kolomstuk is op dat moment even groot als de permanente kracht op de kolom, plus de wrijvingskracht tussen de schuivende delen van het kolomstuk en het draagkader. Als de oliedruk vervolgens iets wordt verhoogd, schuiven de delen uit elkaar. Als de gewenste hoogte is bereikt (enkele millimeters), wordt de moer aan de onderzijde van de draagstang, het M120-draadeind, aangedraaid, waardoor de nieuwe positie is gefixeerd. De druk wordt vervolgens van de vijzels gehaald en de vijzelset wordt verplaatst naar de volgende kolom en zo worden alle 28 kolomvoeten gecorrigeerd.

Deze methode van funderen is zeker niet revolutionair en relatief duur, maar kan een goede mogelijkheid bieden wanneer één van de traditionele fundatietechnieken niet mogelijk is. •



10. Kolomvoet onder het trappenhuis is eenvoudiger.



11. Een daadwerkelijke vijzeloperatie.