

Bezwijkproef werpt licht op constructieve veiligheid boortunnels

In een enorm stalen frame zijn drie op elkaar geplaatste ringen van de Botlekspoortunnel met ruim tachtig vijzels tot een ovaal geknepen. Het experiment maakt deel uit van 'het consortium', de samenwerking van Delft Cluster en het Centrum Ondergronds Bouwen COB. Onderzocht is bij welke belasting de tunnelringen beginnen te bezwijken. De uitkomsten van het experiment zijn van belang voor het valideren van bestaande rekenmodellen en daarmee voor de kennis van de constructieve veiligheid van boortunnels. TU Delft, Rijkswaterstaat Bouwdienst en TNO Bouw en Ondergrond voeren het project gezamenlijk uit.

De proefopstelling in het Delftse Stevinlab wordt al sinds 1999 gebruikt om onderzoek te doen aan de lining van boortunnels. In de eerste fase van Delft Cluster was er een programma met proeven onder gebruiksbelasting. Zo is onderzocht welke krachten in de lining optreden als de tunnelboormachine zich met vijzels afzet tegen de laatst geplaatste tunnelring. Ook is gekeken naar maattoleranties tijdens het aanbrengen van de segmenten: bij welke initiële scheefstand van de segmenten treedt onacceptabele scheurvorming op. Het experiment dat eind augustus 2005 is afgerond, kende een heel andere insteek. Bij dit experiment is de tunnelling belast tot aan bezwijken.

Ovalisatie

"Voor het experiment hebben we gekeken naar het bezwijkgedrag bij ovalisatie", vertelt projectleider Adri Vervuurt van TNO Bouw en Ondergrond. "Dit verschijnsel, het ovaal worden van de tunnelomtrek, treedt op als de omringende grond niet op alle plekken van de tunnelwand met dezelfde kracht drukt. Om dit na te bootsen hebben we de drie tunnelringen met vijzels belast, waarbij we een ongelijkmatige radiale belasting hebben aangebracht met 28 vijzels per ring, waarbij we hebben gezorgd dat tegenoverliggende vijzels steeds evenveel kracht uitoefenden. Daarnaast konden we ook de axiale belasting, zeg maar in de langsrichting van de tunnel, instellen."

Rij boeken

Bij ovalisatie kunnen twee bezwijkmechanismen optreden. Iedere ring bestaat uit zeven segmenten die in een 'halfsteensverband' zitten met de segmenten van de volgende ring. De constructie kan bezwijken doordat de wand gaat knikken op de langsvogen tussen de verschillende segmenten in één ring, of hij gaat kapot doordat het beton gaat scheuren. Het eerste mechanisme treedt op bij een lage axiale belasting. Het is net als bij een rij boeken die je tegelijk wilt optillen. Duw je de boeken niet hard genoeg tegen elkaar aan, dan schuift er al snel één uit de rij. Bij de tunnelringen gebeurt min of meer hetzelfde. Als ze met slechts een geringe axiale kracht tegen elkaar aan worden gedrukt, kunnen ze onafhankelijk van elkaar bewegen. Met een te grote en ongelijkmatige radiale belasting op de ringen bezwijkt de ring dan op de voegen. Het tweede mechanisme vindt juist plaats bij een hoge axiale belasting. De ringen werken dan goed samen en vormen als het ware één geheel. Op de plek waar de grootste belasting optreedt, komt dan een barst in het beton.

Barsten

"Wij wilden het liefst beide mechanismen onderzoeken", vervolgt Vervuurt. "Aangezien we een bezweken voeg kunnen repareren en barsten in segmenten eigenlijk niet, zijn we gestart met een geringe axiale belasting. Deze belasting kwam overeen met een ondergrens voor de situatie van de Botlekspoortunnel. We veronderstelden dat bij deze belasting de voegen het zwakste punt zouden zijn. Dat was echter niet zo. Zelfs bij die lage axiale kracht was de samenwerking tussen de ringen al zo groot dat het tweede bezwijkmechanisme optrad: er ontstonden scheuren in de veertig centimeter dikke betonnen segmenten. Ondanks deze scheuren hebben we toch besloten een tweede proef te doen. Hiervoor hebben we een axiale belasting genomen die nog eens acht keer lager was dan bij de eerste proef. Bij deze belasting begonnen, zoals we verwachtten, de voegen tussen de ringen te slippen.

Vervolgens konden we zien dat de langsvoeugen gingen knikken, het begin van het eerste bezwijkmechanisme.”



Restanten van beschadigde schuifnokken na aanliggen van nokken in inkassing

Kleine blokjes

Het experiment was niet zonder risico's, gezien de enorme krachten die met de vijzels op de tunnelringen werden gezet. "We wilden tot bezwijken komen, maar moesten tegelijkertijd voorkomen dat de tunnel echt in elkaar klapte. Dat betekende dat we tijdig moesten signaleren wanneer de tunnel het begon te begeven.

Daarom hebben we in de langsvoeugen aanslagblokken aangebracht. Deze zorgen ervoor dat de segmenten, indien deze gaan kantelen in de voeg, als het ware worden opgevangen, waardoor in een tweede draagweg ontstaat. Bij het aanslaan van de segmenten op de aanslagblokken, wordt de capaciteit van de voeg dus verhoogd. In de meting vertaalt zich dit in een stijver gedrag van de voegen. Het optreden van deze verstijving was een teken dat de proef kon worden gestopt.

Valideren

Vervuurt: "De komende maanden gaan we aan de slag met numerieke modellen. We gaan bijvoorbeeld kijken of we met de meetgegevens bestaande modellen kunnen valideren. Ook gaan we proberen een link te leggen tussen het experiment en de werkelijkheid, waarbij de interactie met grond een grote rol speelt. De grond zorgt immers niet alleen voor de belasting, maar vormt tevens de ondersteuning voor de lining. Dit is in de experimenten niet meegenomen. In elk geval is nu al duidelijk dat tunnelringen beter samenwerken dan aangenomen. Een optie is dus om het ontwerp van boortunnels te optimaliseren, maar in die paar kuub beton zit niet je winst. Je kunt veel beter concluderen dat er wat reserve in het

ontwerp zit. Dat kan in de toekomst handig zijn, bijvoorbeeld als je naast een bestaande tunnel een nieuwe wilt maken.”

Waardevol

Terugkijkend op het experiment zegt Vervuurt: “Een proef op ware grootte is erg waardevol en zorgt voor veel meer overtuigingskracht dan een schaalproef of berekening. Ik vind het dan ook jammer dat men na afloop van ons experiment begonnen is met de ontmanteling van de proefinstallatie. Zelf zou ik het bijvoorbeeld zinvol hebben gevonden om proeven te doen naar zogeheten liggerwerking, waarbij door ongelijke dwarskrachten ringen van elkaar worden geschoven. De financiële middelen hiervoor waren echter niet aanwezig. Bovendien is met de TU-Delft afgesproken dat de ruimte beschikbaar komt voor ander onderzoek.”

Tekst: Peter Juijn teksten oktober 2005