

1. Aanzichten bestaande fabriek met oorspronkelijke schoorsteen.

Witte rook

Een schoorsteen uit de jaren '80 moet worden gemodificeerd door nieuwe emissie-regelgeving. Nieuwe meetinstrumentatie volgt de uitstoot, maar de benodigde doorvoeren verzwakken de constructie. Relatief eenvoudige ingrepen maken de schoorsteen voldoende stijf en stabiel. Een eindige-elementenmethode hielp bij de berekening.

ing. M.J. Plokker en ir. D.G. Braak

Michiel Plokker en Dirk Braak zijn beiden Civil/Structural Engineer bij Fluor in Rotterdam.

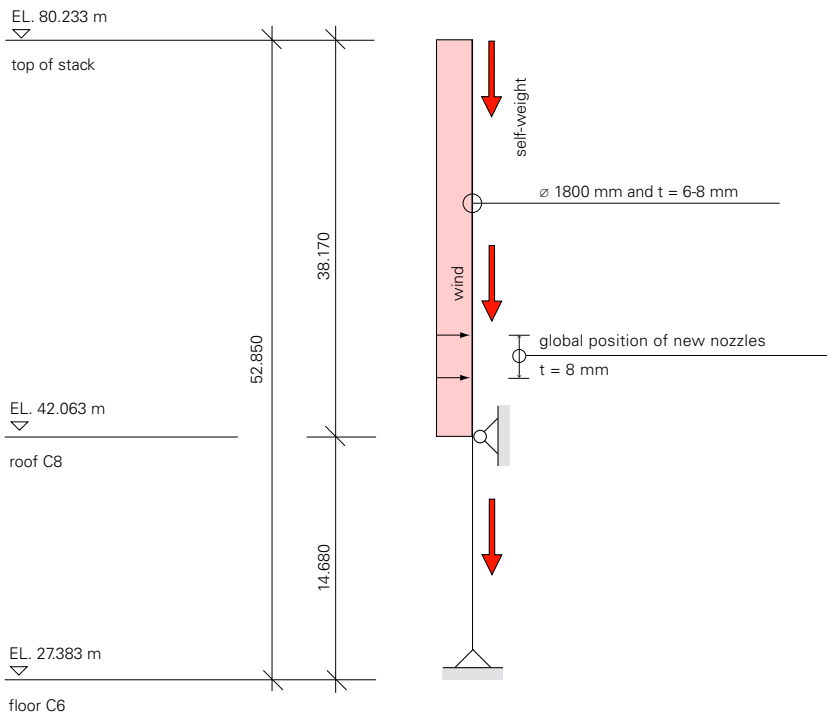
Een groot bedrijf in de voedingsmiddelenindustrie (afb. 1) heeft zijn schoorsteen gemodificeerd om emissie te monitoren in verband met nieuwe geharmoniseerde

Europese regelgeving. In de schoorsteen zijn zes nieuwe doorvoeren aangebracht om aansluitpunten (nozzles) te bevestigen waaraan meetinstrumentatie wordt gekop-

peld. Vier van de doorvoeren bevinden zich op hetzelfde niveau en op onderling gelijke afstand. De schoorsteen reikt tot 80 m hoogte en is bevestigd op de derde verdiepingvloer van de bestaande fabriek. Bij de dakdoorvoer (+ 42.100 m) is de schoorsteen horizontaal gesteund (afb. 2). Alle leidinginlaten zijn geïnstalleerd vanaf het dak.

Schoorsteenconstructie

De schoorsteen dateert uit eind jaren tachtig en bestaat uit een 8,0 mm dikke buitenbuis (Ø 1800 mm) en een 4,0 mm dikke binnenmantel (Ø 1550 mm). De binnenmantel is vervaardigd uit roestvrijstaal in verband met de temperatuur van de uitlaatgassen. De buitenbuis verzorgt de constructieve sterkte en is gemaakt van weervast staal (type A). Deze staalsoort heeft een vloeigrens van



2. Mechanicamodel schoorsteen.

355 MPa en bezit een goede weerstand tegen corrosie door de dichte oxidehuid en fosforlegering. De buitenzijde van de schoorsteen is voorzien van een cosmetische verflaag. Aan de bovenzijde van de schoorsteen zijn drie trillingsdempers geplaatst om dynamische windeffecten te reduceren.

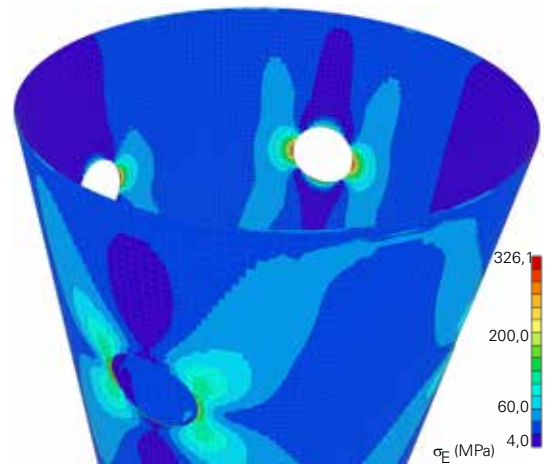
Installatie

Om de emissie van de uitlaatgassen te kunnen meten, dienen in de binnenmantel 3" (\varnothing 76,2 mm) aansluitpunten te worden geïnstalleerd. Hiervoor zijn in de buitenbuis 350 mm ronde gaten aangebracht. Na de uitvoering is het geheel afgedicht met een 8 mm dikke versterkingsring (\varnothing 590 mm) en een flexibele rubbersluiting waardoor bij thermische uitzetting van de binnenmantel geen opgelegde spanning ontstaat in de buitenbuis.

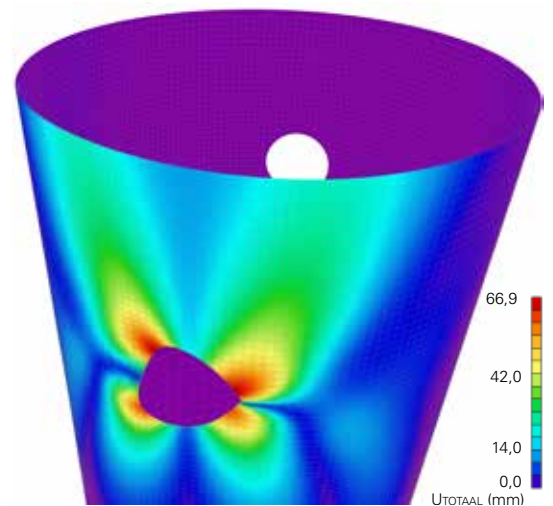
In verband met de gatverzwakkingen in de schoorsteen dienden de sterkte en knikstabiliteit te worden gecontroleerd in de uitvoeringsfase alsmede de eindsituatie. Voor de eindsituatie is onder andere bepaald of de voorgestelde verstergingswijze voldoende was of dat er aanvullende versterkingen noodzakelijk waren.

Eindige-elementenmodel

De berekeningen en analyses zijn uitgevoerd met een eindige-elementenmodel in SCIA Engineer (afb. 3a-b en 4). Hierbij is de gehele schoorsteen gemodelleerd als een dunwandige open cilinder of schaal. Een belangrijke parameter die grote invloed heeft op de nauwkeurigheid van de berekeningsresultaten is de elementgrootte van het model. Deze is bepaald met de analytische benaderings-

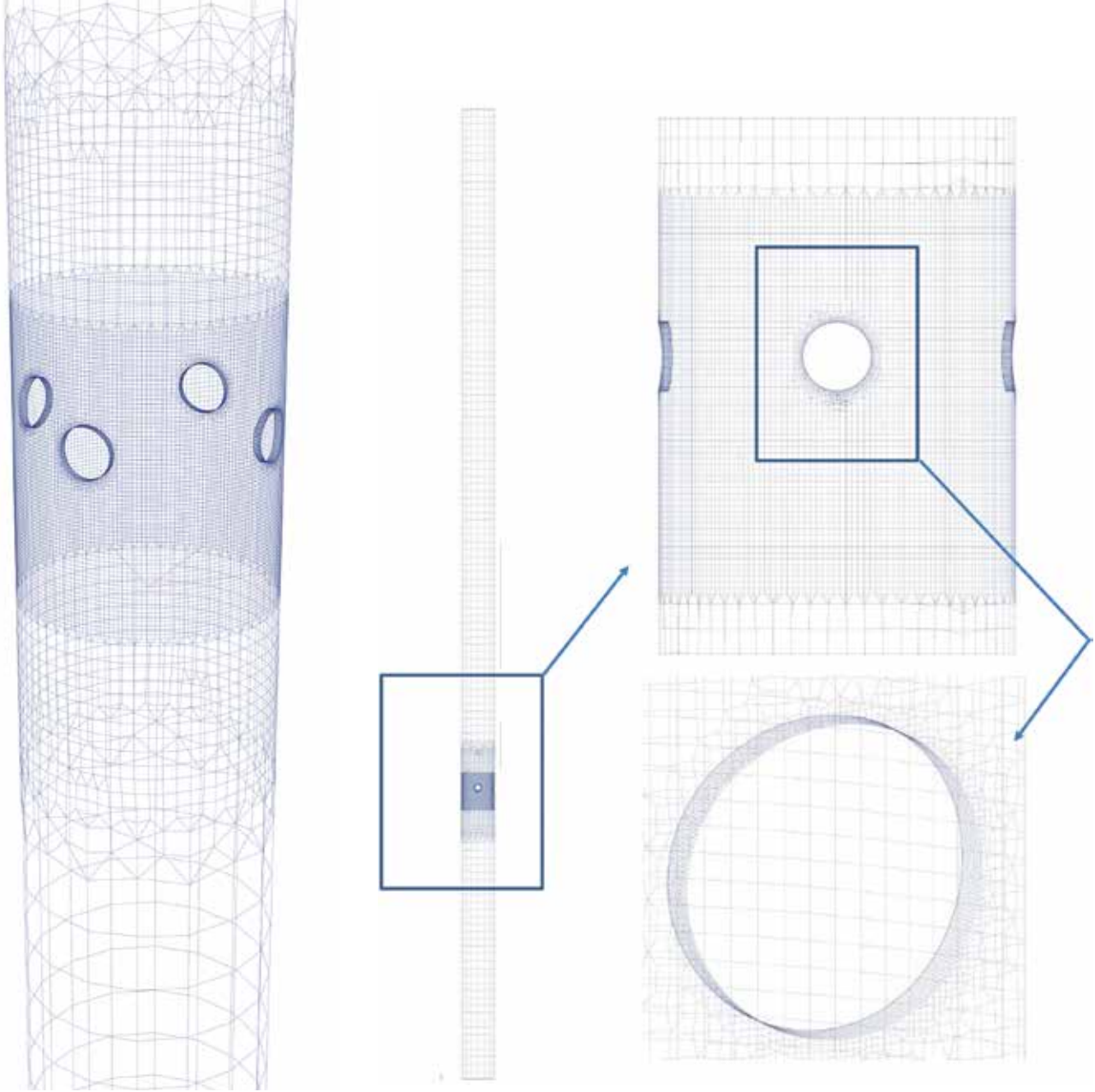


3a. Von Mises-spanningen tijdelijke fase.



3b. Maatgevende knikvorm uit stabiliteitsanalyse tijdelijke fase.

methode die berust op meerdere iteraties met gehalveerde grootte. Aan de hand van de resultaatverschillen, van bijvoorbeeld de verplaatsing, is na het iteratieve proces vastgesteld dat met een elementgrootte van 30 mm voldoende nauwkeurige berekeningsresultaten werden bereikt. Bij deze elementgrootte waren de resultaatverschillen tussen de laatste iteraties namelijk significant klein ($< 5\%$). De elementgrootte van 30 mm is toegepast over een arbitraire hoogte van 2,0 m ter plaatse van de vier gaten. Om de grootte van het rekenmodel te beperken en om daarmee rekentijd te besparen, is voor het onder- en bovengedeelte van de schoorsteen een grovere elementgrootte van 400 mm gebruikt. Om een vloeiend verloop van berekeningsresultaten te verkrijgen, zijn tussen de fijne en grove elementgrootte transitiezones gehan-



4. Elementgrootte van de schaal inclusief 14" buisversterking.

teerd. Deze zones zijn 1,0 m hoog en hier is een elementgrootte van 100 mm toegepast.

Sterkte en stabiliteit

Voor de sterktecontrole van het staal wordt als benadering de Von Mises-spanning of equivalente spanning gebruikt. Hierbij wordt de meerdimensionale spanning, die ontstaat door interne normaal- en schuifspanningen, omgerekend naar een eendimensionale spanning. Voor de controle op knikstabiliteit zijn in SCIA Engineer stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Hieruit is de maatgevende knikvorm afgeleid en de kritische belastingcoëfficiënt berekend. Deze geeft de verhouding weer tussen de bezwijklast en de optredende belasting.

Berekeningsresultaten

Aangezien het mechanicamodel van de schoorsteen een statisch bepaalde constructie betreft, kon het eindige-elementenmodel relatief eenvoudig worden gevalideerd. Maat-

gevend voor de controle van de constructie is het Von Mises-criterium. Op basis van de berekeningsresultaten is geconcludeerd dat de schoorsteen voor de eindsituatie aanvullend versterkt moet worden. In de eindsituatie werd de vloeispanning namelijk met 32% overschreden. De aanvullende versterking bestaat uit een ingelaste 14" (Ø 355 mm) stalen buis met een dikte van 10 mm. Ook diende de 8 mm dikke verstevigingsplaat (Ø 590 mm) met volledige sterkelassen te worden bevestigd. De optredende Von Mises-spanningen zijn na deze maatregelen nog maar 255 MPa. Dit is een afname van 53% ten opzichte van de onversterkte constructie. De voorgestelde versterkingen konden relatief eenvoudig worden uitgevoerd binnen de geplande onderhoudsperiode. Doordat de uitvoeringsfase slechts enkele dagen duurde is de referentieperiode voor de basiswindsnelheid aanzienlijk lager dan in de eindsituatie. Hierdoor kon de windbelasting voor de tijdelijke situatie met 40%

worden gereduceerd. De Von Mises-spanningen zijn hierdoor 321 MPa waardoor de schoorsteenconstructie voldoet op sterkte. De capaciteit van het materiaal is tot 90% benut. De kritische belastingcoëfficiënt is in deze situatie ongeveer gelijk aan 5,2 waardoor de schoorsteen ook ruimschoots voldoet op knikstabiliteit.

Toekomst

Met de schoorsteenmodificaties voldoet de opdrachtgever aan de Europese geharmoniseerde regels waarop emissie moet worden gemonitord. Met de versterkingen met ingelaste buis en verstevigingsplaat voldoet de sterkte en stabiliteit van de schoorsteenconstructie.

De toegepaste versterkingsmethodiek is effectief en duurzaam waardoor de aansluitpunten ook in de toekomst multifunctioneel gebruikt kunnen worden. De schoorsteenmodificaties zijn veilig en op tijd gerealiseerd. •