



1

# Controles noodzakelijk

**Nieuwe kleding, nieuwe laptop, nieuwe fiets? Het wordt steeds gewoner om online te shoppen. Maar wat heeft dit eigenlijk voor gevolgen voor de wereld daarachter? Bijvoorbeeld voor de enorme magazijnen die verspreid over het land als paddenstoelen uit de grond schieten. Voor de berekening van dit soort gebouwen is de bedrijfsvloer een belangrijk onderdeel, want de stellingen worden hierop geplaatst en alle interne transport vindt over de vloer plaats. Hoe bereken je zo'n vloer nou eigenlijk, of in een andere rol, hoe controleer je die berekening?**

Tekst: Niels Punt en Lex van der Meer - Foto en illustraties: ABT

Magazijnvloeren worden vaak ontworpen op basis van een Q-last, een ge-

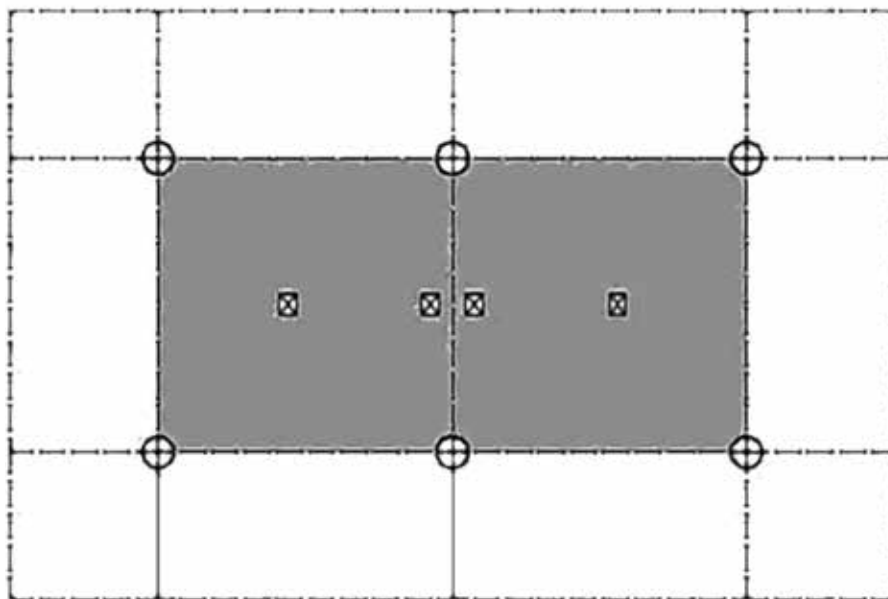
lijkmatic verdelde belasting. Dat komt echter totaal niet overeen met de

werkelijke belasting, namelijk stellingen. Een gelijkmatig verdeelde belasting kan bestaan uit bulkgoederen, of palletlasten direct op de vloer geplaatst. Stellingen vormen echter een volledig ander belastingmechanisme. Gangpaden en twee stellingen betekenen dat twee stellingpoten rug-aan-rug worden geplaatst. Het rekensommetje van een dergelijke vloer wordt wel kritischer, zeker als deze vloer op palen wordt gefundeerd. Het paalstramien wordt op basis van de Q-last gekozen, maar de draagkracht van de paal moet wel getoetst worden op de dubbele puntlast inclusief veiligheid.

Bij een dubbele puntlast van  $2 \times 90 \text{ kN}$  in gevolgklasse CC1 betekent dit dat het paal draagvermogen in ieder geval hoger moet zijn dan  $(2 \times 90) \times 1,35 = 243 \text{ kN}$ . Hier is nog geen belasting van pallets of heftrucks op de vloer in meegenomen. Dat maakt een paal diameter van 180 mm al zo goed als onmogelijk.

### Dubbele puntlast

De vloerberekening dient getoetst te worden op de dubbele puntlast, en met name een dunne vloer op een klein paalstramien is kritisch. Als de in de grond gevormde palen  $\text{Ø}180 \text{ mm}$  op basis van een Q-last van  $50 \text{ kN/m}^2$  op een raster van  $1,9 \text{ m}^2$  worden geplaatst, moet dit veld worden getoetst op de optredende puntlast, en niet alleen op de Q-last. Bij de toets van de puntlast moet niet alleen het steunpuntmoment worden getoetst, maar zeker ook het veldmoment, omdat dat vaak kritisch is of zelfs wordt overschreden. Dat komt de duurzaamheid



niet ten goede in het geval van scheurvorming, maar het kan ook tot bezwijken leiden en in het geval van een stellingenmagazijn kan dat persoonlijk letsel tot gevolg hebben.

Controleer dus niet alleen de gemaakte sommetjes, maar bedenk vooral of alle mogelijke risico's getoetst zijn.

### Praktijkvoorbeeld

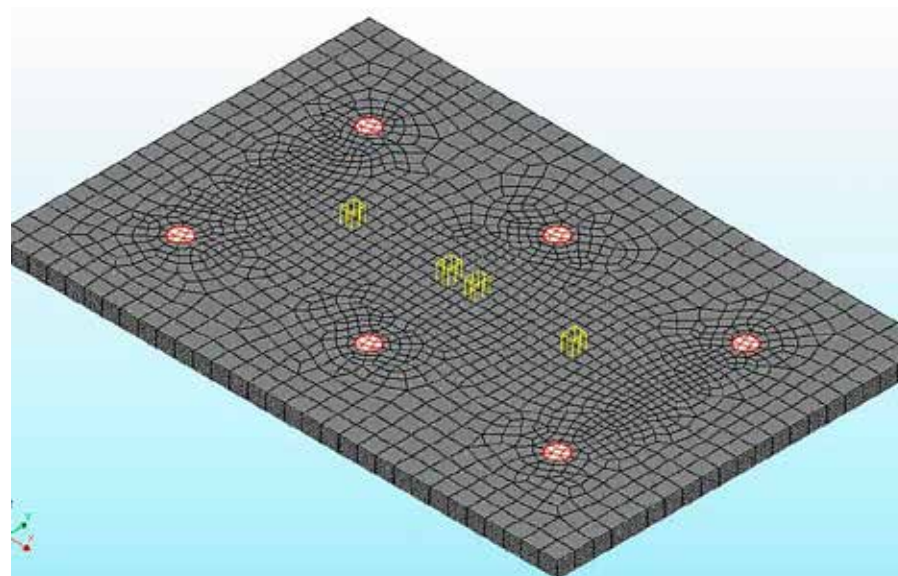
Een praktijkvoorbeeld waarbij de uitgangspunten als volgt zijn: een veranderlijke vloerbelasting  $Q=50 \text{ kN/m}^2$ ,

en puntlasten van  $2 \times 95 \text{ kN}$  rug-aan-rug, dus  $190 \text{ kN}$  bij elkaar opgeteld omdat de puntlasten op slechts een afstand van  $300 \text{ mm}$  staan. Het vloerstramien is  $2,05 \times 2,05 \text{ m}^2$ .

Bij de configuratie van twee jukken waarbij de stellingen rug-aan-rug staan (zie afbeelding 2), leidt het uitsmeren van de puntlasten over twee stramienen van de vloer tot een equivalente Q-last van  $4 \times 95 / 2 / 2,052 = 45 \text{ kN/m}^2$ . Dit is dus een fractie lager dan de veranderlijke vloerbelasting. Op basis van deze beschouwing is het belastinggeval met de puntlasten niet maatgevend. Uit het volgende zal blijken dat het tegendeel waar is.

Om werkelijk de puntlasten te toetsen, kan de werkelijkheid het best worden benaderd door een EEM-berekening op te stellen, waarin de parameters van de vloer, de wapening, de palen en de puntlasten met hun eigenschappen worden gemodelleerd. Natuurlijk is de capaciteit van de vloerdikte en wapening daarbij belangrijk, maar het gekozen paalstramien speelt ook een rol. Dat bepaalt namelijk hoe groot het veld is waarover de kracht kan worden verspreid. Daar geldt dus voor dat

- 1 Het berekenen van puntlasten van magazijnvloeren is van belang.
- 2 Schematische weergave vloer.
- 3 EEM-model van een vloer met puntlastenstramien.

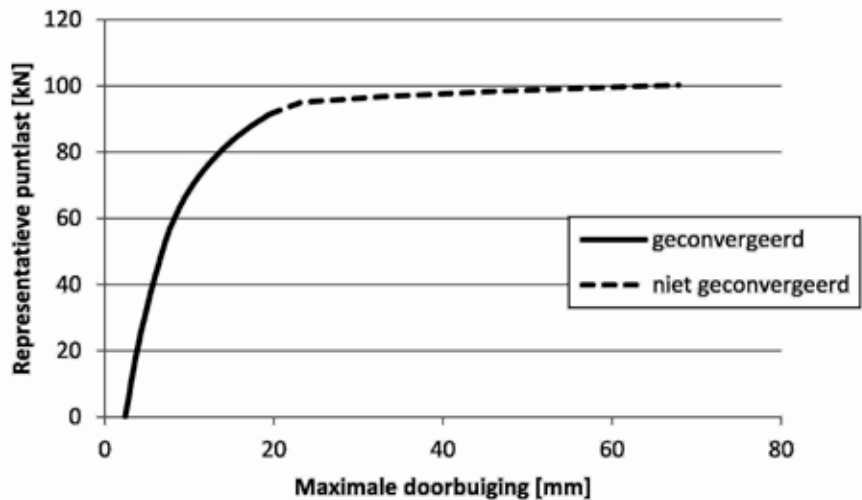


3

bij een kleiner veld het vloeroppervlak waarover de lasten kunnen worden verdeeld ook kleiner is en dat een kleiner paalstramien dus niet per definitie gunstiger is.

Een voorbeeld van EEM-model van een vloer met puntlastenstramien is te zien in afbeelding 3. Het grijze grid is de vloer, met daarop in rood aangegeven de positie van de palen en in geel aangegeven de puntlasten uit stellingen. De gele blokken die het dichtst bij elkaar staan, symboliseren de stellingpoten die rug-aan-rug staan, de overige poten grenzen aan een gangpad. Dit is de meest voorkomende belasting, maar de puntlasten kunnen ook worden gecombineerd met een palletlast onder de stellingen en een heftruck in het gangpad, of iedere andere gewenste belasting.

In een EEM-model wordt een klein segment uit de vloer gemodelleerd



waarbij aan de randen van het segment dusdanige eigenschappen (symmetrierandvoorwaarden) worden toegekend dat dit precies gelijk is aan een doorgaande vloer.

Aan de onderzijde van de vloer worden de palen gemodelleerd waarna de

berekening kan worden uitgevoerd. Daarbij wordt de belasting stapsgewijs steeds verder opgevoerd tot aan het punt van bezwijken van de constructie. Omdat niet-lineair materiaalgedrag wordt meegenomen in de berekening, kan bezwijken niet op basis van spanningen worden vastgesteld. De spanning kan immers de opgegeven sterkte niet overschrijden.

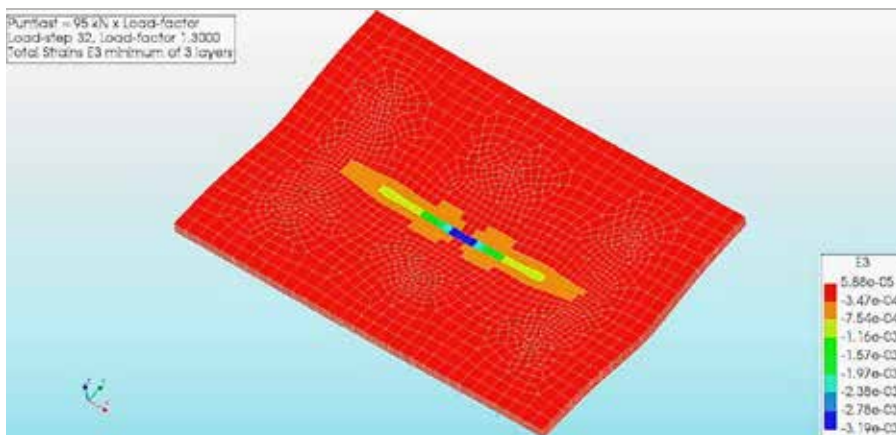
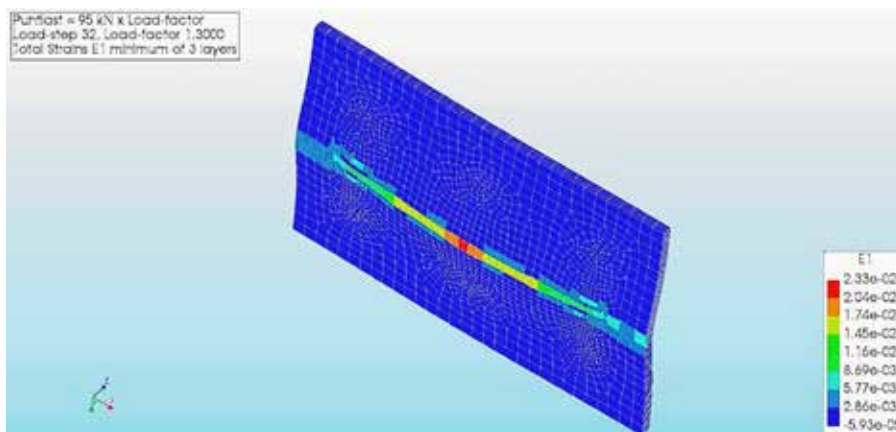
### Reklimieten

Reklimieten kunnen wel worden gebruikt om bezwijken te definiëren. Daarnaast is het belangrijk om te controleren of de niet-lineaire berekening voldoende nauwkeurig is (acceptabele convergentie van het iteratieproces). De volgende bezwijkcriteria worden doorgaans gehanteerd:

- De rek van beton onder druk is groter dan 3,5 procent;
- De rek van staalvezelbeton onder trek is groter dan 2,5 procent;
- De rek van wapening onder trek is groter dan 4,5 procent;
- De berekening heeft geen acceptabele convergentie meer.

Het scheuren van beton en het vloeien van wapening verlagen de stijfheid van de vloer. Dit wordt inzichtelijk gemaakt met behulp van een lastzakingsdiagram (zie afbeelding 4).

In dit diagram is de maximale doorbui-



ging van de vloer weergegeven ten opzichte van de representatieve waarde van één puntlast. Het gestippelde traject betreft niet-geconvergeerde belastingstappen. Op basis van dit diagram is de maximaal opneembare puntlast uit een stelling 90 kN per stellingpoot. In de EEM-berekening moeten bij de rekenwaarde van deze puntlast (1,35 x 90 kN) de reklimieten worden gecontroleerd.

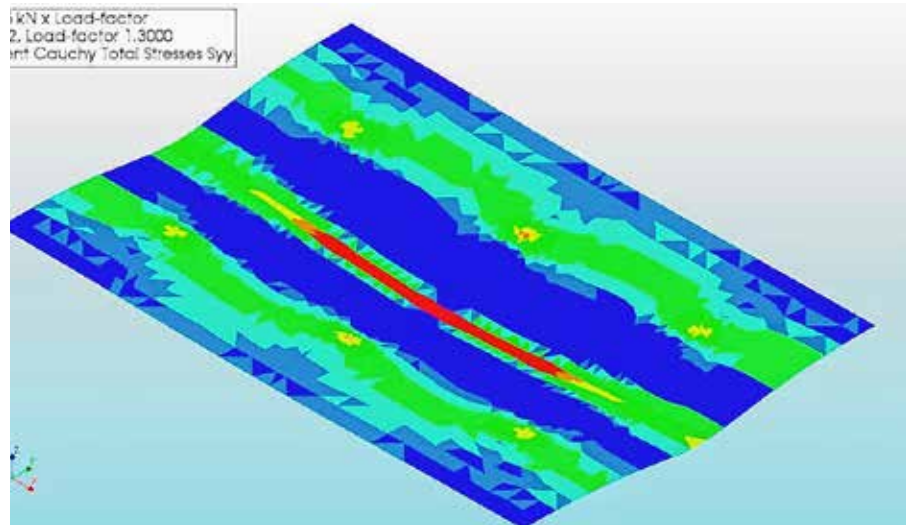
De laatste geconvergeerde stap van de berekening hoort bij een representatieve puntlast van  $95 \times 1,3 / 1,35 = 91,5$  kN. Afbeelding 5 laat zien dat de maximale rek in het beton onder druk in het midden van de vloer een waarde bereikt van 3,2 procent. De drukzone voldoet hiermee nog net.

Afbeelding 6 toont de onderzijde van de vloer. Bij dezelfde belastingstap (representatieve puntlast 91,5 kN) is de rek onder trek in het staalvezelbeton maximaal 2,3 procent. De trekzone voldoet hiermee ook nog net.

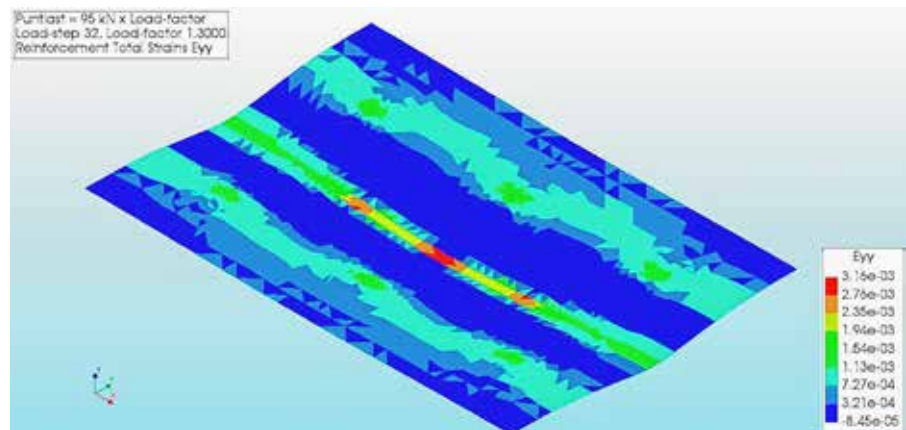
Afbeelding 7 en 8 tonen (a) de spanning en (b) de rek in de bovenwapening. Ondanks dat de bovenwapening zich vlakbij de neutrale lijn bevindt, vloeit deze lokaal. De maximale rek in de bovenwapening is 0,32 procent, inderdaad groter dan  $435/200.000 = 0,22$  procent, de rek waarbij de wapening gaat vloeien.

## Conclusie

Uit het lastzakingsdiagram volgde een representatieve opneembare puntlast van 91,5 kN. De rekken van het staalvezelbeton en de wapening bevestigen dat dit een situatie dicht bij



7



8

bezwijken betreft. De puntlast van 95 kN is dus net niet opneembaar; de bijbehorende unity check is  $95/91,5 = 1,04$ .

Door de werkelijke belastingen op de vloer te plaatsen en de vloer te modelleren met zo realistisch mogelijke eigenschappen, wordt de berekening waarheidsgetrouw. De EEM-berekening laat zien dat de puntlasten net niet opneembaar zijn door de gemiddelde vloer, terwijl op basis van de equivalente Q-last de conclusie werd getrokken dat de puntlasten niet maatgevend zijn. In de praktijk komt het ook regelmatig voor dat de daadwerkelijke toetsing van de puntlasten achterwege blijft.

Aangezien fulfilment (het hele logistieke verhaal van magazijn tot klant)

steeds meer gecentraliseerd wordt en distributiecentra groter van afmetingen en ook steeds hoger worden, neemt de vraag naar specifiek ontwerpen en een goede beschouwing van de krachten toe.

Daarbij komt het steeds vaker voor dat naast een specifieke puntlast ook eisen aan de vervorming van een vloer worden gesteld. Dit maakt dat hoogwaardige kennis van alle aspecten van bedrijfsvloeren ontwerpen steeds belangrijker wordt, en dat hoogwaardig rekenen noodzakelijk wordt.

*Niels Punt is projectleider Civiele Techniek bij ABT, Lex van der Meer is specialist Constructies, Civiele Techniek bij ABT.*

- 4 Weergave maximale doorbuiging van de vloer weergegeven ten opzichte van de representatieve waarde van één puntlast.
- 5 Weergave drukzone maximale rek in beton.
- 6 Onderzijde van de vloer.
- 7 Weergave van de spanning in de bovenwapening.
- 8 Weergave van de rek in de bovenwapening.