

Vergelijking Q-last en puntlasten op magazijnvloeren

# Puntlasten op vloeren vaak onderschat



*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?*

Magazijnvloeren worden vaak ontworpen op basis van een Q-last, een gelijkmatig verdeelde belasting. Dat komt echter 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 belastingsmechanisme. Zo leidt een indeling met gangpaden en aan beide zijden een stelling ertoe dat twee stellingpoten rug-aan-rug en dus naast elkaar op de vloer staan.

1 Voor de berekening van magazijnen is de bedrijfsvloer een belangrijk onderdeel

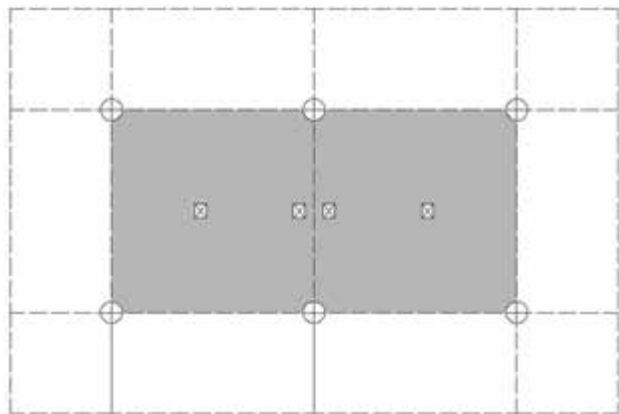
### Funderingspalen

Als de vloer op palen is gefundeerd, moet de krachtsafdracht naar die palen kritisch worden beoordeeld. Het paalstramien wordt op basis van de Q-last gekozen. Maar de draagkracht van de paal moet wel worden getoetst op de eerdergenoemde dubbele puntlast, inclusief veiligheid. Want die dubbele puntlast moet volledig door één paal kunnen worden opgenomen. Bij een dubbele puntlast van bijvoorbeeld  $2 \times 95$  kN (een gebruikelijke waarde in magazijnen) in gevolgklasse CC1 betekent dit dat het paaldragvermogen in ieder geval hoger moet zijn dan  $(2 \times 95) \times 1,35 = 257$  kN. Hier is nog geen belasting van pallets of heftrucks op de vloer in meegenomen. Dat maakt een paaldiameter van 180 mm al zo goed als onmogelijk.

### Vloeren

Ook de vloeren moeten worden getoetst op de dubbele puntlast. Uit ervaring blijkt dat met name een dunne vloer op een klein paalstramien kritisch is. Als de in de grond gevormde palen  $\text{Ø}180$  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 steunpuntsmoment worden getoetst, maar zeker ook het veldmoment, omdat dat vaak kritisch is of zelfs wordt overschreden. Dat

- 2 Configuratie van twee jukken rug-aan-rug  
3 EEM-model van de vloer met palen (rood) en puntlasten (geel)



2

komt de duurzaamheid niet ten goede in het geval van scheurvorming, maar het kan ook tot bezwijken leiden. In het geval van een stellingenmagazijn kan dat persoonlijk letsel tot gevolg hebben. Dus niet alleen de gemaakte sommetjes moeten goed worden gecontroleerd, er moet ook worden bedacht of alle mogelijke risico's zijn getoetst.

### Praktijkvoorbeeld

Om de invloed van puntlasten te onderbouwen, volgt een praktijkvoorbeeld: de veranderlijke vloerbelasting bedraagt  $Q = 50 \text{ kN/m}^2$  en puntlasten zijn  $2 \times 95 \text{ kN}$  rug-aan-rug. Deze puntlasten kunnen als een last van  $190 \text{ kN}$  worden beschouwd omdat ze op slechts een afstand van  $300 \text{ mm}$  staan. Het vloerstramien is  $2,05 \times 2,05 \text{ m}^2$  (fig. 2).

### Q-last

Het uitsmeren van de puntlasten over twee stramien van de vloer leidt tot een equivalente Q-last van  $4 \times 95 / 2 / 2,05^2 =$

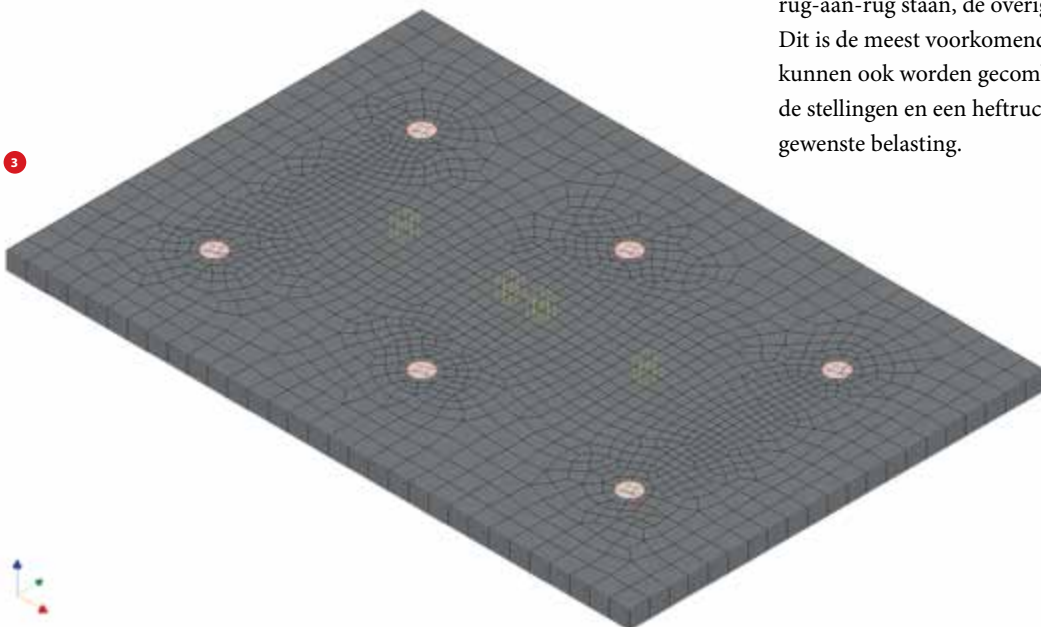
$45 \text{ kN/m}^2$ . Dit is dus een fractie lager dan de veranderlijke vloerbelasting. Op basis van deze beschouwing is het belastingsgeval met de puntlasten niet maatgevend. Uit het volgende zal blijken dat het tegendeel waar is.

### EEM-berekening

Om de daadwerkelijke invloed van de puntlasten te toetsen, kan de werkelijkheid het best worden benaderd door een niet-lineaire EEM-berekening op te stellen. Hierin worden de parameters van de vloer, de wapening, de palen en de puntlasten met hun eigenschappen gemodelleerd. Natuurlijk is de capaciteit van de vloer 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. Er geldt dus dat bij een kleiner veld het vloeroppervlak waarover de lasten kunnen worden verdeeld kleiner is en dat een kleiner paalstramien dus niet per definitie gunstiger is.

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. Het EEM-model is opgebouwd uit kwadratische volume-elementen. Over de dikte van de vloer zijn zes elementen toegepast. De maximale elementgrootte in het vlak van de vloer is  $200 \text{ mm}$ . Ter plekke van de palen en de puntlasten is het elementennet verfijnd.

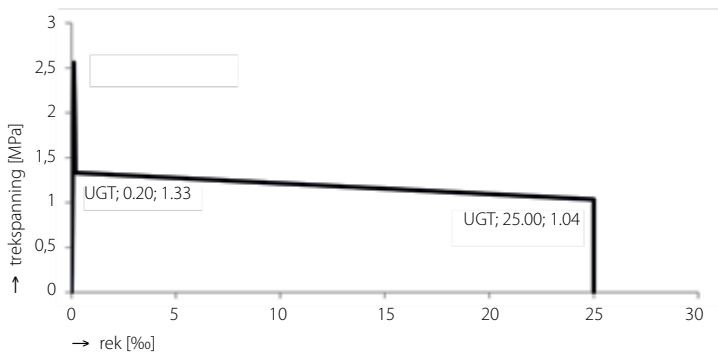
Een voorbeeld van een EEM-model van een vloer met puntlastenstramien is te zien in figuur 3. Het grijze grid is de vloer, met daarop in rood aangegeven de positie van de palen en in het geel de puntlasten uit stellingen. De gele blokken die het dichtst bij elkaar staan, symboliseren de stellingpoten 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 elke andere gewenste belasting.



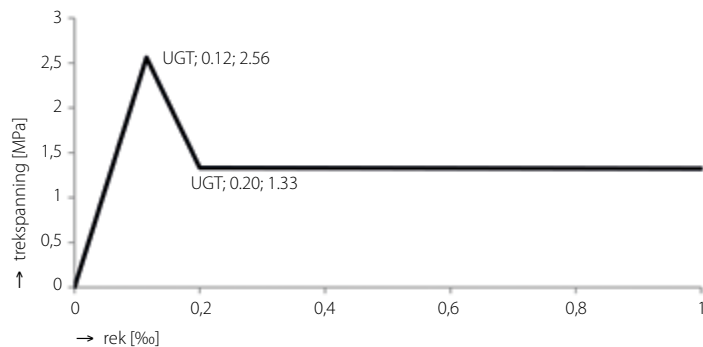
3



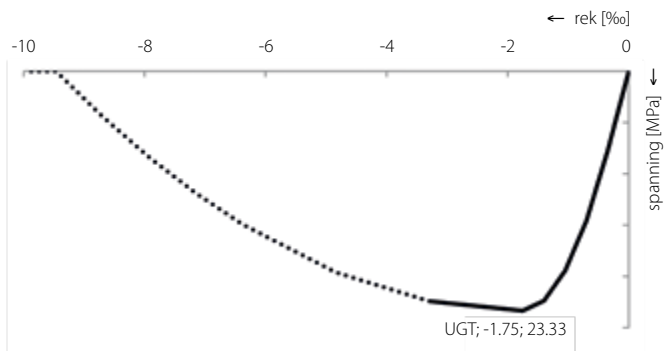
- 4 Staalvezelbeton onder trek (overzicht)    7 Wapeningsstaal
- 5 Staalvezelbeton onder trek (detail)      8 Lastzakkingsdiagram van de vloer
- 6 Staalvezelbeton onder druk



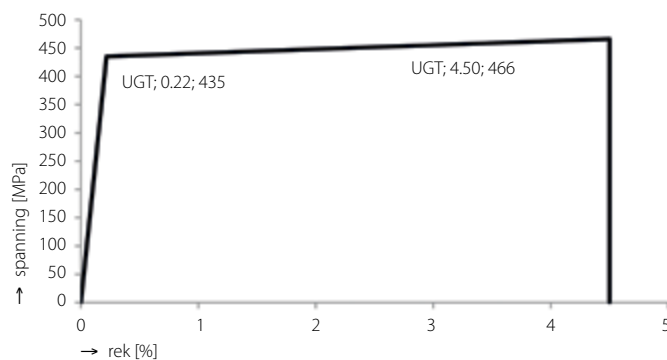
4



5



6



7

### Reklimieten

In de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

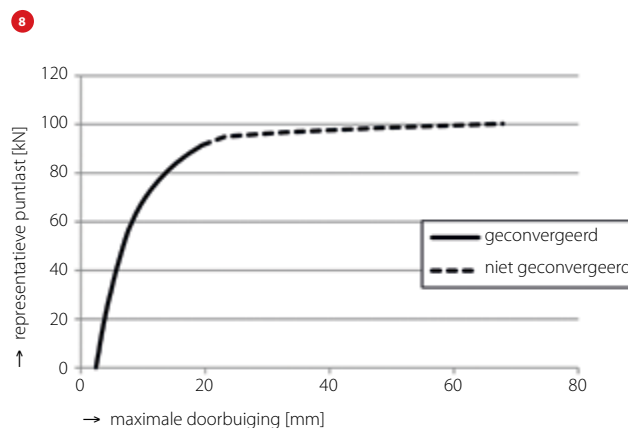
- betonsterkteklasse      C35/45
- staalvezels              35 kg/m<sup>3</sup>
- lengte staalvezels      50 mm, met eindverankering
- $f_{eqm1}$                   3,7 MPa
- $f_{eqm4}$                   3,5 MPa
- dekking betonstaal    40 mm
- bovennet                Ø7-100
- bijlegwapening boven   Ø8-150
- verticale paalstijfheid   30 MN/m

Het spanning-rekdiagram uit CUR-Aanbeveling 111 is gehanteerd. De diagrammen uit dit voorbeeld zijn weergegeven in figuur 4 t/m 7. De belasting wordt stapsgewijs steeds verder opgevoerd tot aan het punt van bezwijken van de constructie. Omdat niet-lineair materiaalgedrag wordt mee-genomen in de berekening, kan bezwijken niet op basis van spanningen worden vastgesteld. De spanning kan immers de opgegeven sterkte niet overschrijden. Reklimieten kunnen wel worden gebruikt om bezwijken te definiëren. Daarnaast is het belangrijk te controleren of de niet-lineaire berekening voldoende nauwkeurig is (acceptabele convergentie van het iteratieproces).

De volgende bezwijkcriteria worden doorgaans gehanteerd:

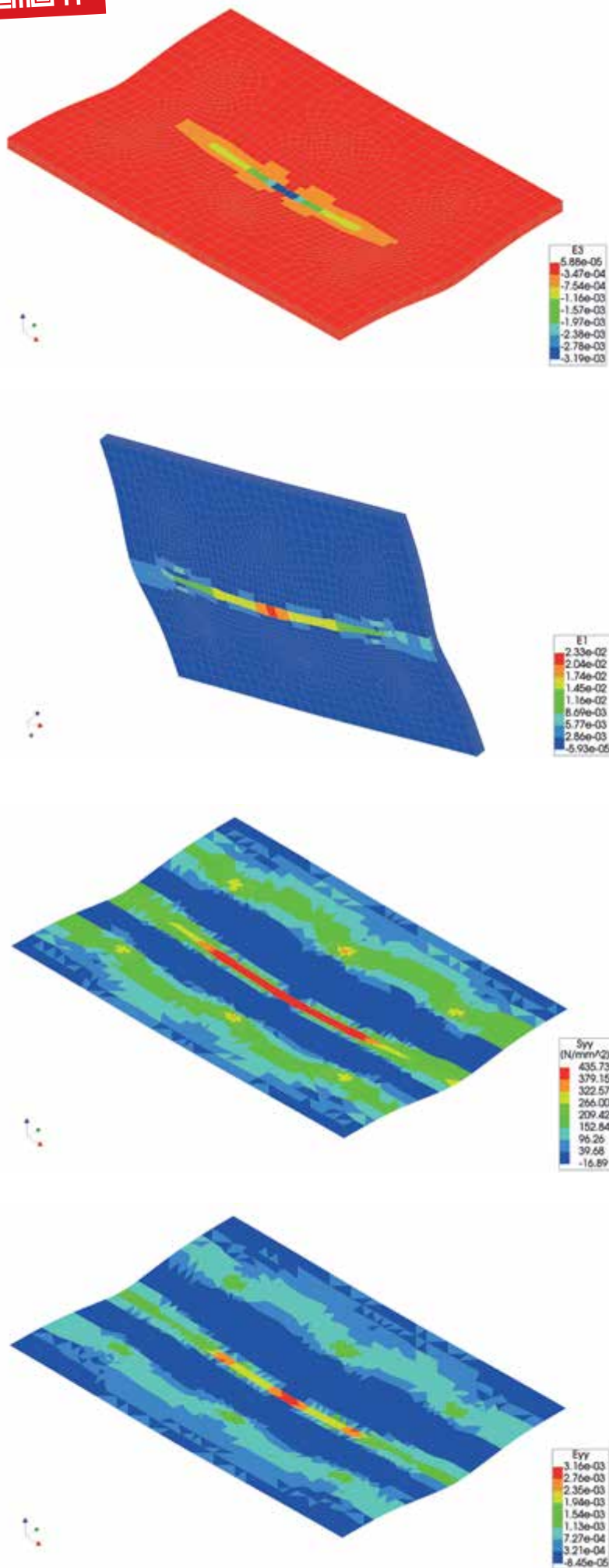
- De rek van beton onder druk is groter dan 3,5%.
- De rek van staalvezelbeton onder trek is groter dan 2,5%.
- De rek van wapening onder trek is groter dan 4,5%.
- De berekening heeft geen acceptabele convergentie meer.

Het scheuren van beton en het vloeien van wapening verlagen de stijfheid van de vloer. Dit wordt inzichtelijk gemaakt met behulp van een lastzakkingsdiagram, dat volgt uit de EEM-berekening (fig. 8). In dit diagram is de maximale doorbuiging



8





- 9 Maximale rek onder druk beton; maximale waarde is 3,2‰
- 10 Maximale rek in de trekzone maximale waarde is 2,3‰
- 11 Spanning in de bovenwapening
- 12 Rek in de bovenwapening

van de vloer weergegeven ten opzichte van de representatieve waarde van één puntlast. Het gestippelde traject betreft niet-geconvergeerde belastingsstappen. Op basis van dit diagram is de maximaal opneembare puntlast uit een stelling 95 kN per stellingpoot. Dit betreft de laatste geconvergeerde belastingsstap. Na controle van de reklimieten blijkt dat deze bij een puntlast van 95 kN worden overschreden. Op basis van de reklimieten is de maximaal opneembare puntlast uit een stelling gelijk aan 91,5 kN. De reklimieten worden in de EEM-berekening gecontroleerd bij de rekenwaarde van deze puntlast ( $1,35 \times 91,5 = 123,5$  kN). Figuur 9 laat zien dat de maximale rek in het beton in de drukzone in het midden van de vloer een waarde bereikt van 3,2‰. De drukzone voldoet hiermee nog net.

Figuur 10 toont de onderzijde van de vloer. Bij dezelfde belastingsstap (representatieve puntlast 91,5 kN) is de rek in de trekzone van het staalvezelbeton maximaal 2,3‰. De trekzone voldoet hiermee ook nog net.

Figuur 11 en 12 tonen de spanning en de rek in de bovenwapening. Hoewel de bovenwapening zich vlakbij de neutrale lijn bevindt, vloeit deze lokaal. De maximale rek in de bovenwapening is 0,32%, inderdaad groter dan  $435 / 200.000 = 0,22\%$ , de rek waarbij de wapening gaat vloeien.

## Conclusie

Uit het lastzakkingsdiagram volgde een representatieve opneembare puntlast van 91,5 kN. De rekken van het staalvezelbeton en de wapening bevestigen dat dit een situatie dicht bij 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 gemodelleerde 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 centraliseert en distributiecentra groter en hoger worden, neemt de vraag naar specifiek ontwerpen en een goede beschouwing van de krachten toe. Daarbij worden er (naast een specifieke puntlast) ook steeds meer eisen aan de vervorming van een vloer gesteld. Hierdoor wordt hoogwaardige kennis van alle aspecten van bedrijfsvloeren steeds belangrijker – en hoogwaardig rekenen dus noodzakelijk. ☒