

---

**Masterproeftitel:** Dwarskrachtcapaciteit van voorgespannen holle vloerelementen – invloed van massieve kanalen op de dwarskracht-drukbreukcapaciteit

**Studenten:** ing. Iselle De Beuckeleer en ing. Ruben Van Dessel

**Promotoren:** prof. dr. ir. Ann Van Gysel (KU Leuven), dr. ir. Tom Molken (KU Leuven), ing. Bart Hendrikx (FEBE) en ing. Pieter van der Zee (Ergon nv)

**Academiejaar:** 2020-2021

---

## Samenvatting

Deze masterproef bestudeert de invloed van massieve kanalen op de dwarskracht-drukbreukcapaciteit van voorgespannen holle vloerelementen, ook voorgespannen welfsels genoemd. Tijdens dwarskrachtproeven kunnen vier verschillende bezwijkmechanismen optreden in twee verschillende zones. Enerzijds is er de ongescheurde zone waar dwarskracht-trekbreuk kan voorkomen. Anderzijds is er de gescheurde zone waar dwarskracht-drukbreuk, verankeringsbreuk en breuk door buiging van elkaar moeten onderscheiden worden.

In voorgaande proefprogramma's is al meermaals aangetoond dat de dwarskracht-trekbreukcapaciteit verhoogd kan worden door de kanalen tijdens de productie open te maken over een bepaalde lengte en op de werf op te vullen met tweede fase beton. De verhoging van de dwarskracht-drukbreukcapaciteit daarentegen is de afgelopen jaren nauwelijks onderzocht. Hieruit ontstond de stimulans om te onderzoeken of de opgevulde kanalen eveneens een gunstige invloed zouden hebben op de dwarskracht-drukbreukcapaciteit.

Voorafgaand aan de dwarskrachtproeven worden de theoretische bezwijklasten voor alle mogelijke faalvormen begroot op basis van een normtechnisch rekenmodel conform Eurocode 2 (NBN EN 1992-1-1:2005) en de productnorm (NBN EN 1168:2005+A3:2011) om de meest maatgevende faalvorm te bepalen. Met behulp van de proefopstelling voor productattestering uit bijlage J van deze norm werd een parameterstudie uitgevoerd om na te gaan welke factoren bevorderlijk zijn voor het gewenste bezwijkmechanisme. Een vergelijkende studie van het aantal voorspanstrengen, de oplegbreedte en de positie van de vjzellast resulteert in een optimale proefopstelling om dwarskracht-drukbreuk te initiëren. Omwille van onderzoeksdoeleinden kan er uiteraard van de voorgeschreven proefopstelling afgeweken worden.

Het proefprogramma bestaat uit het testen van zes voorgespannen welfsels van het type SP265-8-2X van fabrikant Ergon. Een verdere opdeling van de proefstukken op basis van de opvulconfiguratie leidt tot drie categorieën. Er zijn twee proefstukken zonder, twee proefstukken met twee, en twee proefstukken met drie opgevulde kanalen. Aan elk van deze welfsels wordt samen met de kanaalvulling een licht gewapende randbalk gestort om de praktische plaatsing van de welfsels op de werf te simuleren. Hierdoor is ook voldaan aan de eis dat elke dam in contact staat met één opgevuld kanaal of één opgevulde voeg. Bovendien zorgt de randbalk voor een consistentere scheurenpatroon in de afschuifzone.

De welfsels (met een totale lengte van 4 m en een overspanningslengte van 3,85 m) worden onderworpen aan een driepuntsbuigproef. De geconcentreerde last wordt met een hydraulische vijzel als lijnlast aangebracht over de breedte van het welfsel op 90 cm van het steunpunt en opgemeten met een load cell. De verplaatsingen onder deze lijnlast, de steunpuntszettingen en de slip van de voorspanwapening worden geregistreerd door LVDT's. Met behulp van inclinometers kunnen de hoekrotaties na post-processing berekend worden. Aangezien de dwarskrachtscheuren snel kunnen optreden en het bezwijken hierna snel kan volgen, wordt het scheurenpatroon opgevolgd door middel van videocamera's en een high speed camera.

Van de zes proeven worden twee proeven uitgesloten in de besluiten. Een wijziging van de proefopstelling na de eerste test en een onverwacht bezwijken bij de laatste proef hebben hiertoe aanleiding gegeven. Bij de overige proefstukken kan na eliminatie van de verschillende faalvormen besloten worden dat ze zijn bezweken door een dwarskracht-drukbreuk. Deze conclusie volgt uit het typerende verloop van het kracht-doorbuigingsdiagram, een analyse van het scheurenpatroon en de verbrijzeling van het beton in de bovenflens. Na elke proef rees de vraag of verankeringsbreuk zich voordeed, maar met behulp van de slipmetingen kan dit ontkracht worden. Het fenomeen verankeringslip daarentegen zorgde voor een stelselmatige sliptoename.

Uit de proeven kan vooreerst geconcludeerd worden dat het opvullen van de kanalen de scheurlast niet beïnvloedt. De experimentele scheurlast schommelde steeds rond een gemiddelde waarde van 310 kN met een standaarddeviatie van 3 kN. De opgevulde kanalen dragen ook niet bij tot een verhoging van de buigstijfheid van het proefstuk in de niet-gescheurde toestand. De gelijkaardige E-modulus in het elastisch gebied van de kracht-doorbuigingsdiagramma bevestigt deze waarneming.

Het normtechnisch rekenmodel voorspelde een toename van de dwarskracht-drukbreukcapaciteit naarmate er meer kanalen gevuld worden. Ook dit werd niet waargenomen in de proefresultaten. In de gescheurde toestand lopen de scheuren volledig door het opvulbeton waardoor de haakweerstand van de granulaten, of ook aggregate interlock, afneemt bij een toenemende scheurwijdte. Vanaf dit moment draagt de kanaalvulling minder bij aan de dwarskracht-drukbreukcapaciteit van de doorsnede. Het structurele evenwicht wordt dan hoofdzakelijk in stand gehouden door de voorspanstrengen in de onderflens en de ongescheurde betondrukzone in de bovenflens. Deze vaststelling is een verklaring voor de kleine variatie tussen de bezwijklasten van de proefstukken zonder, met twee en met drie massieve kanalen. Uit de resultaten van de vier weerhouden proefstukken volgt een gemiddelde bezwijklast van 443 kN met een standaarddeviatie van 12 kN. Er kan dus eveneens besloten worden dat de opgevulde kanalen niet bijdragen tot de dwarskracht-drukbreukcapaciteit. Het is bijgevolg overbodig om massieve kanalen te voorzien als dwarskracht-drukbreuk het maatgevende faalmechanisme is.

Zowel de scheurlasten als de bezwijklasten liggen opvallend hoger dan de voorspelde waarden uit het rekenmodel. De gehanteerde formules leveren zeer conservatieve resultaten op waardoor grote reserves aanwezig zijn bovenop de standaard veiligheidsfactoren van de belasting en de materialen. Dit doet de vraag rijzen of de huidige formules wel geschikt zijn om de scheurlast en de dwarskracht-drukbreukweerstand voor voorgespannen welfsels te begroten.

Door de beperking op het aantal proeven binnen het tijdsbestek van deze masterproef is het, ondanks de zeer kleine variaties, aanbevolen om uitgebreid vervolgonderzoek uit te voeren ter bevestiging van deze waarnemingen en met de ontwikkeling van een performanter rekenmodel als finale doelstelling.