

Pumpverhalten moderner Betone – Charakterisierung und Vorhersage

Pumping behaviour of modern concretes – Characterisation and prediction

Zur Erlangung der Würde eines

DOKTOR-INGENIEURS

der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
eingereichte

DISSERTATION

von

M.SC. EGOR SECRIERU

aus Leova

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2018

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine

Korreferent: Prof. Dr. Ir. Geert De Schutter

Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus

Dresden 2018

Zusammenfassung

Das Pumpen stellt die effektivste Methode für das Fördern und Einbringen von Frischbeton auf der Baustelle dar. Trotz der in den letzten Jahren erreichten deutlichen Fortschritte auf betontechnologischem Gebiet existieren für die Beurteilung der Pumpbarkeit von Beton bisher weder offiziell gültige Vorschriften noch abgesicherte theoretische Grundlagen, die eine zielsichere Vorhersage des Pumpverhaltens von Normal- als auch Hochleistungsbetonen ermöglichen. Die vorliegende Arbeit schließt entsprechende Wissenslücken und befasst sich gezielt mit dem Pumpen moderner Betone. Grundlegenden Erkenntnisgewinn stellt die Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten, baustellengerechten Prüfmethodik zur Charakterisierung und Vorhersage des Pumpverhaltens von Frischbeton dar.

Der Untersuchungsfokus richtet sich auf die Wirkung der sich beim Pumpvorgang ausbildenden Gleitschicht. Ein umfangreiches Untersuchungsprogramm gestattet die Erfassung und Quantifizierung der Eigenschaften dieser Schicht. Sie bestimmen infolge deutlicher Reduzierung der Reibung an der Grenzfläche zwischen Rohrwandung und Beton die Betonströmung entscheidend. Bewiesen wird, dass Betonzusammensetzung und rheologische Eigenschaften der Gleitschicht maßgebende Auswirkungen auf den Pumpvorgang haben, da sich die pumpdruckinduzierte Scherspannung in dieser Schicht konzentriert.

Weiterhin erfolgt sowohl eine analytische als auch numerische Charakterisierung der Betonströmung im Rohr. Nachgewiesen wird, dass sich beim Pumpvorgang betonspezifisch unterschiedliche Strömungsarten einstellen, die bereits bei niedrigen Durchflussmengen definiert sind: Pfropfenströmung in hochduktilen Betonen, partielle Scherung des Kernbetons in Normalbetonen und signifikante Scherung in selbstverdichtenden Betonen.

Aus großtechnisch durchgeführten Pumpversuchen gewonnene Ergebnisse werden dem derzeit vorhandenen, verbesserungsbedürftigen Betondruck-Leistungs-Nomogramm zur Einstellung von Parametern an der Betonpumpe gegenübergestellt. Die Vorhersagekapazität des Nomogramms kann durch den Ersatz der Ausbreit- bzw. Setzfließmaßangaben mit Viskositätsangaben der Gleitschicht erweitert und verifiziert werden.

Des Weiteren werden baustellenbezogene Herausforderungen im Gesamtprozess des Betonpumpvorgangs, u. a. Vorbereitung der Rohrleitung vor dem Pumpen, Auftreten von Stopfern und Endreinigung exemplarisch dargestellt sowie Empfehlungen für die Praktiker erarbeitet.

Schließlich wird der Transfer der in dieser Arbeit entwickelten wissenschaftlich basierten und anwendungsbereiten Methodik als Teil des zukünftigen Konzeptes für die in-situ Rheologie-Überwachung hinsichtlich einer angestrebten vollständigen Automatisierung von Fertigungs- und Einbringprozessen von Beton mit Nachdruck empfohlen.

Abstract

Pumping is the most efficient transportation and placing method for concrete. Despite the immense progress in the field of concrete technology in the last years, so far there are still neither official regulations nor verified theoretical foundations to be used for the assessment and accurate prediction pumping behaviour of ordinary and high performance concretes. This thesis aims at purposefully investigating pumping of modern concretes and bridging the existing knowledge gap.

The main achievement of the present research is the development and verification of a site-compliant and scientifically based methodology for characterisation and prediction of fresh concrete pumping behaviour.

The research focus is set on the importance of the forming lubricating layer (LL) during pumping. Within an extended experimental program, the properties of the LL are captured and quantified. They determine the reduction of friction at the pipe wall-concrete interface and thereby govern the concrete flow. It is proven that the composition and the rheological properties of the forming LL exert an enormous impact on pumping since most of the induced shear stress by pumping pressure is concentrated in this layer.

In a further step, the flow pattern of concrete is analytically and numerically determined. The concrete exhibits various principal flow types which are already defined at low flow rates: plug flow in case of strain-hardening cement-based composite (SHCC), partial concrete bulk shear in ordinary concretes and pronounced bulk shear for self-compacting concrete (SCC).

The results from the full-scale pumping campaign are confronted with the existing pressure performance nomogram on the determination of pumping parameters. The nomogram's prediction capacity is extended and verified for highly flowable concretes by replacing the slump and flow table results with the viscosity parameter of the LL.

Furthermore, the challenges during pumping of concrete, inter alia, priming of the pipeline, blockage formation and final cleaning, are exemplified, and recommendations for the practitioners are provided.

Finally, the transfer of the developed scientifically based and ready to use methodology on site is strongly advocated as a part of the future in situ rheology monitoring concept towards envisaged full automation of concrete production and casting processes.