

# CONCREMOTE: MONITOROVANIE TEPLOTY A VÝVOJA PEVNOSTI MLADÉHO BETÓNU V REÁLNO M ČASE

Alexander Reinisch, Peter Martinák

Jedným zo súčasných trendov v stavebníctve je zvyšovanie efektivity procesov za účelom dosiahnutia finančných úspor a zaistenia vysokej kvality výsledkov.

Pre optimalizáciu procesov je nevyhnutné vykonávať merania rozhodujúcich parametrov. Vývoj pevnosti betónu v tlaku je jedným z najdôležitejších parametrov a jeho monitorovanie v reálnom čase je účinným nástrojom pre optimalizáciu výstavby. Užitočné je tiež monitorovanie vývoja teploty betónu v reálnom čase, a to kvôli minimalizácii rizika vzniku trhlin v betóne.

Tento inovatívny systém kombinuje metódu zrelosti podľa de Vree a moderné mobilné komunikačné technológie.

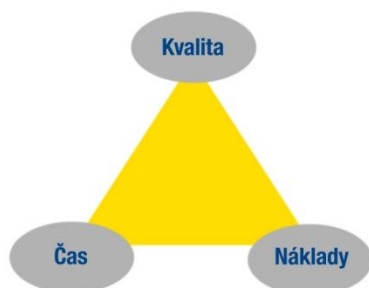
## 1 Úvod

### 1.1 Trendy v stavebníctve a stavebnom procese

Stavebníctvo už niekoľko rokov prechádza štrukturálnou zmenou. Tlak na náklady a čas sa neustále zvyšuje, čo platí pre stavebné firmy, ako aj pre ich dodávateľov. Požiadavky na kvalitu, stanovené investorom stavby, zostávajú na rovnakej úrovni, v niektorých aspektoch sa dokonca zvyšujú.

Hlavné trendy budúceho vývoja v oblasti stavebníctva smerujú k zvyšovaniu rýchlosti a zároveň zachovaniu alebo znižovaniu cien stavebných prác a materiálov, pri súčasnom zvyšovaní kvality.

V niektorých prípadoch bude veľkou dilemou, ako vyriešiť tento problém nízkych nákladov a vysokej kvality.



**Obr. 1:** Trojuholník kompromisu medzi nákladmi a kvalitou

Klasický stavebný proces je ako výroba prototypu, pretože podmienky sú veľmi rozdielne; každý stavebný objekt je iný svojím architektonickým a konštrukčným usporiadaním, umiestnením a okolím stavby, poveternostnými podmienkami pri realizácii a časovým harmonogramom. Na rozdiel od iných odvetví, kde výroba prebieha za stále rovnakých

podmienok a s nižšou frekvenciou zmien parametrov, nie je možné stavebný proces realizovať s vysokou mierou industrializácie a štandardizácie.

Stavebným firmám a dodávateľom sa ponúka pri každom novom projekte príležitosť optimalizovať proces výstavby a tým ušetriť finančné prostriedky.

### 1.2 Nové inovatívne riešenia pre stavebný proces

Na získanie informácií o účinnosti stavebného procesu a možnosti ho regulovať je nutné mať k dispozícii relevantné hodnoty a parametre. Jedným z najdôležitejších parametrov je vývoj pevnosti betónu v tlaku, od ktorého sú odvodené časy pre oddebnenie, ošetrovanie betónu, predopnutie atď. Systém Concremote® pre monitorovanie betónu v reálnom čase umožňuje používateľovi on-line a kdekoľvek na svete robiť rozhodnutia na základe hodnôt nameraných priamo v konštrukcii.

## 2 Technológia

### 2.1 Funkcie a využitie monitorovania betónu

Systém monitorovania betónu Concremote® slúži pre nedeštruktívne meranie pevnosti betónu v konkrétnom konštrukčnom prvku (stropnej doske, stene, nosníku atď.) na stavenisku.

Skladá sa z dvoch častí:

- meracie senzory (stropný senzor, stenový senzor + kabeláž), (obr. 2)
- služby [správa a vyhodnotenie dát (výpočet pevnosti), dátový výstup (webový portál)]



**Obr. 2:** Opakovane použiteľný stropný senzor umiestnený na povrchu stropnej dosky a káblový senzor v oblasti steny.

Systém monitorovania betónu:

- Sensory sú buď pripevnené k debneniu pred uložením betónu, alebo sú umiestnené do čerstvého betónu bezprostredne po betonáži stropnej dosky.
- Sensory priebežne merajú teplotu betónu, ktorá je ovplyvnená predovšetkým hydratačným teplom a okolitou teplotou.
- Namerané dáta zo stropnej dosky alebo steny sú každú hodinu zasielané vo forme dátového balíčka mobilnou telefónnou sieťou do dátového strediska, kde sú na základe metódy zrelosti a kalibračného merania automaticky analyzované.

- Pre každý druh betónu, pre ktorý bude na stavenisku realizované meranie, je nutné vykonať samostatnú kalibráciu. Kalibráciu môže realizovať sám zákazník, dodávateľ betónu alebo skúšobný ústav použitím špeciálne vyvinutého kalibračného boxu. Pre kalibračné meranie sa používa šesť skúšobných kociek, ktoré sú za vopred definovaných semi-adiabatických podmienok uložené v kalibračnom boxe. Kocky sú testované v rôznych časových odstupoch v závislosti od cieľovej hodnoty stanovenej zákazníkom (N/mm<sup>2</sup> pre oddebneenie, ošetrovanie atď.). Týmto spôsobom sa zistí hodnota pevnosti betónu v tlaku pri relevantnej teplote. Na základe kalibračného merania je pre daný druh betónu určený vzťah medzi pevnosťou v tlaku a zrelosťou.
- Namerané a analyzované dáta a hodnoty pevnosti v tlaku majú zákazníci nepretržite k dispozícii prostredníctvom zabezpečeného webového portálu. Týmto spôsobom môže užívateľ v reálnom čase monitorovať vývoj pevnosti v danom konštrukčnom prvku.
- Zákazník sa môže rozhodnúť na základe dát získaných v reálnom čase, vzhľadom na definovanú cieľovú hodnotu (napr. N/mm<sup>2</sup> pre oddebneenie, ošetrovanie atď.)



**Obr. 3:** Systém monitorovania betónu

### 2.2 Metoda zrelosti podľa de Vree

Metoda určujúca pevnosť betónu na základe jeho zrelosti bola technicky zavedená pred viac ako 30 rokmi. Medzi najznámejšie metódy patrí určenie zrelosti podľa de Vree, ktorú tiež používa systém Concremote®. Výpočet váženej zrelosti sa vypočíta nasledovne:

$$R_g = 10 * \frac{[C^{(0,1T-1,245)} - C^{(-2,245)}]}{\ln C}$$

R<sub>g</sub>... vážená zrelosť [C°h]

T... priemerná teplota pri tvrdnutí betónu za jednu hodinu

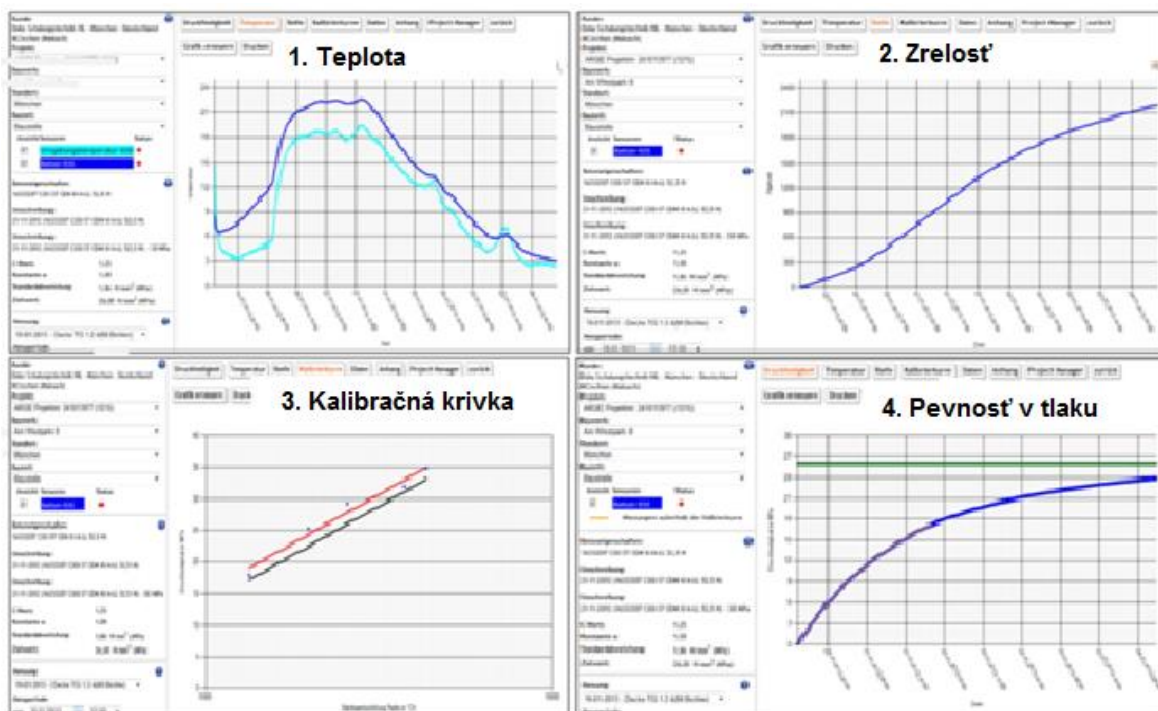
C... parameter reaktivity cementového spojiva

Pre určenie zrelosti betónu sú každú hodinu sčítané hodnoty váženej zrelosti. [1]

Hodnota pevnosti v tlaku je priradená ku každej zrelosti na základe pevností zistených z kalibračného merania.

Určením pevnosti betónu pomocou metódy zrelosti sa zaoberajú nasledujúce technické dokumenty a normy:

- DBV-Merkblatt, Betonschalungen und Ausschulfristen, 2006 [2]
- DIN 1045-3, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Part 3, 2008 [3]
- NEN 5970, Determination of strength of fresh concrete with the method of weighted maturity, 2001 [4]
- STN EN 13670, Zhotovovanie betónových konštrukcií, 2010 [5]



Obr. 4: Metóda zrelosti

### 2.3 Aplikácie, technické a ekonomické výhody

Vďaka monitorovaniu betónu v reálnom čase je možné na základe nameraných údajov o pevnosti betónu zaistiť bezpečnosť stavebného procesu, optimalizovať ho alebo urýchliť pomocou vhodných opatrení. Concremote® je možné použiť pre nasledujúce účely:

- cieľené stanovenie času pre oddebniecie a optimalizáciu (možné skrátenie) debniacich cyklov
- spoľahlivosť procesov, rozhodovanie na základe nameraných, nie odhadovaných hodnôt
- určenie doby ošetrovania betónu na základe nameraných hodnôt pevnosti
- bezpečnosť pri používaní šplhacieho debnenia
- meranie vývoja hydratačného tepla v masívnych stavebných konštrukciách s cieľom obmedziť vznik trhlín
- možnosť optimalizácie receptúry betónu v súvislosti s ročným obdobím na základe priebežného merania vývoja pevnosti v tlaku (napr. pri pomalom vývoji pevnosti v zime prechod na betón s rýchlejšim vývojom pevnosti betónu)

### **3 Záver**

Monitorovanie betónu v reálnom čase predstavuje inovatívny proces, ktorý umožňuje rozhodovanie na základe preukázateľných meraní pevnosti v tlaku konkrétneho konštrukčného prvku. Táto technológia umožňuje vedeniu stavby používať skutočné namerané hodnoty namiesto odhadov.

Najmä ak ide o optimalizáciu receptúry betónu, hlavne vzhľadom na potrebné množstvo cementu (nie viac, ako je treba), táto metóda prináša stavebným firmám a dodávateľom veľkú výhodu. Monitorovanie betónu v reálnom čase predstavuje účinný nástroj riadenia kvality a zároveň príležitosť používať betón s najvýhodnejšími vlastnosťami pre konkrétny projekt. Vďaka možnosti optimalizácie výstavby zvyšuje Concremote atraktivitu monolitckej výstavby a tým aj transportbetónu.

### **Použitá literatúra**

- [1] de Vree, R.; Tegelaar, R.: Gewichtete Reife des Betons, Beton 48 (1998), Issue 11
  - [2] DBV-Merkblatt, Betonschalungen und Ausschalfristen, 2013
  - [3] DIN 1045-3, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil3, 2008
  - [4] NEN 5970, Determination of strength of fresh concrete with the method of weighted maturity, 2001
  - [5] ČSN EN 13670, Provádění betonových konstrukcí, 2010
  - [6] Reinisch, A.: Zerstörungsfreie, onlinebasierende Betonfestigkeitsmessung auf der Baustelle, Tagungsband Baukongress 2014, ÖBV, Wien 04.2014
  - [7] Reinisch, A.; van der Meer, W.: Realtime Monitoring of Compressive-Strength-Development of Concrete, 10<sup>th</sup> CCC Congress Liberec 2014
- \*obsah tejto práce bol poprvý krát publikovaný na akcii CCC Liberec

---

#### **Alexander Reinisch**

✉ Doka GmbH - Resarch  
Josef Umdasch Platz 1  
3300 Amstetten, Austria  
☎ +43 7472 605 1685  
☺ alexander.reinisch@doka.com  
URL [www.doka.com](http://www.doka.com)

#### **Peter Martinák**

✉ DOKA Slovakia  
Debniaca technika. s. r.o.  
Ivanská cesta 28  
SK-821 04 Bratislava  
☎ 02/48 20 21 42  
☺ peter.martinak@doka.com  
URL [www.doka.sk](http://www.doka.sk)