

# MONITOROVÁNÍ VÝVOJE BETONU V REÁLNÉM ČASE ■

## MONITOR OF THE DEVELOPMENT OF CONCRETE IN REAL TIME

Radek Syka, Václav Lorenc

V článku je popsán nástroj pro měření vývoje pevnosti čerstvého betonu, který umožňuje uživateli pomocí nedestruktivní metody a v reálném čase rozhodovat o stavebním procesu na základě aktuálních dat a pomocí relevantních informací směřovat projekt. ■ The article describes a tool for measuring the strength of fresh concrete; this tool enables its user to decide on the construction procedure based on up-to-date data and to focus the project based on relevant information gained by a non-destructive method and in real time.

Jedním ze současných trendů ve stavebnictví je bezpochyby zefektivňování procesů. Tlak na snižování nákladů a zkracování termínů stále roste, a to jak pro stavební firmy, tak i pro jejich subdodavatele. Požadavky na kvalitu stanovené zadavatelem stavby zůstávají na stejné úrovni, někdy dokonce narůstají. Současným trendem je tak zvyšování rychlosti výstavby při zachování nebo dokonce snížení nákladů, ale současně při zachování, resp. zvýšení požadavků na kvalitu a udržitelný rozvoj. Finanční úspora a rychlost realizace však nesmí být na úkor bezpečnosti práce nebo snížené kvality díla, a proto je na místě najít vhodný způsob jako např. měření relevantních parametrů v průběhu výstavby. Účinným nástrojem může být elektronické monitorování a vyhodnocování vývoje pevnosti mladého betonu v reálném čase.

### ROZHODOVÁNÍ NA ZÁKLADĚ REÁLNÝCH DAT

Systém pro měření vývoje pevnosti betonu Concremate umožňuje uživateli pomocí nedestruktivní metody a v reálném čase rozhodovat o stavebním procesu na základě aktuálních dat a pomocí relevantních informací směřovat projekt. Díky přesným údajům lze operativně rozhodovat o ošetřování beto-

nu, předpínání konstrukcí, zásobování bedněním či betonem nebo odbedňování celků tak, aby stavba pokračovala v optimálním tempu a s co nejnižšími náklady při současném zachování vysoké kvality.

Systém je vybaven dvěma typy senzorů:

- bezdrátové senzory se užívají při realizaci stropních desek, tunelových (cut and cover) a mostních konstrukcí a vkládají se přímo na čerstvý beton,
- kabelové senzory jsou určeny pro stěnová a sloupová bednění, šplhací systémy i další mostní a tunelová bednění, kde jsou posouvány větší celky bednění pospolu. V těchto případech mohou být senzory, které nabízejí až tři měřicí body na jednotku, jednoduše integrovány do bednění.

V obou případech se jedná o nedestruktivní metody měření a snímač je možné po dokončení betonáže snadno vyjmout a znovu použít na dalším místě. Senzory jsou dostatečně robustní pro extrémní nasazení, zároveň jsou však lehké a snadno přemístitelné. Systém je bezúdržbový a díky moderní technologii má navíc velmi malou spotřebu energie, a tedy i extrémní výdrž baterií.

Senzory měří v pravidelných intervalech vývoj teploty čerstvého betonu a naměřená data odesílají ve formě datových paketů prostřednictvím mobilní sítě do datového centra B|A|S, kde jsou na základě metody zralosti a kalibračního měření automaticky analyzována. Po zpracování jsou ve formě grafu či přehledných tabulek zobrazena na šifrovaném rozhraní notebooku, tabletu nebo mobilního telefonu přímo na stavbě. Informace je možné navíc získat i formou e-mailu nebo textové zprávy.

Kalibrační měření se provádí zvlášť pro každý typ betonu, který je vyhodnocován na staveništi. Pro zjednodušení procesu byl vyvinut kalibrační box, pomocí něhož si může měření provést

sám zákazník, dodavatel betonu nebo zkušební ústav. Do boxu se vkládají testovací kostky a v předepsaných časech jsou zkoušeny v závislosti na požadované cílové hodnotě  $[N/mm^2]$ . Z měření je získána hodnota pevnosti betonu v tlaku a hodnota jeho teploty. Na základě těchto měření se stanoví vztah mezi pevností a zralostí. Je-li dosaženo předem definovaných hodnot (např.  $N/mm^2$  pro odbedňování, ošetřování a podobně), může odpovědná osoba rozhodnout o dalším postupu – bez prodlev a na základě dat získaných a vyhodnocených v reálném čase.

### METODA ZRALOSTI DE VREE

Systém je založen na metodě de Vree, která stanovuje zralost betonu na základě hodinového sčítání vážených zralostí. Pevnost betonu v tlaku je přidělena každé zralosti na základě pevnosti odvozené z kalibračního měření. Tento způsob určování pevnosti betonu v tlaku na bázi zralosti betonu byl technicky definován před třiceti lety.

### TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ VÝHODY

Při použití monitoringu vývoje pevnosti betonu v reálném čase je možné na základě naměřených dat optimalizovat nebo urychlit stavební proces pomocí odpovídajících opatření. Systém může být použit pro cílené stanovení času pro odbedňování a optimalizaci cyklů odbedňování, a tím umožňuje zkrácení doby bednicích cyklů. Stejně tak podporuje spolehlivost procesu, kdy jsou rozhodování založena na naměřených hodnotách, nikoliv na hodnotách odhadovaných. Reálná data výrazně podporují bezpečnost při nasazení šplhacích systémů i měření vývoje hydratačního tepla u masivních konstrukcí. Zároveň je možná optimalizace receptury betonu v souvislosti s ročním obdobím díky průběžnému měření vý-



Obr. 1 a) Měřicí box kabelového senzoru pro stěnové bednění, b) kabelový senzor stěnového bednění – samotný senzor je přímo v bednicí desce rámového bednění ■ Fig. 1 a) Measuring box of the cable system for wall formwork, b) cable sensor of the wall formwork – the sensor is placed directly into the formwork slab of the frame formwork

Obr. 2 Bezdrátový senzor pro svislé konstrukce se umístí přímo do čerstvého betonu stropní desky ■ Fig. 2 Wireless sensor for vertical structures is placed directly into the fresh concrete of the ceiling slab

Obr. 3 Výsledky měření jsou distribuovány na online zařízení v podobě přehledného grafu ■ Fig. 3 Results of the measurement are distributed to an online device in the form of a well arranged graph

Obr. 4 Elektrárna Muskrat Falls (prevence trhlin v betonu) ■ Fig. 4 Muskrat Falls power plant (prevention of the cracks in concrete)

Obr. 5 Výšková budova Highpoint (úspora času) ■ Fig. 5 Highpoint High-rise building (time saving)

Obr. 6 Výšková budova White Collar Factory (zajištění stejné barevnosti betonových ploch s definovanými požadavky na povrch) ■ Fig. 6 White Collar Factory High-rise building (ensuring the same colour of concrete surface and the pre-defined requirements for surface)



voje pevnosti v tlaku (např. v případě pomalého nárůstu pevnosti v zimním období zaměnit za recepturu s rychlejším nárůstem pevnosti a obráceně).

## REALIZOVANÉ STAVBY

### Elektrárna Muskrat Falls

Prevence trhlin v betonu byla hlavním kritériem pro nasazení popisovaného systému při realizaci Muskrat falls, Labrador v Kanadě (o projektu jsme psali v *Beton TKS 6/2016*, pozn. redakce). Extrémní povětrnostní podmínky vyžadovaly přesné měření, úpravy složení betonové směsi i přesné sledování ukládání a zrání mladého betonu dle aktuálního počasí a teploty. Výstavba byla realizována i při teplotách až  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  v zimě a přes  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  v létě. Monitorování vývoje teploty a možnost přesného nahřívání konstrukce v zimních měsících výrazně přispěly k zamezení vzniku trhlin v betonu a zajištění kvality betonových konstrukcí. Na stavbě, kde bylo nasazeno celkem  $16200\text{ m}^2$  velkoplošného bednění, bylo pro monitorování vývoje betonu použito celkem 35 senzorů.

### Výšková budova Highpoint

Úspora času byla rozhodujícím požadavkem pro použití monitorovacího systému při realizaci výškové budovy High-

point v Londýně. Snímače byly umístěny jako součást šplhacího bednění, s kterým bylo realizováno jádro budovy. Do  $155\text{ m}$  vysokého jádra bylo uloženo celkem  $2350\text{ m}^3$  betonové směsi, jejíž vývoj monitorovaly pouhé čtyři snímače. Díky přesným informacím o vývoji betonu bylo možné ušetřit v průměru jeden stavební den na patro – celkem byla výstavba urychlena o 47 stavebních dnů.

### Výšková budova White Collar Factory

Při realizaci White Collar Factory používá realizační firma monitorovací systém nikoliv z důvodů úspory času nebo sledování pevnosti betonu, ale pro zajištění stejné barevnosti betonových ploch s definovanými požadavky na povrch. Barevnost betonu je závislá na řadě kritérií, nicméně jedním z výrazných faktorů je právě zralost betonu. Pokud se jednotlivé úseky stavby odbedňují při přísně stanovených a vždy stejných podmínkách, rozdíly ve finální barevnosti betonu jsou výrazně potlačeny. To má za výsledek rovnoměrné vizuální podání stavby. Vzhledem k zlepšujícímu se počasí se díky přesnému měření podařilo zrychlit odbedňování o 24 h při pětidenním cyklu, což vede k zvýšení produktivity o 20 % a celkovému zkrácení výstavby jádra o 44 dnů.

## ZÁVĚR

Měření vývoje pevnosti betonu v reálném čase je inovativní proces, který umožňuje provádět rozhodnutí na základě průkazných měření pevnosti betonu v tlaku v konkrétních konstrukčních částech. Tato technologie umožňuje vedení stavby využívat reálná měření namísto odhadů. Zejména v kombinaci s kompatibilními bednicími systémy, do kterých může být zařízení přímo integrováno, je jeho nasazení více než snadné. Systém Concremate je dalším krokem k integrovanému vývoji stavby, a to včetně kontroly bezpečnosti a optimalizace procesů.

Sledování betonu v reálném čase je efektivním nástrojem managementu kvality s možností vydat se směrem k použití betonových směsí míchaných dle aktuálních potřeb stavby. Zejména v případě optimalizace betonové směsi, kdy je možno specifikovat optimální množství cementu, poskytuje tato metoda značnou finanční výhodu stavební firmě a dodavateli.

Radek Syka  
e-mail: radek.syka@doka.com



Václav Lorenc  
e-mail: vaclav.lorenc@doka.com



oba: Česká Doka bednicí  
technika, spol. s r. o.