

## DEFINICE VÝVOJE PEVNOSTI V TLAKU U PŘEDPJTÝCH VAZNÍKŮ V BĚŽNÉ VÝROBĚ THE DEFINITION OF THE PROGRESSION OF STRENGTH IN THE PRESSURE AT THE PRETENSIONED BEAMS IN THE ORDINARY PRODUCTION

DIRK NIEHOFF, PETR VOREL

*Jednou ze současných tendencí v oblasti betonových technologií jsou stále se zvyšující hranice výhledných pevností betonů. V prefabrikaci hraje mnohem důležitější roli náběh, resp. nárůst potřebných pevností, zejména v případě předem předpjatých technologií a konečná pevnost je tzv. na druhé koleji. Článek hovoří o jedné z moderních metod měření nárůstu pevností u betonových dílců s velice přesnými výsledky.*

*There is a current tendency for increasing limits of the final strength of concrete in the area of the concrete technology. However, the increasing, resp. growth of the required strength plays more important role than the final strength in the area of prefabrication, especially in case of the prestressed technology. This article is concerning about a modern method of the strength growth measuring of the concrete elements with highly accurate results.*

Kromě běžně vyztužených sloupů, vazníků, schodišť a stěn patří do nabídky chebské výroby betonových prefabrikátů také předpjaté vazníky. Předpjaté vazníky z betonu pevnostní třídy C45/55 jsou zde vyráběny z Dornburského cementu CEM I 42,5 R-ft. Pro dosažení požadovaných parametrů předpjatých prvků je důležité, aby byl kromě zajištění vysoké povrchové kvality také dodržen stanovený výrobní cyklus. Tzn. že musí být zajištěna minimální pevnost betonu v tlaku po 16 hodinách > 40 MPa nezávisle na tom, zda se vyrábí v létě nebo v zimě. Takto je možné vyrábět na předpínacím zařízení v jednodenním rytmu.

Odpovědní technologové betonu výrobní společnosti dostali za úkol prověřit vhodnost užívané receptury betonu vzhledem k uvedenému zadání. Pro dosažení reálných výsledků bylo třeba odzkoušet navržený technologický postup v rámci běžné výroby přímo na stavebním dílci a ověřit, že nedojde ke zpoždění ve výrobě předpjatého vazníku.

### PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Pro nový postup měření byly navrženy měřicí přístroje umožňující snímat a zaznamenávat sledovaná data přímo na stavebním dílci. Odpadají tak nepřesnosti v měření spojená s klasickou metodou měření hodnot na zkušební krychli. Např. je velice obtížné přenést beze ztrát vývoj vlastního tepla masivního betonového dílce na zkušební krychli. Pevnost v tlaku zjištěná na zkušební krychli odpovídá z tohoto důvodu pouze zřídka reálné pevnosti v tlaku daného stavebního dílce. Tento rozdíl je zjevný zejména při nízkém stáří betonu (do dvou dnů), tedy v době, kdy je znalost přesné pevnosti betonu v tlaku důležitá z hlediska dodržení synchronizační doby ve výrobě prefabrikátů.

### Ultrazukové měřidlo Consonic 60

Zde použitý postup vychází z měření doby průběhu podélné ultrazukové vlny stanoveným úsekem měření. Úsek měření je nastaven přímo na sondě a jeho délka je dána především mechanickými okolnostmi v místě umístění sondy. V měřicím úseku sondy se nesmí vyskytovat žádná výtuz, proto se pohyblivé části sondy, které určují velikost měřicího úseku nastaví tak, aby nedocházelo ke kolizi s výtuzí. Sonda je na měřeném prvku umístěna do míst, kde je měřená veličina určující z hlediska statiky prvku, tzn. v blízkosti nosné výtuze nebo míst pro vnesení předpětí. Pevnost betonu v tlaku zkoumaného prvku je určena z naměřené rychlosti šíření ultrazuku a z použité receptury betonu.

Touto patentovanou metodou jsou na základě objemového výpočtu betonu zjištěny objemové podíly kameniva a cementového kamene. Rychlost ultrazuku se přitom rozkládá na odpovídající podíly komponent a takto se určí příslušný podíl, který připadá na cementový kámen. Rychlost šíření ultrazuku v cementovém kameni je možné dále přepočíst na tlakovou pevnost cementového kamene a z ní opět na pevnost betonu v tlaku. (Uvedené závislosti a vztahy jsou součástí softwaro-

vého vybavení měřicího přístroje.)

Jelikož do výpočtu vstupují hodnoty určité receptury betonu, odpovídají zjištěné pevnosti v tlaku pouze příslušné receptuře. Popsaný integrovaný postup výpočtu nevyžaduje žádná přípravná laboratorní zkoumání.

Pro uvedená měření bylo použito ultrazukové měřidlo „Consonic 60“ firmy Geotron Elektronik (obr. 1). Jedná se o přenosný měřicí a vyhodnocovací systém s integrovaným PC a GSM-modemem k dálkovému ovládní a přenosu dat.

Rozlišují se dvě měřicí metody:

- metoda v „režimu čerstvého betonu“ – ponorná sonda je vložena do čerstvého betonu a zůstává tam až do konce měření. Měření probíhá kontinuálně v tvrdnoucím betonu.
- metoda v „režimu ztvrdlého betonu“ – je zkoumán již ztvrdlý beton. Jako oscilátory jsou používány univerzální zkušební hlavy s frekvencemi od 30 do 250 kHz.

Měření čerstvého betonu je prováděno přímo na stavebním dílci, přičemž je k zjištění rychlosti ultrazuku používán měřicí můstek (měřicí sonda). Ponorná sonda se skládá z pevné vysílací a posuvné přijímací části s integrovaným měřidlem teploty. Dostupný rozsah nastavitelný na sondě, tzv. měřicí cesta, je 150 až 300 mm. Rozsah může být volně zvolen a přizpůsoben geometrickým podmínkám stavebního dílce. Hloubka ponoru činí 100 mm, ponorné části jsou kónického tvaru, aby je bylo možné po skončení měření z dílce opět vyjmout (obr. 2 a 3).

Po spuštění probíhá měření automaticky v intervalech jedné až patnácti minut. Intervaly měření jsou nastaveny v úvodu měření v závislosti na době, po kterou chceme průběhy nárůstu pevnosti sledovat. Protože přístroj umožňuje uložit až 2400 měření, je pro požadovanou dobu sledování např. 40 h interval měření nastaven na 1 min. Výsledek je zobrazen bezprostředně po ukončení dílčího měření. Okamžitá pevnost v tlaku může být zobrazena v reálném čase graficky, nebo ve formě tabulky (obr. 4).

Probíhající měření může být sledováno prostřednictvím dálkového přenosu dat a aktuální stav pevnosti v tlaku zjišťován, aniž by byla na místě potřebná stálá přítomnost personálu. Pouze na spuštění a ukončení měření je nutná obsluha přístroje a ponorné sondy.

Po dosažení 25% očekávané konečné pevnosti (28 dnů) je možné prostřednictvím prognostické funkce stanovit další průběh vývoje pevnosti. K tomuto kroku jsou potřebné údaje o normové pevnosti cementu a o dalším očekávaném teplotním průběhu v betonu (příklad laboratorního uložení:  $T = \text{konst.} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ). Pro tento výpočet si přístroj po celou dobu měření v předepsaných intervalech průběžně zaznamenával naměřené hodnoty teploty betonu.

Dosažení určité pevnosti v tlaku, teploty nebo ultrazvukové rychlosti může být signalizováno „výstražnou“ funkcí, např. blikáním diod na ponorné sondě a na měřícím přístroji.

Použitým přístrojem, který je v této verzi navržen jako čtyřkanálový, lze současně získávat hodnoty až ze čtyř měřících míst. Měřící body mohou být od přístroje vzdáleny max 15 m (vzhledem k délce kabelů).

### Klimatizační skříň T2000

Problematika výroby zkušebních kostek a přenášení vlastního tepla ze stavebního dílu na ně, byla vyřešena konstrukcí mobilní klimatizační skříň o dvou komorách. V obou komorách mohou být teploty měněny nezávisle na sobě dle údajů naměřených teplotními senzory v betonovém dílu (obr. 5). Po vyjmutí střední dělicí stěny může být velká komora využita jako jeden celek.

Klimatizační skříň aktivně reguluje teplotu dle teploty zkoumaného dílu, přičemž není možné ochlazování níž než

na úroveň teploty okolního vzduchu. Teplota dílů nesmí klesnout pod teplotu okolí, proto je aktivní ochlazování dílu nepřípustné. Instalovaný ohřev a cirkulace vzduchu uvnitř skříň jsou pro daný účel postačující.

### ŘEŠENÍ ÚLOHY

Daný úkol byl rozšířen o otázku, zda dochází k rozdílům ve vývoji pevnosti v tlaku v prvku v závislosti na geometrii vazníků a bednění. Předpokládalo se, že v okamžiku vnesení předpětí do prvku jsou na horním a dolním pasu rozdílné pevnosti v tlaku. Důležité bylo dokázat, že v oblasti upínacích lan, tedy na spodním pasu průřezu prvku bylo dosaženo potřebné pevnosti betonu v tlaku (40 MPa po 16 h).

Bylo zvoleno následující uspořádání měřících přístrojů:

- Osazení ponorné sondy na horní pás (obr. 3)
- Kombinace přístrojů Consonic 60 a T2000, ve skříni bylo umístěno zkušební těleso s ponornou sondou a ultrazvukovým měřidlem (obr. 6 a 7) a na klimatizační skříň byla vedena teplota spodního pasu.

Výhodou kombinace obou přístrojů, Consonic 60 a T2000, je možnost sledování vývoje pevnosti u každého libovolného bodu dílu. Je pouze nutné umístit na měřeném místě termický kabel (průměr cca. 4 až 5 mm). Klimatizační skříň a ultrazvukový měřič mohou tedy být umístěny v odstupu několika metrů od prvku.



Obr. 1 Měřící zařízení Consonic 60

Fig. 1 Instrumentation Consonic 60

Obr. 2 Kompletní ponorná sonda

Fig. 2 Completed submersible well

Obr. 3 Zabudovaná ponorná sonda

Fig. 3 Built-in submersible well

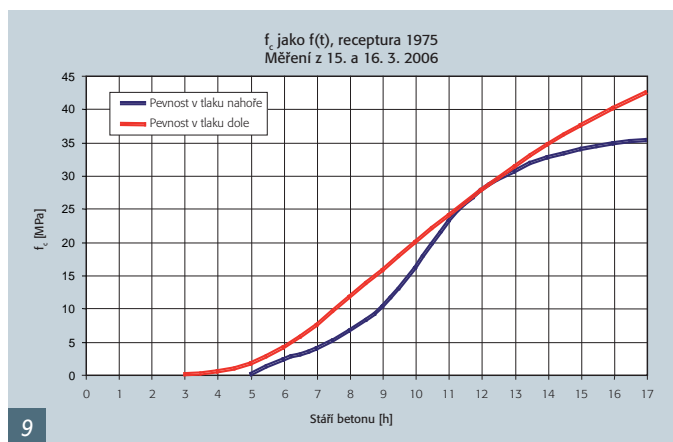
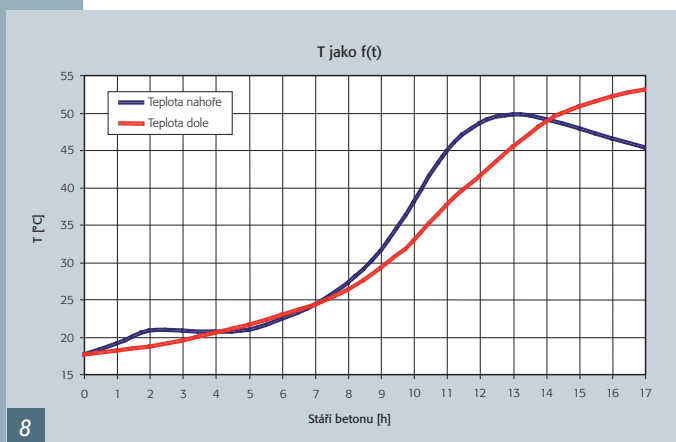
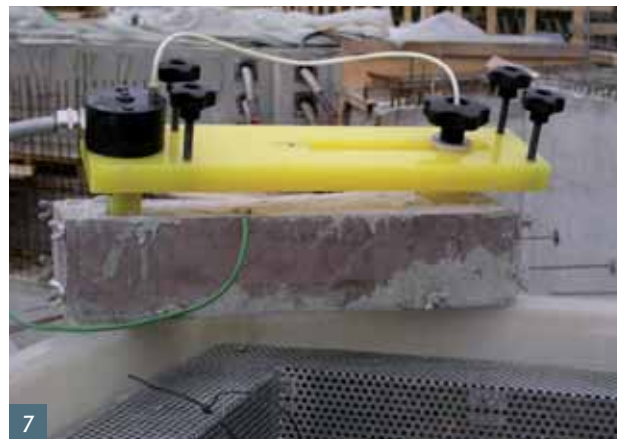
Obr. 4 Zobrazení výsledků probíhajícího měření

Fig. 4 Displacement of the recorded results

Obr. 5 Klimatizační skříň T2000 bez krytu se zkušebními tělesy

Fig. 5 Air-conditioner box T2000 without cover with specimens





Zkoušky se konaly 15. a 16. března 2006. Při plnění vazníkové formy betonem byla naplněna a utěsněna také forma na zkušební těleso. Poté byly vloženy do nosníku i zkušební těleso ponorné sondy a bylo spuštěno ultrazvukové měření, které bylo po 17 h ukončeno a bednění bylo otevřeno.

#### VÝSLEDKY

Zkoušky potvrdily domněnku o rozdílném vývoji pevností betonu v tlaku v různých místech sledovaného prvku. V grafech na obr. 8 a 9 jsou vyneseny výsledky měření teplot a pevností betonu v tlaku. Vývoj teplot vykazuje rozdíly mezi sledovaným „horním“ a „spodním“ bodem. Horní bod více podléhal teplotním vlivům v hale než spodní bod (obr. 8).

Teplotní průběh „dole“ byl zjišťován přímo na upínacím dílu předpínacího zařízení. Předpínací lana odvádějí teplotu ven (chladicí můstek). Z tohoto důvodu stoupá křivka mírněji než v horním měřeném bodu. Pokles teploty „nahore“ po 13 h je možné odůvodnit otevřením halových vrat. Teplota horní části je tedy ovlivněna teplotou v hale.

Rozdílný teplotní vývoj v prvku (obr. 8) vede k rozdílnému vývoji pevnosti v tlaku. Požadovaná pevnost v tlaku 40 MPa v místech následně namáhaných vnesením předpětí byla dosažena po 16 h. Je zřejmé, že beton takové kvality, který má v daném čase dosáhnout požadované pevnosti, by měl být stále pod dohledem technologa. Pro zamezení časových a kvalitativních problémů je důležité zajistit přesné dodržování vlastností čerstvého betonu.

#### ZÁVĚR

Provedené zkoušky prokázaly, že použitá receptura betonu odpovídá daným požadavkům. Požadované pevnosti betonu v tlaku pro vnesení předpětí u vazníků byly dosaženy ve stanoveném časovém rámci.

Je také patrné, že v rámci prvku dochází k rozdílnému vývoji pevností v tlaku.

Pokles teploty ve výrobní hale vždy působí na prvky v ní uskladněné.

Díky využití moderní měřicí techniky je možné zlepšovat kvalitu vyráběných dílců. Optimalizace betonových receptur za účelem časových a materiálových úspor je možná bez rizika, jelikož aktuál-

Obr. 6 a 7 Ultrazvuková zkuš. tělesa v klimatizační skříni (příklady)

Fig. 6 and 7 Ultrasonic specimens in the air-conditioner case (examples)

Obr. 8 Průběh teploty v horním a spodním sledovaném bodě zkušebního prvku

Fig. 8 Temperature curves in the top and bottom monitoring points of the specimen

Obr. 9 Průběh pevnosti betonu v tlaku

Fig. 9 Curve of the compress strength of concrete

ní pevnost betonu v tlaku je možné zjistit online přímo na prvku.

Na základě statistického zpracování výsledků měření je možné vyhodnotit a nastavit optimální teploty ve výrobních halách tak, aby byla minimalizována spotřeba energie na jejich vytápění.

Dipl.-Ing. Dirk Niehoff  
Dornburger Zement GmbH  
Ing. Petr Vorel jr.

PREFA-BETON Cheb, spol. s r. o.  
mob.: 602 425 720  
e-mail: petr.vorel@prefa-beton-cheb.cz