

Možnosti transportu čerstvého betónu

Časté chyby alebo až poruchy betónových konštrukcií sú zväčša dôsledkom nevládnutia technológie zhotovenia konštrukcie. Príčinu treba hľadať vo všetkých fázach stavebného procesu, a to od momentu začatia dopravy čerstvého betónu. Predpoklad na dosiahnutie požadovanej kvality budúcej konštrukcie vytvára technické zvládnutie dopravy.

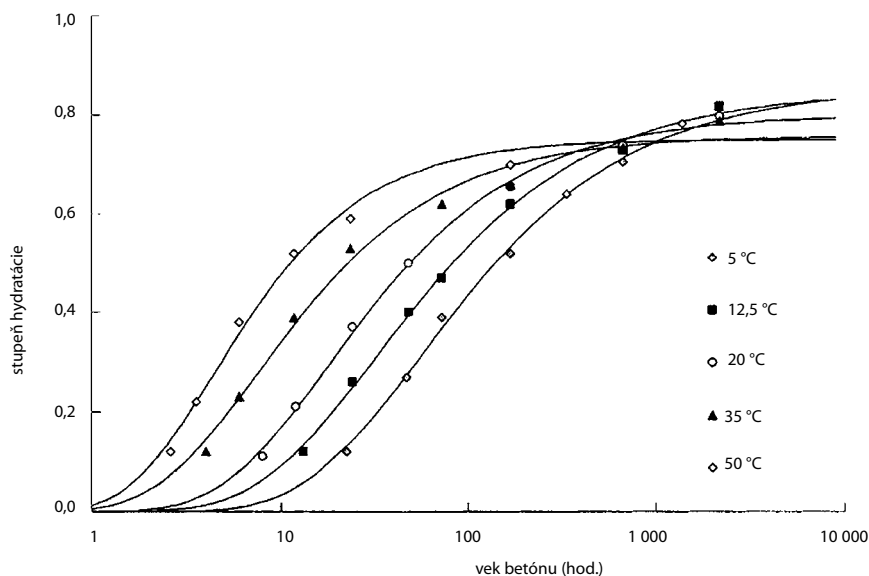
Primárna doprava

Primárna doprava zahŕňa prepravu čerstvého betónu z betonárne na stavenisko. Jej dôležitosť sa prejavuje najmä v letných mesiacoch, keď sú denné teploty ovzdušia vysoké. To urýchľuje hydratáciu betónu a multiplikáciu teploty čerstvého betónu hydratačným teplom. Výsledkom je skracovanie času, v ktorom betón začína tuhnúť. Z hľadiska dopravy čerstvého betónu a jeho spracovania je čas začiatku tuhnutia rozhodujúcim faktorom (obr. 1).

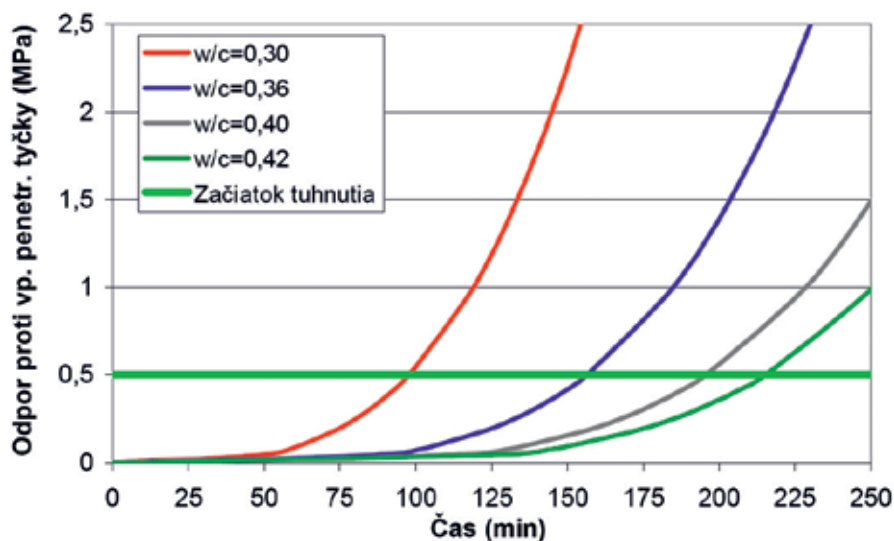
Uloženie betónu do debnenia a jeho zhutňovanie sa musí dokončiť do začiatku tuhnutia. V súlade s požiadavkami stanovenými v STN EN 13670: 2010 (Zhotovovanie betónových konštrukcií) sa betón pri zhutňovaní ponorným vibrátorom, čo je najrozšírenejší spôsob, musí zhutňovať až do hĺbky 50 až 100 mm predchádzajúcej vrstvy. To znamená, že nielen čerstvo uložený betón, ale aj betón uložený v poslednej vrstve ešte nesmie začať tuhnúť. Maximálny prípustný čas na dopravu betónu sa tak skracuje aj o čas medzi zhutnením poslednej vrstvy a začiatkom zhutňovania najvrchnejšej vrstvy betónu.

Výsledkom je potreba chrániť betón proti účinkom vysokej teploty (nad 25 a obzvlášť nad 30 °C). V súlade s STN EN 206-1: 2002 (Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda) nesmie teplota betónu pri dodaní prekročiť teplotu +30 °C, ak sa neprijmú vhodné opatrenia. Ide najmä o optimálne zloženie čerstvého betónu v daných podmienkach. Dôležitý je výber vhodného druhu cementu, prísad, prímies a vodného súčiniteľa. Riešením môže byť aj chladenie čerstvého betónu pridaním určitého množstva zámesovej vody vo forme ľadu alebo chladenie tekutým dusíkom.

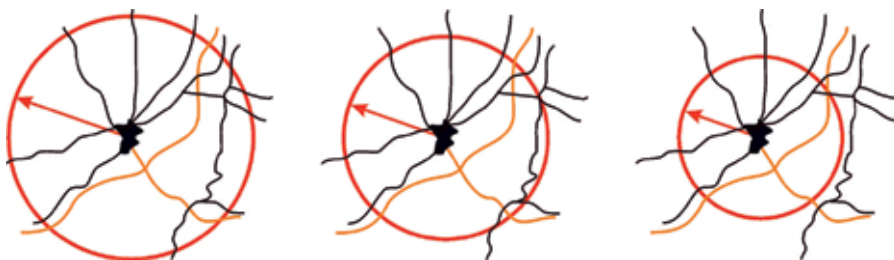
Opačný prístup k problému predstavuje definovanie maximálnej dopravnej vzdialenosti v závislosti od zloženia betónu, teploty prostredia, času začiatku tuhnutia (obr. 2) a prepravnej rýchlosti na jednotlivých komunikáciách tak, aby na stavenisku zostával dostatok času na jeho zabudovanie (uloženie a zhutnenie) v súlade s STN EN 13670. Takýmto prístupom možno pri daných vstupných okrajových podmienkach určiť veľkosť spádovej oblasti každej betonárne (obr. 3). Zohľadnením prípustnosti existujúcej infraštruktúry sa spádová oblasť zdeformuje na reálnejší model spádovej oblasti (obr. 4). Výber dodávateľa čerstvého betónu, a teda aj návrh primárnej dopravy by mal zohľadňovať polohu beto-



Obr. 1 Vplyv teploty na rýchlosť hydratácie [1]



Obr. 2 Čas začiatku tuhnutia cementového tmelu



Obr. 3 Ideálny model spádovej oblasti pri rôznych teplotách (zľava stúpajúce) [3]



Obr. 4 Reálnejší model spádovej oblasti mesta Trnavy pri teplotách 20 °C – zelená; 25 °C – oranžová; 30 °C – červená [3]



Obr. 5 Príklad chyby betónovej konštrukcie v dôsledku nedokonalého vyplnenia debnenia betónom



Obr. 6 Piestové čerpadlo čerstvého betónu [10]

nárny vzhľadom na stavenisko, ktoré by sa malo nachádzať v reálnej spádovej oblasti vybranej betonárne.

Podcenenie výberu dodávateľa čerstvého betónu s ohľadom na možnosti primárnej dopravy v letnom období môže mať za následok sekundárnu dopravu čiastočne zatuhnutého betónu. Čiastočne zatuhnutý betón aj v prípade uloženia na miesto zabudovania nie je možné dôkladne zhutniť, čo môže viesť k lokálnym poruchám obalenia betonárskej výstuže (obr. 5), k vzniku štrkových hniezd, k zníženiu únosnosti konštrukcie alebo zhoršeniu iných potenciálnych úžitkových vlastností (napríklad trvanlivosti a vodotesnosti).

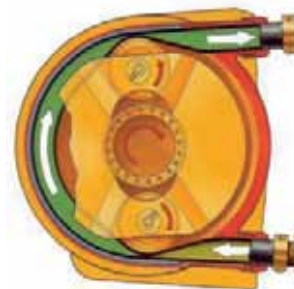
Sekundárna doprava

Sekundárna doprava čerstvého betónu, niekedy označovaná aj ako vnútrostavenskú či objektovú [4], sa zväčša uskutočňuje vertikálne pri súčasnom vodorovnom presune podľa miesta betonáže.

Návrh sekundárnej dopravy čerstvého betónu ovplyvňujú najmä rozmery stavby, štádium jej rozostavanosti, miestne podmienky, kapacity zhotovovateľa a konzistencia čerstvého betónu. Návrh treba spracovať tak, aby sa zabránilo zmene vodného súčiniteľa, segregácii zŕn kameniva a cementového tmelu a zatuhnutiu čerstvého betónu, čím by sa radikálne zmenila kvalita výslednej betónovej konštrukcie.

V súčasnosti sa v podmienkach stavieb strednej Európy využíva prevažne potrubná doprava pomocou čerpadiel čerstvého betónu (mobilných aj stabilných) a mechanická strojová s použitím závesných košov (bádii) spoločne s vežovými žeriavmi.

Sekundárna doprava bádiami zavesenými na vežových žeriavoch predstavuje cyklickú dopravu. Možno ju vyskladať zo základných operácií, ktoré sú zoradené v technologickom slede, logicky na seba nadväzujú a pravidelne sa opakujú. Štandardný objem bádie je 0,5 až 2,0 m³. Dopravu čerstvého betónu pomocou bádii sa odporúča využívať pri menších stavbách (prevažne na betonáž stĺpov), prípadne pri horizontálnych nosných konštrukciách, ak sa nedá využiť mobilné čerpadlo. Tento spôsob sekundárnej dopravy sa neodporúča využívať pri výškových stavbách. S rastúcou dopravnou vzdialenosťou sa predlžuje čas presunu čerstvého betónu, a tak sa predlžuje celkový čas výstavby.



Obr. 7 Rotačné čerpadlo čerstvého betónu

Potrubná sekundárna doprava čerstvého betónu sa rozdeľuje na dve skupiny, a sice na mobilnú a stabilnú. Obe však fungujú na základe rovnakého princípu práce. Rozdiel sa prejavuje v spôsobe premiestňovania a variabilite rozvodného potrubia. Podľa spôsobu nasávania betónu a jeho dopravy v potrubí možno čerpadlá rozdeliť na piestové, rotačné (takzvané hadicové) a pneumtické [5, 6].

Piestové čerpadlá (obr. 6) sa využívajú na prepravu čerstvého betónu najčastejšie a princíp ich práce spočíva v činnosti dvoch pracovných valcov zaústených do násypného koša. Pracovný motor sa vytvára v hydraulickom systéme tlak a dostávajú sa do pohybu dva piesty pracujúce s fázovým posunom 1π . Za neustáleho, rýchleho prepínania dopravnej rúry typu C ale-



Obr. 8 Mobilné čerpadlo čerstvého betónu



Obr. 9 Stabilné (stacionárne) čerpadlo čerstvého betónu



Obr. 10 Odborné miesto čerstvého betónu

bo S na jeden zo sacích otvorov dochádza sa v jednom z valcov nasáva čerstvá betón z násypky, zatiaľ čo v druhom valci prebieha jeho vytlačenie do pripojenej dopravnej rúry. Piestovými čerpadlami betónu možno dopraviť všetky konzistencie betónu s frakciou kameniva do 63 mm (aj dreveného) a s teoretickou výkonnosťou do asi 200 m³/h pri účinnosti približne 75 %.

Princíp práce rotačných čerpadiel betónu (obr. 7), nazývaných aj stláčacie (squeeze), sa zakladá na posune čerstvého betónu z násypného koša do sacieho otvoru pomocou hriadeľa s lopatkami. Tu sa čerstvý betón nasáva do pružného polkruhového potrubia umiestneného v priestore rotora čerpadla. Rotor je vybavený najmenej dvomi valcami, ktoré neustálymi pohybmi (rotáciou okolo osi rotora) po mäkkom potrubí nasávajú a na druhom konci

potrubia vytlačujú čerstvý betón. Rotačné čerpadlá dosahujú teoretickú výkonnosť do 40 m³/h pri použití štandardných potrubí s priemerom 75 mm, z čoho vyplýva aj možnosť čerpania len jemnejších zmesí betónu a aj to len na vzdialenosti asi 100 m horizontálne a 35 m vertikálne.

Mobilné čerpadlá (obr. 8) sú namontované na automobilovom podvozku, pričom ich základné komponenty sú násypný kôš, čerpacia jednotka (maximálny výpočtový výkon 200 m³/h), hydraulický stožiar (výložník) s potrubím a hadicou [7]. Maximálny horizontálny a vertikálny dosah je 56 a 61 m (špeciálne 63 m), bežne sa však pracuje s dosahmi 38 m. Mobilné čerpadlo sa po príchode na stavenisko pristaví k odbornému miestu, vysunú sa podpory a rozbali sa výložník. Čerstvý betón sa po privezení na miesto určenia začne liat do násypné-

ho koša mobilného čerpadla vybaveného roštom s okami s veľkosťou maximálneho zrna kameniva (63 mm). Následne sa pomocou čerpadla dopravuje postupne na miesto zabudovania. Po ukončení práce na stavenisku sa potrubie prečistí vťahnutím gumeného čistiaceho prvku a násypný kôš sa umyje vodou z tlakovej nádrže. Ďalej sa stiahnu výložník a podpory a čerpadlo môže opustiť stavenisko. Použitelnosť mobilných čerpadiel je veľmi vysoká vzhľadom na zjednodušenie návrhu sekundárnej dopravy čerstvého betónu a možnosti prípadného operatívneho presunu čerpadla. Využitie mobilných čerpadiel však neraz vyžaduje zabratie verejného priestranstva. Mobilné čerpadlá je vhodné nasadzovať v pozemnom staviteľstve najmä krátkodobu alebo v podmienkach rozsiahleho staveniska, špeciálne pri zakladaní stavby, prípadne pri realizácii spodnej stavby. Ich význam sa prakticky stráca pri betonáži nosných konštrukcií výškových stavieb.

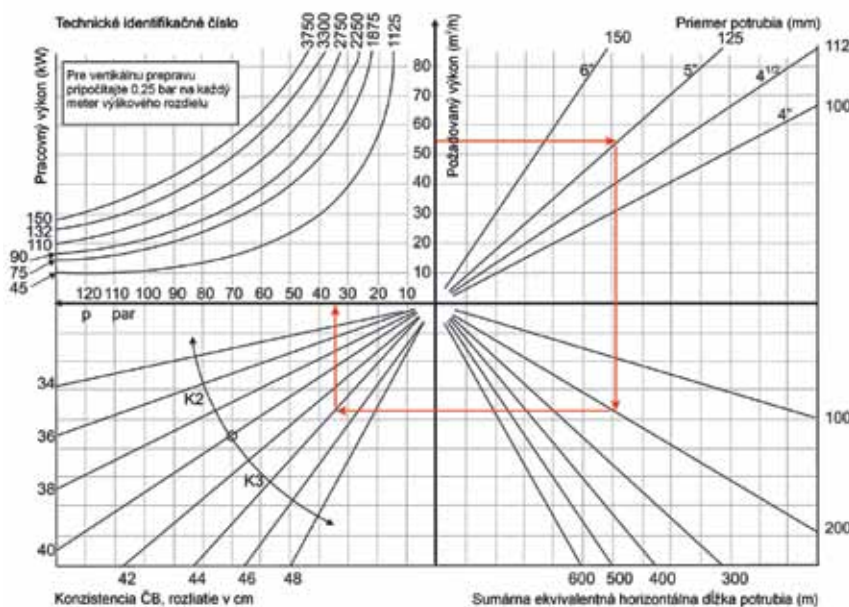
V priebehu posledných šiestich rokov sa na stredoeurópskom trhu začali objavovať modifikácie mobilných čerpadiel čerstvého betónu. Príkladom je takzvaná mestská pumpa (city pump). Doprava čerstvého betónu sa uskutočňuje cez rozoberateľné potrubie, a preto nie je vybavená výložníkom. City pump má výpočtový výkon 57 m³/h a je schopná dopraviť betón na vzdialenosť do 600 m (horizontálne). Uplatňuje sa hlavne na staveniskách nachádzajúcich sa v husto zastavaných, historických alebo turisticky vyhľadávaných lokalitách, kde sú sprísnené požiadavky na prípustné hladiny hluku alebo iné obmedzenia.

Stacionárne (stabilné) čerpadlá (obr. 9) sú riešené ako príviesne zariadenia pozostávajúce z dieselového motora, čerpadla s nádobou (násypný kôš), rozoberateľného potrubia a výpustnej hadice. Násypný kôš je vybavený roštom, ktorý má zabrániť poškodeniu čerpadla maximálnym zrnom kameniva väčším, ako je povolené. Stabilné čerpadlá sú konštruované na rôzne možnosti využitia a rôzne konzistencie betónu – od extrémne tekutých (injekčných) až po tuhé konzistencie s maximálnym zrnom 63 mm. Hlavnou myšlienkou využitia stabilných čerpadiel je obsluhu celého staveniska (všetkých miest potreby) z jednej pozície – z jedného odborného miesta. Túto obsluhu limitujú maximálne dopravné vzdialenosti, ktoré sa bežne pohybujú v horizontálnom smere 400 m a vo vertikálnom smere 250 m (maximálny vertikálny dosah bol preukázaný v Riva Del Garda v Taliansku, kde sa betón bez prečerpávania dopravil do výšky 532 m [8]).

Stabilné čerpadlo sa po privezení na stavenisko umiestni na vopred navrhnuté odborné miesto (v blízkosti stavebného objektu), odkiaľ sa pripojí na dopravné potrubie čerstvého betónu (obr. 10). Dopravné potrubia môžu byť umiestnené v horizontálnom a vertikálnom smere.



Obr. 11 Stabilné čerpadlo použité na betonáž ostenia tunela



Obr. 12 Nomogram na určenie horizontálnej zložky tlaku v potrubí (upravený z [9])

Ich vhodným návrhom a rozmiestnením sa zabezpečia optimálne tlakové a odporové pomery prepravovaného betónu. To má vplyv na plnenie teoretického výkonu čerpadiel (maximálne 200 m³/h). Čerpadlo zostáva na stavenisku do ukončenia hrubej stavby, respektíve kým sa využíva. Využitie stabilných čerpadiel je veľmi výhodné v pozemnom stavebníctve, či už pri rozsiahlych nízkych stavbách, alebo pri výstavbe výškových budov, prípadne pri výstavbe bankských stavieb pri striekaní alebo betónovaní ostení tunelov (obr. 11) [7].

Aby systém sekundárnej dopravy čerstvého betónu čerpadlami fungoval, musia sa pri ich návrhu zohľadniť všetky zásady. Treba zohľadniť vplyv veľkého množstva faktorov – od potrebnej výpočtovej výkonnosti, dopravnej vzdialenosti cez konzistenciu čerstvého betónu až po potrubný

systém. Všetky spomenuté faktory zohrávajú dôležitú úlohu v efektívnosti fungovania vnútrostavenského čerpania betónu. V prvom kroku treba určiť požadovanú teoretickú výkonnosť, ktorá sa spresní empiricky stanoveným pracovným súčiniteľom asi 0,80. Na základe potrebného výstupného výkonu a dopravnej vzdialenosti sa navrhne čerpadlo, ktoré musí spĺňať aj požiadavky na prevádzkový tlak p ($\text{bar} = 0,1 \text{ N/mm}^2$). Medzi výkonom čerpadla Q a prevádzkovým tlakom p platí nepriama závislosť, čiže $Q \cdot p = \text{konštanta}$. K navrhnutému čerpadlu treba nadimenzovať najvhodnejšie potrubie tak, aby sa neznižovala výkonnosť čerpadla a jeho dosah. Takto navrhnutý systém sa posúdi z hľadiska čerpatelnosti betónu, navrhnutého zloženia a konzistencie (sadnutie kužela 40 až 100 mm, respektíve VeBe 3 až 5 s) [7].

Príklad návrhu stabilného čerpadla

Počas betonáže stavby s výškou 65 m treba zhotoviť 40 m³ betónových konštrukcií za 1 hodinu. Na dopravu čerstvého betónu (konzistencia danej sadnutím kužela 100 mm) sa použije výložník s horizontálnym dosahom 27 m a dopravné potrubie s priemerom 125 mm s piatimi kolenami 90°, dvomi kolenami 30° a s celkovou dĺžkou 110 m. Pri práci čerpadla sa uvažuje pracovný súčiniteľ 0,75. Dopravná výška sa získa ako výška stavby zvýšená o 4 m (na manipuláciu a najvyšší bod zhybu výložníka). Z nomogramu čerpania betónu (obr. 12) vyplýva, že pri návrhovom výkone čerpadla 53,3 m³/h, sadnutí kužela 100 mm, dopravnej dĺžky potrubia 164 m a priemere potrubia 125 mm bude potrebný pracovný tlak $p_H = 34 \text{ bar}$ (3,4 MPa).

Záver

V súčasnosti existuje mnoho spôsobov dopravy čerstvého betónu, ktorých prípadné aplikovanie ešte nezaručuje optimálne využitie. Dôležité je, aby sekundárna doprava čerstvého betónu nadväzovala na primárnu. Zároveň treba primárnu dopravu zvoliť tak, aby sa (s ohľadom na sekundárnu) čerstvý betón dopravil na stavenisko s dostatočnou časovou rezervou na jeho uloženie a spracovanie.

TEXT: Ing. Peter Briatka

OBRÁZKY a FOTO: autor

Ing. Peter Briatka je doktorand na Stavebnej fakulte STU v Bratislave a výskumným pracovníkom TSÚS, n. o., v Bratislave.

Recenzoval doc. Ing. Peter Makýš, PhD., ktorý pôsobí na Katedre technológie stavieb Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Literatúra

1. Schindler, A. K.: Effect of temperature on hydration of cementitious materials. Technical paper. USA: American Concrete Institute, Materials Journal, January – February, Farmington Hills, 2004.
2. STN EN 196-3: Metódy skúšania cementu. Časť 3: Stanovenie času tuhnutia a objemovej stálosti.
3. Briatka, P. – Štefánik, L. – Makýš, P.: Mimostavenská doprava čerstvého betónu a vplyv teploty prostredia. In: BETON TKS, 2009, 4, s. 50 – 54.
4. Makýš, O. – Makýš, P.: Stavenská prevádzka – zariadenie staveniska. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003.
5. Juríček, I.: Technológia pozemných stavieb – hrubá stavba. Bratislava: JAGA GROUP, v. o. s., 2001.
6. Juríček, I. a kol.: Konštrukcie budov z monolitického betónu. Bratislava: Eurostav, 2005.
7. Briatka, P.: Vnútrostavenská doprava čerstvého betónu čerpadlami. In: Stavba, roč. 11, 2008, č. 1 – 2, s. 54 – 57.
8. Ali, M. M.: Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao. USA: School of Architecture at University of Illinois.
9. Singh, B.: Some issues related to pumping of concrete. In: The Indian Concrete Journal, 2004, No. 9, pp. 41 – 44.
10. www.putzmeister.com