

# Doprava čerstvého betónu

Stavebníctvo sa i napriek pokročilej úrovni poznania betónu ako materiálu potýka s problémami betónových konštrukcií. Vady, alebo až poruchy betónových konštrukcií sú ale zväčša dôsledkom nezvládnutia technológie zhotovenia konštrukcie. To znamená, že v drvivej väčšine prípadov betón, ktorý opúšťa betonáreň, je v poriadku a jeho parametre sú v súlade s príslušnými požiadavkami. Príčinu problémov betónových konštrukcií teda treba hľadať vo všetkých operáciách od momentu začiatku dopravy čerstvého betónu. Technické zvládnutie dopravy čerstvého betónu, ako prvej operácie po zamiešaní čerstvého betónu, vytvára predpoklad pre dosiahnutie požadovanej kvality budúcej betónovej konštrukcie. Úprimne, len málokto z nás dopravu čerstvého betónu takto vníma. Preto sa tento článok venuje práve významu a závažnosti dopravy čerstvého betónu, pričom upozorňuje na rôzne úskalia, technologické problémy a potenciálne dôsledky.

## Rozdelenie

Doprava čerstvého betónu (ČB) sa podľa lokalizácie a technologického riešenia rozdeľuje na primárnu a sekundárnu. Primárna doprava reprezentuje presun ČB z betonárne až k odbernému miestu na stavenisku. Označuje sa preto aj ako mimostavenisková. Najčastejšie sa uskutočňuje prostredníctvom autodomiešavačov s otočným bubnom objemu od 3 do 10 m<sup>3</sup>. V prípadoch, kedy je potrebné prepravovať betón na veľké

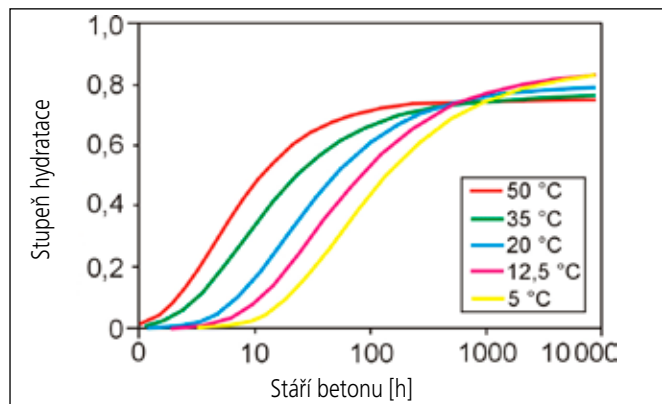
vzdialenosti počas vysokých teplôt, je možné použiť automiešače. Tieto prepravujú suchú zmes plniva a spojiva namiešanú v betonárni. Voda sa do suchej zmesi pridáva až po príchode na stavenisko, a to z nádrže automiešača. Požiadavka na sekundárnu dopravu ČB vzniká v okamžiku dopravy čerstvého betónu k odbernému miestu na stavenisku. Pojmom sekundárna doprava sa preto označuje presun čerstvého betónu od miesta odberu až k miestu jeho zabudovania. Sekundárna

doprava ČB sa zvykne označovať aj ako vnútrostavenisková. V sekundárnej fáze dopravy ČB je možné tento premiestňovať na miesto zabudovania okamžite po privezení na stavenisko, alebo ho ukladať do tzv. odovzdávacieho zásobníka (skracovanie času nevyhnutne stráveného dopravným prostriedkom na stavenisku). Návrh systému vnútrostaveniskovej dopravy čerstvého betónu je ovplyvnený hlavne miestnymi podmienkami, kapacitami zhotoviteľa a konzistenciou betónovej zmesi. Pri jeho návrhu je potrebné brať ohľad na zabránenie zmene vodného súčiniteľa, segregácii zrn kameniva a cementového tmelu a zatuhnutiu čerstvého betónu, čím by sa radikálne zmenila kvalita výslednej betónovej konštrukcie.

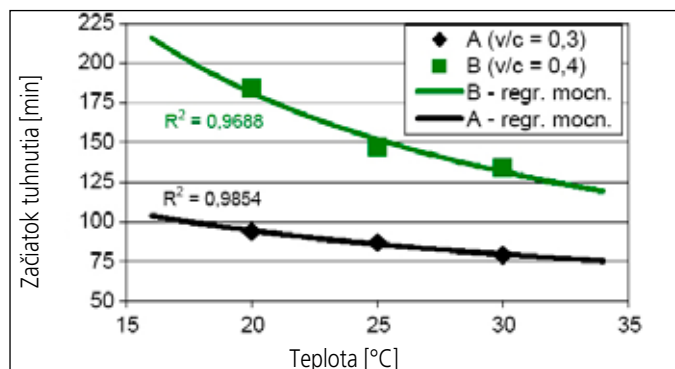
## Primárna doprava

Vo väčšine prípadov je potrebné čerstvý betón dopraviť na stavenisko z betonárne. Závažnosť primárnej dopravy ČB sa prejavuje hlavne v letných mesiacoch, kedy sú denné teploty ovzdušia vysoké. To spôsobuje urýchľovanie tempa hydratácie v betóne a multiplikáciu teploty ČB hydratačným teplom (obr. 1). Výsledkom je skracovanie času, kedy dochádza k počiatku tuhnutia betónu. Z hľadiska dopravy ČB a jeho spracovania je čas začiatku tuhnutia rozhodujúcim faktorom.

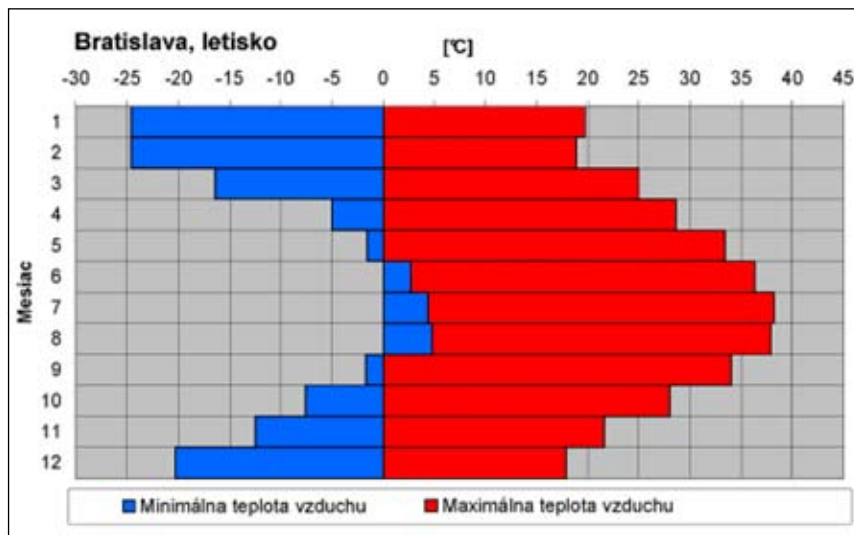
Do začiatku tuhnutia [2] musí byť betón uložený do debnenia a musí byť ukončené jeho zhutňovanie. Týmto sa dostávame ku závažnej



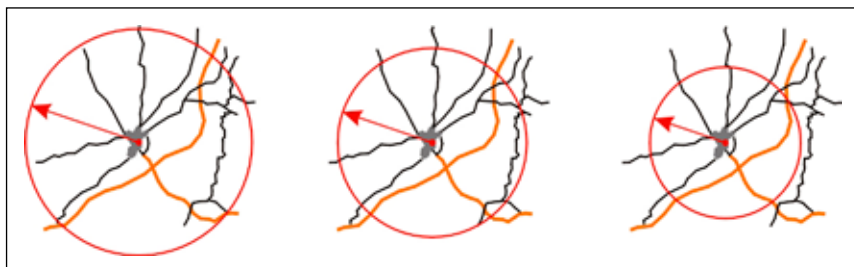
Obr. 1: Vplyv teploty na rýchlosť hydratácie [1]



Obr. 3: Časy začiatku tuhnutia vzoriek podľa teploty prostredia [5]



Obr. 2: Priemerné maximálne a minimálne teploty ovzdušia [12]



Obr. 4: Ideálny model spádovej oblasti pre rôzne teploty (zľava - stúpajúce) [5]

požiadavke podľa *STN P ENV 13670-1* [3] hovorí, že betón pri zhutňovaní ponornými vibrátormi (najrozšírenejší spôsob) musí byť zhutňovaný až do hĺbky 50–100 mm predchádzajúcej vrstvy. To znamená, že nielen čerstvo uložený betón, ale aj betón uložený v poslednej vrstve ešte nesmie začínať tuhnúť. Maximálny prípustný čas na dopravu betónu sa tým pádom skraca aj o dobu medzi zhutnením poslednej vrstvy a začiatkom zhutňovania najvrchnejšej vrstvy betónu.

Výsledkom je, že betón treba ochraňovať pred účinkami vysokej teploty (nad 25 a obzvlášť nad 30 °C, obr. 2). Podľa *STN EN 206-1* [4] nesmie teplota betónu pri dodaní prekročiť +30 °C, ak sa nezvolia vhodné opatrenia. Jedná sa hlavne o optimálne zloženie ČB pre dané podmienky. Dôležitý je výber vhodného druhu cementu, prísad, prímies a vodného súčiniteľa. Riešením môže byť aj chladenie ČB, napríklad pridaním určitého množstva zámesovej vody vo forme ľadu alebo chladenie tekutým dusíkom.

Opačný prístup k problému je definovanie maximálnej dopravnej vzdialenosti podľa zloženia betónu, teploty prostredia, času začiatku tuhnutia ČB (obr. 3) a prepravnej rýchlosti na jednotlivých komunikáciách tak, aby na stavenisku zostával dostatok času na jeho zabudovanie (uloženie a zhutnenie) v súlade s *STN P ENV 13670-1* [3]. Takýmto prístupom je možné pre dané vstupné okrajové podmienky určiť veľkosť spádovej oblas-

ti každej betonárky (obr. 4). Zohľadnením priestupnosti existujúcej infraštruktúry sa spádová oblasť zdeformuje na reálnejší model spádovej oblasti (obr. 5). Výber dodávateľa ČB a teda aj návrh primárnej dopravy by mal zohľadňovať polohu betonárok vzhľadom na stavenisko, ktoré by jednoznačne malo byť v reálnej spádovej oblasti vybranej betonárky.

Podcenenie výberu dodávateľa ČB s ohľadom na možnosti primárnej dopravy ČB v letnom období môže mať za následok sekundárnu dopravu čiastočne zatuhnutého betónu, čo nemusí byť vždy možné. 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. 6), ku vzniku štrkových hniezd, ku zníženiu únosnosti konštrukcie alebo zhoršeniu iných potenciálnych úžitkových vlastností (napr. trvanlivosti, vodotesnosti).

### Sekundárna doprava

Sekundárna doprava ČB, niekedy označovaná aj ako vnútrostavenskú alebo objektovú [6], je uskutočňovaná zväčša vertikálnu dopravu pri súčasnom vodorovnom presune podľa miesta betonáže.

Návrh sekundárnej dopravy čerstvého betónu je ovplyvnený hlavne rozmermi stavby, štádiom jej rozostavanosti, miestnymi podmienkami, kapacitami zhotoviteľa a konzistenciou čerstvého betónu. Pri návrhu je potrebné brať ohľad na za-

bránenie zmeny vodného súčiniteľa, segregácii zrn kameniva a cementového tmelu a zatuhnutiu čerstvého betónu, čím by sa radikálne zmenila kvalita výslednej betónovej konštrukcie.

Sekundárnu dopravu ČB môžeme rozdeliť do troch hlavných kategórií:

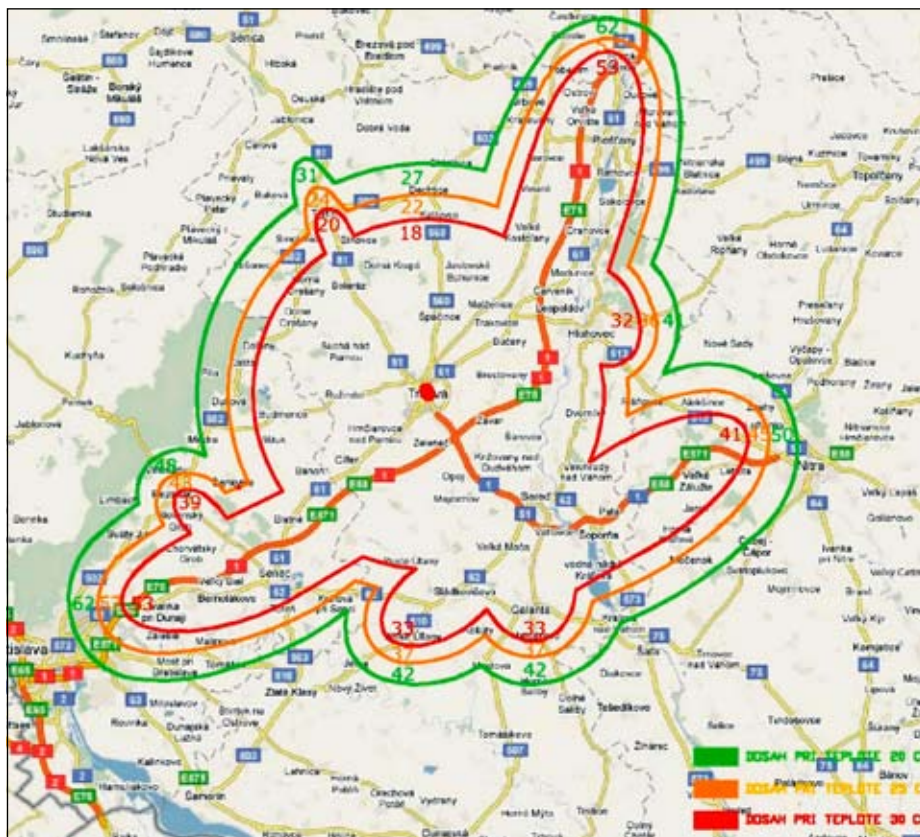
- **Mechanická manuálna** – Predstaviteľmi sú spôsoby dopravy s využívaním manuálnej práce robotníkov ako napríklad doprava fúrikmi alebo japonkami. Tieto spôsoby sa vyskytujú aj v dnešnej dobe, no prevažne pri malom objeme betonárskych prác a v oblastiach s lacnejšou pracovnou silou.
- **Mechanická strojová** – Typickými predstaviteľmi je dopravovanie ČB v kontakte so vzduchom za pohonu motora, ako napríklad doprava v betonárskom koši zavesenom na výložníku žeriava alebo doprava pomocou pásových dopravníkov (v EU veľmi slabozastúpená).
- **Potrubná** – Túto kategóriu zastupujú čerpadlá betónu, ktoré po napojení na dopravné potrubie zabezpečujú rýchlu a efektívnu dopravu čerstvého betónu až do debnenia.

V súčasnosti sa v podmienkach stavieb strednej Európy používa prevažne potrubná doprava pomocou čerpadiel čerstvého betónu (mobilné aj stabilné) a mechanická strojová s použitím závesných košov (bádii) na ČB spoločne s vežovými žeriavmi. Z tohto dôvodu sa budeme podrobnejšie venovať len uvedeným spôsobom.

Sekundárna doprava prostredníctvom bádii (obr. 7) zavesených na vežových žeriavoch je predstaviteľom cyklickej dopravy, nakoľko je možné ju vyskladať zo základných operácií, ktoré sú zoradené v technologickom slede, logicky na seba naväzujú a pravidelne sa opakujú. Typický objem bádie je 0,5–2,0 m<sup>3</sup>. Dopravu čerstvého betónu pomocou bádii je vhodné využívať v menších stavbách (prevažne na betonáž stĺpov) prípadne aj horizontálnych nosných konštrukcií, ak nie je možné využiť mobilné čerpadlo čerstvého betónu. Neodporúča sa využívať vo výškovej výstavbe, nakoľko významne predlžuje čas výstavby z dôvodu zvyšovania potreby času na operácie presunu s rastúcou dopravnou vzdialenosťou.

Potrubná sekundárna doprava ČB sa rozdeľuje na dve podskupiny, a sice: mobilnú a stabilnú. Obe však fungujú na základe rovnakého princípu práce a 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 („hadicové“) a pneumatické [7, 8].

Piestové čerpadlá (obr. 8) sú na prepravu čerstvého betónu využívané najčastejšie a princíp ich práce spočíva v činnosti dvoch pracovných valcov, ktoré sú zaústené do násypného koša. Pracou motora sa



Obr. 5: Reálnejší model spádovej oblasti mesta Trnavy pri teplotách 20 °C – zelená; 25 °C – oranžová; 30 °C – červená [5]



Obr. 6: Príklad vady betónovej konštrukcie v dôsledku nedokonalého vyplnenia debnenia betónom



Obr. 7: Betonáž stĺpov s použitím bádie

vytvára v hydraulickom systéme tlak a dostávajú do pohybu dva piesty pracujúce s fázovým posunom  $1\pi$ . Za neustáleho, rýchleho prepínania dopravnej rúry typu C alebo S na jeden zo sacích otvorov dochádza v jednom z valcov k nasávaniu čerstvého betónu z násypky, zatiaľ čo v druhom valci prebieha jeho vytlačenie do pripojenej dopravnej rúry. Piestové čerpadlá betónu sú schopné dopravy všetkých konzistencií betónu do frakcie kameniva 63 mm (aj drveného) s teoretickou výkonnosťou do cca 200 m<sup>3</sup>/h pri účinnosti cca 75 %.

Princíp práce rotačných čerpadiel betónu (obr. 9), nazývaných aj stláčacie (*squeeze*), je založený na posune čerstvého betónu z násypného koša do sacieho otvoru pomocou hriadeľa s lopatkami. Tu je čerstvý betón nasávaný do pružného polkruhového potrubia umiestneného v priestore rotora čerpadla. Rotor je vybavený najmenej dvomi valcami, ktoré neustálymi pojazdi (rotáciou okolo osi rotora) po mäkkom potrubí nasávajú a na druhom konci potrubia vytlačujú čerstvý betón. Rotačné čerpadlá dosahujú teoretickú výkonnosť do 40 m<sup>3</sup>/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 cca 100 m horizontálne a 35 m vertikálne.

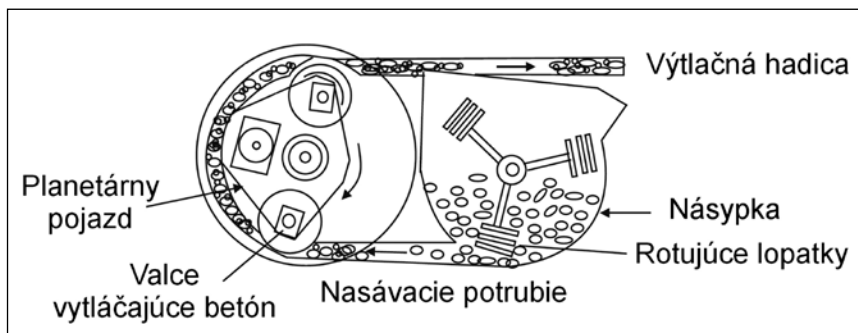
Mobilné čerpadlá (obr. 10) sú namontované na automobilovom podvozku pričom ich základné komponenty sú: násypný kôš, čerpacia jednotka (maximálny výpočtový výkon 200 m<sup>3</sup>/h), hydraulický stožiar (výložník) s potrubím a hadicou [9]. Maximálny horizontálny a vertikálny dosah 56 a 61 m (špeciálne 63 m), bežne sa však pracuje s dosahmi 38 m. Po príchode mobilného čerpadla na stavenisko sa pristaví k odbernému miestu, vysunie podpery a následne môže začať rozbalovať výložník. Po privezení ČB ho dopravný prostriedok začne liať do násypného koša opatreného roštom s okami (63 mm) pričom sa ČB začína dopravovať pomocou čerpadla na miesto zabudovania. Po ukončení práce na stavenisku sa potrubie prečistí vťahnutím gumeného čistiaceho prvku a násypný kôš sa umyje vodou z vlastnej tlakovej nádrže. Následne sa stiahne výložník, stiahnu sa podpery a čerpadlo môže opustiť stavenisko. Použitelnosť mobilných čerpadiel je veľmi

vysoká vzhľadom na zjednodušenie návrhu sekundárnej dopravy ČB a možnosť operatívneho riadenia prípadného presunu čerpadla. Využitie mobilných čerpadiel však neraz vyžaduje zabratie verejného priestranstva, ktoré je samozrejme riešené na úkor komfortu strán dotknutých výstavbou. Mobilné čerpadlá je vhodné nasadzovať v pozemnom stavitelstve hlavne krátkodobu alebo v podmienkach rozsiahleho staveniska, špeciálne v zakladaní stavby, prípadne v realizácii spodnej stavby a ich význam sa prakticky stráca pri betonáži nosných konštrukcií výškových stavieb.

V priebehu posledných 4 rokov sa na stredo-európskom trhu začali objavovať modifikácie mobilných čerpadiel ČB. Príkladom je tzv. mestská pumpa (*City Pump*), ktorá nie je opatrená výložníkom, keďže doprava ČB sa uskutočňuje cez zmontovateľné potrubie. Táto modifikácia disponuje výpočtovým výkonom 57 m<sup>3</sup>/h a schopnosťou dopravy na vzdialenosť do 600 m (v horizontálnom smere). Najširšie uplatnenie môže nájsť v husto zastavaných, historických alebo turisticky vyhľadávaných lokalitách.



Obr. 8: Piestové čerpadlo čerstvého betónu [13]



Obr. 9: Rotačné čerpadlo (upravené z [11])

Stacionárne (stabilné) čerpadlá (obr. 11) sú riešené ako príviesné zariadenia pozostávajúce zo základných komponentov: dieselový motor, vlastné čerpadlo s nádobou (násypný kôš), rozoberateľné potrubie a výpustná hadica. Násypný kôš je opatrený roštom, ktorý má zabrániť poškodeniu čerpadla z dôvodu čerpania betónu s väčším maximálnym zrnom, ako je prípustné. Stabilné čerpadlá sú konštruované na rôzne využitia a teda aj rôzne konzistencie betónu od extrémne tekutých (injektážnych) zmesí až po tuhé konzistencie s maximálnym zrnom kameniva 63 mm. Princíp stabilných čerpadiel je v tom, obslužiť celé stavenisko, alebo jeho maximálnu časť, z jednej pozície čerpadla betónu, a teda z jedného odberného miesta. Táto obsluha je limitovaná maximálnymi dopravnými vzdialenosťami, ktoré sa bežne pohybujú v horizontálnom smere 400 m a vertikálnom 250 m (max. vertikálny dosah bol preukázaný v Riva Del Garda v Taliansku, kde bol betón bez prečerpávania dopravovaný do výšky 532 m [10]).

Stabilné čerpadlo je po privezení na stavenisko umiestnené na vopred navrhnuté odberné miesto (v blízkosti stavebného objektu), odkiaľ sa pripojí na dopravné potrubie čerstvého betónu (obr. 12). Dopravné potrubia môžu byť umiestnené v horizontálnom a vertikálnom smere, pričom

ich vhodný návrh a rozmiestnenie zabezpečí optimálne tlakové a odporové pomery prepravovaného betónu a tým vplýva aj na plnenie teoretického výkonu čerpadiel (maximálne 200 m<sup>3</sup>/h). Čerpadlo zostáva na stavenisku do ukončenia hrubej stavby, resp. do pominutia potreby jeho práce, kedy sa rozoberie aj dopravné potrubie. Využitie stabilných čerpadiel je veľmi výhodné v pozemnom staviteľstve, či už v rozsiahlych nízkych stavbách alebo vo výškovej výstavbe, prípadne v banských stavbách hlavne pri torkrétovaní alebo betonáži ostení tunelov (obr. 13) [9].

Systém čerpania betónu pomocou stabilných čerpadiel môže byť efektívne rozšírený o pomocné konštrukcie, zväčša nesúce potrubia, resp. výložníky s potrubím a hadicou, ktoré bežne zabezpečujú horizontálny dosah cca 35 m. Medzi spomínané základné pomocné konštrukcie patria viacvetvové potrubné systémy, rúrové stožiare, stožiare vežových žeriavov, prípadne šplhacie zariadenia, ktoré sú podrobnejšie popísané v nasledujúcich bodoch.

Potrubné systémy umožňujú tok čerstvého betónu od čerpadla po miesto zabudovania. Možno ich vyskladať z priamych rúrových prvkov dĺžok 1, 2 a 3 m, oblúkových prvkov (tzv. kolien s polomerom  $r = 1$  m) so zmenou smeru 30 a 90°, flexibilných hadíc, vyrábaných v štandardných dĺžkach, roz-

deľovacích staníc a spojovacích prvkov (tzv. rýchlospojky). Priame rúrové prvky sú najčastejšie používané oceľové, priemerov od 100 mm do 150 mm s hrúbkami stien 4–7 mm. Vo všeobecnosti sa uplatňuje snaha o minimalizovanie množstva flexibilných hadíc v systéme, nakoľko kladú prúdiacemu betónu vyšší trecí odpor. Kolená sú vyrábané ako oceľové s rovnakými parametrami, ako majú priame kusy potrubia. Pri návrhu systému je vhodné minimalizovať počet zmien smeru prúdenia čerstvého betónu, a tým množstvo použitých kolien. Každé 90° koleno si totiž vyžaduje zvýšenie tlaku ekvivalentné 3 m dlhému potrubiu a každé 30° koleno je ekvivalentné 1 m dlhému potrubiu rovnakej svetlosti uloženému v horizontálnom smere. V nadväznosti na potrebný tlak je vhodné si uvedomiť, že vo vertikálnej časti potrubného systému sa znižuje tlak o 0,25 bar na 1 m výšky [11]. Navrhnuté dopravné komponenty sa jednoducho montujú rýchlospojkami. V závislosti od podmienok stavby, zložitosti a požiadaviek súčasného čerpania betónu je možné vytvoriť viacvetvový potrubný systém (obr. 14) čerpania betónu zkomponovaním rozdeľovacích staníc. Tieto môžu byť umiestnené horizontálne alebo vertikálne na jednom prívodnom potrubí od čerpadla, kde ventilmi usmerňujú tok betónu do niektorej z napojených vetiev. Hlavnými výhodami ich použitia je zníženie



Obr. 10: Mobilné čerpadlo ČB



Obr. 11: Stabilné (stacionárne) čerpadlo ČB



Obr. 12: Odberné miesto ČB



Obr. 13: Stabilné čerpadlo použité na betonáž ostenia tunela



Obr. 14: Viacvetvový potrubný systém

nákladov na nadbytočné trasy potrubí, zjednodušenie staveniskovej prevádzky a aj možnosť čistenia jednej vetvy počas práce druhej. Nespornou výhodou je určite aj funkcia kvázi spätnéj klapky, ktorá znižuje záťaž čerpadla z dôvodu vlastnej tiaže betónu v potrubí.

Rúrové stožiare sú pomocné konštrukcie nesúce vertikálnu časť dopravného potrubia a hlavne výložník, ktorý zabezpečuje horizontálny dosah. Pozostávajú zo základového oceleového rámu kotveného do spevnenej a dostatočne únosnej plochy, tela stožiara prevažne kruhového prierezu, hornej časti usposobenej na montáž výložníka a samozrejme z rebríka a pochôdznej lávky. Rúrové stožiare zabezpečujú výškový dosah do cca 35 m a výložníky horizontálny do cca 30 m. Ich nasadenie je preto obmedzené (hlavne výškovo). Najvhodnejšie použitie možno definovať ako stredne veľkú, kompaktnú stavbu do 10 NP. V hustej zástavbe s „nulovým staveniskom“, bez možnosti záberu komunikácie.

Veže (obr. 15) tiež patria k pomocným konštrukciám a tiež nesú vertikálnu časť dopravného potrubia a výložník. Sú však vyhotovené ako oceleové priestorové priehradové sústavy s pôdorysom tvaru štvorca o strane cca 1,3 m, čo im zabezpečuje väčšiu tuhosť. Skladajú sa zo základných prvkov: kotviaci dielec, štandardný dielec (dĺžky 3–6 m) a vrchný dielec nesúci základňu výložníka a pochôdznu lávku. Okrem týchto častí môžu byť vybavené šplhacím zariadením. Veže je potrebné kotviť do rovného, spevneného a dostatočne únosného povrchu. Spôsob kotvenia sa určuje v závislosti od výšky veže, napríklad voľne stojacu vežu výšky 24 m je potrebné kotviť trvalo zabetónovanými kotvami do samostatného základu (najnákladnejší spôsob), no všetky ostatné veže sú kotvené pomocou skrutiek prís-



Obr. 15: Voľne stojace veže pri betonáži zásobníkov zemného plynu

lušných dimenzií. Pri montáži veží sa používajú na spájanie dielcov horizontálne kolíky (tzv. pin connection) umožňujúce rýchlu montáž. Pre pokrytie čo najväčšej plochy stavby jedným výložníkom je vhodné umiestňovať vežu do vnútra dispozície, kde sa v úrovni stropov, v rohoch vyklinuje a tým sa umožní prenos vodorovných síl do stropnej dosky. V prípade potreby je možné veže umiestniť aj mimo pôdorysu stavby, kde môžu byť postavené ako voľne stojace alebo kotvené do objektu. Ak si situácia vyžaduje väčšie výšky veží mimo pôdorysu stavby, je možné ich zmontovať a v predpísaných úrovniach kotviť do objektu. Na prvý pohľad je zrejme, že veže ako pomocné konštrukcie pre dopravu čerstvého betónu stabilnými čerpadlami je ideálne využívať na kompaktné stavby, ktorými určite sú výškové objekty.

Šplhacie zariadenia umožňujú vertikálne presúvanie veže s rastúcou výškou stavby bez potreby zvyšovania základnej výšky tejto veže. Uplatnenie nachádzajú najmä vo výstavbe obzvlášť vysokých stavieb, kedy by bolo vrcholne neekonomické platiť prenájom zbytočných napr. 200 m veže. Šplhacie zariadenia v kombinácii s vhodne zvolenou výškou veže zabezpečujú plynulý priebeh prác. Pri využití šplhacieho zariadenia sa veža umiestňuje vo vnútri dispozície stavby, v montážnych otvoroch stropných konštrukcií alebo, ak je to možné, vo výtahových šachtách a podobne. Bežné aj najmodernejšie hydraulické šplhacie zariadenia, ktoré zdvíhajú veže piestami umiestnenými len z jednej strany, potrebujú pre svoju činnosť umiestniť okolo otvorov roznašacie rámy.

Výložníky sú konštrukcie zabezpečujúce horizontálny (čiastočne aj výškový alebo hĺbkový) dosah, ktorý sa pohybuje cca do 35 m, čo je dané

skutočnosťou, že na stabilné veže sa montujú výložníky rovnakej konštrukcie ako na mobilné betónové čerpadlá. Tieto sú privezené na stavenisko bežným nákladným dopravným prostriedkom, z ktorého sú pomocou žeriava umiestnené na vežu. Pri návrhu žeriavov, špeciálne vežových, je nevyhnutné zohľadniť prípadné šplhanie veže na čerpanie betónu, keďže po ukončení práce bude nevyhnutné odmontovať jej výložník s hmotnosťou do 6 t a premiestniť ho na terén. Výložníky sú konštruované tak, že umožňujú 360° manévrovateľnosť, čo pri maximálnom vyložení 35 m predstavuje obsluhovanú plochu 3850 m<sup>2</sup>. Týmito parametrami poskytujú ideálne riešenie potreby čerstvého betónu hlavne vo výškovej výstavbe, no ich využiteľnosť sa presúva aj do rozsiahlejších stredne vysokých stavieb.

Pre správne fungovanie systému sekundárnej dopravy ČB čerpadlami je potrebné, aby sme si uvedomili zásady ich návrhu. Musíme uvažovať vplyv veľkého množstva faktorov, počnúc potrebnou výpočtovou výkonnosťou, dopravnou vzdialenosťou cez konzistenciu čerstvého betónu až po potrubný systém. Všetky spomenuté faktory zohrávajú dôležitú úlohu v efektívnosti fungovania vnútrostaveniskového čerpania betónu. V prvom kroku je potrebné stanoviť požadovanú teoretickú výkonnosť, ktorá sa spresní empiricky stanoveným pracovným súčiniteľom cca 0,80. Na základe potrebného výstupného výkonu a dopravnej vzdialenosti sa navrhne čerpadlo, ktoré musí spĺňať aj požiadavky na prevádzkový tlak  $p$  (bar = 0,1 N/mm<sup>2</sup>). Medzi výkonom čerpadla ( $Q$ ) a prevádzkovým tlakom ( $p$ ) platí nepriama závislosť, a teda  $Q \cdot p = \text{konštanta}$ . K navrhnutému čerpadlu je potrebné 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 kužeľa 40–100 mm, resp. VeBe 3–5 s) [9].

### Príklad návrhu stabilného čerpadla

Počas betonáže stavby výšky 65 m je potrebné zhotoviť 40 m<sup>3</sup> betónových konštrukcií za 1 hodinu. Pre dopravu čerstvého betónu (konzistencia danej sadnutím kužeľa 100 mm) bude použitý výložník s horizontálnym dosahom 27 m a dopravné potrubie priemeru 125 mm s 5 kolenami 90°, 2 kolenami 30° a celkovou dĺžkou 110 m. Pre prácu čerpadla uvažujeme pracovný súčiniteľ 0,75. Dopravná výška sa získava ako výška stavby zvýšená o 4 m (na manipuláciu a najvyšší bod zhybu výložníka). Hodnoty sú uvedené v tabuľke.

### Záver

V súčasnej dobe existuje mnoho spôsobov dopravy čerstvého betónu, ktorých prípadné aplikovanie ešte nezaručuje optimálne využitie. Dôležité je, aby sekundárna doprava ČB naväzovala na primárnu. Zároveň je dôležité primárnu dopravu zvoliť tak, aby (s ohľadom na sekundárnu) bolo možné dopraviť na stavenisko čerstvý betón s dostatočnou časovou rezervou na jeho uloženie a spracovanie.

PETER BRIATKA

foto archiv autora

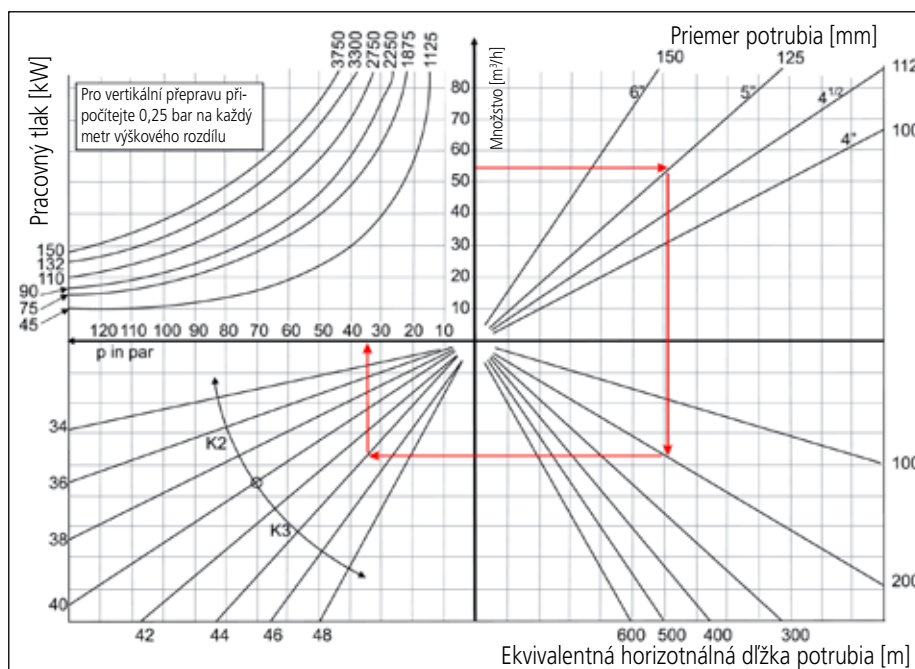
### Literatúra:

- 1) Schindler, A. K.: Effect of temperature on hydration of cementitious materials. Technical paper, ACI Materials Journal, January–February, ACI, USA, 2004.
- 2) STN EN 196-3: Metódy skúšania cementu. Časť 3: Stanovenie času tuhnutia a objemovej stálosti.
- 3) STN P ENV 13670-1: Zhotovovanie betónových konštrukcií. Časť 1: Spoločné ustanovenia.
- 4) STN EN 206-1/Z1/O1: Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Zmena 1. Oprava 1.
- 5) Briatka, P. – Štefánik, L. – Makýš, P.: Mimostavenisková doprava čerstvého betónu a vplyv teploty prostredia. BETON TKS 4/2009, BETON TKS, Praha, 2009, str. 50–54.
- 6) Makýš, O. – Makýš, P.: Stavenisková prevádzka – zariadenie staveniska. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2003.
- 7) Juriček, I.: Technológia pozemných stavieb – hrubá stavba. Jaga, Bratislava, 2001.
- 8) Juriček, I. a kol.: Konštrukcie budov z monolitického betónu. Eurostav, Bratislava, 2005.
- 9) Briatka, P.: Vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu čerpadlami. Stavba 1–2/2008, MF Media, Bratislava, 2008.

- 10) Ali, M. M.: Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao. School of Architecture at University of Illinois, USA.
- 11) Singht, B.: Some issues related to pumping of concrete. The Indian Concrete Journal, 9/04, 2004, pp. 41–44.
- 12) www.shmu.sk
- 13) www.putzmeister.com

Ing. Peter Briatka (\*1982)

je absolventom Stavebnej fakulty STU, kde pôsobí ako doktorand. Zároveň je výskumným pracovníkom TSÚS v Bratislave. Špecializuje sa na technológiu betónu, objemové zmeny betónu, jeho trvanlivosť a nedestruktívne zkušebné metódy. Je členom technických komisií ACI 201, 209 a 308.



Obr. 16: Nomogram pre určenie horizontálnej zložky tlaku v potrubí (upravený z [11])

### Tabuľka: Príklad návrhu stabilného čerpadla

Požadované množstvo prečerpaného betónu	$Q_P = 40 \text{ m}^3/\text{h}$	(dané)
Pracovný súčiniteľ	$N_P = 0,75$	(dané)
Konzistencia čerstvého betónu (sadnutím kužeľa)	$K_S = 100 \text{ mm}$	(dané)
Priemer dopravného potrubia	$D = 125$	(dané)
Návrhový výkon čerpadla	$Q_N = Q_P / N_P$	53,3 m <sup>3</sup> /h
Dĺžka dopravného potrubia (horizontálna)	$L_H = 110 \text{ m}$	(dané)
Počet kolien 90°	$E_{90} = 5$	(dané)
Počet kolien 30°	$E_{30} = 2$	(dané)
Súčet zmien smeru toku betónu	$A = E_{90} \cdot 90 + E_{30} \cdot 30$	510°
Ekvivalentný počet 30° kolien	$A_{E30} = A/30$	17
Ekvivalentná horizontálna dĺžka potrubia ku A	$E_L = A_{E30} \cdot 1$	17 m
Horizontálna dĺžka výložníka	$L_B = 27 \text{ m}$	(dané)
Ekvivalentná horizontálna dĺžka 27m výložníka	$L_{B27} = 10 \text{ m}$	(dané)
Sumárna ekvivalentná horizontálna dĺžka	$S_E = L_H + E_L + L_B + L_{B27}$	164 m
Z nomogramu čerpania betónu (obr. 16) pre návrhový výkon čerpadla 53,3 m <sup>3</sup> /h, sadnutie kužeľa 100 mm, dopravnú dĺžku potrubia 164 m a priemer potrubia 125 mm bude potrebný pracovný tlak $p_H = 34 \text{ bar}$ (3,4 N/mm <sup>2</sup> ).		
Vertikálny dosah (dopravná výška)	$L_V = 69 \text{ m}$	(dané)
Vertikálna zložka prac. tlaku ekvivalentná ku $L_V$	$p_V = L_V \cdot 0,25 \text{ bar}$	17,25 bar
Celkový pracovný tlak	$p = p_H + p_V$	51,25 bar
Požadovaný výkon hnacieho agregátu čerpadla	$P = (Q_N \cdot p)/25$	110 kW