

## Vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu čerpadlami

### In Site Fresh Concrete Transport with Stable Pumps

#### Opodstatnenosť potreby riešenia vnútrostaveniskovej dopravy čerstvého betónu

Jedným z procesov, ktorý zásadne ovplyvňuje priebeh výstavby hrubej stavby je vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu. Vplyv správneho výberu dopravy čerstvého betónu je priamo úmerný zvyšujúcemu sa podielu monolitických železobetónových konštrukcií v stavbe (napr. „v Českej republike sa ročne vyrobí niečo cez pol tony betónu na jedného obyvateľa“ - prof. Břetislav Teplý, a „je predpoklad celosvetovej produkcie betónu 1,95 mld. ton v roku 2010“ [3]). Aj keď to na prvý pohľad nemusí byť zrejmé, optimálnym návrhom vnútrostaveniskovej dopravy čerstvého betónu je možné ovplyvniť dobu výstavby, potrebu zabratia verejných priestranstiev resp. zníženie požiadaviek na rozlohu staveniska, ochranu životného prostredia a v neposlednom rade kvalitu zabudovávaného betónu. Kvalita betónu môže byť, hlavne pri jeho doprave pomocou košov v letnom období, znížená nedostatočnou priepustnosťou obslužného kanála, čo spôsobuje vytváranie frontov dopravných prostriedkov čakajúcich na vyprázdenie. V prípade výskytu takto „fungujúceho“ systému dochádza po určitej dobe k začiatku tuhnutia čerstvého betónu. Pri ukladaní čiastočne zatuhnutého betónu nie je možné ho dôkladne zhutniť, čo môže viesť k lokálnym poruchám obalenia betonárskej výstuže (štrkové hniezda), umožneniu lokálnej korózie výstuže a zníženiu únosnosti konštrukcie. V každom prípade dochádza ku zbytočnému zaberaniu verejného priestranstva, znehodnocovaniu ovzdušia, zvyšovaniu hladiny hluku z chodu motorov čakajúcich dopravných prostriedkov, znižovaniu kvality železobetónových konštrukcií a zvyšovaniu nákladov na dopravu čerstvého betónu (prestoje).

#### Čerstvý betón od výroby po zabudovanie

Výrobu čerstvého betónu je, vo všeobecnosti, možné rozdeliť na staveniskovú a mimostaveniskovú. Medzi základné faktory určujúce miesto výroby čerstvého betónu patria: požadované množstvo dodávaného betónu spolu s dispozíciou staveniska a požiadavkami ochrany životného prostredia; existencia vhodných výrobcov betónu v okolí stavby; finančné náklady plynúce z výroby a dopravy čerstvého betónu a dopravné zaťaženie plánovaných dopravných trás.

Po dôkladnom zvážení všetkých racionálnych spôsobov zabezpečenia dodávok čerstvého betónu pre plynulý priebeh výstavby sa zväčša vyberie mimostavenisková výroba. Táto skutočnosť vyplýva z vysokých nárokov staveniskovej betonárky na rozlohu staveniska, objemu dodávok pre stavbu, resp. zabezpečenia iného odbytu. Z mimostaveniskového variantu zásobovania stavby čerstvým betónom vzniká potreba dopravy čerstvého betónu na stavenisko, ktorá sa realizuje autodomiešavačmi alebo automiešačmi. Automiešače sú využívané zriedkavejšie a vhodné sú pre použitie vtedy, ak čas dopravy čerstvého betónu na stavenisko je príliš veľký a nie je možné dostatočne oddialiť začiatok tuhnutia čerstvého betónu. Princíp spočíva v namiešaní plniva (kameniva) a spojiva (cementu) v betonárni do automiešača, ktorý ich v suchom stave dopraví na stavenisko a až potom sa do zmesi pridá voda. Vodu dávkuje vodič a teda je väčšia pravdepodobnosť nedodržania predpísaného vodného súčiniteľa (receptúry), a tým aj ovplyvnenia všetkých vlastností betónu.

Na stavenisku treba betón dopraviť z miesta odberu na miesto zabudovania (vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu). Dopravený čerstvý betón je možné 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 čerstvého betónu. Pri jeho návrhu je potrebné brať ohľad na zabránenie zmeny vodného súčiniteľa, segregácii zrn kameniva a cementového tmelu a zatuhnutiu čerstvého betónu, čím by sa radikálne zmenila kvalita výslednej betónovej konštrukcie.

#### Vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu na Slovensku

„Vnútrostavenisková doprava čerstvého betónu, označovaná aj ako objektová, je uskutočňovaná zväčša vertikálnou dopravou pri súčasnom vodorovnom presune podľa miesta betónovania.“ [1] V súčasnej dobe sa v podmienkach stavieb realizovaných slovenskými renomovanými stavebnými spoločnosťami využívajú prevažne vežové žeriavy so zaveseným košom na čerstvý betón (objemu od 0,5m<sup>3</sup> do 2,0m<sup>3</sup>) a čerpadlá čerstvých betónov, ktoré môžu byť mobilné alebo stacionárne (stabilné). S používaním mobilných čerpadiel má väčšina stavebných firiem už bohaté skúsenosti. Stacionárne (stabilné) čerpadlá sa začali vo väčšom rozsahu používať iba v ostatnom čase, preto je článok venovaný práve týmto čerpadlám a ich použitiu.

Mobilné i stabilné čerpadlá fungujú na základe rovnakého princípu práce a rozdiel sa prejavuje v spôsobe premiestňovania a variabilite rozvodného potrubia. Čerpadlá betónu je možné podľa spôsobu nasávania a dopravy betónu rozdeliť na piestové, rotačné („hadicové“ [2]) a pneumatické.

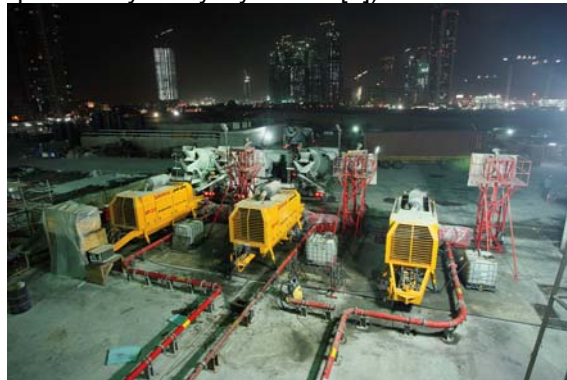
Pre správne fungovanie čerpadiel betónu je potrebné aby sme si uvedomili zásady ich návrhu. Musíme uvažovať vplyv veľkého množstva faktorov, počnúc potrebnou výpočtovou výkonnosťou, dopravnou vzdialenosťou, cez konzistenciu čerstvého betónu až po potrubný systém. Všetky spomenuté faktory zohrávajú dôležitú úlohu v efektívnosti fungovania vnútroštaveniskového 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  $p$  ( $\text{bar}=0,1 \text{ N/mm}^2$ ). 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 čerpaceľnosti betónu navrhnutého zloženia a konzistencie (sadnutie kužela 40-100 mm, resp. VeBe 3-5 s).

Mobilné čerpadlá sú namontované na automobilovom podvozku pričom ich základné komponenty sú: násypný kôš, čerpacia jednotka (maximálny výpočtový výkon  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ), hydraulický stožiar (výložník) s potrubím a hadicou.



Obr. 1 Stacionárne čerpadlo ČB

Stacionárne (stabilné) čerpadlá (Obr.1) sú riešené ako prívesné 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. Filozofia stabilných čerpadiel sa dá interpretovať ako snaha obslúžiť celé stavenisko, alebo jeho optimálnu 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 [4]).



Obr. 2 Odberné miesto ČB

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.2). 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 200m<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.3).



Obr. 3 Betonáž ostení tunelov

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. Potrubné systémy možno vyskladať z priamych rúrových prvkov dĺžok 1, 2 a 3 m, oblúkových prvkov (tzv. kolien s polomerom  $r=1m$ ) so zmenou smeru 30° a 90°, flexibilných hadíc vyrábaných v štandardných dĺžkach, rozdeľovacích staníc a spojovacích prvkov (tzv. rýchlospojky). Priame rúrové prvky sú najčastejšie používané ocelové, priemerov od 100 mm do 150 mm s hrúbkami stien 4 – 7 mm a s príslušnou povrchovou úpravou. Vo všeobecnosti sa uplatňuje snaha o minimalizovanie množstva flexibilných hadíc v systéme, nakoľko kladú prúdiacemu betónu vyšší trecí odpor. Kolená sú vyrábané ako ocelové s rovnakými parametrami ako 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 [5]. Navrhnuté dopravné komponenty sa jednoducho montujú rýchlospojkami. V závislosti od podmienok stavby, zložitosti a požiadaviek súčasného čerpania betónu je možné vytvoriť viacvetvový potrubný systém čerpania betónu zakomponovaním 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 nákladov na nadbytočné trasy potrubí, zjednodušenie staveniskovej prevádzky a aj možnosť čistenia jednej vetvy počas práce druhej. Nespornou výhodou je určite aj funkcia kvázi spätnej 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 ocelového 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 tiež patria k pomocným konštrukciám a tiež nesú vertikálnu časť dopravného potrubia a výložník. Sú však vyhotovené ako ocelové 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 príslušných dimenzií. Pri montáži veží sa používajú na spájanie dielcov horizontálne kolíky (tzv. pin connection), ktoré umožňujú neuveriteľne rýchlu montáž. Pre pokrytie čo najväčšej plochy stavby jedným výložníkom je vhodné umiestňovať vežu do vnútra dispozície stavby, 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. Voľne stojace veže sa smú použiť do výšky max. 24 m bez umiestnenia príslušných závaží. 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 zrejmé, že veže ako pomocné konštrukcie pre dopravu čerstvého betónu stabilnými čerpadlami je ideálne využívať na kompaktné stavby, ktorými určite sú výškové stavby.

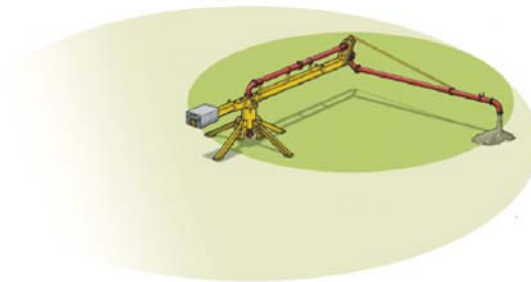
Šplhacie zariadenia (Obr.4) umožňujú vertikálne presúvanie veže s rastúcou výškou stavby bez potreby zvyšovania základnej výšky tejto veže. Uplatnenie nachádzajú najmä vo výstavbe obzvlášť vysokých stavieb, kedy by bolo vrcholne neekonomické platiť prenájom zbytočných napr. 200 m veže. Šplhacie zariadenia 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, tak 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 roznášacie rámy. Po takejto úprave je možné presúvať vežu z podlažia na podlažie a tým rýchlo a efektívne realizovať nosné konštrukcie výškových stavieb.



Obr. 4 Šplhacie zariadenie nesúce samostatný výložník

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. Najčastejšie sa používajú 4-sekčné „multi Z“ výložníky. Tieto sú privezené na stavenisko bežným nákladným dopravným prostriedkom, z ktorého sú pomocou žeriava umiestnené na vežu. Vďaka „pin connection“ systému je možné pripevniť výložník ku veži do 10 min. 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 riešenia potreby čerstvého betónu hlavne vo výškovej výstavbe, no ich využiteľnosť sa presúva aj do rozsiahlejších stredne vysokých stavieb.

Podlažné mechanické ukladače (deck placer) (Obr. 5) umožňujúce jednoduchú dopravu čerstvého betónu po umiestnení na betónovanom podlaží a napojení na dopravné potrubie. Využívajú sa na betonáž horizontálnych konštrukcií v podmienkach malých stavieb prevažne v centrách miest s dopravnými obmedzeniami brániacimi využitiu mobilných čerpadiel. Pracujú na základe mechanického riadenia členom betonárskej čaty. Skladajú sa zo statívu a výložného ramena (otočného o 360°), na ktoré je napojené druhé rameno (otočné o cca. 340°). Takto pracujúci mechanizmus s akčným rádiusom 10 m dokáže obslužiť 310 m<sup>2</sup> z jednej pozície, čím zjednodušuje prácu pri rozhrňaní čerstvého betónu.



Obr. 5 Podlažný mechanický ukladač ČB

### Technológie absentujúce na slovenskom stavebnom trhu a dôvody ich doplnenia

Čerstvý betón je na stavenisku možné dopravovať rôznymi technológiami a zariadeniami. Pre každú konkrétnu situáciu je optimálna iba jedna z možností. Viaceré spôsoby staveniskovej dopravy betónu sa však u nás používajú iba v minimálnom rozsahu.

Stavebné spoločnosti by v snahe o zvyšovanie produktivity a uspokojovania potrieb investorov, mali uvažovať o rozšírení svojich strojových parkov a technológií.

Hlavné rezervy v spôsoboch vnútrostaveniskovej dopravy čerstvého betónu na Slovensku sú citeľné v oblasti využitia pásových dopravníkov, s ktorými sa na stavbe nestretávame vôbec, alebo len výnimočne. Druhou oblasťou, kde si už ale situácia určite žiada riešenie, je doprava čerstvého betónu pomocou stabilných čerpadiel hlavne v súčinnosti s pomocnými konštrukciami. Prakticky všetky stavby, kde pripadá do úvahy riešenie dopravy čb pomocou stabilných čerpadiel sa u nás realizujú pomocou mobilných čerpadiel a závesných bádíí. Rok 2007 bol však, dá sa povedať, prelomový, kedy bolo možné na viacerých významných stavbách v Bratislave vidieť šplhacie veže s výložníkmi napojené na stabilné čerpadlá betónu. Za všetky spomeniem hlavne „Tri Veže“ – 3 ks, „Uviverso“ – 1 ks a „Lakeside Park“ – 1 ks.

Ak sa dostatočnou osvetou a potláčaním ignorácie nových technológií zo strany stavebných spoločností ani nepokúsime o zmenu, je možné že najlukratívnejšie zákazky na Slovensku budú dostávať zahraničné spoločnosti, ktorým sú pojmy ako kvalita, flexibilita a hospodárnosť ešte stále bližšie, ako majiteľom a manažérom mnohých našich stavebných firiem.

- Použitá literatúra:
- [1] Makýš, O., Makýš, P.: Stavenisková prevádzka, zariadenie staveniska, vydavateľstvo STU, Bratislava, 2003.
  - [2] Juríček, I. a kol.: Konštrukcie budov z monolitického betónu, Eurostav, Bratislava, 2005.
  - [3] H.S. Lew - Concrete: Construction Material For the 21st Century, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA.
  - [4] Mir M. Ali - Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao, School of Architecture University of Illinois, USA.
  - [5] Mr. Bhupinder Singht – Some issues related to pumping of concrete, The Indian Concrete Journal, 9/04, str. 41-44.
  - [6] www.putzmeister.com