

# TVRDOMĚRNÉ METODY ZKOUŠENÍ BETONU – ČÁST I. ■

## REBOUND HAMMER TESTING OF CONCRETE – PART I.

Petr Cíkrle, Dalibor Kocáb

Článek pojednává o vývoji tvrdoměrných metod pro zkoušení ztvrdlého betonu zabudovaného v konstrukcích. Problém zjištění kvality betonu přímo v konstrukci začal být vědecky řešen až ve 30. letech 20. století. Jednou z prvních metod bylo ostřelování povrchu betonu z revolveru Nagant a měření objemu kráteru, dále se rozvíjely metody vtiskové (zatlačování kuličky) a metody vnikací (ruční zarážení dláta). Článek připomíná české výzkumníky a jejich metody, které ve své době dobře sloužily ke zjištění kvality betonu nižších pevnostních tříd.

■ The paper deals with the history and development of the sclerometric testing of concrete in situ. The idea of assessing the quality of concrete in a structure only began attracting scientific attention in the 1930s. One of the early methods was shooting the concrete surface with a Nagant revolver and examining the crater. Other methods were based on ball indentation or manually driving in a chisel. This paper discusses Czech researchers and the methods they developed for assessing concrete quality during their time.

Betonové konstrukce byly a jsou budovány mimo jiné s cílem zajistit jejich dlouhodobou životnost, bezpečnost, trvanlivost, únosnost, stabilitu a provozní a funkční spolehlivost. Již v průběhu výstavby nebo kdykoliv v průběhu užívání stavby však může vzniknout potřeba vlastnosti betonu konstrukce ověřit nebo zjistit. Potřeba diagnostiky betonu vzniká nejčastěji z těchto důvodů:

- u nové konstrukce je ověření kvality betonu přímo v konstrukci požadováno investorem či uvedeno v kontrolním a zkušebním plánu,
- je nutno sledovat nárůst pevnosti betonu v tlaku krátce po vybetonování, např. z důvodu odbednění, ohřevu betonu v zimě či vnesení předpětí,
- u starší konstrukce je připravována modernizace či nadstavba, má dojít např. k přetížení konstrukce anebo ke změnám ve statickém působení (odstranění části prvků, zeslabení průřezů apod.),
- u konstrukce (bez ohledu na stáří) vznikla pochybnost o kvalitě betonu, často podložena negativními jevy (objevily se např. trhliny, nadměrné průhyby, vizuální defekty, podezřelá barva apod.).

Jak ověřit kvalitu betonu přímo v konstrukci? Použitelných metod není příliš mnoho, v zásadě je dělíme na nedestruktivní (např. ultrazvuk, tvrdoměry) a destruktivní (např. jádrové vývrty). V případě některých metod lokálního porušení hovoříme o semidestruktivních zkouškách. Nedestruktivní zkoušení betonu je definováno jako zkoušení betonu na tělesech, dílcích nebo konstrukcích, které se zkoušením vůbec neporuší nebo poruší jen tak nepatrně, že tím statická funkce zkoušeného tělesa nebo části konstrukce není dotčena [1].

Jasnou jedničkou v nedestruktivním zkoušení betonu je tvrdoměrná metoda, a proto se jí v následující minisérii článků chceme věnovat. První díl této plánované trilogie je věnován vývoji

tvrdoměrných metod, ve druhém dílu se budeme zabývat zkoušením betonu odrazovými tvrdoměry v nových i starších konstrukcích podle normových postupů, poslední díl pak představí některé novinky, výzkum a vývoj.

### POČÁTKY TVRDOMĚRNÝCH METOD

Potřeba zjistit kvalitu betonu přímo v konstrukci a pokud možno bez jejího porušení vznikla již v dobách úsvitu betonového stavitelství. Jak to však bývá, zpočátku nebyly k dispozici žádné nedestruktivní zkušební metody a jejich vývoj byl zdoluhavý. Zatímco laboratorní metody byly propracované od samého počátku, neboť kromě zkoušek na tělesech se provádělo i ověřování na nosnících a modelech, kontrola betonu zabudovaného v konstrukci byla odkázána na vizuální pozorování, doplněné maximálně použitím jednoduchých pomůcek typů kladívko a dláto. Teprve ve 30. letech 20. století se začínají téměř současně v Německu a Sovětském svazu provádět první zkoušky na ztvrdlém betonu, většinou na principu vnikacím či vtiskovým. Jednu z prvních metod představil v roce 1934 u nás v minulosti dobře známý sovětský profesor G. S. Skramtajev [2], který ostřeloval beton ze vzdálenosti 8 m revolverem systému Nagant (obr. 1).

Střela měla niklový plášť, hmotnost 7 g a ústovou rychlost 275 m/s. Důvody k volbě tohoto původem belgického revolveru spočívaly v rozšíření této zbraně v ruské a posléze sovětské armádě a také ve speciální konstrukci náboje, kdy zcela ukrytá střela při výstřelu roztáhla plášť a ten dokonale utěsnil komoru, takže nedocházelo k únikům plynu a všechny výstřely měly stejnou rychlost a energii. Pevnost betonu v tlaku se určovala z objemu kužele, který se na povrchu konstrukce vytvořil (samozřejmě byl idealizován, měřila se hloubka kráteru a jeho průměr). Jak vyplývá z cejchovní křivky na obr. 2 [3], metoda dokázala odhalit spíše velmi špatný nebo špatný beton, při nárůstu pevnosti v tlaku nad 10 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>) její citlivost výrazně klesala. Metodu nebylo možné použít ani v případě malého odstupu či nepřístupných míst. Literatura se nezmiňuje o případných rizicích při provádění této zkoušky ani o ochranných pomůckách, zdali vůbec byly nějaké používány.



1

V Německu zase byly navrženy metody vycházející ze zkoušení tvrdosti kovů, zejména podle Brinella. První výsledky představil prof. Gaede, který ovšem nepoužíval pojem „tvrdost betonu“, ale pouze udával empirický vztah mezi průměrem vtisku kuličky v betonu a jeho krychelnou pevností v tlaku. Zkušební kladívko pro vytvoření vtisku kuličky o průměru 10 mm vážilo přibližně 7 kg a vyráběla ho firma Fritz Werner v Berlíně [4]. Princip měření průměru vtisku kuličky byl v Německu nadále používán v celé řadě tvrdoměrů [4]:

- ruční kladívko s kuličkou podle Einbecka, bez možnosti určení síly,
- kyvadlové kladívko s kuličkou podle Einbecka, použitelné pouze na svislých plochách,
- pérové kladívko s kuličkou – systém Baumann,
- pérové kladívko s kuličkou – systém Franck.

Z výše uvedených typů pérových tvrdoměrů se posléze vyvinulo pružinové kladívko, známé v různých částech rozděleného Německa jako HPS nebo Baumann-Steinrück-Franck, s kuličkou o průměru 10 mm a energií úderu 5 J, používané a normalizované i u nás [5].

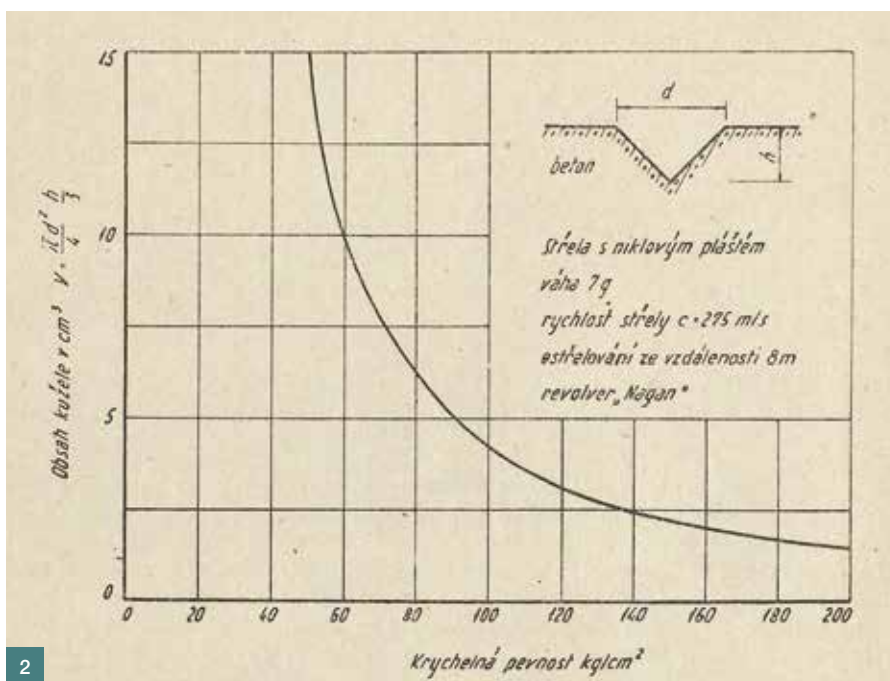
Zatímco v Německu se i po válce až tvrdošjně drželi zatlačování kuličky do betonu, v SSSR prokazovali sovětsí vědci a výzkumníci podstatně větší kreativitu. Do jaké míry šlo o tehdy běžné obcházení patentové ochrany lze pouze spekulovat, za všechny uvádíme příklad přístroje vyvinutého v 60. letech 20. století Centrální experimentální základnou Akademie stavitelství a architektury SSSR [6] (obr. 3). Od švýcarského Schmidtova tvrdoměru se lišil pouze stylovým spouštěcím mechanismem.

### ČESKÁ STOPA PŘI ZKOUŠENÍ BETONU

Ani čeští zkušebníci, výzkumníci a inženýři v oblasti betonového stavitelství nečinně nesesedli se založenými rukama. Naopak, již koncem první poloviny minulého století bylo na území dnešní ČR vyvinuto hned několik typů zkušebních přístrojů různých úprav a na ně navazujících zkušebních postupů. Všechny je možné souhrnně nazvat jako sklerometrické metody. Ty jsou založeny, jak již bylo uvedeno, na určení tvrdosti povrchu betonu buď vnikem ocelového dláta (špičáku), nebo vtiskem ocelové kuličky, anebo odrazem pružného tělesa. Na základě zjištěné tvrdosti lze odhadnout pevnost betonu podle experimentálních vztahů.

Jedním z českých průkopníků určení pevnosti betonu pomocí sklerometrických metod byl dr. Karel

Waitzmann, který pro tento účel upravil Poldi kladívko (obr. 4 a 6), jež se běžně užívalo (a užívá) pro určování tvrdosti a pevnosti ocelí a jiných kovů. U Poldi kladívka se jediným úderem vytvoří vtisk kuličkou o průměru 10 mm jak na zkoušeném materiálu, tak i na srovnávací ocelové tyčince o jmenovité pevnosti v tahu 70 kp/mm<sup>2</sup> (tedy přibližně 690 MPa) a tvrdosti podle Brinella 197 HB, takže lze kompenzovat různou sílu úderu. Problém s rozdílnou tvrdostí betonu a oceli byl vyřešen nástavcem, který umožňoval upevnění ocelové kuličky (kulové plochy) o průměru 20 mm, jež se při úderu kladiva zatlačovala do betonu, zatímco do srovnávací tyčinky se zatlačovala původní kulička Poldi kladívka o průměru 10 mm. Na základě průměru vtisku ve srovnávací tyčince a průměru vtisku v betonu (resp. karbonového otisku na



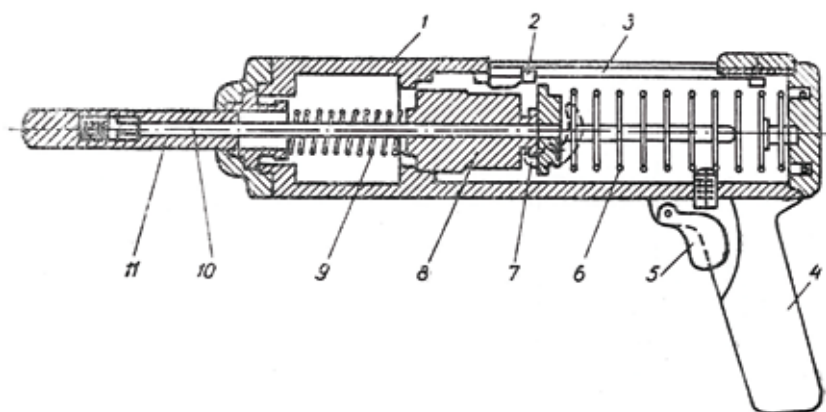
2

1 Revolver Nagant M 1895 belgické konstrukce vyráběný v ruské státní zbrojovce v Tule

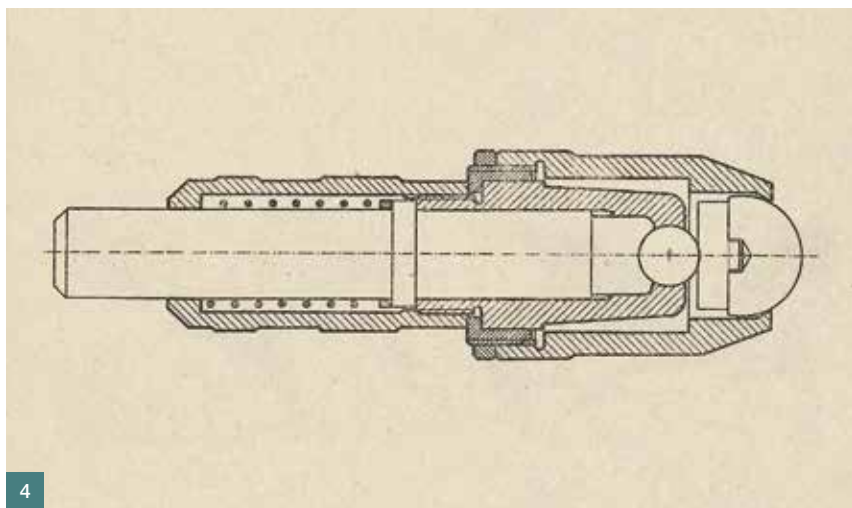
2 Cejchovní křivka pro zkoušky podle Skramtajeva – ostřelování betonu revolverem systémem Nagant (zdroj: [3]) 3 Zkušební přístroj vyvinutý na Akademii stavitelství a architektury SSSR vykazuje značnou podobnost s odrazovým tvrdoměrem typu Schmidt (zdroj: [6])

■ 1 Belgian-designed Nagant M 1895 revolver manufactured in Russia by Tula Arms Plant

2 Calibration curve for Skramtajev's test – shooting the concrete with a Nagant revolver (source: [3]) 3 Testing instrument developed at the Academy of Construction and Architecture of the USSR showing a close resemblance to a Schmidt-type rebound hammer (source: [6])



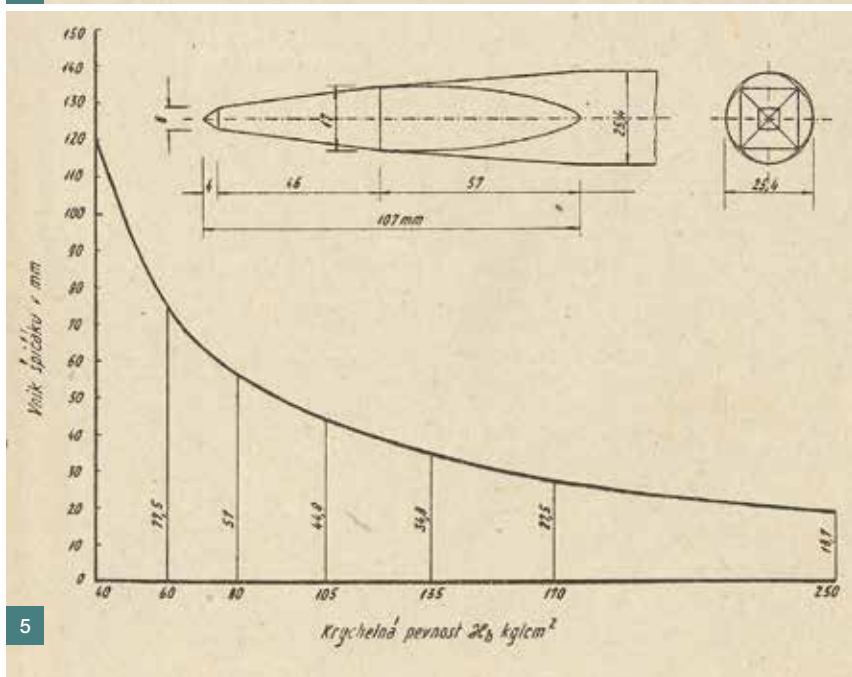
3



4



6



5

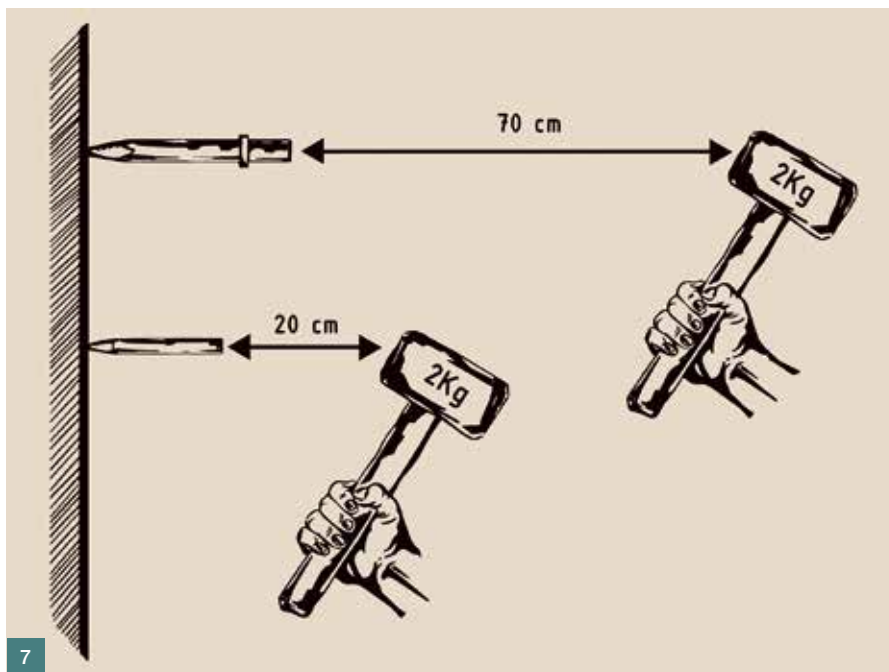
4 Řez upraveným Poldi kladívkem dle doc. K. Waitzmann (zdroj: [3]) 5 Dláto a vztah mezi pevností betonu a hloubkou jeho vniku do betonu dle Maška (zdroj: [3]) 6 Zleva: Maškův špičák, Cigánkův špičák a upravené Poldi kladívko dle Waitzmann 7 Zkouška špičákem podle Maška (nahore) a Cigánka (dole) se liší jednak tvarem a velikostí zkušebního dláta, jednak vzdáleností, ze které se provádí 20 „normálních“ úderů paličí o hmotnosti 2 kg (ilustrace: Jan Cíkrle)

■ 4 Cross-section of a modified Poldi hardness tester by Waitzmann (source: [3]) 5 Chisel diagram and dependence between concrete strength and depth of penetration by Mašek (source: [3])

6 From the left: Mašek's chisel, Cigáněk's chisel, and a modified Poldi hardness tester by Waitzmann 7 Point-chisel test according to Mašek (top) and Cigáněk (bottom) differ in both the shape and size of the chisel and the distance from which the 20 "standard" 2-kg hammer strikes are performed (illustration: Jan Cíkrle)

podloženém papíře, obr. 6) bylo možné vypočítat tvrdost a následně určit krychelnou pevnost v tlaku betonu [7].

Ing. Jiří Mašek ze Zkušebního a kontrolního ústavu stavebního v Praze vypracoval krátce po 2. světové válce jednoduchou a rychlou metodu, pomocí níž bylo možné stanovit krychelnou pevnost betonu sondovacím dlátem. Dláto, které je zobrazeno na obr. 5 a 6, je dnes všeobecně známé jako „Maškův špičák“ a během zkoušky bylo zatlačováno do betonu pomocí dvaceti rázů. Hodnotícím kritériem byla hloubka vniku dláta do betonu (obr. 5). Samotná zkouška byla fyzicky poměrně náročná, obzvláště při větším počtu zkušebních míst. Jeden ráz byl totiž vyvolán paličkou 2 kg těžkou, která na špičák dopadla ze vzdálenosti asi 700 mm (obr. 7) [7]. Vzhledem k délce špičáku přibližně 300 mm byl úder veden ze vzdálenosti asi 1 m



7

od zkoušeného povrchu betonu. Z tohoto důvodu se doporučovalo držet špičák pod kruhovým lemem (obr. 6) a na práci se plně soustředit.

V Brně byl pro určování kvality betonu používán špičák menších rozměrů s kuželovitým koncem, který byl navržen na Katedře betonových konstrukcí a mostů VUT v Brně pod vedením prof. Mojžíra Cigánka (obr. 6). Krychelná pevnost betonu v tlaku se opět určovala na základě hloubky vniku špičáku do betonu. Tzv. „Cigánkův špičák“ se do zkoušeného betonu zarážel stejně jako v případě Maškovy metody pomocí dvaceti úderů kladiva 2 kg těžkého, ovšem pouze s rozmachem 200 mm (obr. 7) [7]. Vzhledem k délce špičáku 200 mm byl tedy úder veden ze vzdálenosti „pouze“ 400 mm od povrchu betonu, což bylo oproti Maškovu špičáku snazší, a to i přes skutečnost, že kladivo dopadalo na výrazně subtilnější špičák (který navíc neměl žádný ochranný lem).

Zkouška pomocí obou popsaných špičáků byla z hlediska provádění jednoduchá, rychlá a pro základní informaci o kvalitě betonů nižších pevností (pouze do cca 10 až 12 MPa) dostačující. Bylo však nutné, aby ji prováděl zkušený a manuálně zručný pracovník, který si své údery „přecejchuje“ na kontrolních krychlích. Bylo také doporučováno, aby tento pracovník nebyl v zájmu objektivitivy nijak zainteresován na dosažených výsledcích – aby nebyl, dnešní terminologií, ve střetu zájmů. Vzhledem ke způsobu vyvození úderu a nemožnosti

## Literatura:

- [1] ČSN 73 1373. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [2] SKRAMTAJEV, G. B. Zur Frage der Betonprüfungsmethoden in Bauwerken. *Der Bauingenieur*. Heft 1/2. Berlin: Springer, 1935.
- [3] WAITZMANN, K. *Zjišťování mechanických vlastností betonu v hotových konstrukcích*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [4] GAEDE, K. Ein neues Verfahren zur Festigkeitprüfung des Betons im Bauwerk. *Der Bauingenieur*. Heft 1/2. Berlin: Springer, 1936.
- [5] ČSN 73 1373. *Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1983. Neplatná.
- [6] NOVGORODSKIJ, M. A. *Kontrola pevnosti betonu v konstrukcijach bez razrušenija*. Kijev: Gostrojizdat, 1963.
- [7] HÖNIG, A., ZAPLETAL, V. *Nedestruktivní zkušebníctví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.

změření síly nebyla zaručena opakovatelnost měření a metody nemohly být normalizovány. Proto je s podivem, že ještě v současnosti bývá metoda „Maškova špičáku“ požadována ve veřejných zakázkách na průzkumy některých vodo hospodářských děl. Přesto se jedna špičáková metoda do normy dostala. Jednalo se o elektromagnetický špičák, u něhož byla energie úderu jasně definována [5]. Uplatnil se zejména v prefách pro stanovení odbedňovacích pevností betonu, ovšem postupně přestal být používán. Kuželovitý hrot špičáku bylo

také možné osadit místo kuličky na výše uvedené německé kladívko HPS, rovněž s definovanou energií úderu.

## ZÁVĚR

Jakkoliv se nám dnes mohou zdát metody Ing. Maška, dr. Waitzmanna či prof. Cigánka archaické, zaujmají nezapomenutelné a čestné místo ve vývoji metod pro zkoušení betonu v „hotových“ konstrukcích. Jejich pomocí totiž předchozí generace zkušebníků a diagnostiků dokázala odhalit řadu problémů betonových konstrukcí, anebo naopak potvrdit dobrou či výbornou kvalitu ztvrdlého betonu. Vždyť ani sovětské, německé či jiné metody nedosáhly trvalejšího uplatnění. Pomyslným vítězem se tak stal švýcarský technik Ernst Schmidt, jehož tvrdoměr z 50. let 20. století se vyrábí a používá dodnes. O tom však příště.

Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu Národní program udržitelnosti I.

doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D.  
petr.cikrle@vutbr.cz



Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.  
dalibor.kocab@vutbr.cz



oba: Fakulta stavební VUT

Česká Doka. **Čtvrt století s vámi.** Děkujeme.

Česká Doka je dodavatel profesionální bednicí techniky pro monolitické konstrukce. Více informací na [www.doka.cz](http://www.doka.cz) nebo facebooku/CeskaDoka