

# NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ STŘÍKANÉHO BETONU

## NONDESTRUCTIVE TESTING OF SHOTCRETE

Ing. et Ing. Lukáš Kopecký

### ABSTRAKT

Stříkané betony jsou v současné době používány stále častěji zejména na menších stavbách v pozemním stavitelství, kde je stříkaný beton aplikován ručním způsobem nástřiku. Kvalita takových konstrukcí nebývá příliš často kontrolována a to především díky náročnosti provedení běžně používaných destruktivních zkoušek. Pro popis kvality betonových konstrukcí lze však využít i nedestruktivních zkušebních metod založených na rychlosti průchodu ultrazvukového impulsu konstrukcí. Provedený experiment zaměřený na ověření vhodnosti jednotlivých metod ultrazvukového prozvučování zkušební desky a jádrových vývrtů z ní vyrobených ukázal, že nejlepší shody výsledků pro popis homogenity dosáhneme při použití metody nepřímého prozvučování zkušební desky a přímého prozvučování jádrových vývrtů. Provedení ověření kvality stříkaného betonu pomocí přímého či polopřímého ultrazvukového prozvučování je však v praxi obtížné a proto předložený článek navrhuje řešení.

**Klíčová slova:** Stříkaný beton, kvalita betonu, pevnost v tlaku, rychlost šíření ultrazvukového impulsu

### ABSTRACT

Sprayed concrete is recently used mainly for creating small structures in building construction, where sprayed concrete is placed by manual spraying way. Quality of small constructions is not often checked because of difficulties of making ordinarily used destructive tests. For description of concrete construction quality is possible to use nondestructive testing based on velocity of ultrasound impulse through structure. Experiment was based on checking of appropriateness of using ultrasound testing measured on test slab and cores made from test slab. Experiment shows that the best results for describing homogeneity were obtained by semi-direct ultrasonic testing and direct ultrasonic testing on cores. Verification of the shotcrete quality using direct or semi - directultrasonic testing is difficult to do in the reality and therefore this article proposes a solution.

**Key words:** Shotcrete, concrete quality, compressive strength, velocity of spreading, ultrasound impuls

## 1 ÚVOD

S rozvojem použití stříkaných betonů nejen v podzemním stavitelství ale také v pozemním stavitelství jsou na stříkané betony kladeny stále vyšší kvalitativní požadavky. Kvalita betonových konstrukcí je kontrolována zejména u velkých staveb, při použití velkého objemu stříkaného betonu. U menších staveb, kde je prováděn nástřik stříkaného betonu manuálně, je kvalita betonu kontrolována zřídka a to zejména v důsledku nákladů na provádění kvalitativních zkoušek. Tyto zkoušky jsou nejčastěji destruktivního charakteru a poškozují konstrukci, z níž jsou odebrány. Stále častěji se začíná využívat nedestruktivního zkoušení betonových konstrukcí, které je pouze doplňováno menším množstvím destruktivních zkoušek. Výsledky nedestruktivních zkoušek nejsou schopny plně nahradit vypovídající hodnotu zkoušek destruktivních, ale umožňují výrazně snížit počet destruktivních zásahů do

konstrukce. Jejich nenáročný provedení a nízké finanční náklady pak umožňují provedení zkoušek kvality nástřiku i u malých staveb, kde by běžně kvalita nástřiku zkoušena nebyla.

## 2 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

Důležitým faktorem vypovídajícím o kvalitě betonové konstrukce je především její pevnost a stejnorodost (homogenita). Stejnorodost betonové konstrukce lze hodnotit na základě objemové hmotnosti, pevnosti a rychlosti šíření ultrazvukových vln materiálem. Hodnoty objemové hmotnosti a pevnosti pro hodnocení kvality betonové konstrukce lze stanovit pouze z výsledků provedených destruktivních zkoušek. Popis kvality betonové konstrukce využívající výsledky zkoušky rychlosti průchodu ultrazvukového impulzu je metodou nedestruktivní a proto mu v tomto článku bude věnována největší pozornost.

Rychlost průchodu ultrazvukového impulzu byla stanovena na základě měření doby průchodu ultrazvukových vln vzorkem pomocí přístroje Tico (firmy Proceq) se sondami 82 kHz. Pro stanovení rychlosti průchodu ultrazvukového impulzu byly využity metody přímého a polopřímého prozvučování zkušební tělesa a metody přímého prozvučování jádrových vývrtů zkušební tělesa.

### 2.1 Výroba zkušebních těles

Pro potřeby experimentu bylo zkušební těleso odebráno na stavbě, kde byl stříkaný beton aplikován ručním způsobem suchou technologií nástřiku a tvořil krycí vrstvu pilotové stěny. Suchá směs stříkaného betonu byla vyrobena v certifikované betonárně a voda byla do směsi přidávána v průběhu nástřiku operátorem trysky. Složení betonové směsi stříkaného betonu popisuje Tab. 1.

třída betonu	CEM II 32,5 R	kamenivo 0 – 4 mm	popílek	voda
SB 15 (C12/15)	300	1703	100	150

Tab. 1 Receptura v kg na 1m<sup>3</sup> betonu

Odběr vzorků stříkaného betonu v in situ byl proveden do formy odpovídající požadavkům normy ČSN EN 14488-1 [1] o rozměrech 500x500x150mm. Zkušební těleso bylo ponecháno po dobu 28 dní na stavbě, aby podmínky zrání betonové směsi odpovídaly podmínkám zrání betonu v reálné konstrukci.

Ze zkušební desky bylo odvrtáno 9 vývrtů tvaru válce o průměru 100mm a výšce 150mm (Obr. 1). Podstavy vývrtů byly mechanicky zarovnané a byla výška upraveného vývrtu 100mm. Následně bylo u vývrtů provedeno měření rychlosti průchodu ultrazvukového impulzu, kdy budič i přijímač byly umístěny v ose jádrového vývrtu (Obr. 5).

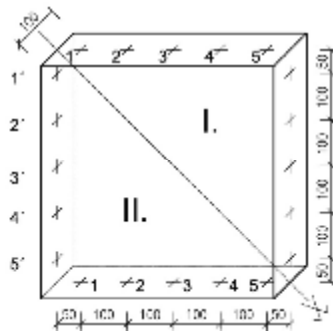


Obr. 1 Rozmístění jádrových vývrtů [4]

### 3 EXPERIMENT

#### 3.1 Příprava měření

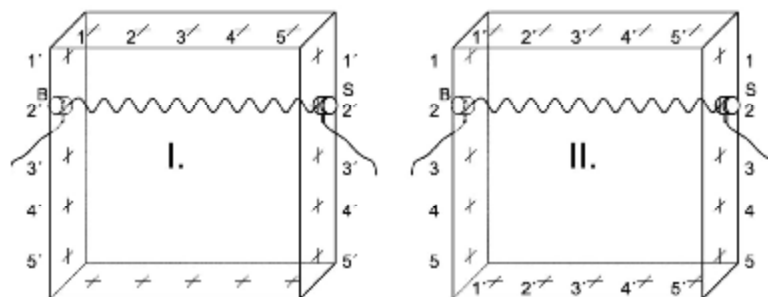
Po 28 dnech zrání bylo zkušební těleso převezeno do laboratoře. Pro měření doby průchodu ultrazvukového impulsu zkušebním tělesem bylo nutné navrhnout rozmístění měřících bodů pro sondy. Měřící body (Obr. 2) byly rozmístěny po obvodu vzorku tak, že první bod byl ve vzdálenosti 50 mm od kraje desky. Následně byly vyznačeny další body, jejichž osová vzdálenost byla 100 mm. Tímto způsobem byly vyznačeny body v na sobě rovnoběžných stěnách (body 1, 2, 3, 4 a 5) a totožným způsobem byly vyznačeny body na zbývajících dvou stěnách (body 1', 2', 3', 4' a 5'). Po vyznačení bodů byla změřena jejich vzájemná vzdálenost.



Obr. 2 Rozměření měřících bodů[4]

#### 3.2 Metoda přímého prozvučování zkušební desky

Při metodě přímého prozvučování byl měřen čas průchodu ultrazvukového impulsu mezi dvěma rovnoběžnými bočními stěnami. Nejprve byl budič a přijímač měřící sondy umístěn do protilehlých bodů - nejprve 1-1, následně 2-2, 3-3, 4-4, 5-5. U každého měření byl čas průchodu ultrazvukového impulsu změřen 3x. Z naměřených hodnot byl stanoven aritmetický průměr. Následně byl budič a přijímač umístěn v kolmém směru na původní měření a byl měřen čas průchodu ultrazvukového impulsu mezi body 1' - 1', 2 - 2', 3' - 3', 4 - 4' a 5' - 5'. Uložení budiče a přijímače je pro jednotlivé experimenty ukázáno na Obr. 3.

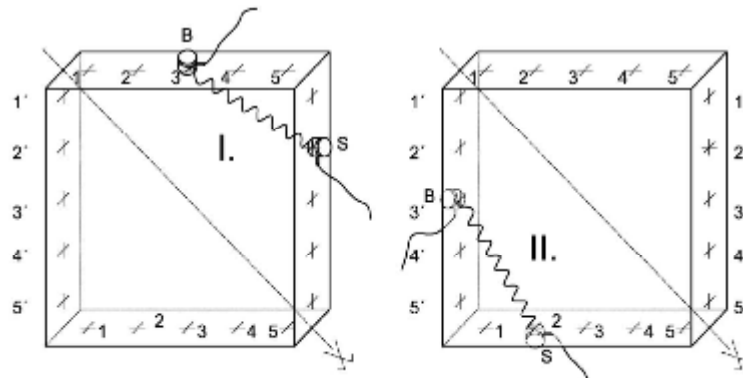


Obr. 3 Schéma přímého prozvučování [4]

#### 3.3 Metoda polopřímého prozvučování zkušební desky

Při metodě polopřímého prozvučování byly rychlosti průchodu ultrazvukového impulsu stanoveny ve dvou oblastech. Dělicí osa jednotlivých oblastí byla vedena úhlopříčně zkušební deskou. Jednotlivé oblasti jsou znázorněny na Obr. 4.

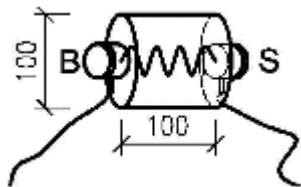
Měření bylo nejprve provedeno v oblasti I., kdy byl budič umístěn v bodě 1 a přijímač v bodě 1'. Následně byl přijímač postupně přemístěn do bodu 2', 3', 4', 5'. Budič byl po provedení první série měření přemístěn do bodu 2 a následně byla provedena opět série měření mezi body 2 a body 1', 2', 3', 4', 5'. Budič byl stejným způsobem postupně přesunut z bodu 1 až do bodu 5. Celkem bylo provedeno pět sérií po pěti měřeních. Každé měření bylo provedeno 3x a byl stanoven průměr každého měření. Shodným způsobem bylo provedeno měření v oblasti II.



Obr. 4 Schéma polopřímého prozvučování [4]

### 3.3.1 Metoda přímého prozvučování jádrových vývrtů

Pro doplnění informace o ověření vhodnosti metod přímého a polopřímého prozvučování byl experiment doplněn o měření doby průchodu ultrazvukového impulsu jádrovými vývrti. Na jádrových vývrtích tvaru válce byl budič a přijímač umístěn vždy v ose jádrového vývrtu Obr. 5.



Obr. 5 Schéma přímého prozvučování jádrových vývrtů (B-budič, S-snímač)

### 3.3.2 Zkouška pevnosti v dostředném tlaku

Jako doplňková zkouška ke zkoušce rychlosti šíření ultrazvukového impulsu na jádrových vývrtích byla zvolena zkouška pevnosti v dostředném tlaku dle normy ČSN EN 12390-3[2]. Účelem zkoušky bylo porovnat spojitost hodnot rychlosti šíření ultrazvukového impulsu s hodnotami pevnosti betonu v tlaku na jádrových vývrtích. Pevnost byla zkoušena na hydraulickém lise EDT 1600, s rychlostí zatěžování  $0,6 \text{ MPa/s} \pm 0,2 \text{ MPa/s}$ .

## 4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

### 4.1 Porovnání rychlosti šíření ultrazvuku

Ze změřených časů průchodu ultrazvukového impulsu zkušebními tělesy po známé dráze (vzdálenost budiče a přijímače) byla stanovena rychlost šíření ultrazvukového impulsu. Rychlost šíření

ultrazvukového impulzu byla vypočtena z naměřených hodnot dle normového vztahu dle ČSN 73 13 71 [3]:

$$v_{uz} = \frac{L}{T} [m \cdot s^{-1}]$$

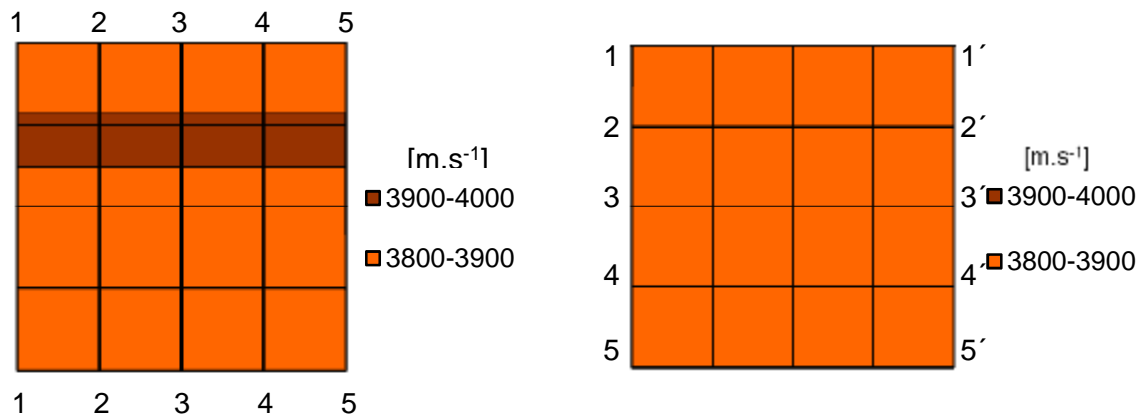
L – vzdálenost mezi budičem a přijímačem [mm]

T – čas, který uplyne při průběhu impulzu měřící základnou [ $\mu s$ ]

Vypočítané rychlosti byly znázorněny pomocí povrchových grafů, kde jsou pomocí izolinií viditelná jednotlivá pásma se stejnou rychlostí průchodu ultrazvukových vln

#### 4.1.1 Přímé prozvučování zkušební desky

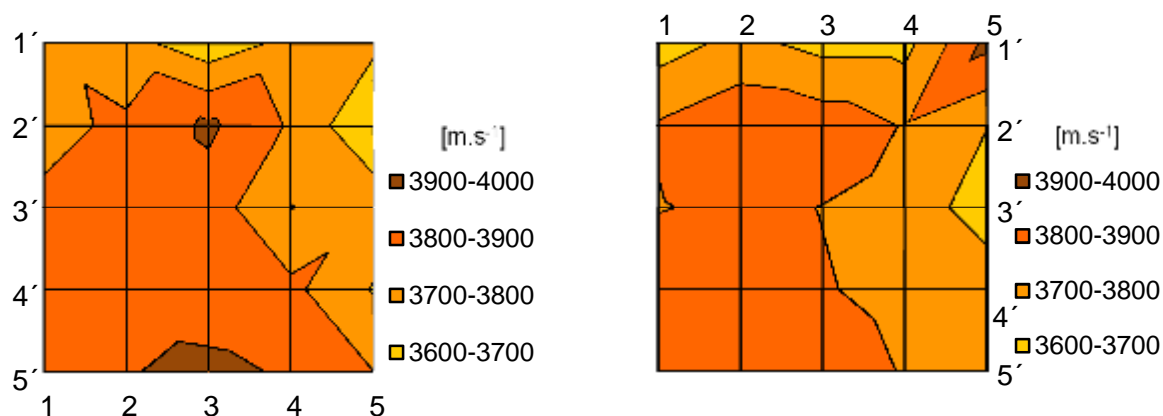
Z vypočtených průměrných výsledků rychlosti šíření ultrazvukového impulzu metodou přímého prozvučování je zřejmé, že zkušební deska je stejnorodá ve všech částech. Ve střední části byla rychlost ultrazvuku v jednom z měřených směrů vyšší, což se ale neprojevilo při měření provedeném ve směru kolmém na směr prvního měření. Lze tedy konstatovat, že na základě metody přímého prozvučování se deska jeví jako stejnorodá.



Obr. 6 Přímé prozvučování zkušební desky[4]

#### 4.1.2 Polopřímé prozvučování zkušební desky

Z průměrných rychlostí šíření ultrazvuku zjištěných metodou polopřímého prozvučování je naopak zřejmá různorodost zkušební desky. Při porovnání grafů v obrázku 6 je zřejmé, že oba grafy jsou téměř totožné, pouze osově obrácené. Nepřímá metoda měření nám poskytuje přesnější popis zkušební desky, což je také dáno tím, že je v diagonálním směru provedeno více měření (více kombinací bodů jednotlivých měřících bodů).

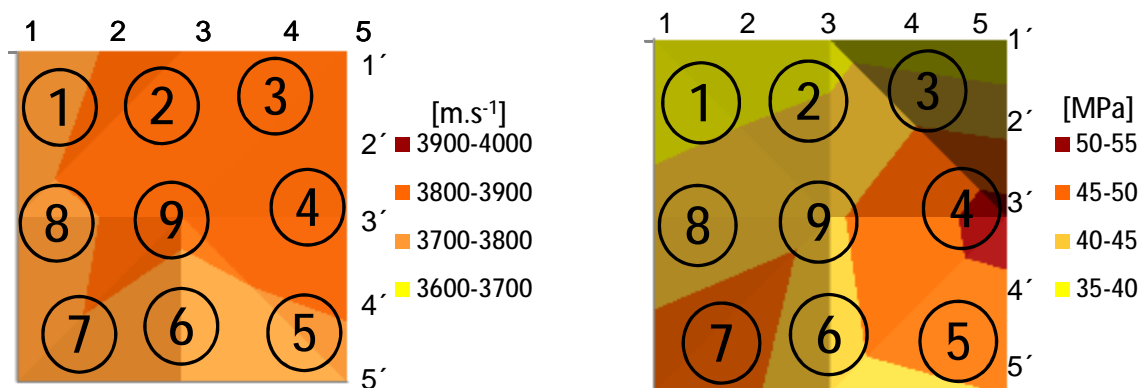


Obr. 7 Polopřímé prozvučování zkušební desky[4]

#### 4.1.3 Přímé prozvučování a stanovení pevnosti v tlaku jádrových vývrtů

Stanovené rychlosti šíření ultrazvukového impulzu jednotlivými jádrovými vývrti jsou znázorněny v prostorovém grafu na Obr. V. Při porovnání grafů na Obr. 7 a 8 se lze domnívat, že metoda přímého prozvučování jádrových vývrtů a metoda polopřímého prozvučování celé zkušební desky vykazuje obdobné výsledky.

Při porovnání jádrových vývrtů, u kterých byla vypočtena vyšší rychlost šíření ultrazvuku s vývrti, u kterých byla vypočtena vyšší pevnost v tlaku, dojdeme k závěru, že rozložení vyšších rychlostí šíření ultrazvuku nekoreluje s rozložením vyšších pevností betonu v tlaku. Lze tedy konstatovat, že u provedených měření nebyla nalezena souvislost mezi rychlostí šíření ultrazvukového impulzu a pevností v tlaku.



Obr. 8 Rychlost šíření ultrazvuku při přímém prozvučování a pevnost v tlaku na jádrových vývrtích[4]

## 5 ZÁVĚR:

Z výsledků experimentu lze usuzovat, že pravděpodobně nejvhodnější metodou pro stanovení homogenity betonových konstrukcí pomocí rychlosti šíření ultrazvukového impulzu zkušebním tělesem je metoda polopřímého prozvučování. Toto konstatování potvrzují i výsledky zkoušek provedených na jádrových vývrtích, které téměř přesně korelují s hodnotami naměřenými u deskového zkušebního tělesa. Na reálné konstrukci je však provedení metody měření polopřímým

prozvučováním značně obtížné, neboť je většinou konstrukce přístupná pouze z jedné strany. Provedení jádrových vývrtů je zase poměrně nákladné a dochází při něm k poškození konstrukce. Jako vhodná alternativa měření se nabízí metoda měření rychlosti ultrazvuku, při které je snímač a budič přikládány podle zvoleného rastru na přístupný povrch konstrukce. Tato metoda však vyžaduje velké množství měření. Jako vhodné se pak jeví využití přístrojů, které umožňují nepřímé prozvučování přiložením soustavy sond na povrch konstrukce. Tyto sondy umožňují měření i při přístupu konstrukce pouze z jedné strany, kdy dochází ke zpětnému odražení ultrazvukového vlnění od vnitřního líce konstrukce zpět do přijímače. Příkladem takového přístroje může být výrobek od firmy Proceq Pundit PL-200PE se sondou 50 Hz a pulzním převodníkem, který umožňuje zjišťování tloušťky konstrukce, detekci a lokalizaci vad a plošné skenování konstrukce v reálném čase.

Z výsledků provedených experimentů rovněž vyplývá, že není možné prokázat přímou závislost rychlosti šíření ultrazvuku a pevností v tlaku. Pro ověření možné závislosti by však bylo potřeba provést měření na více zkušebních tělesech.

### Použitá literatura

- [1] ČSN EN 14488-1 Zrušení stříkaného betonu - Část 1: Odběr vzorku čerstvého a ztvrdlého betonu, ČNI 2006
- [2] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, ÚNMZ, Praha 2009
- [3] ČSN 73 13 71 Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu, ÚNMZ, Praha 2011
- [4] KOPECKÝ, Lukáš. Hodnocení kvality provedení ručně stříkaného betonu. Brno, 2016. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Karel Dočkal, CSc.