

## Zkušební postupy pro zkoušení betonu v konstrukcích Ing. Petr Cikrle, Ph.D., Ing. Dalibor Kocáb

ČSN EN 206 a další nové standardy pro výrobu a zkoušení betonu



## Osnova

- Přehled norem pro zkoušení betonu v konstrukci
  - Starý nebo nový systém norem?
  - Tvrdoměrná odrazová metoda
  - Zkoušení počátečních pevností
  - Ultrazvuková impulzní metoda
  - Opomíjená rovnoměrnost betonu
- 
- **KONTAKT: Ing. Petr Cikrle, Ph.D., VUT v Brně FAST,**  
Ústav stavebního zkušebnictví, Veverří 95, 602 00 Brno  
e-mail: [cikrle.p@fce.vutbr.cz](mailto:cikrle.p@fce.vutbr.cz)

## ■ Přehled norem pro zkoušení betonu

### ■ STARŠÍ POSTUP:

**ČSN 73 2011:2012** Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí  
(dříve 1989: Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií)

### ■ NOVÉ POSTUPY:

**ČSN EN 13791:2007** Stanovení pevnosti betonu v konstrukcích nebo  
ve stavebních dílcích (spíše pro kontrolu jakosti **nových konstrukcí**)

**ČSN ISO 13822:2014** Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení  
existujících konstrukcí (pro **starší a staré konstrukce**)

**ČSN 73 0038:2014** Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí –  
Doplňující ustanovení (český appendix k ISO 13822, od 1.1.2015)

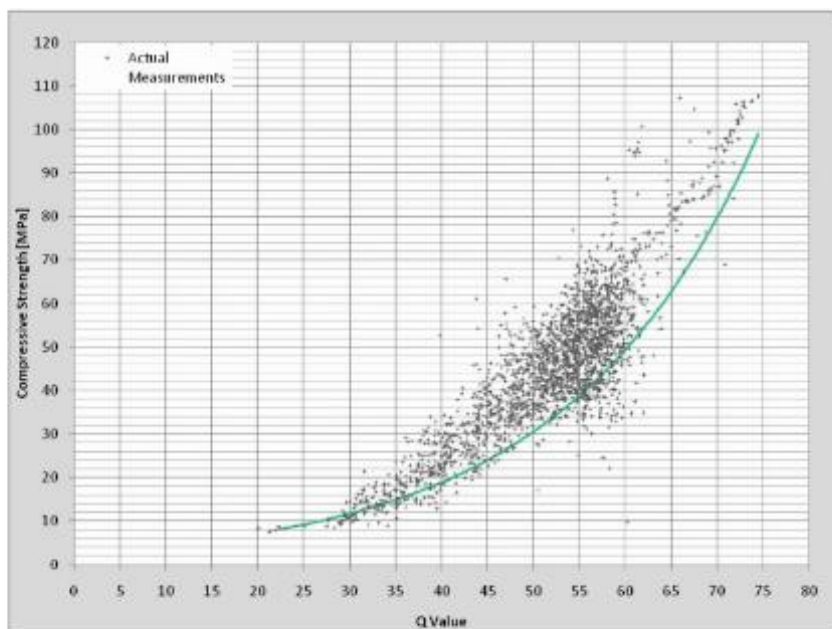


# Starý nebo nový systém norem?

## Nový systém: ČSN EN 13791

- Nepřímé metody nemají takovou váhu jako zkoušky na tělesech
- Požadována 90% bezpečnost kalibračního vztahu

The formula of the lower 10th percentile curve is:  $f_{ck} = 2.77e^{0.048Q}$ . The valid range is from 22 Q up to 75 Q, which equals a compressive strength range of 8 MPa up to 100 MPa.

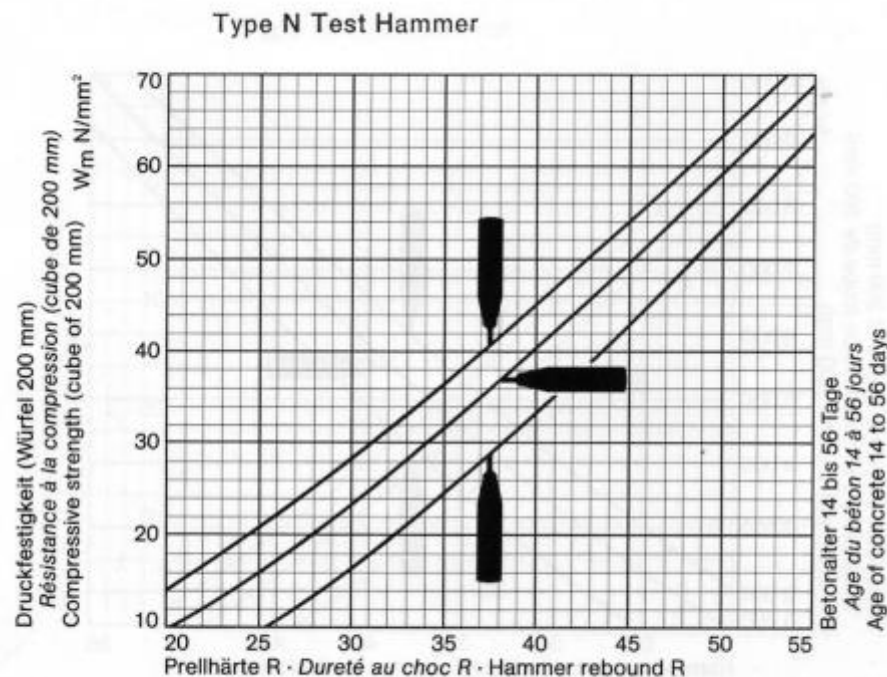


- Na obrázku nová kalibrační křivka pro Silver Schmidt N
- 90% hodnot nad křivkou
- Odhad pevnosti v tlaku o 10 MPa nižší
- Podle ČSN EN 13791 tak vyhodnocujeme jen vývrty, ne NDT zkoušky

## Starý nebo nový systém norem?

Staré (vlastně novější) normy: ČSN 73 2011 a ČSN 73 137....:

- „Harmonizovány“ s EN včetně EN 13791



- OBECNÉ kalibrační křivky, Schmidt N, beton 14 - 56 dnů
- Převzato z 80. (60.) let
- Neplatí pro moderní betony - jiný poměr tvrdost × pevnost
- Neplatí ani pro staré betony (karbonatace, stáří, apod.)
- **Používáme pro tvrdoměry, ultrazvuky – nutno upřesnit!**

## ■ Tvrdoměrná odrazová metoda

### Podle ČSN 73 1373

- Po upřesnění na úrovni krychelných zkoušek
- Upřesnění – současně zkouška NDT i DT
- Součinitel upřesnění  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_{bi}}{\sum_{i=1}^n f_{bei}} = \frac{\sum_{i=1}^n f \text{ destruktivní}}{\sum_{i=1}^n f \text{ nedestruktivní}}$$

$f_{bi}$ , je pevnost v tlaku stanovená na tělesech (krychelná pevnost);

$f_{bei}$  je pevnost v tlaku s nezaručenou přesností, stanovená na téměř vzorku nedestruktivně;



# Počty zkušebních míst, těles podle ČSN 73 2011

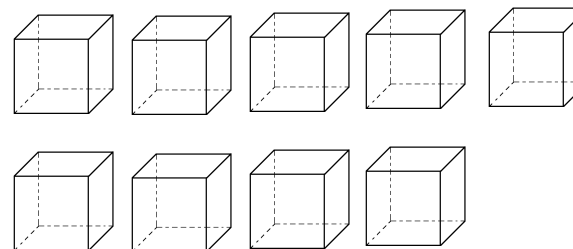
- Počet NDT zkoušek – dle objemu
- Min. 16 míst



- Větší objem - vyšší počet, 72 i více



- Počet zkoušek na upřesnění
- Nový beton – min. 9 těles



- Beton v konstrukci – 3-9 vývrtů



» 3 (málo)

» 6 (lepší)

» 9 ✓

## Novinka jménem Silver Schmidt



$$Q = 100 \cdot \frac{\text{energie obnovená}}{\text{energie vstupní}}$$

### Silver Schmidt N, L

- Uvnitř optická čidla, měří rychlost dopadu a odrazu
- Udává hodnotu „Q“ = koeficient vrácené energie: viz vztah
- Hodnota Q je méně závislá na tření
- Hodnota Q nevyžaduje korekci směru
- Zvyšuje se rozsah pevností od 10 MPa do 100 MPa



## Zkoušení počátečních pevností

### *Silver Schmidt L s hřibovitým nástavcem*

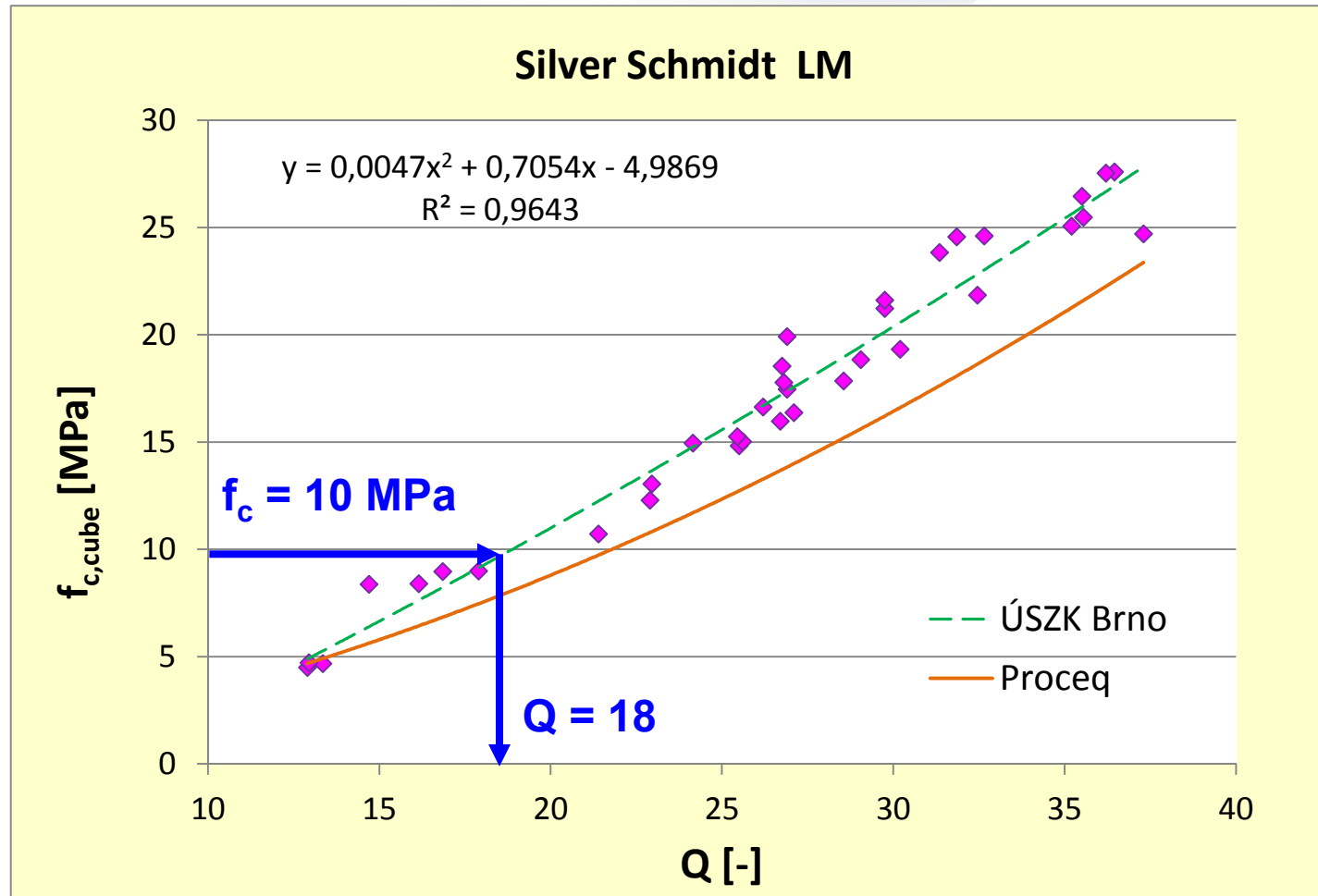


- pro odbedňovací pevnosti
- Rozsah měření od 5 MPa do 30 MPa
- Přesnější v dolní oblasti kalibračního vztahu (5 - 20 MPa)

$$\text{Proceq: } f_c = 0,0108 \times Q^2 + 0,2236 \times Q \text{ [MPa]}$$

$$\text{ÚSZK: } f_c = 0,0047 \times Q^2 + 0,7054 \times Q + 4,987 \text{ [MPa]}$$

# Zkoušení počátečních pevností

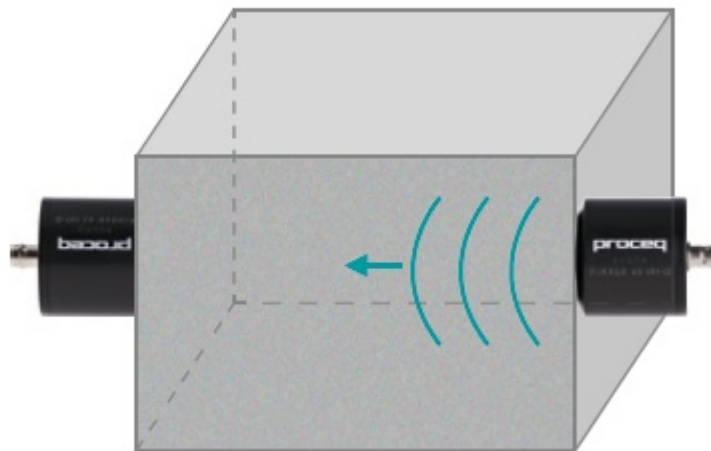


## Ultrazvuková impulsní metoda podle ČSN EN 12504-4 nebo ČSN 73 1371

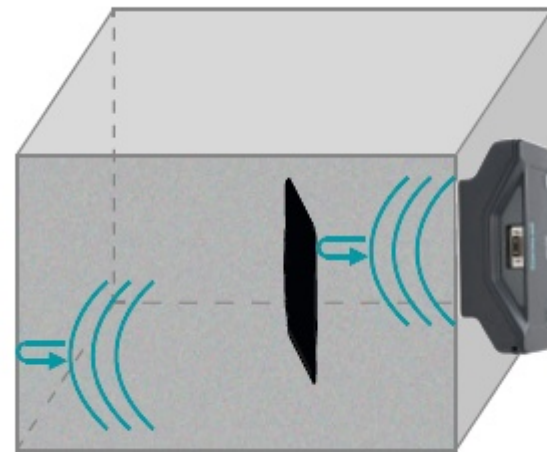
- ve stavebnictví kmitočty od 20 do 500 kHz,
- Z rychlost impulsu z rychlosti se počítá modul pružnosti i jiné vl.

### Způsoby prozvučování:

- Průchodová metoda se dvěma sondami



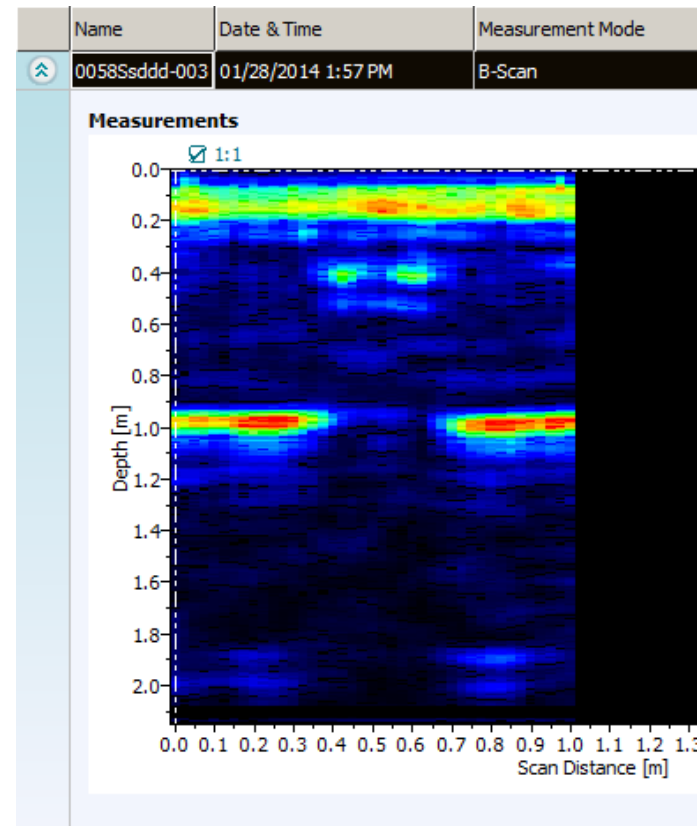
- Odrazová metoda s jednou sondou



## S ultrazvukem do terénu

### *S ultrazvukem na tloušťky a na dutiny:*

- Nový PUNDIT PL-200PE s odrazovou sondou
- Měření tloušťky konstrukce (do 1 m), odraz na dutinách



## Ultrazvuková impulsní metoda

*Stanovení dynamického modulu pružnosti  $E_{cu}$ :*

$$E_{cu} = D \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2}$$

- $D$  je objemová hmotnost
- $v_L$  je rychlost šíření impulzů UZ vlnění
- $k$  je součinitel rozměrnosti



*Přepočítání na statický modul pružnosti  $E_c$ :*

$$E_c = \kappa_u \cdot E_{cu}$$

- $\kappa_u$  je zmenšovací součinitel, např. v ČSN 73 2011
- Platí přibližně  $\kappa_u = 0,62$  (hodně špatné bet.) až  $0,90$  (výborné bet.)

## S ultrazvukem do terénu

### Stanovení modulu pružnosti betonu in situ:

- Mostní pilíře, C 30/37
- Stanovení  $E_{cu}$  z UZ měření
- Přepočet na  $E_c$ .

Tab. Modul pružnosti betonu pilířů opěr C 30/37

| Zkušební místo | rychlost UZ | dyn. modul pružnosti | zmenšovací součinitel | stat. modul pružnosti |
|----------------|-------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                | $v_L$ [m/s] | $E_{cu}$ [GPa]       | $\kappa_u$            | $E_c$ [GPa]           |
| OP 0 - A       | 4420        | 40,6                 | 0,83                  | 33,7                  |
| OP 0 - B       | 4470        | 41,6                 | 0,83                  | 34,5                  |
| OP 4 - A       | 4360        | 40,5                 | 0,83                  | 33,6                  |
| OP 4 - B       | 4500        | 43,2                 | 0,83                  | 35,9                  |
| <b>Průměr</b>  | <b>4440</b> | <b>41,5</b>          |                       | <b>34,4</b>           |
| <i>Minimum</i> | <i>4360</i> | <i>40,5</i>          |                       | <i>33,6</i>           |



## Opomíjená rovnoměrnost betonu



### *Vynikající pro stanovení rovnoměrnosti betonu:*

- **Beton C 30/37**
- **Neprovzdušněný beton**
  - sednutí kužele 200 mm (S4)
  - $D = 2340 \text{ kg/m}^3$
  - $A_c = 2,2 \text{ až } 2,3 \%$
  - **ROVNOMĚRNÝ** ( $V_x = 1,0 \%$ )
  
- **Provzdušněný beton**
  - sednutí kužele 115 mm (S3)
  - $D = 2190 \text{ kg/m}^3$
  - $A_c = 9,5 \text{ až } 10,0 \%$
  - (záměrně vysoké provzdušnění)
  - **NEROVNOMĚRNÝ** ( $V_x = 5,7 \%$ )







## Závěr

- **Zkoušení betonu v konstrukcích – jiné než na tělesech z forem**
- **Důraz na nedestruktivní (nepřímé) zkoušky**
- **NDT zkoušky nutné upřesnit – stačí několik těles**
- **Tvrdoměry – stále nejrozšířenější metoda, zajímavé novinky**
- **Ultrazvuk – opomíjený, vynikající na rovnoměrnost, modul pruž.**

**Děkujeme za pozornost . . .**