

# MOST EV. Č. ZR-003 PŘES SÁZAVU NA ULICI KOVÁŘOVA

## Diagnostický průzkum lávky



.....  
Ing. Adam Svoboda  
*projektant*

.....  
doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.  
*odpovědný projektant*  
*autorizovaný inženýr pro mosty*  
*a inženýrské konstrukce*

**Zakázka:** Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova

**Dokument:** Diagnostický průzkum lávky

**Objednatel:** **Mostní projekce s.r.o.**  
Ulice: Ondrouškova 845/11  
Město: Brno  
PSČ: 635 00  
IČO: 067 54 449  
DIČ: CZ067454449  
*Zástupce pro věcná jednání:* Ing. František Pokorný  
Tel.: +420 776 583 906  
E-mail: pokorny@mostniprojekce.cz

**Zhotovitel:** **doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT**  
Ulice: Ochoz u Brna 120  
Město: Ochoz u Brna  
PSČ: 664 02  
IČO: 130 24 868  
DIČ: CZ5803142730  
Tel.: +420 608 714 603  
E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

**Odpovědný řešitel:** doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

**Terénní práce provedli:** doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.  
Ing. Radim Nečas, Ph.D.  
Ing. Jiří Strnad, Ph.D.  
Ing. Adam Svoboda

**Dokument vypracoval:** Ing. Adam Svoboda

**Kontrola a schválení zprávy:** doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

## OBSAH:

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Úvod .....  | 4  |
| 1.1 | Identifikační údaje .....   | 4  |
| 1.2 | Účel a vymezení zakázky .....   | 4  |
| 1.3 | Použitá literatura, podklady .....  | 4  |
| 2.  | Identifikace objektu .....  | 5  |
| 2.1 | Základní údaje o mostní konstrukci (dle [9]) .....                        | 6  |
| 3.  | Metodika diagnostických prací .....                                       | 8  |
| 3.1 | Ověření základních rozměrů konstrukce.....                                | 8  |
| 3.2 | Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech .....                        | 8  |
| 3.3 | Diagnostika betonářské výztuže.....                                       | 8  |
| 3.4 | Stanovení tloušťky mostovkové desky a vozovkového souvrství .....         | 9  |
| 3.5 | Vizuální prohlídka stavu .....  | 9  |
| 4.  | Realizace diagnostického průzkumu .....                                   | 10 |
| 4.1 | Měření rozměrů konstrukce .....   | 10 |
| 4.2 | Jádrové vývrty .....  | 13 |
| 4.3 | Laboratorní zkoušení .....  | 16 |
| 4.4 | Diagnostika betonářské výztuže.....                                       | 18 |
| 4.5 | Stanovení tloušťky mostovkové desky a tloušťky vozovkového souvrství..... | 23 |
| 5.  | Závady a poruchy .....  | 26 |
| 6.  | Závěr a doporučení .....  | 30 |
| 7.  | Seznam obrázků a tabulek .....  | 32 |

## Přílohová část:

Příloha 1 - Zkoušky vlastností beton vývrtů, Žďár nad Sázavou – lávka ev. č. ZR 003 přes Sázavu. Ing. Jiří Habarta, CSc. Brno, srpen 2018.

# 1. ÚVOD

## 1.1 Identifikační údaje

Objednatel: **Mostní projekce s.r.o.**

Ulice: Ondrouškova 845/11

Město: Brno

PSČ: 635 00

IČO: 067 54 449

DIČ: CZ067454449

Zhotovitel: **doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT**

Ulice: Ochoz u Brna 120

Město: Ochoz u Brna

PSČ: 664 02

IČO: 130 24 868

DIČ: CZ5803142730

Předmět objednávky: Diagnostický průzkum železobetonové trémové lávky přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou.

## 1.2 Účel a vymezení zakázky

Cílem diagnostického průzkumu lávky pro pěší ev. č. ZR003 přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou je zjištění aktuálního stavebně technického stavu lávky, získání nutných podkladů pro statický přepočít nosné konstrukce a odborné doporučení pro návrh sanace lávky.

## 1.3 Použitá literatura, podklady

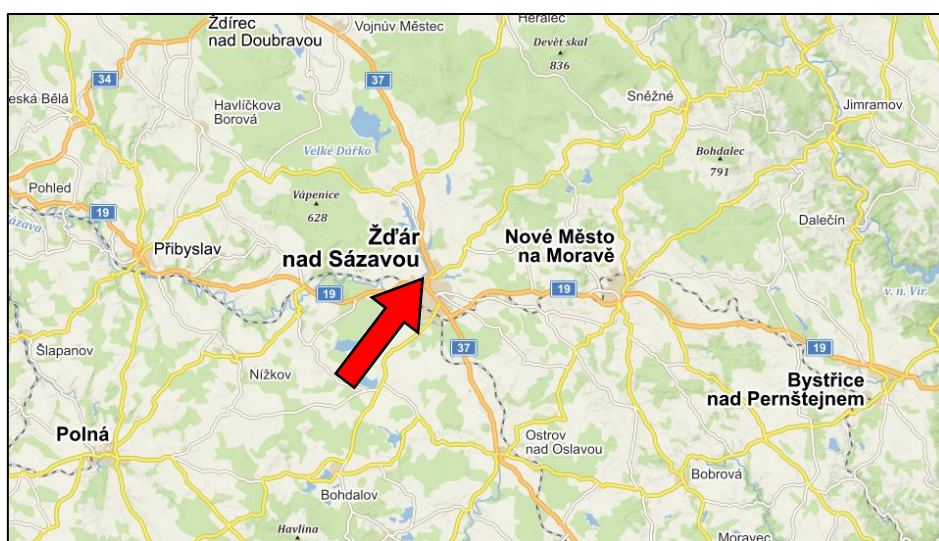
- [1] ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, 2011
- [2] ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění, 2011
- [3] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení
- [4] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
- [5] ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [6] Nedestruktivní metody, skriptum VUT v Brně
- [7] ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací
- [8] TP 72 Diagnostický průzkum mostů PK (2008)
- [9] Mapové podklady ze serveru [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)
- [10] Mostní list: Most ev. č. ZR-003 na ulici Kovářova, květen 2001
- [11] Zkoušky vlastností betonových výtvů, Žďár nad Sázavou – lávka ev. č. ZR 003 přes Sázavu. Ing. Jiří Habarta, CSc. Brno, srpen 2018.
- [12] Polní záznamy z měření ze dne 26. 7. 2018

## 2. IDENTIFIKACE OBJEKTU

Lávka pro pěší se nachází ve městě Žďár nad Sázavou (ul. Kovářova) a převádí chodce přes stálou vodoteč, řeku Sázavu.

Jedná se o železobetonovou lávku o dvou polích z roku cca 1930 (odhad dle místního šetření a mostního listu). Nosnou konstrukci tvoří čtyři železobetonové trámy, které spolu s příčnicí vynášejí mostkovou desku. Spodní stavbu tvoří dvě krajní monolitické opěry a střední ŽB podpěra s obkladem z lomového kamene a nabetonovaným ŽB úložným prahem.

Původní projektová dokumentace se nedochovala, k dispozici jsou pouze nákresy z mostního listu.



Obr. 1 Zeměpisná poloha lávky pro pěší přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou



Obr. 2 Zeměpisná poloha lávky pro pěší přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou - detail

## 2.1 Základní údaje o mostní konstrukci (dle [9])

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Název:                        | Most přes Sázavu na ul. Kovářova   |
| Rok postavení:                | cca 1930   |
| Předmět přemostění:           | vodoteč (stálý průtok) – řeka Sázava   |
| Kraj:                         | Vysočina   |
| Okres:                        | Žďár nad Sázavou   |
| Obec s rozšířenou působností: | Žďár nad Sázavou   |
| Katastrální území:            | Žďár nad Sázavou   |
| Správce:                      | Město Žďár nad Sázavou   |
| Délka přemostění:             | 23,89 m  |
| Kolmá světlost otvorů:        | 10,36 m  |
| Šikmá světlost otvorů:        | 11,45 m  |
| Rozpětí polí:                 | 12,15 m (11,00 m)  |
| Výška nad terénem:            | 3,50 m   |
| Výška nad hladinou vody:      | 2,10 m   |
| Celková šířka mostu:          | 4,57 m   |
| Volná šířka:                  | 3,53 m   |
| Šířka mezi obrubami:          | 3,24 m   |
| Stavební výška NK:            | 0,920 m  |
| Plocha nosné konstrukce:      | 87,20 m <sup>2</sup>   |
| Šikmost:                      | 72,00°   |
| Nosná konstrukce:             | Hlavní nosnou konstrukci tvoří ŽB monolitické deskové trámy s krátkými náběhy nad pilířem (4 ks). Přímé uložení na podporách. Tloušťka desky 0,15 m, trám výšky 0,42 m (nad pilířem 0,58 m), tloušťky 0,32 m a ve vzdálenostech 0,85 m. Kryt vozovky tvoří asf. beton. Celková výška říms je 0,76 – 0,92 m. Šířka nosné konstrukce 4,57 m. |
| Spodní stavba:                | Monolitické ŽB opěry, střední mezilehlá monolitická ŽB podpěra s kamenným obkladem.  |
| Mostní vybavení:              | Zábradlí výšky 1,15 m se svislou výplní.   |
| Cizí zařízení:                | Potrubí: plynovod OC DN150 (vlevo), vodovod $\phi$ 355 mm a chránička OC $\phi$ 150 mm (vpravo).   |





Obr. 3 Pohled na lávku z protivodní strany – 1. pole



Obr. 4 Pohled na lávku z protivodní strany – 2. pole



Obr. 5 Pohled na střední mezilehlou opěru s kameným obkladem

### 3. METODIKA DIAGNOSTICKÝCH PRACÍ

Na lávce přes řeku Sázavu ve Žďáru nad Sázavou byl dle přijaté objednávky navržen diagnostický průzkum nosné konstrukce v následujícím rozsahu:

- ověření rozměrů konstrukce pro statický výpočet zatížitelnosti mostu;
- diagnostika betonu nosné konstrukce (klasifikace betonu dle výsledné pevnosti betonu v tlaku zjištěné laboratorním zkoušením);
- diagnostika betonářské výztuže nosné konstrukce (zjištění polohy a typu výztuže nedestruktivními i lokálně destruktivními metodami v rozhodujících řezech konstrukce, stanovení krycí vrstvy betonu);
- zjištění tloušťky mostovkové desky a vozovkového souvrství;
- odborná prohlídka stavu mostu.

#### 3.1 Ověření základních rozměrů konstrukce

Ověření základních rozměrů konstrukce se provádí za pomoci jednoduchých měřických pomůcek, např. dálkové měřidlo nebo měřické pásmo. Těmito prostředky lze dosáhnout přesnosti měření  $\pm 0,5$  mm. Na konstrukci jsou vytipována rozhodující místa tvaru konstrukce v příčném i podélném směru, která jsou následně změřena. Hodnoty měření jsou zaznamenány do terénního protokolu s náčrtem.

#### 3.2 Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech

Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku se z konstrukce odeberou vzorky betonu, tzn. jádrové vývrty o průměru cca 100 mm. Vrtý jsou prováděny pomocí vrtačky s jádrovým diamantovým vrtákem průměru 100 mm, který je během vrtání chlazen vodou. Vývrty se ihned po skončení vrtání označí a prohlédnou. Před vlastním zkoušením v laboratoři se znovu provede vizuální vyšetření pro zjištění případných odchylek, změří se geometrické veličiny (průměr a délka). Pro samotnou zkoušku se z jádrových vývrťů připraví zkušební normová tělesa (broušením a koncováním). Poté se provede zkouška ve zkušebním tlakovém lisu a následné stanovení krychelné pevnosti betonu v tlaku.

Odběr, vyšetření a zkoušení jádrových vývrťů je popsáno v normě ČSN EN 12504-1. Vyhodnocení zkoušky je provedeno dle normy ČSN EN 13791.

#### 3.3 Diagnostika betonářské výztuže

Diagnostikou betonářské výztuže se rozumí zejména zjištění množství a ověření polohy výztuže v konstrukci. Nedestruktivními metodami, např. pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže, se ověří množství a poloha jednotlivých výztužných prutů v různých částech zkoumané konstrukce.

Pro zjištění průměru a druhu použité betonářské výztuže je vhodné nedestruktivní metodu doplnit bodovou sekanou sondou. Sonda se provádí odstraněním krycí vrstvy betonu tak, aby došlo k obnažení betonářské výztuže. Pomocí posuvného měřidla s noniem se poté ověří průměr výztuže,



krytí, případně úbytek průměru výztuže v důsledku koroze. Vizualně se zhodnotí druh výztuže a také stupeň koroze.

### 3.4 Stanovení tloušťky mostovkové desky a vozovkového souvrství

Pro zjištění tloušťky mostovkové desky je nutno provést vrtanou sondu skrze desku. Pro tuto zkoušku postačuje vývrt průměru cca 25 mm až 40 mm (výjimečně 65 mm). Po vyvrtání sondy se sonda vizualně zkontroluje a za pomoci příložného měřidla se určí tloušťka mostovkové desky (případně dalších konstrukčních vrstev).

Spolu s vrtanou sondou lze pro ověření využít i nedestruktivní metodu určení tloušťky vozovkového souvrství včetně mostovkové desky. Transpointer Hilti PX 10 je měřicí systém, který se skládá z vysílače PX 10T a přijímače PX 10R. Používá se k zaměření přijímače na nastavenou polohu vysílače a dále pro výpočet vzdálenosti mezi oběma přístroji. Vysílač vytváří magnetické pole. Toto magnetické pole je schopné pronikat cihlovým zdivem, dřevem, betonem a železobetonem. Přijímač je kalibrován tak, že detekuje střed promítaného pole a vypočítá vzdálenost tím, že měří intenzitu magnetického pole mezi oběma přístroji. Na jeden líc mostovkové desky za pomoci přiložených adhezních pomůcek nalepíme vysílač PX 10T a na druhém líci desky můžeme za pomoci přijímače PX 10R odečíst naměřenou tloušťku mostovkové desky včetně vozovkového souvrství.

### 3.5 Vizualní prohlídka stavu

Vizualní kontrola představuje odbornou prohlídku stavu mostu, optické odhalení poruch mostního objektu a jejich popis. Dle [7] ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací se sleduje zejména:

- porušení betonu (trhliny; lokální a plošné odpadávání betonu, výkvěty a výluhy, hnízda, graffiti apod.);
- funkčnost mostní izolace (vlhká nebo mokrá místa);
- mechanické poškození konstrukce (náraz vozidla apod.);
- obnažení výztuže betonových konstrukcí (stopy koroze apod.);
- opotřebení povrchu vozovky (nerovnosti, vyjeté koleje apod.);
- poškození konstrukce chemickými vlivy;
- poškození mostního vybavení.

Součástí vizualní kontroly je i fotodokumentace, která dokládá veškeré zjištěné poruchy a při dalších prohlídkách slouží k porovnání vývoje závad a poruch, které nebyly odstraněny.

## 4. REALIZACE DIAGNOSTICKÉHO PRŮZKUMU

Diagnostické práce in-situ byly realizovány dne 26. 7. 2018. Provedeny byly tyto práce:

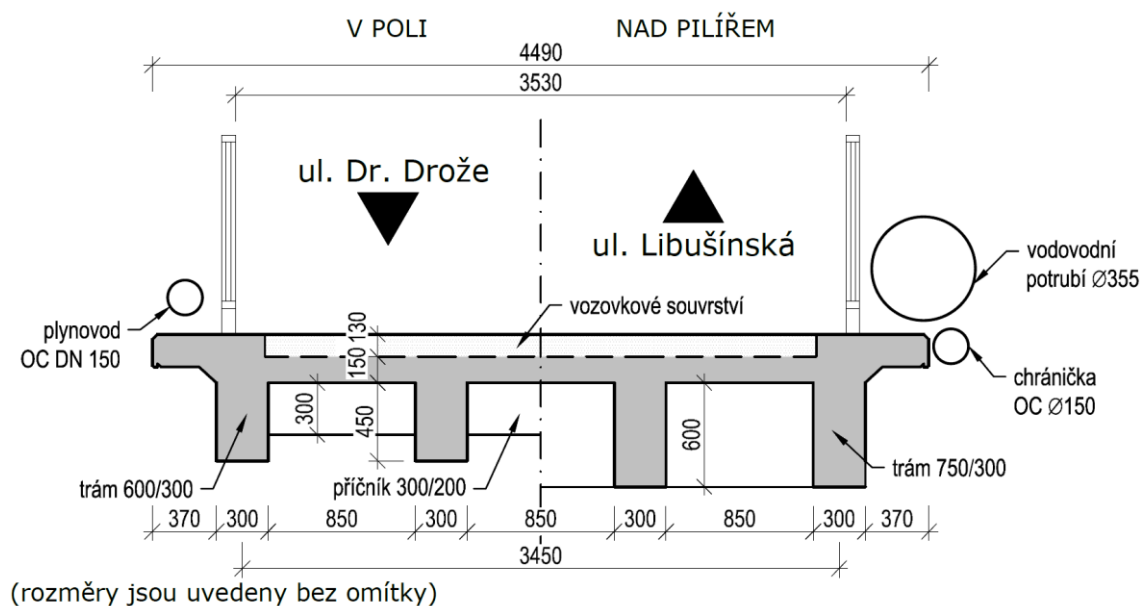
- zjištění rozměrů konstrukce;
- tvrdoměrné zkoušení betonu nosné konstrukce;
- zkoušení betonu nosné konstrukce špičákovou metodou;
- diagnostika betonářské výztuže;
- zjištění tloušťky mostovkové desky a vozovkového souvrství;
- odborná prohlídka, zjištění závad a poruch.

### 4.1 Měření rozměrů konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena čtyřmi železobetonovými náběhovými trámy, příčnický (celkem 8 ks) a mostovkovou deskou. Za účelem vytvoření geometrických podkladů pro statický výpočet zatížitelnosti bylo provedeno měření rozměrů všech prvků nosné konstrukce.

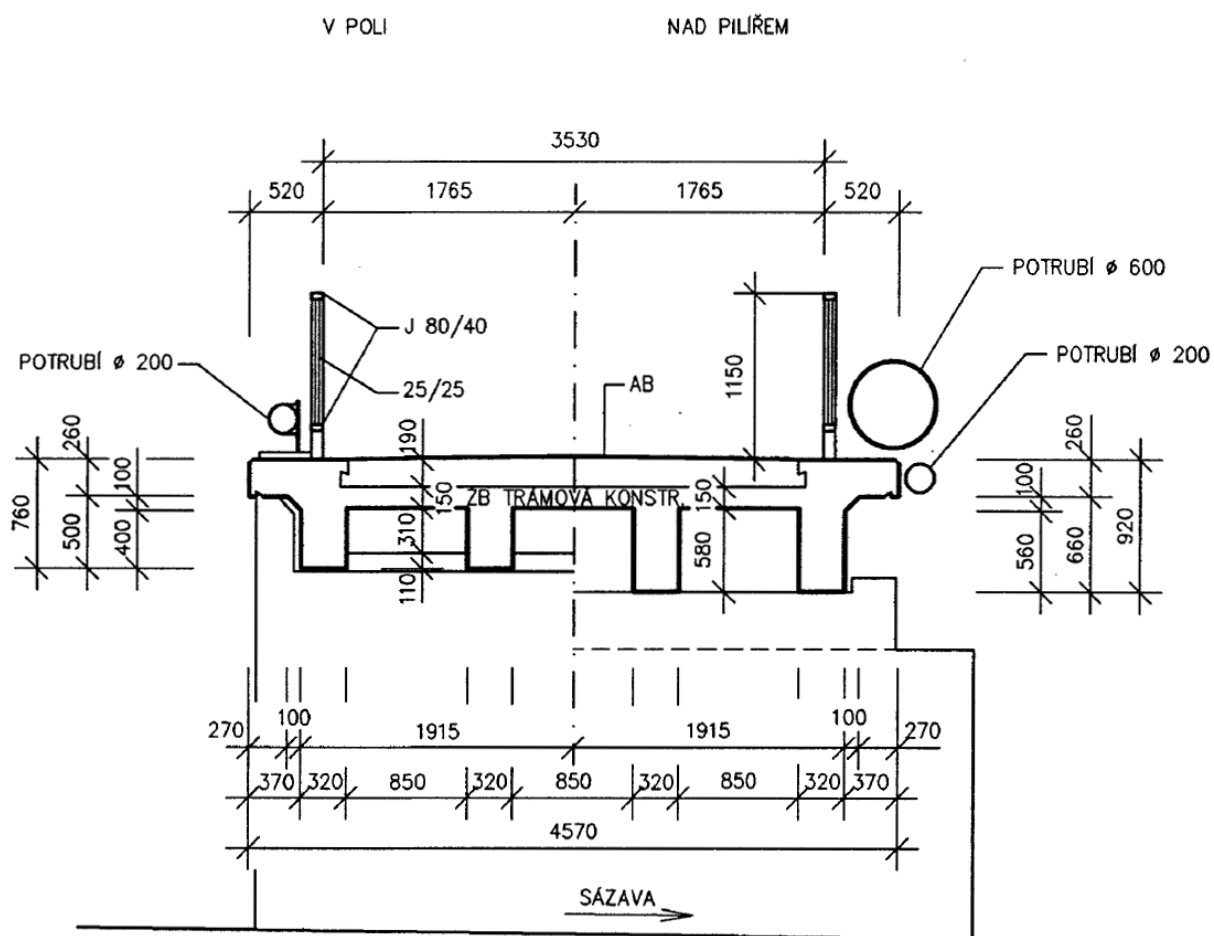
Měření bylo realizováno pomocí délkového měřidla. Veškeré zjištěné hodnoty byly zaznamenány do terénního protokolu ve formě polních náčrtů.

Skutečné rozměry nosné konstrukce, zjištěné místním šetřením v rámci diagnostického průzkumu, jsou uvedeny na Obr. 6.

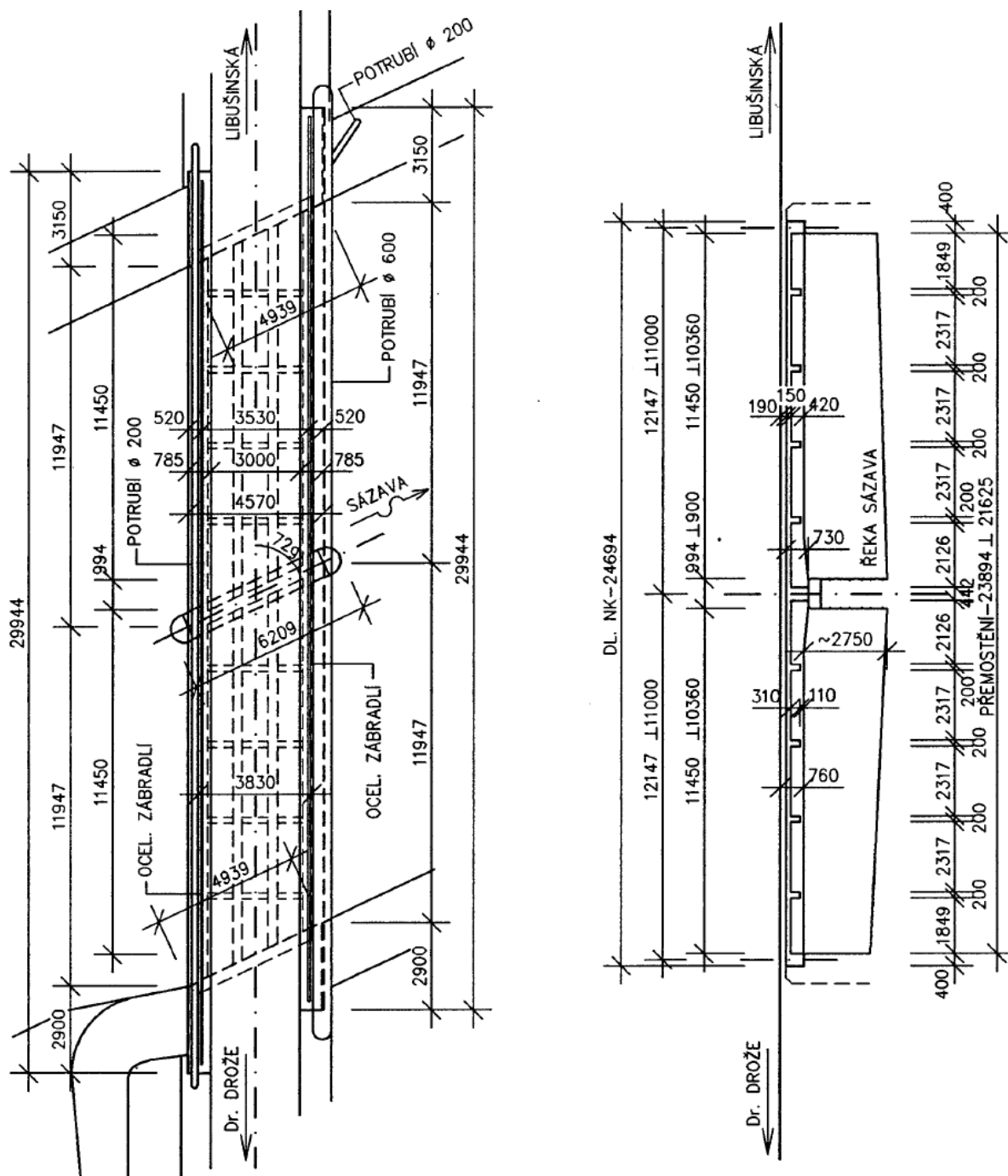


Obr. 6 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – změřený příčný řez

Níže (Obr. 7 a Obr. 8) jsou uvedeny schematické náčrty konstrukce, které jsou převzaty z ML [10].



Obr. 7 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – příčný řez převzatý z ML [9]



Obr. 8 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – půdorys a podélný řez z ML [9]



## 4.2 Jádrové vývrty

K odběru jádrových vývrtů ze spodní stavby a z nosné konstrukce pro stanovení krychelné pevnosti betonu v tlaku byla použita kotvená jádrová vrtačka s vnitřním vodním výplachem a diamantovou korunkou jmenovitého průměru 100 mm. Jádrové vývrty byly provedeny vždy v horizontální poloze a kolmo ke zkoumané konstrukci.

Fyzikálně mechanické vlastnosti betonu jádrových vývrtů byly poté zkoušeny v laboratoři (viz [11]).

Z nosné konstrukce byly odebrány celkem čtyři jádrové vývrty:

- dva vývrty byly odebrány z levého nosníku v 1. poli (označ. V1, V2);
- dva vývrty byly odebrány z levého nosníku v 2. poli (označ. V6, V7).

Ze spodní stavby byly odebrány celkem tři jádrové vývrty:

- jeden vývrt byl odebrán z opěry OP1 (označ. V3);
- dva vývrty byly odebrány z opěry OP2 (označ. V4, V5).

Podle evidence laboratoře bylo vývrtům k označení ze stavby přiřazeno označení písmenem X a číslem. Popis odebraných jádrových vývrtů (převzato od Ing. Habarty viz [11]):

- **Vývrt X 203 (V1):** Délka 270 - 287 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 4 – 6 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrnky do 50 mm. Tmel mezi zrnky kameniva měl světle šedou barvu. V betonu byly dutinky do 5 mm.



Obr. 9 Odebraný jádrový vývrt V1 (X 203)

- **Vývrt X 204 (V2):** Délka 280 - 288 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrnky do 50 mm. Tmel mezi zrnky kameniva měl světle šedou barvu. V betonu byly dutinky do 5 mm. Ve vývrtu byla svislá ocel  $\phi$  8 mm, hladká kruhová, s krytím 260/262 mm od líce.



Obr. 10 Odebraný jádrový vývrt V2 (X 204)

- **Vývrt X 205 (V3):** Délka 300 - 320 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Ve vzdálenosti 195 mm od líce byl na boční ploše odlomený kámen široký 65 – 75 mm tl. do 15 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s kameny až do 110 mm, u kamenů byly dutinky.



Obr. 11 Odebraný jádrový vývrt V3 (X 205)

- **Vývrt X 206 (V4):** Délka 280 - 335 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s velkými kameny (u konce kámen délky 170 mm tl. 40 mm. Mezi zrna kameniva byl šedý tmel s dutinkami.



Obr. 12 Odebraný jádrový vývrt V4 (X 206)

- **Vývrt X 207 (V5):** Délka 250 - 270 mm. Lícová plocha byla bez úprav s nerovnostmi do 2 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek velkými kameny délky až 150 mm.



Obr. 13 Odebraný jádrový vývrt V5 (X 207)

- **Vývrt X 208 (V6):** Délka 307 mm. Vývrt byl proveden přes celou šířku prvku. Na líci vývrtu byla omítka tl. 9 – 12 mm, na povrchu byl bílý výluh. Na konci vývrtu byla omítka tl. 3 – 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna do 55 mm. Ve vývrtu byla svislá ocel  $\phi$  8 mm s krytím 90 mm betonu.





Obr. 14 Odebraný jádrový vývrt V6 (X 208)

- **Vývrt X 209 (V7):** Délka 300 - 307 mm. Vývrt byl proveden přes celou šířku prvku. Na líci vývrtu byla omítka tl. 6 - 7 mm, na povrchu byl bílý výluh. Koncová plocha byla bez úpravy. Jako hrubé kamenivo byl použit štěrkopísek se zrna do 80 mm. V betonu byly dutinky do 3 mm.



Obr. 15 Odebraný jádrový vývrt V7 (X 209)



Obr. 16 Fotodokumentace z odebrání jádrových vývrtů z levého trámu – vrty V1, V2



Obr. 17 Fotodokumentace z odebrání jádrových vývrtů z OP1 – místo odběru vrtu V3



Obr. 18 Pohled do vrtu V3 (OP1)

### 4.3 Laboratorní zkoušení

Z vývrtů byla zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti vyrobena řezáním na speciální pile Vymyslicky SP 40 P s diamantovým pilovým listem a s vodním výplachem. Koncové části vzorků byly odřezány a zarovnány. Další úprava vzorků byla provedena tak, aby délka zkušebních těles byla pokud možno srovnatelná s průměrem tělesa. Pokud to délka vývrtu umožnila, byla vyrobena dvě nebo i tři zkušební tělesa. Ta byla označena doplňkovými symboly „A“, „B“ případně „C“. [11]

V laboratoři byla stanovena objemová hmotnost a pevnost betonu v tlaku, dále bylo provedeno ultrazvukové měření za účelem stanovení stejnoměrnosti betonového vzorku a vyhodnocení modulu pružnosti. Chemickým zkoušením byla stanovena hloubka karbonatace betonu. [11]

Pevnostní zkouška zkušebních těles byla provedena na zkušebním lisu s rozsahem působící síly do 600 kN. Ultrazvukové měření proběhlo na měřicích základnách rovnoběžných s podélnou osou



vzorku a byly vypočteny rychlosti šíření ultrazvuku materiálem vzorku. Z objemových hmotností a rychlostí ultrazvuku lze vyhodnotit dynamický modul pružnosti betonu. [11]

| Označení<br>vývrtu | Objemová<br>hmotnost<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Rychlost UZ<br>[m/s] | Modul pružnosti<br>E <sub>bu</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | Válcová/krychelná<br>pevnost f <sub>c,cyl</sub> /f <sub>c,cube</sub><br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------------------|--|----------------------|---|--|
| X 203A             | 2218   | 3901                 | 30400   | 28,0   |
| X 203B             | 2246   | 4039                 | 33000   | 20,5   |
| X 204A             | 2237   | 3675                 | 27200   | 33,5   |
| X 204B             | 2212   | 3861                 | 29700   | 31,3   |
| X 205A             | 2276   | 3717                 | 28300   | 24,2   |
| X 205B             | 2233   | 3906                 | 30700   | 22,4   |
| X 205C             | 2223   | 4330                 | 37500   | 14,1   |
| X 206A             | 2199   | 4298                 | 36600   | 30,0   |
| X 206B             | 2156   | 3715                 | 26800   | 10,5   |
| X 207A             | 2287   | 3964                 | 32400   | 25,1   |
| X 207B             | 2538   | 3471                 | 27500   | 9,9  |
| X 208A             | 2204   | 3660                 | 26600   | 33,2   |
| X 208B             | 2235   | 4096                 | 33800   | 21,1   |
| X 208C             | 2205   | 3913                 | 30400   | 28,2   |
| X 209A             | 2226   | 4031                 | 32500   | 31,0   |
| X 209B             | 2239   | 4077                 | 33500   | 24,2   |
| X 209C             | 2332   | 4034                 | 32700   | 29,0   |

Tab. 1 Výsledky laboratorního zkoušení betonu [11]

#### Pevnost betonu v tlaku nosné konstrukce:

Na zkušebních tělesech z vývrtů z trámů bylo stanoveno deset hodnot pevností: 28,0 MPa, 20,5 MPa, 33,5 MPa, 31,3 MPa, 33,2 MPa, 21,1 MPa, 28,2 MPa, 31,0 MPa, 24,2 MPa a 29,0 MPa. [11] Charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci se podle [4] stanoví jako menší z hodnot:

- Průměrná pevnost – 5 MPa:  $28,0 - 5 = 23,0$  MPa
- Nejmenší hodnota pevnosti + 4 MPa:  $20,5 + 4 = 24,5$  MPa

Podle tabulky 1 uvedené ČSN EN 13791 odpovídá beton nosné konstrukce pevnostní třídě **C 20/25** pro kterou je stanovena minimální charakteristická pevnost 21 MPa. [11]

#### Pevnost betonu v tlaku spodní stavby:

Na zkušebních tělesech z vývrtů z opěr byly stanoveny čtyři hodnoty pevnosti: 24,2 MPa, 22,4 MPa, 30,0 MPa a 25,1 MPa. [11] Charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci stanoví jako menší z hodnot:

- Průměrná pevnost – 7 MPa:  $25,4 - 7 = 18,4$  MPa
- Nejmenší hodnota pevnosti + 4 MPa:  $22,4 + 4 = 26,4$  MPa

Podle tabulky 1 uvedené ČSN EN 13791 odpovídá beton pevnostní třídě **C 16/20** pro kterou je stanovena minimální charakteristická pevnost 17 MPa. [11]

Karbonatace betonu byla v laboratoři zjišťována informativním barevným testem pomocí lihového roztoku fenolftaleinu. Pokud je pH betonu menší než 9,5, je beton nebezpečně zkarbonatovaný a beton se po nástřiku roztoku nezbarví. V tom případě beton pasivně nechrání výztuž proti korozi vlivem působení agresivního okolí. Je-li pH větší než 9,5 a beton tak výztuž chrání, zbarví se růžovofialově. [11]

Hodnocení hloubky karbonatace betonu bylo provedeno po rozdrčení zkušebních těles. Pro spolehlivé stanovení hloubky karbonatace bylo posouzení provedeno i na rozlomených od-řezaných začátcích a koncích vývrtů. [11]

| Označení vývrtu | Vyhodnocení karbonatace betonu                        |
|-----------------|---|
| X 203 (V1)      | pod omítkou zkarbonatovaný beton do hloubky 0 – 5 mm  |
| X 204 (V2)      | pod omítkou zkarbonatovaný beton do hloubky 5 – 10 mm |
| X 205 (V3)      | nezkarbonatovaný beton                                |
| X 206 (V4)      | nezkarbonatovaný beton                                |
| X 207 (V5)      | zkarbonatovaný beton do hloubky 10 – 16 mm            |
| X 208 (V6)      | nezkarbonatovaný beton                                |
| X 209 (V7)      | nezkarbonatovaný beton                                |

Tab. 2 Vyhodnocení karbonatace betonu [11]

#### 4.4 Diagnostika betonářské výztuže

Pro rychlé zjištění polohy a množství betonářské výztuže byl využit elektromagnetický indikátor výztuže (Bosch Wallscanner D-tect 150), který objektivně zjistí polohu výztuže do hloubky max. 100 mm od povrchu zkoumaného betonu.

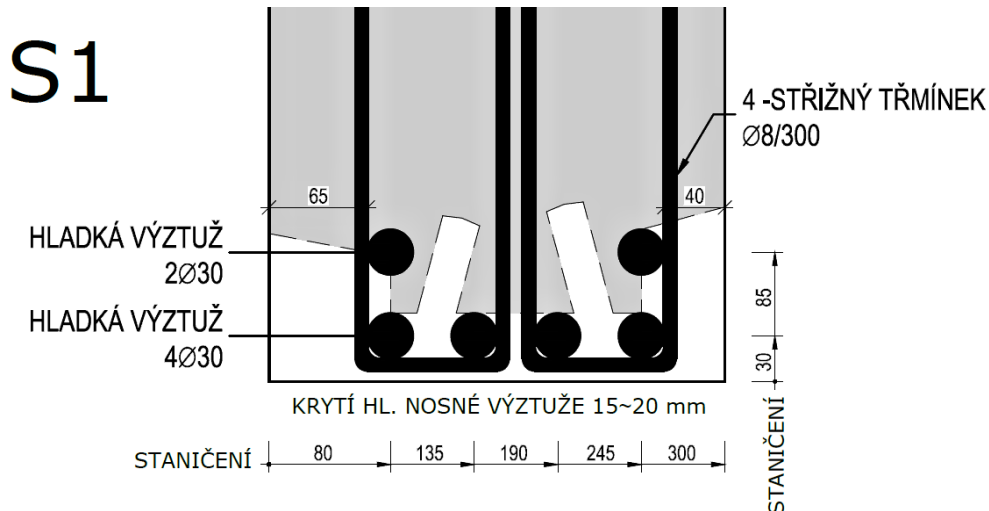


Obr. 19 Elektromagnetický indikátor betonářské výztuže

Nedestruktivní zkoušky byly doplněny sekanými sondami pro zjištění skutečného vyztužení nosných prvků konstrukce:

- S1 – sonda na výztuž hlavního trámu uprostřed rozpětí (2. návodní trám, 1. pole);

- S2 – sonda na výztuž příčnicku uprostřed rozpětí (2. příčník mezi středními trámy v 1. poli);
- S3 – sonda na výztuž mostovkové desky uprostřed rozpětí (mezi 2. a 3. příčníkem mezi středními trámy v 1. poli)



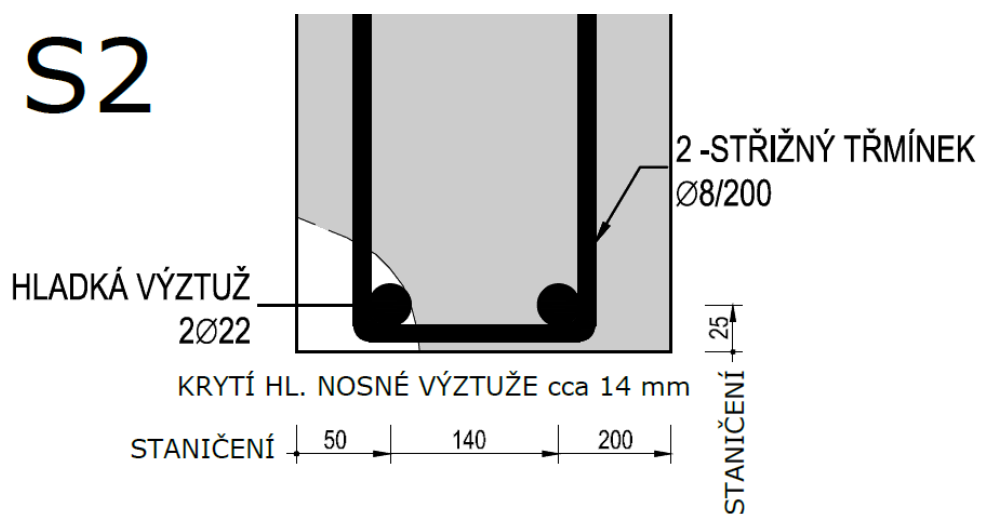
Obr. 20 Schematický náčrt sekané sondy S1 (hl. trám)



Obr. 21 Sekaná sonda S1 (hl. trám)

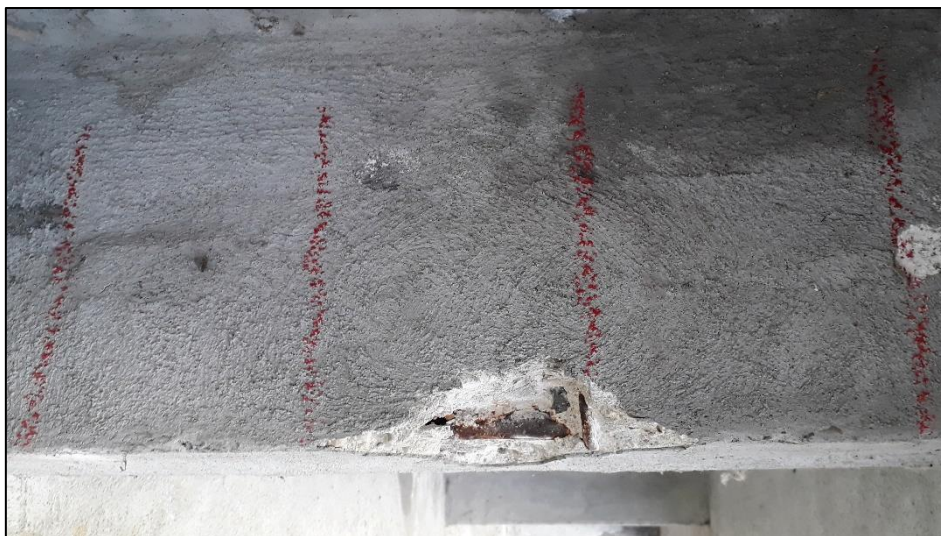


Obr. 22 Sekaná sonda S1 – detail (hl. trám)



Obr. 23 Schematický náčrt sekané sondy S2 (příčníc)

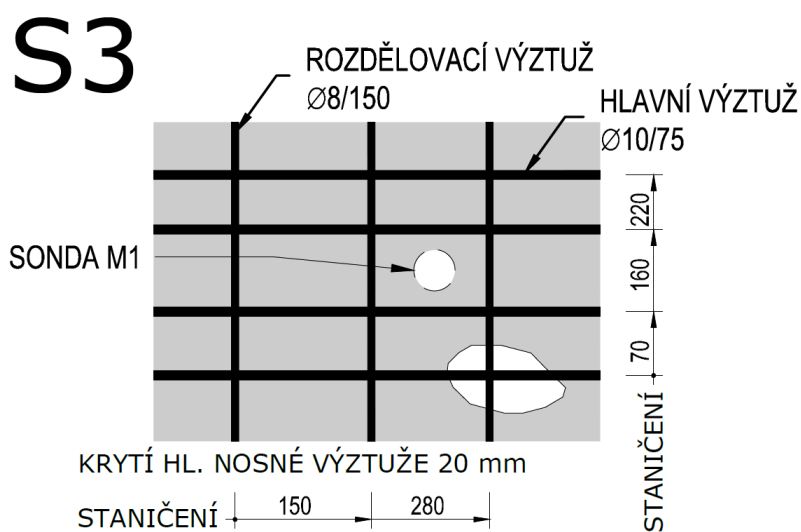




Obr. 24 Sekaná sonda S2 (příčník)



Obr. 25 Sekaná sonda S2 (příčník) – detail



Obr. 26 Schematický náčrt sekané sondy S3 (mostovková deska)



Obr. 27 Sekaná sonda S3 (mostovková deska)



Obr. 28 Sekaná sonda S3 (mostovková deska) - detail

## ZÁVĚRY Z DIAGNOSTIKY BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE:

### Vyztužení hlavních nosníků (uprostřed rozpětí):

- krytí hlavní nosné betonářské výztuže 15-20 mm;
- ohybová výztuž: hladká betonářská výztuž  $\phi 30$  ve dvou řadách; 1. řada 4 ks, 2. řada 2 ks;
- smyková výztuž: 4-střížný třmínek  $\phi 8/300$ .

### Vyztužení příčníků (uprostřed rozpětí):

- krytí hlavní nosné betonářské výztuže cca 14 mm;
- ohybová výztuž: hladká betonářská výztuž  $2\phi 22$  v jedné řadě;
- smyková výztuž: 2-střížný třmínek  $\phi 8/200$ .

### Vyztužení mostovkové desky:

- krytí hlavní nosné betonářské výztuže cca 20 mm;
- hlavní nosná výztuž - hladká betonářská výztuž  $\phi 10/75$ ;
- rozdělovací výztuž – hladká betonářská výztuž  $\phi 8/150$ .

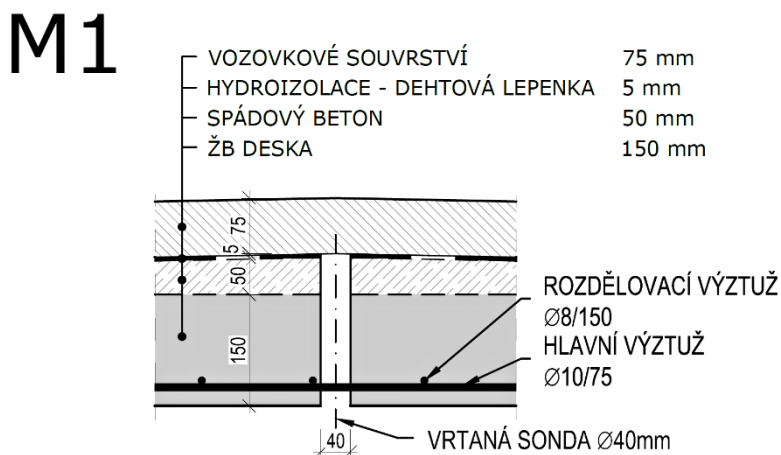
S ohledem na rok výstavby cca 1930 se s největší pravděpodobností jedná o betonářskou výztuž typu Cb (max.  $f_{yd} = 180$  MPa).

Odhalená betonářská výztuž hlavního trámu nenesla znaky koroze, výztuž příčníku a mostovkové desky byla lehce povrchově narušena korozí.

## 4.5 Stanovení tloušťky mostovkové desky a tloušťky vozovkového souvrství

Tloušťka mostovkové desky byla určena za pomoci vrtané sondy (označ. M1) o průměru cca 40 mm, která byla vedena ze spodního povrchu desky. Po odvrtání sondy byla vizuálně zjištěna a odměřena tloušťka železobetonové desky.

Výsledná tloušťka mostovkové desky byla stanovena hodnotou 150 mm.



Obr. 29 Schematický náčrt vrtané sondy M1 (mostovková deska)





Obr. 30 Vrtaná sonda M1 (mostovková deska)



Obr. 31 Vrtaná sonda M1 – detail (hydroizolace z dehtové lepenky)



Obr. 32 Hilti PX 10T (vysílač) umístěný na spodním líci desky



Pro ověření a dopočítání celkové tloušťky mostovky včetně vozovkového souvrství byla použita nedestruktivní metoda určení tloušťky mostovky přístrojem Hilti PX 10 (viz kap. 3.4), Obr. 32 a Obr. 33.

Opakovaným měřením byla za pomoci přístroje Hilti PX 10 stanovena průměrná hodnota celkové tloušťky mostovky (včetně vozovkového souvrství) 280 mm.



Obr. 33 Hilti PX 10R (přijímač) umístěný na povrchu vozovky nad vysílačem. Na displeji je uvedena hodnota celkové změřená tloušťky mostovky

## 5. ZÁVADY A PORUCHY

Na lávce ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova byly během vizuální prohlídky stavu dne 26. 7. 2018 zaznamenány následující závady či poruchy.

Na povrchu hlavních trámů dochází k opadu sanačních vrstev, které byli v minulosti na trámy nanесeny. V důsledku pokračující koroze betonářské výztuže (betonářská výztuž nabývá na objemu) dochází k tvorbě značných trhlin a pokračující degradaci krycí vrstvy betonu. Nejvíce je tato porucha patrná na spodních lících hlavních trámů (Obr. 34 a Obr. 35). **Doporučujeme opravit povrchy ŽB konstrukce kotvenou sanací, ale až po odstranění zatékání srážkové vody skrze římsy.**



Obr. 34 Trhliny na spodním líci levého krajního trámu



Obr. 35 Pohled na síť trhlin v nekvalitně provedené sanační vrstvě

K opadu betonu a tvorbě trhlin dochází i na spodní stavbě, zejména na opěrách (OP1 a OP2). Příčinou tohoto opadu je pravděpodobně pronikající vlhkost do struktury betonu, která v zimním období zamrzá a dochází tak k mrazovému rozpad betonu.





Obr. 36 Opadu betonu na OP2 a stopy po zatékání

Na mostě jsou zřetelně viditelné stopy po zatékání, četné výluhy a místy i krápníky (Obr. 37, Obr. 38 a Obr. 39). Tato poškození poukazují na již **nefunkční hydroizolační systém, který je nutné celoplošně vyměnit a nahradit za celoplošný hydroizolační systém (včetně říms)**, neboť právě přes římsy v místech ukončení hydroizolace do tradičního ozubu se děje masivní a dlouhodobé zatékání.



Obr. 37 Stopy po zatečení a krápníky na levém krajním trámu



Obr. 38 Výluhy a stopy po zatékání jsou značné i na spodní stavbě (na fotce OP2)



Obr. 39 Mocnost výluhů na povrchu betonu (detail na povrchovou vrstvu jádrového vývrtu V7 odebraného z konstrukce)

Na styku vodní hladiny s opěrami OP1 a OP2 dochází k vymílání betonu proudící vodou a k tvorbě kaveren (viz Obr. 40 a Obr. 41), jejichž hloubka je u OP1 cca 300 mm, u OP2 cca 600 mm. V případě pokračujícího **podemílání opěr je ohrožena stabilita celé konstrukce – nutná oprava dobetonováním a kotvenou sanací.**





Obr. 40 Opěra OP1 – pohled na kavernu na styku opěry s vodní hladinou (hloubka kaverny cca 300 mm)



Obr. 41 Opěra OP2 – pohled na kavernu (hloubka kaverny cca 600 mm)

## 6. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Dne 26. 7. 2018 byl realizován diagnostický průzkum lávky ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova ve Žďáru nad Sázavou. Závěry z průzkumu lze shrnout v těchto bodech:

- Charakteristická krychelná pevnost betonu nosné konstrukce v tlaku je 23,0 MPa, beton je dle klasifikace normy ČSN EN třídy C 20/25. Charakteristická krychelná pevnost betonu spodní stavby v tlaku je 18,4 MPa, beton je dle klasifikace normy ČSN EN třídy C 16/20.
- Betonářská výztuž je (dle roku výstavby) hladká výztuž typu „Cb“ s návrhovou pevností max. 180 MPa.
- Hlavní nosná výztuž trámů je  $\phi 30$  mm a je uložena ve dvou řadách – 1. řada 4 ks, 2. řada 2 ks. Betonová krycí vrstva cca 20 mm. Smyková výztuž trámů: 4-střížné třmínky  $\phi 8/300$ .
- Hlavní nosná výztuž příčníků je  $\phi 22$  mm a je uložena v jedné řadě – 2 ks. Betonová krycí vrstva cca 14 mm. Smyková výztuž příčníků: 2-střížné třmínky  $\phi 8/200$ .
- Mostovková ŽB deska je tloušťky 150 mm a je vyztužena hladkou betonářskou výztuží. Hlavní nosná výztuž  $\phi 10/75$ , rozdělovací výztuž  $\phi 8/150$ . Krycí betonová vrstva výztuže cca 20 mm. Celková mocnost mostovky včetně vozovkového souvrství je 280 mm.

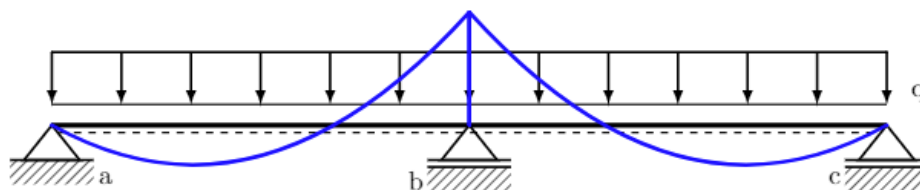
**Relativně vysoké pevnosti betonu nosné konstrukce a spodní stavby, nízká hloubka karbonatice betonu a poměrně mohutné vyztužení hl. trámu tvoří příznivé podmínky pro další provozování lávky cca 30-50 let, za předpokladu provedení nutných oprav v následujícím rozsahu:**

- **výměna hydroizolace a její nahrazení izolací celoplošnou (včetně říms) pro zamezení zatékání do nosné konstrukce, výluhům, korozi výztuže a následně odlučování krycích vrstev betonu;**
- **dobetonování kaveren opěr OP1 a OP2 pro zamezení podemílání spodní stavby;**
- **kotvená sanace povrchů nosné konstrukce pro zamezení koroze výztuže.**

### Doporučení pro statický výpočet:

Diagnostickým průzkumem bylo zjištěno vyztužení hlavních trámů přibližně uprostřed jejich rozpětí. Skutečné vyztužení hlavních trámů v nadpodporové oblasti nebylo možné nedestruktivním způsobem určit. Z tohoto důvodu doporučujeme, pro účely statického přepočtu, množství betonářské výztuže v nadpodporové oblasti dopočítat podle následujícího poměru:  $\frac{A_{s,podpora}}{A_{s,pole}} = \frac{M_b}{M_{l/2}}$  (viz Obr. 42).

Zatížení spojitého nosníku je třeba uvažovat hodnotami (sestavami) dle tehdejších platných norem z doby výstavby. Pro vyloučení možného nadhodnocení vyztužení oblasti podpory doporučujeme omezit množství výztuže hodnotou  $A_{s,podpora} = \max(1,6 \cdot A_{s,pole})$ .



Obr. 42 Průběh ohybového momentu na spojitém nosníku od rovnoměrného zatížení

V Brně dne 20. 8. 2018

Ing. Adam Svoboda

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

(autorizovaný inženýr pro obor mosty a inženýrské konstrukce)

## 7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Zeměpisná poloha lávky pro pěší přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou .....   | 5  |
| Obr. 2 Zeměpisná poloha lávky pro pěší přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou - detail .....  | 5  |
| Obr. 3 Pohled na lávku z protivodní strany – 1. pole .....  | 7  |
| Obr. 4 Pohled na lávku z protivodní strany – 2. pole .....  | 7  |
| Obr. 5 Pohled na střední mezilehlou opěru s kameným obkladem .....  | 7  |
| Obr. 6 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – změřený příčný řez .....   | 10 |
| Obr. 7 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – příčný řez z ML [9] .....  | 11 |
| Obr. 8 Most ev. č. ZR-003 přes řeku Sázavu na ulici Kovářova – půdorys a podélný řez z ML [9] .....   | 12 |
| Obr. 9 Odebraný jádrový vývrt V1 (X 203) .....  | 13 |
| Obr. 10 Odebraný jádrový vývrt V2 (X 204) .....   | 13 |
| Obr. 11 Odebraný jádrový vývrt V3 (X 205) .....   | 14 |
| Obr. 12 Odebraný jádrový vývrt V4 (X 206) .....   | 14 |
| Obr. 13 Odebraný jádrový vývrt V5 (X 207) .....   | 14 |
| Obr. 14 Odebraný jádrový vývrt V6 (X 208) .....   | 15 |
| Obr. 15 Odebraný jádrový vývrt V7 (X 209) .....   | 15 |
| Obr. 16 Fotodokumentace z odebírání jádrových vývrtů z levého trámu – vrt V1, V2 .....  | 15 |
| Obr. 17 Fotodokumentace z odebírání jádrových vývrtů z OP1 – místo odběru vrtu V3 .....   | 16 |
| Obr. 18 Pohled do vrtu V3 (OP1).....  | 16 |
| Obr. 19 Elektromagnetický indikátor betonářské výztuže .....  | 18 |
| Obr. 20 Schematický náčrt sekané sondy S1 (hl. trám).....   | 19 |
| Obr. 21 Sekaná sonda S1 (hl. trám).....   | 19 |
| Obr. 22 Sekaná sonda S1 – detail (hl. trám) .....   | 20 |
| Obr. 23 Schematický náčrt sekané sondy S2 (příčník) .....   | 20 |
| Obr. 24 Sekaná sonda S2 (příčník).....  | 21 |
| Obr. 25 Sekaná sonda S2 (příčník) – detail.....   | 21 |
| Obr. 26 Schematický náčrt sekané sondy S3 (mostvková deska).....  | 22 |
| Obr. 27 Sekaná sonda S3 (mostvková deska).....  | 22 |
| Obr. 28 Sekaná sonda S3 (mostvková deska) - detail .....  | 22 |
| Obr. 29 Schematický náčrt vrtané sondy M1 (mostvková deska).....  | 23 |
| Obr. 30 Vrtaná sonda M1 (mostvková deska).....  | 24 |
| Obr. 31 Vrtaná sonda M1 – detail (hydroizolace z dehtové lepenky).....  | 24 |
| Obr. 32 Hilti PX 10T (vysílač) umístěný na spodním líci desky .....   | 24 |
| Obr. 33 Hilti PX 10R (přijímač) umístěný na povrchu vozovky nad vysílačem. Na displeji je uvedena hodnota celkové změřené tloušťky mostovky ..... | 25 |
| Obr. 34 Trhliny na spodním líci levého krajního trámu .....   | 26 |
| Obr. 35 Pohled na síť trhlin v nekvalitně provedené sanační vrstvě.....   | 26 |
| Obr. 36 Opadu betonu na OP2 a stopy po zatékání.....  | 27 |
| Obr. 37 Stopy po zatečení a krápníky na levém krajním trámu .....   | 27 |

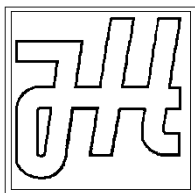


|  |    |
|--|----|
| Obr. 38 Výluhy a stopy po zatékání jsou značné i na spodní stavbě (na fotce OP2) .....                                   | 28 |
| Obr. 39 Mocnost výluhů na povrchu betonu (detail na povrchovou vrstvu jádrového vývrtu V7 odebraného z konstrukce) ..... | 28 |
| Obr. 40 Opěra OP1 – pohled na kavernu na styku opěry s vodní hladinou .....  | 29 |
| Obr. 41 Opěra OP2 – pohled na kavernu .....  | 29 |
| Obr. 42 Průběh ohybového momentu na spojitém nosníku od rovnoměrného zatížení .....                                      | 31 |
| Tab. 1 Výsledky laboratorního zkoušení betonu [11].....  | 17 |
| Tab. 2 Vyhodnocení karbonatace betonu [11].....  | 18 |

# MOST EV. Č. ZR-003 PŘES SÁZAVU NA ULICI KOVÁŘOVA

Přílohová část závěrečné zprávy





**Ing. Jiří Habarta, CSc.**

Autorizovaný inženýr v oboru Zkoušení a diagnostika staveb

Pellicova 5d, 602 00 Brno

---

**Zkoušky vlastností betonu vývrtů**  
**Žďár nad Sázavou – lávka ev. č. ZR 003 přes Sázavu**

Objednatel    Doc. Ing. L. Klusáček, CSc., KL-projekt

Zpráva č. 2018\*0802

Brno, srpen 2018

### **Smluvní strany:**

Objednatel:

Doc. Ing. L. Klusáček, CSc.

KL-projekt

664 02 Ochoz u Brna 120

IČO 130 24 868

Zhotovitel:

Ing. Jiří Habarta, CSc.

Pellicova 5d, 602 00 Brno

IČO 680 99 576

Předmět řešení:

Stanovení vlastností betonu vývrtů z lávky přes  
Sázavu ve Žďáru nad Sázavou.

### **Informace o zadání a programu zkoušek:**

Na základě požadavku Doc. Ing. L. Klusáčka, CSc. byly provedeny zkoušky betonu vývrtů z opěr a trámů lávky přes Sázavu ve Žďáru nad Sázavou.

V rámci tohoto programu bylo provedeno sedm jádrových vývrtů o jmenovitém průměru 100 mm. Vývrty byly provedeny vodorovně.

Bylo požadováno stanovení základních fyzikálně mechanických vlastností, tedy objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a mezerovitosti z důvodu návrhu výplňové injektáže.

Podle evidence laboratoře bylo vývrtům k označení ze stavby přiřazeno označení písmenem X a číslem:

X 203 ... V1 ... trám pole P

X 204 ... V2 ... trám pole P

X 205 ... V3 ... opěra P

X 206 ... V4 ... opěra L

X 207 ... V5 ... opěra L

X 208 ... V6 ... trám pole L

X 209 ... V7 ... trám pole L



### **Popis vývrtů:**

Vývrtky byly pro materiálové zkoušky dodány tak, jak byly odebrány jádrovou vrtačkou s diamantovým jádrovým vrtákem, bez dalších úprav

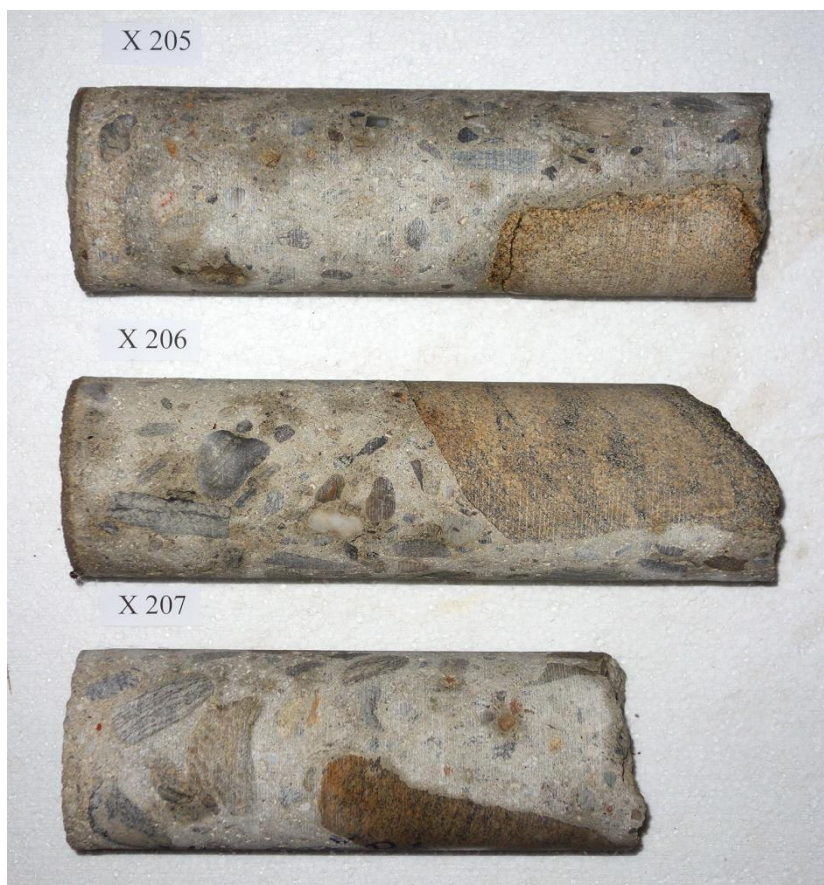


Obr. 1.: Vývrtky z trámu - pole P po dodání do laboratoře

Vývrt X 203 (V1): Délka 270 - 287 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 4 – 6 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna do 50 mm. Tmel mezi zrna kameniva měl světle šedou barvu. V betonu byly dutinky do 5 mm.

Vývrt X 204 (V2): Délka 280 - 288 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna do 50 mm. Tmel mezi zrna kameniva měl světle šedou barvu. V betonu byly dutinky do 5 mm. Ve vývrtu byla svislá ocel  $\phi$  8 mm, hladká kruhová, s krytím 260/262 mm od líce.

Jmenovitý průměr vývrtů byl 100 mm.



Obr. 2.: Vývrtý z opěr po dodání do laboratoře

Vývrt X.205.(V3): Délka 300 - 320 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Ve vzdálenosti 195 mm od líce byl na boční ploše odlomený kámen široký 65 – 75 mm tl. do 15 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s kameny až do 110 mm, u kamenů byly dutinky.

Vývrt X.206.(V4): Délka 280 - 335 mm. Na líci vývrtu byla omítka tl. 3 - 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s velkými kameny (u konce kámen délky 170 mm tl. 40 mm. Mezi zrný kameniva byl šedý tmel s dutinkami.

Vývrt X.207.(V5): Délka 250 - 270 mm. Lícová plocha byla bez úprav s nerovnostmi do 2 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek velkými kameny délky až 150 mm.

Jmenovitý průměr vývrtů byl 100 mm.



Obr. 2.: Vývrtý z trámu - pole L po dodání do laboratoře

Vývrt X 208 (V6): Délka 307 mm. Vývrt byl proveden přes celou šířku prvku. Na líci vývrtu byla omítka tl. 9 – 12 mm, na povrchu byl bílý výluh. Na konci vývrtu byla omítka tl. 3 – 5 mm s nerovnostmi do 1 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrny do 55 mm. Ve vývrtu byla svislá ocel  $\phi$  8 mm s krytím 90 mm betonu.

Vývrt X 209 (V7): Délka 300 - 307 mm. Vývrt byl proveden přes celou šířku prvku. Na líci vývrtu byla omítka tl. 6 - 7 mm, na povrchu byl bílý výluh. Koncová plocha byla bez úpravy. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrny do 80 mm. V betonu byly dutinky do 3 mm.

Jmenovitý průměr vývrtů byl 100 mm.

## **Úprava vývrtů na zkušební tělesa**

Vývrty byly upraveny na zkušební tělesa řezáním stolní diamantovou pilou s vodním výplachem SP 40 Vymyslicky. Z vývrtů byly nejprve odřezány nerovné začátky a konce. Dalším řezáním byla vyrobena zkušební tělesa s délkou srovnatelnou s jejich průměrem. Pokud to délka vývrtu umožnila, byla vyrobena dvě nebo i tři zkušební tělesa. Ta byla označena doplňkovými symboly „A“, „B“ případně „C“.

Ve vývrtech z opěr byly velké kameny. Aby neovlivnily výsledky zkoušek byly tyto části vývrtů upraveny dalším řezáním tak, aby měla průřezová plocha zkušebních těles bez těchto kamenů tvar úseče.

## **Provedená měření zkušebních těles**

Stanovení rozměrů zkušebních těles bylo provedeno posuvným měřítkem s digitální indikací.

Hmotnost zkušebních těles byla zjištěna vážením na vahách s digitální indikací na 1g přesně.

Ultrazvukové měření bylo na zkušebních tělesech provedeno ultrazvukovou metodou podle ČSN 73 1371. Měření bylo provedeno ultrazvukovým přístrojem TICO se sondami s jmenovitým kmitočtem 54 kHz. Metrologicky bylo měření ošetřeno paralelním měřením na etalonu času a opravami podle tohoto měření.

Zkouška zkušebních těles pro stanovení pevnosti v tlaku byly provedeny na zkušebním lisu WPM DrMB 60 při nastavení rozsahu působící síly do 300 kN.

## **Vyhodnocení výsledků měření**

### **Objemová hmotnost a pevnost v tlaku betonu vývrtů**

Vzhledem k tomu, že zkušební tělesa neměla přesně základní rozměr, byly použity převodní součinitele podle ČSN EN 12390-3/Z1.

Válcová pevnost betonu  $f_{c,cyl}$  byla vypočtena ze zjištěné maximální síly při rozdrcení zkušebních těles z betonu a ze skutečné plochy. Opravný součinitel  $k_{c,cyl}$  byl odvozen z tabulky NA.2 podle poměru délky válce k jeho průměru.

Pro převod válcové pevnosti  $f_{c,cyl}$  na krychelnou pevnost  $f_{c,cube}$  byl použitý opravný součinitel  $k_{cyl/cube}$  odvozený z tabulky NA.3.

Pro převod krychelné pevnosti vyhodnocené na zkušebním tělese se jmenovitým průměrem 100 mm na pevnost zkušebního tělesa základního rozměru byl použitý převodní součinitel  $k_{c,cube} = 0,95$ .



Výsledky měření a vyhodnocení objemových hmotností a pevností betonu v tlaku jsou uvedeny v tabulkách 1a, 1b, 1c a 1d.

#### Ultrazvukové měření

Na každém zkušební tělese byla provedena dvě měření doby průchodu ultrazvuku, a to na měřicích základnách, rovnoběžných s podélnou osou zkušební vzorku. Z těchto hodnot a z délky zkušebních těles byly vypočteny rychlosti šíření ultrazvuku. Z objemových hmotností a rychlostí ultrazvuku byly dále vyhodnoceny dynamické moduly pružnosti betonu zkušebních těles. Výsledky měření i vyhodnocené vlastnosti jsou sestaveny do tabulek č. 2a, 2b, 2c a 2d.

Tab.1a.: Vyhodnocení objemových hmotností a pevností betonu vývrtu

| označení zkušební tělesa |         | V1     |        | V2     |        |
|--------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                          |         | X 203A | X 203B | X 204A | X 204B |
| tvar zkušební tělesa     |         | válec  | válec  | válec  | válec  |
| průměr válce             | mm      | 94,1   | 94,0   | 94,1   | 94,1   |
| výška                    | mm      | 94,4   | 94,3   | 92,8   | 94,4   |
| hmotnost                 | g       | 1456   | 1470   | 1444   | 1452   |
| hmotnost oceli           | g       | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| objemová hmotnost        | kg/m3   | 2218   | 2246   | 2237   | 2212   |
| Rozsah lisu              |         | 300    | 300    | 300    | 300    |
| Indikace síly            | promile | 641    | 468    | 776    | 718    |
| síla                     | kN      | 192,3  | 140,4  | 232,8  | 215,4  |
| plocha vzorku            | mm2     | 6955   | 6940   | 6955   | 6955   |
| poměr délky k průměru    | 1       | 1,003  | 1,003  | 0,986  | 1,003  |
| koeficient kc/cy         | 1       | 0,851  | 0,851  | 0,845  | 0,851  |
| válcová pevnost          | N/mm2   | 23,5   | 17,2   | 28,3   | 26,4   |
| koeficient kcy/cube      | 1       | 1,250  | 1,252  | 1,247  | 1,248  |
| koeficient kc, cube      | 1       | 0,95   | 0,95   | 0,95   | 0,95   |
| krychelná pevnost fc     | N/mm2   | 28,0   | 20,5   | 33,5   | 31,3   |

Tab. 2a.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

| označení zkušební tělesa |       | V1     |        | V2     |        |
|--------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                          |       | X 203A | X 203B | X 204A | X 204B |
| měřicí základna          | mm    | 94,4   | 94,3   | 92,8   | 94,4   |
| objemová hmotnost        | kg/m3 | 2218   | 2246   | 2237   | 2212   |
| doba průchodu UZ T1      | us    | 25,7   | 25,0   | 26,8   | 26,2   |
| doba průchodu UZ T2      | us    | 25,8   | 24,8   | 26,8   | 25,8   |
| mrtvý čas T0             | us    | 1,55   | 1,55   | 1,55   | 1,55   |
| rychlost UZ v1           | m/s   | 3909   | 4021   | 3675   | 3830   |
| rychlost UZ v2           | m/s   | 3893   | 4056   | 3675   | 3893   |
| rychlost UZ vL           | m/s   | 3901   | 4039   | 3675   | 3861   |
| modul Ebu                | N/mm2 | 30400  | 33000  | 27200  | 29700  |

Tab.1b.: Vyhodnocení objemových hmotností a pevností betonu vývrtu

| označení zkušebního tělesa |         | V3          |             |             | V4          |             |
|----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            |         | X 205A      | X 205B      | X 205C      | X 206A      | X 206B      |
| tvar zkušebního tělesa     |         | válec       | válec       | válec       | válec       | válec       |
| průměr válce               | mm      | 94,1        | 94,1        | 94,1        | 94,1        | 94,1        |
|                            |         |             |             | 68,2        |             | 49,8        |
| výška                      | mm      | 95,7        | 95,7        | 93,3        | 93,9        | 94,0        |
| hmotnost                   | g       | 1515        | 1486        | 1120        | 1436        | 754         |
| hmotnost oceli             | g       | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| objemová hmotnost          | kg/m3   | <b>2276</b> | <b>2233</b> | <b>2223</b> | <b>2199</b> | <b>2156</b> |
|                            |         | úseč        |             |             | úseč        |             |
| Rozsah lisu                | kN      | 300         | 300         | 300         | 300         | 150         |
| Indikace síly              | promile | 552         | 511         | 252         | 690         | 258         |
| síla                       | kN      | 165,6       | 153,3       | 75,6        | 207,0       | 38,7        |
| plocha vzorku              | mm2     | 6955        | 6955        | 5400        | 6955        | 3721        |
| poměr délky k průměru      | 1       | 1,017       | 1,017       | 0,991       | 0,998       | 0,999       |
| koeficient kc/cy           | 1       | 0,856       | 0,856       | 0,847       | 0,849       | 0,850       |
| válcová pevnost            | N/mm2   | 20,4        | 18,9        | 11,9        | 25,3        | 8,8         |
| koeficient kcy/cube        | 1       | 1,251       | 1,251       | 1,251       | 1,249       | 1,252       |
| koeficient kc, cube        | 1       | 0,95        | 0,95        | 0,95        | 0,95        | 0,95        |
| krychelná pevnost fc       | N/mm2   | <b>24,2</b> | <b>22,4</b> | <b>14,1</b> | <b>30,0</b> | <b>10,5</b> |

Tab. 2b.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

| označení zkušebního tělesa |       | V3           |              |              | V4           |              |
|----------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            |       | X 205A       | X 205B       | X 205C       | X 206A       | X 206B       |
| měřicí základna            | mm    | 95,7         | 95,7         | 93,3         | 93,9         | 94,0         |
| objemová hmotnost          | kg/m3 | 2276         | 2233         | 2223         | 2199         | 2156         |
| doba průchodu UZ T1        | us    | 27,4         | 26,0         | 23,0         | 23,4         | 26,8         |
| doba průchodu UZ T2        | us    | 27,2         | 26,1         | 23,2         | 23,0         | 26,9         |
| mrtvý čas T0               | us    | 1,55         | 1,55         | 1,55         | 1,35         | 1,55         |
| rychlost UZ v1             | m/s   | 3702         | 3914         | 4350         | 4259         | 3723         |
| rychlost UZ v2             | m/s   | 3731         | 3898         | 4309         | 4337         | 3708         |
| rychlost UZ vL             | m/s   | <b>3717</b>  | <b>3906</b>  | <b>4330</b>  | <b>4298</b>  | <b>3715</b>  |
| modul Ebu                  | N/mm2 | <b>28300</b> | <b>30700</b> | <b>37500</b> | <b>36600</b> | <b>26800</b> |

Tab.1c.: Vyhodnocení objemových hmotností a pevností betonu vývrtu

| označení zkušebního tělesa |         | V5          |             | V6          |             |             |
|----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            |         | X 207A      | X 207B      | X 208A      | X 208B      | X 208C      |
| tvar zkušebního tělesa     |         | válec       | válec       | válec       | válec       | válec       |
| průměr válce               | mm      | 94,1        | 94,1        | 94,2        | 94,2        | 94,2        |
|                            |         |             | 44,9        |             |             |             |
| výška                      | mm      | 99,7        | 95,1        | 94,8        | 86,4        | 93,7        |
| hmotnost                   | g       | 1586        | 730         | 1456        | 1346        | 1454        |
| hmotnost oceli             | g       | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 0,0         | 19,9        |
| objemová hmotnost          | kg/m3   | <b>2287</b> | <b>2538</b> | <b>2204</b> | <b>2235</b> | <b>2205</b> |
|                            |         | úseč        |             |             |             |             |
| Rozsah lisu                | kN      | 300         | 150         | 300         | 300         | 300         |
| Indikace síly              | promile | 563         | 197         | 763         | 516         | 651         |
| síla                       | kN      | 168,9       | 29,6        | 228,9       | 154,8       | 195,3       |
| plocha vzorku              | mm2     | 6955        | 3025        | 6969        | 6969        | 6969        |
| poměr délky k průměru      | 1       | 1,060       | 1,011       | 1,006       | 0,917       | 0,995       |
| koeficient kc/cy           | 1       | 0,869       | 0,854       | 0,852       | 0,800       | 0,848       |
| válcová pevnost            | N/mm2   | 21,1        | 8,3         | 28,0        | 17,8        | 23,8        |
| koeficient kcy/cube        | 1       | 1,251       | 1,252       | 1,247       | 1,252       | 1,249       |
| koeficient kc, cube        | 1       | 0,95        | 0,95        | 0,95        | 0,95        | 0,95        |
| krychelná pevnost fc       | N/mm2   | <b>25,1</b> | <b>9,9</b>  | <b>33,2</b> | <b>21,1</b> | <b>28,2</b> |

Tab. 2c.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

| označení zkušebního tělesa |       | V5           |              | V6           |              |              |
|----------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            |       | X 207A       | X 207B       | X 208A       | X 208B       | X 208C       |
| měřicí základna            | mm    | 99,7         | 95,1         | 94,8         | 86,4         | 93,7         |
| objemová hmotnost          | kg/m3 | 2287         | 2538         | 2204         | 2235         | 2205         |
| doba průchodu UZ T1        | us    | 26,5         | 28,7         | 27,4         | 22,8         | 25,5         |
| doba průchodu UZ T2        | us    | 26,5         | 28,8         | 27,1         | 22,1         | 25,1         |
| mrtvý čas T0               | us    | 1,35         | 1,35         | 1,35         | 1,35         | 1,35         |
| rychlost UZ v1             | m/s   | 3964         | 3477         | 3639         | 4028         | 3880         |
| rychlost UZ v2             | m/s   | 3964         | 3464         | 3682         | 4164         | 3945         |
| rychlost UZ vL             | m/s   | <b>3964</b>  | <b>3471</b>  | <b>3660</b>  | <b>4096</b>  | <b>3913</b>  |
| modul Ebu                  | N/mm2 | <b>32400</b> | <b>27500</b> | <b>26600</b> | <b>33800</b> | <b>30400</b> |

Tab.1d.: Vyhodnocení objemových hmotností a pevností betonu vývrtu

| označení zkušebního tělesa |         | V7          |             |             |
|----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|
|                            |         | X 209A      | X 209B      | X 209C      |
| tvar zkušebního tělesa     |         | válec       | válec       | válec       |
| průměr válce               | mm      | 94,0        | 94,1        | 94,1        |
| výška                      | mm      | 93,1        | 94,8        | 94,2        |
| hmotnost                   | g       | 1438        | 1476        | 1462        |
| hmotnost oceli             | g       | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| objemová hmotnost          | kg/m3   | <b>2226</b> | <b>2239</b> | <b>2232</b> |
| Rozsah lisu                |         | 300         | 300         | 300         |
| Indikace síly              | promile | 715         | 553         | 666         |
| síla                       | kN      | 214,5       | 165,9       | 199,8       |
| plocha vzorku              | mm2     | 6940        | 6955        | 6955        |
| poměr délky k průměru      | 1       | 0,990       | 1,007       | 1,001       |
| koeficient kc/cy           | 1       | 0,846       | 0,853       | 0,851       |
| válcová pevnost            | N/mm2   | 26,2        | 20,3        | 24,4        |
| koeficient kcy/cube        | 1       | 1,248       | 1,251       | 1,249       |
| koeficient kc, cube        | 1       | 0,95        | 0,95        | 0,95        |
| krychelná pevnost fc       | N/mm2   | <b>31,0</b> | <b>24,2</b> | <b>29,0</b> |

Tab. 2d.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

| označení zkušebního tělesa |       | V7           |              |              |
|----------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|
|                            |       | X 209A       | X 209B       | X 209C       |
| měřicí základna            | mm    | 93,1         | 94,8         | 94,2         |
| objemová hmotnost          | kg/m3 | 2226         | 2239         | 2232         |
| doba průchodu UZ T1        | us    | 24,2         | 24,6         | 24,6         |
| doba průchodu UZ T2        | us    | 24,7         | 24,6         | 24,8         |
| mrtvý čas T0               | us    | 1,35         | 1,35         | 1,35         |
| rychlost UZ v1             | m/s   | 4074         | 4077         | 4052         |
| rychlost UZ v2             | m/s   | 3987         | 4077         | 4017         |
| rychlost UZ vL             | m/s   | <b>4031</b>  | <b>4077</b>  | <b>4034</b>  |
| modul Ebu                  | N/mm2 | <b>32500</b> | <b>33500</b> | <b>32700</b> |



Karbonatace betonu byla zjišťována informativním barevným testem s pomocí lihového roztoku fenolftaleinu. Pokud je pH betonu menší než 9,5, je beton nebezpečně zkarbonatovaný a beton se po nástřiku roztoku nezbarví. V tom případě ale pasivně nechrání výztuž proti korozi vlivem působení agresivního okolí. Je-li pH větší než 9,5 a beton tak výztuž chrání, zbarví se růžovofialově.

Hodnocení hloubky karbonatace betonu bylo provedeno po rozdrcení zkušebních těles. Pro spolehlivé stanovení hloubky karbonatace bylo posouzení provedeno i na rozlomených odřezaných začátcích a koncích vývrtů. :

Beton vývrtu X 203 (V1) byl pod omítkou zkarbonatovaný do hloubky 0 – 5 mm.

Beton vývrtu X 204 (V2) byl pod omítkou zkarbonatovaný do hloubky 5 - 10 mm.

Beton vývrtu X 205 (V3) nebyl zkarbonatovaný.

Beton vývrtu X 206 (V4) nebyl zkarbonatovaný.

Beton vývrtu X 207 (V5) byl zkarbonatovaný do hloubky 10 – 15 mm.

Beton vývrtu X 208 (V6) nebyl zkarbonatovaný.

Beton vývrtu X 209 (V7) nebyl zkarbonatovaný.

#### **Informativní vyhodnocení pevnosti betonu konstrukce**

ČSN EN 13791 čl. 7.3.3. Postup B uvádí možnost stanovení odhadu charakteristické pevnosti betonu v tlaku z výsledků zkoušek betonu vývrtů. Pokud výsledky zkoušek jednotlivých zkušebních těles uvažujeme za výsledky zkoušek samostatných vývrtů je možné provést následující vyhodnocení:

Na zkušebních tělesech z **vývrtů z trámů** bylo stanoveno deset hodnot pevností:

28,0 MPa, 20,5 MPa, 33,5 MPa, 31,3 MPa, 33,2 MPa, 21,1 MPa, 28,2 MPa, 31,0 MPa  
24,2 MPa a 29,0 MPa.

Charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci stanoví jako menší z hodnot:

Průměrná pevnost – 5 MPa:  $28,0 - 5 = \underline{\underline{23,0 \text{ MPa}}}$

Nejmenší hodnota pevnosti + 4 MPa:  $20,5 + 4 = 24,5 \text{ MPa}$

Podle tabulky 1 uvedené ČSN EN 13791 odpovídá beton pevnostní třídě **C20/25** pro kterou je stanovena minimální charakteristická pevnost 21 MPa.

Na zkušebních tělesech **z vývrtů z opěr** byly stanoveny čtyři hodnoty pevnosti:

24,2 MPa, 22,4 MPa, 30,0 MPa a 25,1 MPa.

Charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci stanoví jako menší z hodnot:

Průměrná pevnost – 7 MPa:  $25,4 - 7 = \mathbf{18,4 \text{ MPa}}$

Nejmenší hodnota pevnosti + 4 MPa:  $22,4 + 4 = 26,4 \text{ MPa}$

Podle tabulky 1 uvedené ČSN EN 13791 odpovídá beton pevnostní třídy **C16/20** pro kterou je stanovena minimální charakteristická pevnost 17 MPa.

Poznámka: Pevnosti stanovené na částech konců vývrtů z opěr s průřezem tvaru úseče (14,1 MPa, 10,5 MPa a 9,9 MPa) byly výrazně odlehle a nebyly do vyhodnocení zařazeny.

Zkoušky betonu vývrtů z lávky ve Žďáru nad Sázavou provedl, vyhodnotil a sestavil závěrečnou zprávu Ing. Jiří Habarta, CSc., autorizovaný inženýr v oboru Zkoušení a diagnostika staveb – číslo autorizace 1000407, držitel Průkazu o certifikaci způsobilosti pro specifickou činnost NDT zkoušení ve stavebnictví č. 201-0031/NZS.

13. 8. 2018

Ing. Jiří Habarta, CSc.