

**PODJEZD V KM 86,998 HL. DRÁHY
BRNO – HAVÍČKŮV BROD**

DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM



červen 2017

Zakázka: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod ve městě Žďár nad Sázavou

Dokument: Diagnostický průzkum

Objednatel: **WALTEC GDS, s.r.o.**
Masarykova 1355/12
678 01 Blansko
IČO: 28346220
DIČ: CZ28346220

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.

Dokument vypracoval: Ing. Lukáš bobek

Statický výpočet vypracoval: Ing. Adam Svoboda

Laboratorní práce: Ing. Jiří Habarta, CSc.

Terénní práce provedli: doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Ing. Martin Olšák
Ing. Adam Svoboda
Ing. Lukáš Bobek

Kontrola a schválení zprávy:

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



Obsah:

PODJEZD V KM 86,998 HL. DRÁHY	1
BRNO – HAVÍČKŮV BROD	1
Diagnostický průzkum	1
1. Úvod	5
1.1 Identifikační údaje	5
1.2 Účel a vymezení zakázky	5
1.3 Podklady pro vypracování zprávy	6
2. Identifikace objektu	7
2.1 Základní údaje o mostní konstrukci (dle mostního řádu)	8
3. Metodika diagnostických prací	10
3.1 Ověření základních rozměrů konstrukce	10
3.2 Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech	10
3.3 Pevnost betonu v tlaku metodou Schmidtova tvrdoměru typu N	10
3.4 Diagnostika betonářské výztuže	11
3.5 Vizuální prohlídka stavu	11
4. Realizace diagnostického průzkumu	12
4.1 Ověření rozměrů konstrukce	13
4.2 Jádrové vývrty	14
4.3 Laboratorní měření betonu	17
4.4 Tvrdoměrné zkoušení betonu (upřesněná pevnost betonu)	19
4.5 Diagnostika betonářské výztuže	20
5. Statický výpočet pro ověření únavy	23
6. Závady a poruchy	23
6.1 Degradace povrchu železobetonové desky	23
6.2 Koroze nosné výztuže	25
6.3 Nedostačující krycí vrstva výztuže	26
6.4 Trhliny v betonu	27
6.5 Poškození vegetací	28
7. Závěry a doporučení	29
PODJEZD V KM 86,998 HL. DRÁHY	31
BRNO – HAVÍČKŮV BROD	31
Přílohová část	31

Přílohová část:

Příloha 1 - Protokol o zkoušce. Podjezd v km 86,998 h. dráhy Brno – Havl. Brod. Vyhodnocení tvrdoměrného zkoušení betonu podjezdu Schmidtovým tvrdoměrem typu N

Příloha 2 - Ing. Jiří Habarta, CSc., Zkoušky betonu vývrtů. Most na trati Brno – Havlíčkův Brod v km 86,998

Příloha 3 - Posouzení únavy betonářské výztuže a tlačného betonu (dle ČSN EN 1992-2 Příloha NN)

1. ÚVOD

1.1 Identifikační údaje

Objednatel:	WALTEC GDS, s.r.o. Masarykova 1355/12 678 01 Blansko IČO: 28346220 DIČ: CZ28346220
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 podjezdu na železniční trati v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod přes pozemní komunikaci ve městě Žďár nad Sázavou. Laboratorní měření pevnosti betonu vzorků odebraných z podjezdu na železniční trati v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod přes pozemní komunikaci ve městě Žďár nad Sázavou. Statický výpočet podjezdu za účelem kontroly konstrukce na únavu na železniční trati v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod přes pozemní komunikaci ve městě Žďár nad Sázavou.

1.2 Účel a vymezení zakázky

Cílem objednaných prací bylo odborné posouzení stavu, provedení diagnostického průzkumu (včetně laboratorního vyhodnocení) a vypracování statického výpočtu pro ověření únavy podjezdu na železniční trati v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod přes pozemní komunikaci ve městě Žďár nad Sázavou.

Podjezd převádí dvoukolejnou trať přes pozemní komunikaci ve městě Žďár nad Sázavou. Podjezd je tvořen dvojicí samostatných jednoplových identických mostů (pro každou kolej), které jsou od sebe odděleny podélnou dilatační spárou.

Dle přijaté objednávky bylo předmětem diagnostického průzkumu:

- zjištění základních rozměrů mostu;
- stanovení pevnosti betonu (vč. laboratorního měření pevnosti betonu);
- diagnostika betonářské výztuže (druh, poloha);
- odborná prohlídka stavu mostu, vizuální odhalení poruch a závad mostního objektu.

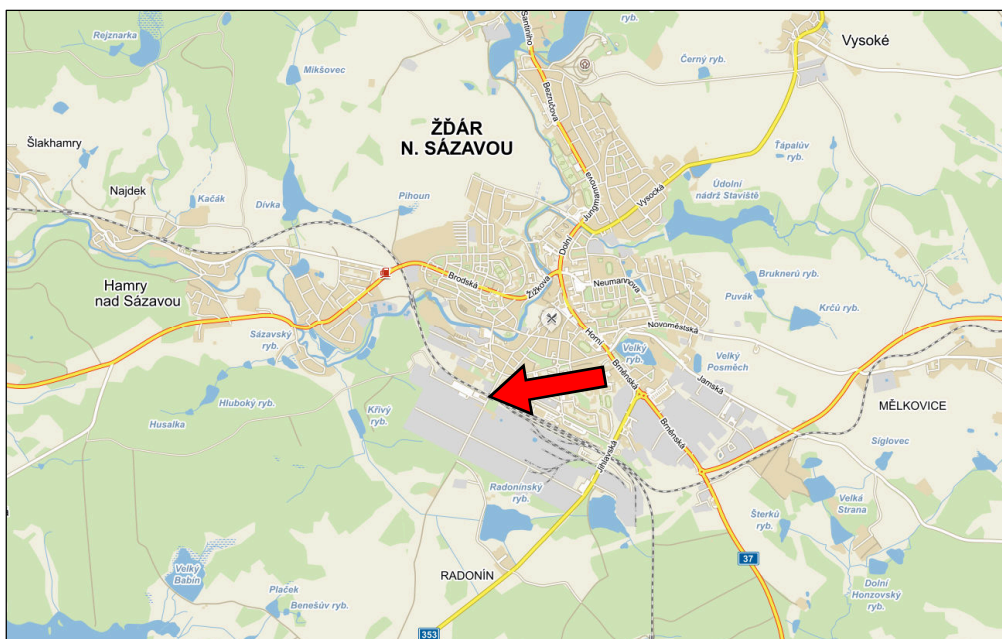
1.3 Podklady pro vypracování zprávy

- [1] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- [2] ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění
- [3] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení
- [4] ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- [5] ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem
- [6] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
- [7] ČSN EN 206 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [8] ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací
- [9] TP 72 Diagnostický průzkum mostů PK (2008)
- [10] Mapové podklady ze serveru www.mapy.cz
- [11] Polní záznamy z průzkumu ze dne 24. 4. 2017 a 2. 5. 2017

2. IDENTIFIKACE OBJEKTU

Most se nachází ve městě Žďár nad Sázavou v kraji Žďár nad Sázavou a převádí dvoukolejnou železniční trať přes pozemní komunikaci. Nosná konstrukce délky 10,40m je tvořena železobetonovou prostou deskou uloženou na masivní opěry.

K mostnímu objektu je k dispozici původní stavební dokumentace.



Obr. 1 Zeměpisná poloha mostu



Obr. 2 Zeměpisná poloha mostu - detail

Sídlo a fakturační adresa:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSC., KL-PROJEKT
Ochoz u Brna 120, 664 02 Ochoz u Brna

Tel.: +420 608 714 603

E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

IČO: 130 24 868

DIČ: CZ5803142730

2.1 Základní údaje o mostní konstrukci (dle mostního řádu)

Název:	Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod
Rok postavení:	cca 1950
Předmět přemostění:	místní pozemní komunikace
Kraj:	Vysočina
Okres:	Žďár nad Sázavou
Obec:	Žďár nad Sázavou
Katastrální území:	Žďár nad Sázavou
Správce:	SŽDC
Světlost otvoru (kolmá):	8,90m
Světlost otvoru (šikmá):	8,90m
Délka přemostění:	8,90m
Rozpětí:	9,70 m
Šikmost:	100,00 ^g
Stavební výška:	1,13 m
Úložná výška:	1,13 m
Výška mostu nad terénem:	6,72 m
Šířka mostu:	11,05 m
Volná šířka:	10,75 m
Mostní vybavení:	ocelové zábradlí
Nosná konstrukce:	železobetonová prostá deska dl. 10,40 m.
Opěry:	2
Výška opěr:	5,60 m
Délka opěr:	16,96 m
Tloušťka opěr:	cca 2,20 m
Spodní stavba:	Opěry jsou plné betonové, obložené žulovými kvádry tloušťky cca 400mm
Mostní svršek:	šterkové kolejové lože tl. 450 mm s dřevěnými prachci



Obr. 3 Pohled na most proti směru staničení



Obr. 4 Pohled na most směrem od města



Obr. 5 Pohled na spodní stavbu mostu – OP1

3. METODIKA DIAGNOSTICKÝCH PRACÍ

Na podjezdu nacházejícím se v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod ve městě Žďár nad Sázavou byl navržen diagnostický průzkum nosné konstrukce v rozsahu:

- ověření základních rozměrů konstrukce;
- diagnostika betonu nosné konstrukce a spodní stavby (odebrání jádrových vývrtů pro zkoušení v laboratoři, stanovení pevnosti betonu v tlaku nedestruktivním upřesněným tvrdoměrným zkoušením);
- diagnostika betonářské výztuže nosné konstrukce (zjištění polohy výztuže nedestruktivními metodami, stanovení krycí vrstvy betonu);
- 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 zaměřena. Hodnoty měření se zaznamenávají 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 vývrtů 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 vývrtů je popsáno v normě ČSN EN 12504-1. Vyhodnocení zkoušky je provedeno dle normy ČSN EN 13791.

3.3 Pevnost betonu v tlaku metodou Schmidtova tvrdoměru typu N

Nedestruktivní metoda Schmidtova tvrdoměru využívá ke stanovení pevnosti betonu závislost krychelné pevnosti betonu v tlaku a tvrdosti betonu. Díky této zkoušce lze rovněž posoudit rovnoměrnost kvality betonu sledované konstrukce.

Razník Schmidtova tvrdoměru se přiloží na připravené zkušební místo kolmo k povrchu a poté se tvrdoměr stlačuje pomalým plynulým pohybem. Tím se napíná pružina, která po natažení do výchozí polohy automaticky vymrští beran, který dopadne na razník energií 2,25 J. Při rázu se energie

pohybu beranu projeví jednak vtiskem razníku do povrchu betonu a jednak i odrazem beranu zpět. Velikost odrazu závisí na tvrdosti betonu.

Všechna zkušební místa je před zkouškou nutno zbavit zkarbonatované vrstvy betonu a vybrousit za sucha tak, aby byla jasně patrná struktura betonu. Místa jednotlivých úderů na jednom zkušebním místě musí být od sebe vzdáleny u tvrdoměru typu Schmidt N minimálně 30 mm od okraje betonu a 30 mm od sebe. Zkušební plocha má být tedy tak velká, aby se na ní dal provést potřebný počet úderů (cca 10, pro vyhodnocení je potřeba min. 7 platných měření). Zkoušky se provádějí na cementovém tmelu, který je pro pevnost betonu rozhodující.

Hodnoty pevnosti betonu Schmidtovým tvrdoměrem se poté upraví součinitelem upřesnění, který se stanoví na základě poměru pevností betonu zjištěných na jádrových vývrtech a za pomoci tvrdoměru.

Zkoušky a jejich vyhodnocení se provádí v souladu s normami ČSN 73 1370, ČSN 73 1373, ČSN EN 13791 a ČSN EN 12504-2.

3.4 Diagnostika betonářské výztuže

Diagnostikou betonářské výztuže se rozumí zejména 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 sekanou sondou. Sonda se provádí odstraněním krycí vrstvy betonu tak, aby došlo k obnažení betonářské výztuže. Pomocí měřidla se poté ověří průměr výztuže, krytí, případně úbytek průměru výztuže v důsledku koroze. Vizually se zhodnotí druh výztuže a také stupeň koroze.

3.5 Vizualní prohlídka stavu

Vizuální kontrola představuje odbornou prohlídku stavu mostu, optické odhalení poruch mostního objektu a jejich popis. Dle 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.);
- stav mostních říms;
- poškození konstrukce chemickými vlivy;
- poškození mostního vybavení.

Součástí vizuální 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 24. 4. 2017 a 2. 5. 2017 specializovanými pracovníky pod vedením doc. Ing. Ladislava Klusáčka, CSc. Provedeny byly tyto práce:

- kontrolní měření rozměrů konstrukce;
- odebrání jádrových vývrtů z konstrukce;
- tvrdoměrné zkoušení betonu nosní konstrukce;
- diagnostika betonářské výztuže;
- odborná prohlídka, zjištění závad a poruch.

Laboratorní zkoušky provedl dne 10. 5. 2017 Ing. Jiří Habarta, CSc. (IČ: 68099576). Protokol je uveden v přílohové části této zprávy (Příloha 2 – Ing. Jiří Habarta, CSc., Zkoušky betonu vývrtů. Most na trati Brno – Havlíčkův Brod v km 86,998). V laboratoři byly provedeny tyto práce:

- stanovení pevnosti betonu v tlaku na jádrových vývrtech (vč. stanovení objemové hmotnosti betonu);
- ultrazvukové měření jádrových vývrtů;
- stanovení míry karbonatace na jádrových vývrtech.

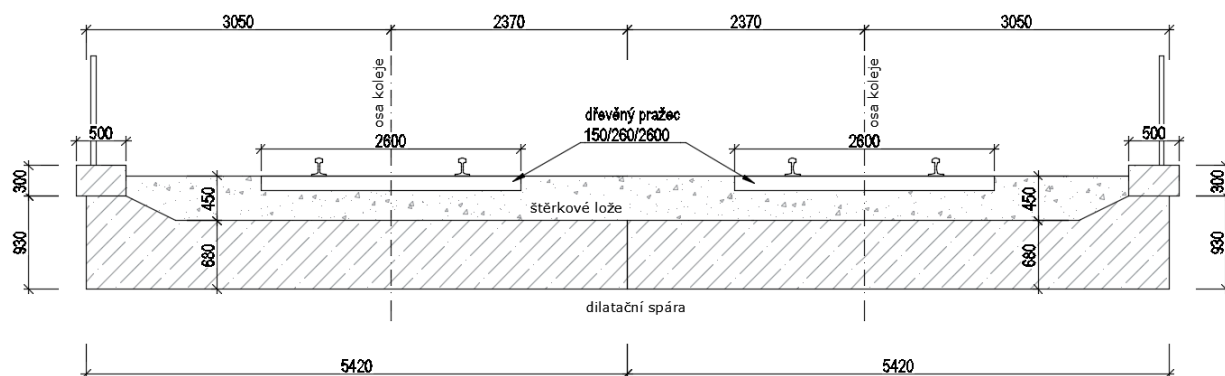


Obr. 6 Pohled na most směrem k městu

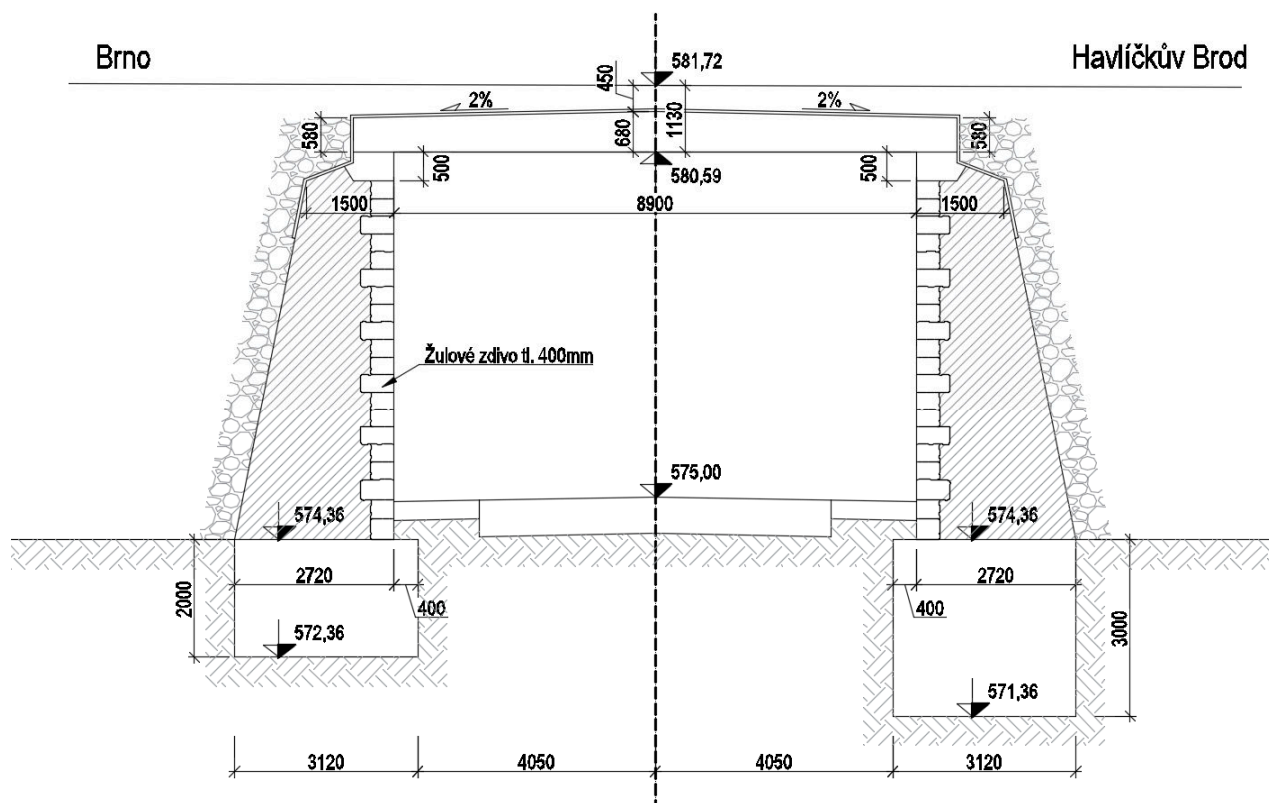
4.1 Ověření rozměrů konstrukce

Nosná konstrukce je železobetonovou prostou deskou se světlostí otvoru 8,90m. Pro ověření únosnosti konstrukce bylo provedeno kontrolní měření rozměrů mostu.

Měření základních rozměrů nosné konstrukce bylo provedeno pomocí délkového měřidla. Na základě zjištěných rozměrů byl skutečný stav konstrukce srovnán s výkresovou dokumentací.



Obr. 7 Schéma příčného řezu mostem



Obr. 8 Schéma podélného řezu mostem

Sídlo a fakturační adresa:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT
Ochoz u Brna 120, 664 02 Ochoz u Brna

Tel.: +420 608 714 603

E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

IČO: 130 24 868

DIČ: CZ5803142730

4.2 Jádrové vývrty

K odběru jádrových vývrtů ze spodní stavby i z nosní konstrukce pro stanovení krychelné pevnosti betonu v tlaku byla použita kotvená jádrová vrtačka s vnitřním vodním výplachem a diamantovou korunkou jmenovitého průměru 80 mm. Vývrty do opěry i do nosní konstrukce byly provedeny vodorovně.

Vlastnosti betonu jádrových vývrtů byly poté zkoušeny v laboratoři.

Ze spodní stavby byl odebrán celkem jeden jádrový vývrt. Aby bylo možné odebrat vzorek betonu z opěry, tak bylo potřebné se nejprve převrtat 430mm přes žulový obklad, což se ukázalo jako velmi obtížné, na samé hranici proveditelnosti. Z opěry OP2 (havlíčskobrodské) byl proto odebrán vývrt s označením V0.



Obr. 9 Vrtání diamantovou korunkou s vodním výplachem – vrt V0



Obr. 10 Pohled do vrtu V0

Následně byly odebrány 3 jádrové vývrty z nosní konstrukce. Vývrty V1 a V2 byly odebrány ze ŽB mostní desky z boku přilehlého k závodu ŽĐAS, vývrt V3 byl odebrán ze ŽB mostní desky z boku přilehlého k městu.



Obr. 11 Pohled na místa odběrů vrtů V1 a V2



Obr. 12 Pohled na místo odběru vývrtu V3



Obr. 13 Jádrový vývrt V0



Obr. 14 Jádrové vývrty

Označení vývrtu	Délka/průměr vývrtu [mm]	Popis vývrtu
V 118 (V0)	170/φ75	Plný průřez byl jen v části dlouhé 125 mm. Na líci byly nerovnosti do 30 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci s nerovnostmi do 25 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna do 30 mm. V betonu bylo méně hrubého kameniva. Na boční ploše vývrtu byla vylámaná zrna, to obvykle indikuje velmi malou pevnost betonu.
V 097 (V1)	175 - 195/φ75	Na líci omítka na tl. 10 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna do 30 mm.
V 098 (V2)	320 - 340/φ75	Omítka na líci tl. 8 - 10 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s převahou zrn do 15 - 20 mm a menším množstvím zrn do 30 mm. V betonu bylo množství malých dutinek 1 - 2 mm.
V 099 (V3)	340 - 350/φ75	Tloušťka omítky na líci 1 - 3 mm. U líce byl zářez od vrtání do hloubky 55 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrna až do 45 mm. V betonu bylo méně hrubého kameniva. V betonu byly dutinky do 5 mm. Ve vývrtu byla ocel 10512 Roxor D 14 mm s krytím 92 - 94 mm.

Tab. 1 Popis odebraných vývrtů (Ing. Jiří Habarta, CSc.)

4.3 Laboratorní měření betonu

Vývrtky z betonu konstrukce byly upraveny na zkušební tělesa řezáním na speciální pile Vymyslicky SP 40P s diamantovým pilovým listem a s vodním výplachem. K označení vývrtů bylo přiřazeno označení podle evidence laboratoře.

Z vývrtu V0 bylo vyrobeno zkušební těleso V 118. Z vývrtu V1 byla vyrobena dvě zkušební tělesa V 097A a V 097B. Z vývrtu V2 byla vyrobena čtyři zkušební tělesa V 098A, V 098B, V 098C a V 098D. Z vývrtu V3 byla vyrobena čtyři zkušební tělesa V 099A, V 099B, V 099C a V 099D. Zkušební těleso V 099C bylo krátké, nebylo použitelné pro stanovení pevnosti. Zkušební tělesa jsou označena doplňkovými symboly A, B, C a D.

V laboratoři byla stanovena objemová hmotnost a pevnost v tlaku betonu, ultrazvukové měření a stanovení hloubky karbonatace.

Pevnostní zkouška zkušebních těles byly provedeny na zkušebním lisu WPM DrMB 60 při nastavení rozsahu působící síly do 300 kN.

Ultrazvukové měření bylo na zkušebních tělesech provedeno ultrazvukovou metodou podle ČSN 73 1371. Měření bylo provedeno ultrazvukovým přístrojem TICO se sondami se jmenovitým kmitočtem 54 kHz. Metrologicky bylo měření ošetřeno paralelním měřením na etalonu času a opravami podle tohoto měření. Měření doby průchodu ultrazvuku bylo provedeno na měřicích základnách ve směru rovnoběžném s podélnou osou vzorku. Na každém vzorku byly stanoveny dvě doby průchodu ultrazvuku.

Karbonatace betonu byla zjišťována informativním barevným testem s pomocí lihového roztoku fenolftaleinu.

Označení vývrtu	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Rychlost UZ [m/s]	Modul pružnosti E_{bu} [N/mm ²]	Válcová/krychelná pevnost $f_{c,cyl}/f_{c,cube}$ [MPa]
V 118	2136	3556	24300	9,2/10,7
V 097A	2272	4410	39800	38,8/44,6
V 097B	2276	4183	35800	29,4/34,0
V 098A	2244	4305	37400	19,2/22,3
V 098B	2233	4262	36500	16,9/19,6
V 098C	2201	4105	33400	22,8/26,5
V 098D	2232	4011	32300	25,4/29,5
V 099A	2231	3878	30200	28,5/33,1
V 099B	2218	3990	31800	18,1/21,0
V 099C	2216	3902	30400	-
V 099D	2175	4038	31900	25,9/29,9

Tab. 2 Přehled parametrů zjištěných na odebraných vývrtech (Ing. Jiří Habarta, CSc.)

Zprůměrováním získaných hodnot pro beton nosní konstrukce dosáhneme těchto výsledků:

- průměrná objemová hmotnost betonu je 2230 kg/m^3 ;
- průměrná rychlost šíření ultrazvuku je 4108 m/s ;
- průměrný dynamický modul pružnosti je 33950 N/mm^2 ;
- průměrná válcová/krychelná pevnost betonu v tlaku $f_{c,cyl}/f_{c,cube}$ je $25,0/28,9 \text{ MPa}$;
- karbonatace betonu jednotlivých vzorků – beton vývrtů nebyl zkarbonatovaný

Příprava vzorků, provádění zkoušek i jejich vyhodnocení byly v souladu s platnými předpisy příslušných státních norem. Vzhledem k tomu, že zkušební tělesa z betonu neměla základní rozměr, byly použity převodní součinitele podle ČSN EN 12390-3/Z1.

Protokol o vyhodnocení laboratorních zkoušek je uveden v přílohové části této závěrečné zprávy: Příloha 2 - Ing. Jiří Habarta, CSc., Zkoušky betonu vývrtů. Most na trati Brno – Havlíčkův Brod v km 86,998.

4.4 Tvrdoměrné zkoušení betonu (upřesněná pevnost betonu)

Pevnost betonu v tlaku byla zjišťována nedestruktivní metodou Schmidtova tvrdoměru typu N s následným upřesněním krychelné pevnosti betonu na základě výsledků laboratorního měření. Celkem bylo na mostě provedeno 12 zkušebních míst na nosné konstrukci.

Před samotným měřením byla zkušební místa vybroušena podle metodiky uvedené v ČSN.

Výsledné pevnosti z nedestruktivních zkoušek byly upraveny součinitelem upřesnění α , který byl stanoven na základě pevnosti betonu zjištěné na jádrových vývrtech odebraných v blízkosti zkušebních míst. Zkušební tělesa a zkušební místa, která posloužila k určení upřesňujícího součinitele, jsou uvedena s jednotlivými pevnostmi v tab. 3.

Součinitel α upřesňující obecný kalibrační vztah (ČSN 73 1373)					
n [-]	zkušební těleso	f_{be} [MPa]	zkušební místo	f_{ck} [MPa]	α [-]
1	V 097A (V1)	44,60	č.1 (V1)	55,67	0,80
2	V 097B (V1)	34,00	č.1 (V1)	55,67	0,61
3	V 098A (V2)	22,30	č.2 (V2)	38,86	0,57
4	V 098B (V2)	19,60	č.2 (V2)	38,86	0,50
5	V 098C (V2)	26,50	č.2 (V2)	38,86	0,68
6	V 098D (V2)	29,50	č.2 (V2)	38,86	0,76
7	V 099A (V3)	33,10	č.3 (V3)	56,00	0,59
8	V 099B (V3)	21,00	č.3 (V3)	56,00	0,38
9	V 099D (V3)	29,90	č.3 (V3)	56,00	0,53
Upřesňující součinitel α [-]					0.60

Tab. 3 Součinitel upřesnění

Vyhodnocení upřesněné charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku nosné konstrukce je v uvedeno v Tab. 4.

počet zkušebních míst	12
počet platných zkušebních míst n	12
aritmetický průměr pevností m_x [MPa]	31,3
minimální hodnota f_{ck} [MPa]	21,0
maximální hodnota f_{ck} [MPa]	37,0
výběrová směrodatná odchylka s_x [MPa]:	4,1369
neznámý výběrový variační koeficient v_x [-]	0,1324
součinitel k_n [-]	1,89
Charakteristická pevnost betonu $f_{ck, is, cube}$ [MPa]	23,4
Třída betonu dle ČSN EN 206-1	C 20/25

Tab. 4 Vyhodnocení charakteristické krychelné pevnosti betonu v tlaku konstrukce - desky

Dle vyhodnocení je betonu nosné konstrukce je možné přiřadit pevnostní třídu C 20/25, pro kterou je minimální charakteristická krychelná pevnost betonu určena hodnotou 23,4 MPa.

Kompletní protokol z tvrdoměrného zkoušení betonu je uveden v přílohové části této závěrečné zprávy: Příloha 1 - Protokol o zkoušce. Podjezd v km 86,998 h. dráhy Brno – Havl. Brod. Vyhodnocení tvrdoměrného zkoušení betonu podjezdu Schmidtovým tvrdoměrem typu N.



Obr. 15 Provedení tvrdoměrné zkoušky betonu

4.5 Diagnostika betonářské výztuže

Při diagnostice betonářské výztuže nosné konstrukce mostu byla pro určení polohy výztuže použita nedestruktivní zařízení.



Obr. 16 Elektromagnetický detektor betonářské výztuže – bok nosné konstrukce

Pro rychlé zjištění polohy a množství betonářské výztuže ŽB nosní konstrukce byl využit elektromagnetický indikátor výztuže (profometer), který objektivně zjistí polohu výztuže do hloubky 100 mm od povrchu zkoumaného betonu.

Nedestruktivně byla diagnostikována betonářská výztuž nosní konstrukce. Dle elektromagnetického indikátoru výztuže byla v nosní konstrukci nalezena tato betonářská výztuž:

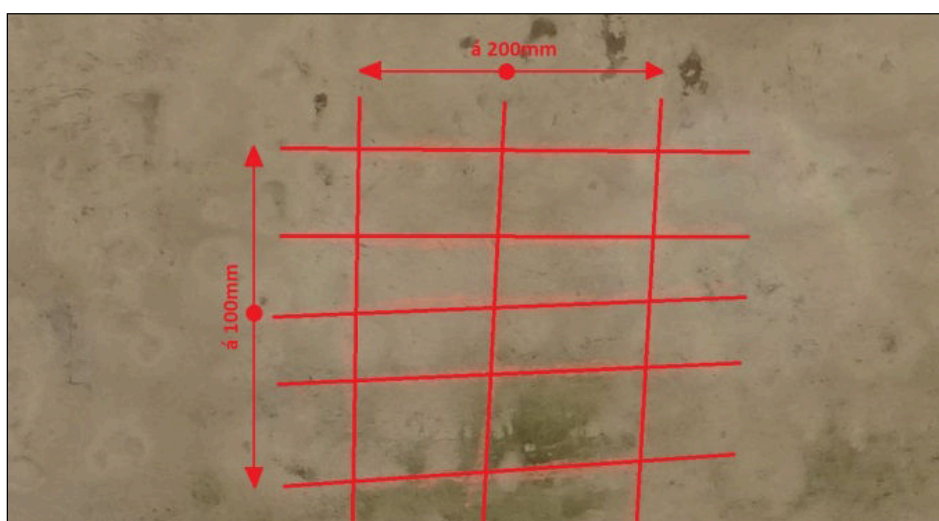
- podélná nosní výztuž (á 100 mm);
- rozdělovací výztuž (á 200 mm);
- svislá a vodorovná výztuž na boční straně nosné konstrukce (á 250 mm).

Nalezená výztuž byla porovnána s výkresovou dokumentací. Lze konstatovat, že množství výztuže i její poloha odpovídá výkresové dokumentaci betonářské výztuže.

Odhalená betonářská výztuž je zkorodovaná, vykazuje úbytek materiálu způsobený povrchovou korozí o cca 1mm.



Obr. 17 Odhalená nosná výztuž



Obr. 18 Rozdělení nosné a rozdělovací výztuže v poli



Obr. 19 Rozdělení výztuže na boku nosné konstrukce

Sídlo a fakturační adresa:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT
Ochoz u Brna 120, 664 02 Ochoz u Brna

Tel.: +420 608 714 603
E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

IČO: 130 24 868
DIČ: CZ5803142730

5. STATICKÝ VÝPOČET PRO OVĚŘENÍ ÚNAVY

Statický výpočet hlavní nosné konstrukce pro ověření na únavu byl proveden pro potvrzení nebo vyloučení podezření, že takto málo přesýpaná nosná konstrukce dimenzovaná podle dovolených namáhání zpravidla nevyhovuje soudobým požadavkům na únavu.

Výpočet je uveden v příloze.

Výpočet potvrdil, že hlavní nosná konstrukce nevyhovuje podle soudobých požadavků na únavu, a to především pro nízkou pevnost betonu. To je rozhodující argument pro snesení hlavní nosné konstrukce a pro návrh nové.

6. ZÁVADY A PORUCHY

Na podjezde v km 86,998 hl. dráhy Brno – Havlíčkův Brod v Žďáry nad Sázavou byly během vizuální prohlídky stavu dne 24. 4. 2017 a 2.5.2017 zaznamenány následující závady či poruchy.

6.1 Degradace povrchu železobetonové desky

Povrch železobetonové desky je silně degradován vlivem vlhkosti, zejména ve střední oblasti podjezdu v okolí podélné dilatační spáry. Celý povrch mostu je pokryt výluhy, na bocích se dokonce tvoří výluhové krápníky. Hydroizolace mostů je nefunkční. V těchto oblastech (cca 0,5 m na obě strany od střední dělicí spáry) lze předpokládat, že je pevnost betonu minimálně o třídu nižší.



Obr. 20 Protečení podélné dilatační spáry



Obr. 21 Voda z dilatační spáry stéká po opěře



Obr. 22 Bok mostu pokryt výluhy s výluhovými krápníky



Obr. 23 Výluhy s výluhovými krápníky - detail

6.2 Koroze nosné výztuže

Na řadě míst dochází k odpadu betonu vlivem korozivních procesů výztuže typu ROXOR. Úbytek materiálu průřezu betonářské výztuže je cca 1 mm na poloměru.



Obr. 24 Odpadlá krycí betonová vrstva a zkorodovaná nosná výztuž



Obr. 25 Detail zkorodované výztuže



Obr. 26 Odpadlá krycí vrstva betonu

6.3 Nedostačující krycí vrstva výztuže

Krycí betonová vrstva hlavní nosné betonářské výztuže je v průměru 9,8 mm (10 měření). Z hlediska trvanlivosti je krycí betonová vrstva zcela nedostačující. Nosná výztuž je zasažena vlhkostí, co způsobuje korozi výztuže popsané v předešlé kapitole.



Obr. 27 Nedostatečná tloušťka krycí vrstvy betonu



Obr. 28 detail tloušťky krycí vrstvy

6.4 Trhliny v betonu

Boční povrchy desek jsou silně protkány soustavami trhlin. V místech některých trhlin vznikají výluhy s výluhovými krápníky, co znamená, že trhliny nejsou jenom povrchové, ale procházejí dál

konstrukcí a umožňují protékat vodě, která přeteče z povrchu mostu poškozenou hydroizolací. Problém poškozené hydroizolace je uveden v kapitole 6.1.



Obr. 29 Trhliny v betonu nosné konstrukce i úložného prahu

6.5 Poškození vegetací

Oblasti kolem úložných prahů a opěry jsou rozrušeny vegetací. Beton je prostoupen řadou trhlin a díky vegetaci nastává další degradace betonu a ještě větší rozvoj trhlin v betonu.



Obr. 30 Vegetace na úložním prahu a křídle opěry – OP2

7. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Výstupem této zprávy jsou výsledky diagnostických prací, které byly provedeny ve dnech 24. 4. a 2.5.2017, vyhodnocení laboratorních měření ze dne 10. 5. 2017, statický přepoččet mostní konstrukce (posouzení na únavu) a odborná doporučení pro správce mostního objektu. Závěry lze shrnout v následujících bodech:

- Na základě srovnání naměřených geometrických veličin, polohy a množství diagnostikované betonářské výztuže s výkresovou dokumentací možno potvrdit shodu mezi skutečným stavem konstrukce a výkresovou dokumentací.
- Charakteristická pevnost betonu v tlaku nosné konstrukce stanovena metodou Schmidtova tvrdoměru typu N (viz příloha 1) s upřesněním jádrovými vývrtky odebranými z nosné konstrukce (vrtky V1, V2, V3) je 23,4 MPa. Dle ČSN EN 13791 odpovídá beton pevnostní třídě C20/25 pro kterou je stanovena minimální charakteristická pevnost 21 MPa. Pevnostní třída betonu byla potvrzena i zkouškami v laboratoři, viz příloha 2. V oblastech kolem střední dělicí spáry je pevnost betonu max C16/20.
- Krychelná pevnost betonu opěry 2 (havlíčkobrodské) byla stanovena v laboratoři zkouškami na jádrovém vývrtu (vrt V0), který byl odebrán za zdí ze žulových bloků (tl. 430 mm), s výslednou hodnotou 10,7 MPa. Vzhledem k masivnosti spodní stavby lze předpokládat, že opěry mohou v těchto provozních podmínkách dále sloužit svému účelu. Z průběhu vrtání sondážních vrtů ve spárách lze předpokládat stejnou pevnost betonu pro obě opěry.
- Odhalená betonářská výztuž vykazuje úbytek materiálu způsobený povrchovou korozí v tloušťce asi 1mm na poloměru.
- Konstrukce mostu byla posouzena na únavu dle ČSN EN 1992-2, viz příloha 3 této předběžné zprávy. **Konstrukce NEVYHOVUJE z hlediska únavového namáhání tlačeného betonu.**
- Zjištěné poruchy:
 - degradace povrchu železobetonové desky
 - koroze nosné výztuže – obnažená výztuž
 - nedostačující krycí vrstva výztuže
 - trhliny v betonu
 - poškození vegetací.

Doporučení:

Doporučení pro projekt rekonstrukce vycházejí z výše uvedených dílčích závěrů.

Protože nosná konstrukce nevyhovuje na únavu z hlediska pevnosti betonu, který navíc svojí sníženou pevností a nedostatečným krytím a korozí nesplňuje podmínky pro spolehlivou

dlouhodobou ochranu výztuže, se naléhavě doporučuje snesení mostní desky a jejího stávajícího uložení (horní části opěr).

Opěry svojí masívností a pevností betonu vyhoví pro novou nosnou konstrukci. Žulové kvádry obkladu jsou řádně zavázány do betonu opěr a lze je považovat za součást dřívku opěr.

V Brně dne 16. 6. 2017

za kolektiv zpracovatelů

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PODJEZD V KM 86,998 HL. DRÁHY BRNO – HAVÍČKŮV BROD

PŘÍLOHOVÁ ČÁST



Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod

VYHODNOCENÍ TVRDOMĚRNÉHO ZKOUŠENÍ BETONU PODJEZDU SCHMIDTOVÝM TVRDOMĚREM TYPU N

VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY:

počet zkušebních míst	12
počet platných zkušebních míst n	12
aritmetický průměr pevností m_x [MPa]	31.3
minimální hodnota f_{ck} [MPa]	21.0
maximální hodnota f_{ck} [MPa]	37.0
výběrová směrodatná odchylka s_x [MPa]:	4.1369
neznámý výběrový variační koeficient v_x [-]	0.1324
součinitel k_n [-]	1.89
Charakteristická pevnost betonu $f_{ck, is, cube}$ [MPa]	23.4
Třída betonu dle ČSN EN 206-1	C 20/25

Vypracoval: Ing. Adam Svoboda

Kontroloval: doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod

květen 2017

Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 1 (V1)																
Směr měření:	vodorovně				→		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	50	48	45	53	50	48	41	42	49	49	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	59	55	50	64	59	55	43	45	57	57	54.40	43.52	65.28	9	55.67	
												f _{be} po upřesnění:		30.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 2 (V2)																
Směr měření:	vodorovně				→		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	45	35	40	36	42	50	51	36	36	36	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	50	32	41	34	45	59	61	34	34	34	42.40	33.92	50.88	7	38.86	
												f _{be} po upřesnění:		21.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 3 (V3)																
Směr měření:	vodorovně				→		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	50	50	49	51	47	50	42	49	50	45	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	59	59	57	61	54	59	45	57	59	50	56.00	44.80	67.20	10	56.00	
												f _{be} po upřesnění:		30.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 4																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	61	60	60	61	59	59	59	56	59	55	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	74	72	72	74	70	70	70	64	70	62	69.80	55.84	83.76	10	69.80	
												f _{be} po upřesnění:		37.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 5																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	60	60	59	60	53	59	58	50	54	59	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	72	72	70	72	58	70	68	53	60	70	66.50	53.20	79.80	9	68.00	
												f _{be} po upřesnění:		36.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 6																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	53	53	55	54	55	59	54	57	58	55	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	58	58	62	60	62	70	60	66	68	62	62.60	50.08	75.12	10	62.60	
												f _{be} po upřesnění:		33.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 7																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	52	53	57	56	55	54	50	50	51	56	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	56	58	66	64	62	60	53	53	54	64	59.00	47.20	70.80	10	59.00	
												f _{be} po upřesnění:		32.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 8																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	60	55	59	60	58	54	56	57	56	54	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	72	62	70	72	68	60	64	66	64	60	65.80	52.64	78.96	10	65.80	
												f _{be} po upřesnění:		35.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 9																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	50	47	51	55	52	54	54	50	49	50	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	53	47	54	62	56	60	60	53	51	53	54.90	43.92	65.88	10	54.90	
												f _{be} po upřesnění:		29.0		
Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 10																
Směr měření:	svisle nahoru				↑		Stáří betonu [dny]:			nad 360		Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α _t [-]:			0.90		Součinitel vlhkosti α _w [-]:		1.00				
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr	
Míra odrazu	55	50	45	50	51	56	46	54	53	52	prům. f _{be}	0,8f _{be}	1,2f _{be}	n [-]	prům. f _{be}	
f _{be} [MPa]	62	53	43	53	54	64	45	60	58	56	54.80	43.84	65.76	9	56.11	
												f _{be} po upřesnění:		30.0		

Sídlo a fakturační adresa:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT

Ochoz u Brna 120, 664 02 Ochoz u Brna

Tel.: +420 608 714 603

E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

IČO: 130 24 868

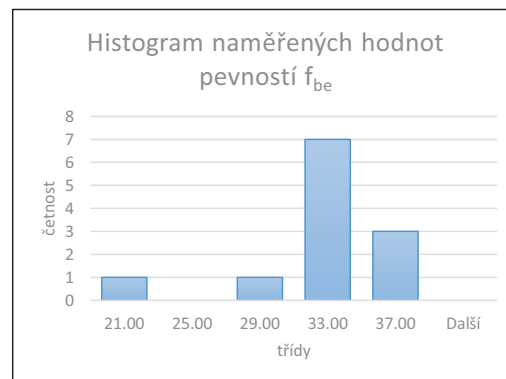
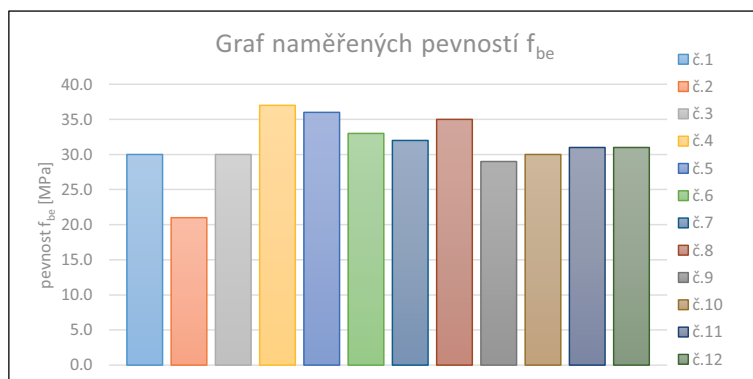
DIČ: CZ5803142730

Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod

květen 2017

Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 11															
Směr měření:	svisle nahoru			↑	Stáří betonu [dny]:			nad 360			Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α_t [-]:			0.90			Součinitel vlhkosti α_w [-]:		1.00		
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr
Míra odrazu	59	52	59	60	56	49	50	48	51	50	prům. f_{be}	$0,8f_{be}$	$1,2f_{be}$	n [-]	prům. f_{be}
f_{be} [MPa]	70	56	70	72	64	51	53	49	54	53	59.20	47.36	71.04	9	57.78
												f_{be} po upřesnění:		31.0	

Zkuš. místo: Podjezd v km 86,998 hl. dráhy Brno - Havl. Brod, č. 12															
Směr měření:	svisle nahoru			↑	Stáří betonu [dny]:			nad 360			Vlhkost betonu:		beton přirozené vlhký a vlhký		
Součinitel upřesnění α [-]:	0.60				Součinitel stáří α_t [-]:			0.90			Součinitel vlhkosti α_w [-]:		1.00		
Číslo úderu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	dolní mez	horní mez	platné měř.	oprav. průměr
Míra odrazu	53	55	50	55	49	53	49	58	47	55	prům. f_{be}	$0,8f_{be}$	$1,2f_{be}$	n [-]	prům. f_{be}
f_{be} [MPa]	58	62	53	62	51	58	51	68	47	62	57.20	45.76	68.64	10	57.20
												f_{be} po upřesnění:		31.0	



Součinitel α upřesňující obecný kalibrační vztah (ČSN 73 1373)					
n [-]	zkušební těleso	f_{ck} [MPa]	zkušební místo	f_{be} [MPa]	α [-]
1	V 097A (V1)	44.60	č. 1 (V1)	55.67	0.80
2	V 097B (V1)	34.00	č. 1 (V1)	55.67	0.61
3	V 098A (V2)	22.30	č. 2 (V2)	38.86	0.57
4	V 098B (V2)	19.60	č. 2 (V2)	38.86	0.50
5	V 098C (V2)	26.50	č. 2 (V2)	38.86	0.68
6	V 098D (V2)	29.50	č. 2 (V2)	38.86	0.76
7	V 099A (V3)	33.10	č. 3 (V3)	56.00	0.59
8	V 099B (V3)	21.00	č. 3 (V3)	56.00	0.38
9	V 099D (V3)	29.90	č. 3 (V3)	56.00	0.53
Upřesňující součinitel α [-]					0.60

Podklady pro vypracování protokolu:

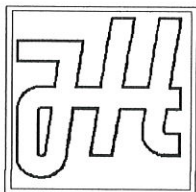
- [1] ČSN 73 1370 Needestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení.
- [2] ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu.
- [3] ČSN 73 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. (2007)
- [4] ČSN EN 206 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.
- [5] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. (2014)
- [6] Polní záznam z měření ze dne 24. 4. 2017.

Sídlo a fakturační adresa:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., KL-PROJEKT
 Ochoz u Brna 120, 664 02 Ochoz u Brna

Tel.: +420 608 714 603
 E-mail: klusacek.l@fce.vutbr.cz

IČO: 130 24 868
 DIČ: CZ5803142730



Ing. Jiří Habarta, CSc.

Autorizovaný inženýr v oboru Zkoušení a diagnostika staveb

Pellicova 5d, 602 00 Brno

Zkoušky betonu vývrtů

Most na trati Brno - Havlíčkův Brod v km 86,998

Objednatel Ing. L. Klusáček, KL-projekt

Zpráva č. 2017*0505

Brno, květen 2017



Smluvní strany:

Objednatel:

Doc. Ing. L. Klusáček, CSc.
KL-projekt
664 02 Ochoz u Brna 120
IČO 13024868, DIČ CZ5803142730

Zhotovitel:

Ing. Jiří Habarta, CSc.
Pellicova 5d, 602 00 Brno
IČO 68099576, DIČ CZ411128428

Předmět řešení:

Stanovení pevnostních charakteristik betonu vý-
vrtů z mostu v km 86,998 na trati Brno - Havlíč-
kův Brod.

Informace o zadání a programu zkoušek:

Na základě požadavku Doc. Ing. L. Klusáčka, CSc. byly provedeny zkoušky betonu vývrtů z mostu v km 86,998 na trati Brno - Havlíčkův Brod. Jedná se o podchod pro pěší před závodem ŽĎAS ve Žďáru nad Sázavou.

Pro zkoušky byly dodány čtyři vývrty. Jejich jmenovitý průměr byl 75 mm.

Označení vývrtů ze stavby (V1, V2, V3, V0) bylo doplněno označením z evidence laboratoře: písmenem V a trojmístným pořadovým číslem:

V 097 ... V1 ...vývrt byl proveden z boku mostní žb. desky, z boku k závodu.

V 098 ... V2 ...vývrt byl proveden z boku mostní žb. desky, z boku k závodu.

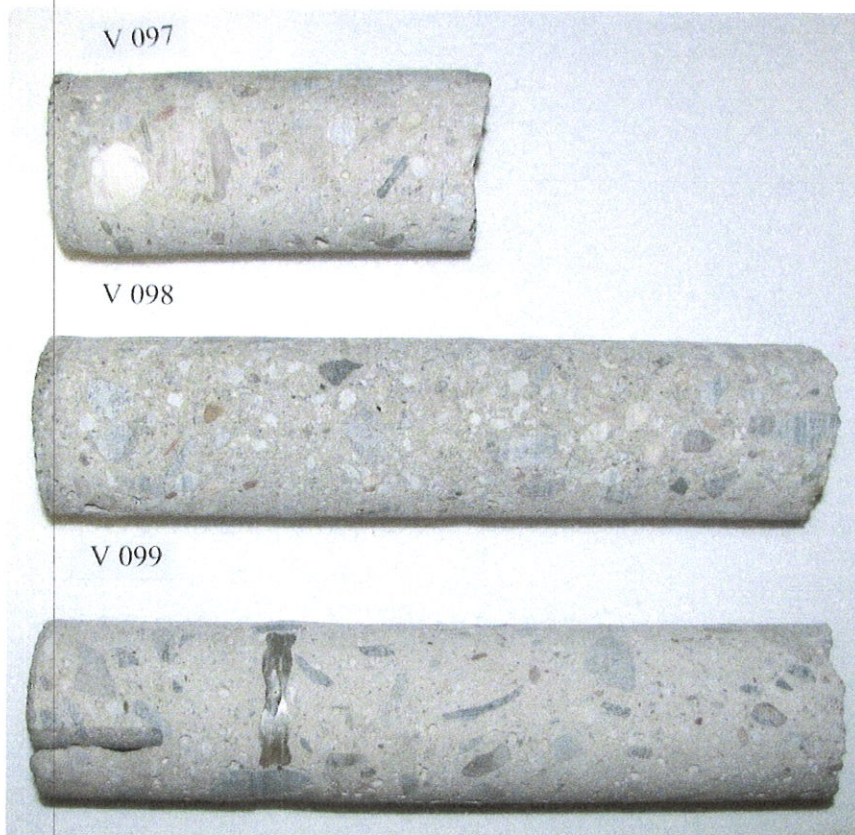
V 099 ... V3 ...vývrt byl proveden z boku mostní žb. desky, z boku k městu.

V 118 ... V0 ... vývrt byl proveden z opěry 2 (havlíčkobrodské). Vývrt byl odebrán z betonu za zdí ze žulových bloků, v místě vrtání bylo nutné provrtat 430 mm žuly.

Vývrty byly provedeny vodorovně.

Popis vývrtů:

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



Obr. 1.: Vývrty z betonu žb. desky po dodání do laboratoře.

Vývrt V 097 (V1): délka 175 - 195 mm, z toho omítka na líci tl. 10 mm.. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrn do 30 mm.

Vývrt V 098 (V2): délka 320 - 340 mm, z toho omítka na líci 8 - 10 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek s převahou zrn do 15 - 20 mm a menším množstvím zrn do 30 mm. V betonu bylo množství malých dutinek 1 - 2 mm.

Vývrt V 099 (V3): délka 340 - 350 mm, z toho omítka na líci 1 - 3 mm. U líce byl zářez od vrtání do hloubky 55 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrn až do 45 mm. V betonu bylo méně hrubého kameniva. V betonu byly dutinky do 5 mm. Ve vývrtu byla ocel 10512 Roxor D 14 mm s krytím 92 - 94 mm.

Jmenovitý průměr vývrtů byl 75 mm.

V 118



Obr. 2.: Vývrt z betonu opěry.

Vývrt V 118 (V0): celková délka 170 mm. Plný průřez byl jen v části dlouhé 125 mm. Na lici byly nerovnosti do 30 mm. Konec vývrtu byl odlomený v konstrukci s nerovnostmi do 25 mm. Jako hrubé kamenivo byl použitý štěrkopísek se zrny do 30 mm. V betonu bylo méně hrubého kameniva. Na boční ploše vývrtu byla vylámaná zrna, to obvykle indikuje velmi malou pevnost betonu.

Jmenovitý průměr vývrtu byl 75 mm.

Úprava vývrtů na zkušební tělesa

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.

Byly odřezány nerovné začátky a konce vývrtů tak, aby délka zkušebních těles byla pokud možno srovnatelná s průměrem tělesa.

Z vývrtu V1 byla vyrobena dvě zkušební tělesa V 097A a V 097B.

Z vývrtu V2 byla vyrobena čtyři zkušební tělesa V 098A, V 098B, V 098C a V 098D.

Z vývrtu V3 byla vyrobena čtyři zkušební tělesa V 099A, V 099B, V 099C a V 099D.

Zkušební těleso V 099C bylo krátké, nebylo použitelné pro stanovení pevnosti.

Z vývrtu V0 bylo vyrobeno zkušební těleso V 118.

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. Měření doby průchodu ultrazvuku bylo provedeno na měřicích základnách ve směru rovnoběžném s podélnou osou vzorku. Na každém vzorku byly stanoveny dvě doby průchodu ultrazvuku.

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

Objemová hmotnost a pevnost v tlaku betonu vývrtů - vyhodnocení

Vyhodnocení bylo provedeno podle platných českých technických norem.

Vzhledem k tomu, že zkušební tělesa z betonu neměla 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 rozdrčení zkušebních těles 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 použit opravný součinitel $k_{cyl/cube}$ odvozený z tabulky NA.3 .

Pro převod krychelné pevnosti vyhodnocené na zkušebním tělese se jmenovitým průměrem 75 mm na pevnost zkušebního tělesa základního rozměru byl použit převodní součinitel $k_{c,cube} = 0,93$.

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 1a a 1b..

Ultrazvukové měření

Na zkušebních tělesech bylo provedeno měření doby průchodu ultrazvuku na základnách ve směru, který byl při pozdější pevnostní zkoušce označen jako výška. Z těchto hodnot byly vypočteny rychlosti šíření ultrazvuku. Z objemové hmotnosti a rychlosti ultrazvuku byl dále vyhodnocen dynamický modul pružnosti betonu zkušebních těles. Výsledky měření i vyhodnocené vlastnosti jsou sestaveny do tabulek 2a a 2b.

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

označení zkušebního tělesa		V1		V2			
		V 097A	V 097B	V 098A	V 098B	V 098C	V 098D
tvar zkušebního tělesa		válec	válec	válec	válec	válec	válec
průměr válce	mm	79,3	79,3	79,2	79,2	79,2	79,2
výška	mm	75,4	73,2	72,1	73,1	74,7	74,4
hmotnost	g	846	823	797	804	810	818
hmotnost oceli	g	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
objemová hmotnost	kg/m3	2272	2276	2244	2233	2201	2232
Rozsah lisu		300	300	300	300	300	300
Indikace síly	promile	773	604	394	346	456	511
síla	kN	231,9	181,2	118,2	103,8	136,8	153,3
plocha vzorku	mm2	4939	4939	4927	4927	4927	4927
poměr délky k průměru	1	0,951	0,923	0,910	0,923	0,943	0,939
koeficient kc/cy	1	0,826	0,800	0,800	0,800	0,820	0,815
válcová pevnost	N/mm2	38,8	29,4	19,2	16,9	22,8	25,4
koeficient kcy/cube	1	1,237	1,247	1,251	1,252	1,250	1,249
koeficient kc, cube	1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
krychelná pevnost fc	N/mm2	44,6	34,0	22,3	19,6	26,5	29,5

Tab. 2a.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

označení zkušebního tělesa		V1		V2			
		V 097A	V 097B	V 098A	V 098B	V 098C	V 098D
měřicí základna	mm	75,4	73,2	72,1	73,1	74,7	74,4
objemová hmotnost	kg/m3	2272	2276	2244	2233	2201	2232
doba průchodu UZ T1	us	16,8	17,4	16,7	16,9	17,9	18,4
doba průchodu UZ T2	us	17,0	17,2	16,4	17,0	18,1	18,3
mrtvý čas T0	us	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
rychlost UZ v1	m/s	4435	4159	4266	4275	4127	4000
rychlost UZ v2	m/s	4384	4207	4343	4250	4082	4022
rychlost UZ vL	m/s	4410	4183	4305	4262	4105	4011
modul Ebu	N/mm2	39800	35800	37400	36500	33400	32300

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

označení zkušebního tělesa		V3				V0
		V 099A	V 099B	V 099C	V 099D	V 118
tvar zkušebního tělesa		válec	válec	válec	válec	válec
průměr válce	mm	79,2	79,2	79,2	79,3	79,3
výška	mm	76,2	75,4	35,9	73,9	74,5
hmotnost	g	862	824	392	794	786
hmotnost oceli	g	34,1	0,0	0	0	0,0
objemová hmotnost	kg/m3	2231	2218	2216	2175	2136
Rozsah lisu		300	300		300	300
Indikace síly	promile	562	359		530	186
síla	kN	168,6	107,7		159,0	55,8
plocha vzorku	mm2	4927	4927		4939	4939
poměr délky k průměru	1	0,962	0,952		0,932	0,939
koeficient $k_{c/cy}$	1	0,833	0,827		0,800	0,816
válcová pevnost	N/mm2	28,5	18,1		25,8	9,2
koeficient $k_{cy/cube}$	1	1,247	1,251		1,249	1,252
koeficient k_c , cube	1	0,93	0,93		0,93	0,93
krychelná pevnost f_c	N/mm2	33,1	21,0		29,9	10,7

Tab. 2b.: Ultrazvukové měření zkušebních těles

označení zkušebního tělesa		V3				V0
		V 099A	V 099B	V 099C	V 099D	V 118
měřicí základna	mm	76,2	75,4	79,2	73,9	74,5
objemová hmotnost	kg/m3	2231	2218	2216	2175	2136
dobu průchodu UZ T1	us	19,4	18,6	19,9	18,0	21,0
dobu průchodu UZ T2	us	19,5	18,8	20,3	18,2	20,7
mrtvý čas T0	us	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
rychlost UZ v_1	m/s	3888	4011	3940	4060	3531
rychlost UZ v_2	m/s	3868	3968	3863	4016	3582
rychlost UZ v_L	m/s	3878	3990	3902	4038	3556
modul Ebu	N/mm2	30200	31800	30400	31900	24300

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

Beton vývrtů nebyl zkarbonatovaný.

Zkoušky betonu vývrtů z železobetonové desky a opěry betonu mostu v km 86,998 trati Brno - Havlíčkův Brod provedl a vyhodnotil 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.

Brno, 10.5.2017




Ing. Jiří Habarta, CSc.

Posouzení únavy betonářské výztuže a tlačného betonu (dle ČSN EN 1992-2 Příloha NN)

Materiálové charakteristiky:

Beton: C 20/25

Betonářská výztuž: R (Roxor) 10512

 $f_{ck} := 23.4 \text{ MPa}$ charakteristická krychelná pevnost betonu

 $E_s := 210 \text{ GPa}$ modul pružnosti betonářské výztuže

 $E_{cm} := 30 \text{ GPa}$ střední hodnota sečnového modulu modulu pružnosti betonu

Vyztužení průřezu:

 $D := 35 \text{ mm}$ jmenovitý průměr výztuže typu Roxor (průměr opsaného kruhu)

 $A_{s,1} := 0.000973 \text{ m}^2$ náhradní průřezová plocha jednoho prutu

 $n := 11$ počet prutů

 $A_s := n \cdot A_{s,1} = 0.0107 \text{ m}^2$ celková průřezová plocha prutů v průřezu

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu porušeného trhlinami:

 $h := 0.680 \text{ m}$ výška průřezu $b := 1.0 \text{ m}$ šířka průřezu

 $c := 20 \text{ mm}$ krytí betonářské výztuže $d := h - c - \frac{D}{2} = 0.643 \text{ m}$ účinná výška

 $\alpha_n := \frac{E_s}{E_{cm}} = 7$ poměr modulů pružnosti

 $x_{ir} := \frac{\alpha_n \cdot A_s}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b}{\alpha_n} \cdot \frac{A_s \cdot d}{A_s^2}} \right) = 0.244 \text{ m}$ výška tlačné oblasti ideálního průřezu

 $I_{ir} := \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{ir}^3 + \alpha_n \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2 = 0.0167 \text{ m}^4$ moment setrvačnosti ideálního průřezu

Charakteristické hodnoty ohybových momentů uprostřed rozpětí (bez dynamického součinitele ϕ):

 $M_{perm} := 329.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ohybový moment od stálého zatížení

 $M_{max,71} := 339.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$ maximální ohybový moment od zatížení dopravou (ČSN EN 1991-2 kap. 6.3.2 Model zatížení 71)

 $M_{min,71} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$ minimální ohybový moment od zatížení dopravou (ČSN EN 1991-2 kap. 6.3.2 Model zatížení 71)

Normálová napětí v betonu a v betonářské výztuži:

 $\sigma_{c,perm} := -\frac{M_{perm}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = -4.80 \text{ MPa}$ tlakové napětí v betonu vyvozené charakteristickou kombinací zatížení bez modelu zatížení 71

 $\sigma_{c,max,71} := -\frac{M_{perm} + M_{max,71}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = -9.76 \text{ MPa}$ maximální tlakové napětí v betonu vyvozené charakteristickou kombinací zatížení s modelem zatížení 71

$$\sigma_{c,min.71} := -\frac{M_{perm} + M_{min.71}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = -4.80 \text{ MPa}$$

minimální tlakové napětí v betonu vyvozené charakteristickou kombinací zatížení s modelem zatížení 71

$$\Delta\sigma_{c.71} := |\sigma_{c,max.71} - \sigma_{c,min.71}| = 4.96 \text{ MPa}$$

rozkmit napětí od modelu zatížení 71 v tlačném betonu

$$\Delta\sigma_{s.71} := \alpha_n \cdot \frac{M_{max.71}}{I_{ir}} \cdot (d - x_{ir}) = 56.61 \text{ MPa}$$

rozkmit napětí od modelu zatížení 71 v tažené betonářské výztuži

Posouzení únavy betonářské výztuže:

$\gamma_{F,fat} := 1.00$ dílčí součinitel únavového zatížení (ČSN EN 1992-1-1 2.4.2.3 (1))

$\gamma_{s,fat} := 1.15$ dílčí součinitel betonářské oceli pro posouzení na únavu (ČSN EN 1992-1-1 2.4.2.4 (1))

$\Delta\sigma_{Rsk} := 162.5 \text{ MPa}$ odolnost betonářské oceli vyjádřena rozkmitem napětí pro N^* cyklů (ČSN EN 1992-1-1 Tabulka 6.3N)

Exponenty napětí k_1 a k_2 dle tvaru S-N křivky charakteristické únavové pevnosti betonářské výztuže (ČSN EN 1992-1-1 Tabulka 6.3N):

$$k_1 := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 162.5 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 5 \\ \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 58.5 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 3 \\ \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 35 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 3 \end{cases} = 5$$

$$k_2 := \begin{cases} \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 162.5 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 9 \\ \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 58.5 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 5 \\ \text{if } \Delta\sigma_{Rsk} = 35 \text{ MPa} \\ \parallel \\ 5 \end{cases} = 9$$

Stanovení opravného součinitele λ_s :

$L := 9.70 \text{ m}$ rozhodující délka příčinkové čáry

$$\lambda_{s,1} := \begin{cases} \text{if } L \leq 2 \text{ m} \\ \parallel \\ 0.90 \\ \text{if } L \geq 20 \text{ m} \\ \parallel \\ 0.65 \\ \text{if } 2 \text{ m} < L < 20 \text{ m} \\ \parallel \\ 0.90 + (0.65 - 0.90) \cdot \left(\log\left(\frac{L}{m}\right) - 0.3 \right) \end{cases} = 0.728$$

součinitel, zohledňující druh konstrukčního prvku (např. spojitý nosník) a zahrnující poškozující účinek dopravy, záviselý na rozhodující délce příčinkové čáry nebo její ploše

(viz ČSN EN 1992-2 Tabulka NN.2 a ČSN EN 1993-2 9.5.3(4))

$$Vol := 500 \cdot 30 \cdot 365 = 5.48 \cdot 10^6$$

roční objem dopravy (tuny/rok/kolej)

$$\lambda_{s,2} := \sqrt[k_2]{\frac{Vol}{25 \cdot 10^6}} = 0.84$$

součinitel, zohledňující roční objem dopravy

$$N_{years} := 100$$

návrhová životnost mostu

$$\lambda_{s,3} := \sqrt[k_2]{\frac{N_{years}}{100}} = 1.00$$

součinitel, zohledňující návrhovou životnost mostu

$$\lambda_{s,4} := 1$$

součinitel, který se užije, pokud je konstrukční prvek zatěžován více než jednou kolejí

$$\lambda_s := \lambda_{s,1} \cdot \lambda_{s,2} \cdot \lambda_{s,3} \cdot \lambda_{s,4} = 0.62$$

opravný součinitel λ_s pro výpočet poškozujícího ekvivalentního rozkmitu napětí z rozkmitu napětí vyvolaného $\phi \cdot \Delta\sigma_{s,71}$ přihlíží k rozpětí, ročnímu objemu dopravy, návrhové životnosti a počtu kolejí (ČSN EN 1992-2 Příloha NN)

$$L_\phi := 9.70 \text{ m}$$

„náhradní“ délka [m] (délka příslušející k ϕ) definovaná v ČSN EN 1991-2 Tab. 6.2

$$\Phi_3 := \frac{2.16}{\sqrt{\frac{L_\phi}{m} - 0.2}} + 0.73 = 1.47$$

dynamický součinitel podle EN 1991-2 (hodnota pro standardně udržovanou kolej)

Poškozující ekvivalentní rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_{s,eq} := \lambda_s \cdot \Phi_3 \cdot \Delta\sigma_{s,71} = 51.24 \text{ MPa}$$

poškozující ekvivalentní rozkmit napětí pro betonářskou a předpínací výztuž

Posouzení únavy betonářské výztuže:

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,eq} = 51.24 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{Rsk}}{\gamma_{s,fat}} = 141.3 \text{ MPa}$$

$$\text{Posouzení} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \gamma_{F,fat} \cdot \Delta\sigma_{s,eq} \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}}{\gamma_{s,fat}} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"VYHOVUJE"} \\ \text{else} \\ \text{"NEVYHOVUJE"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"VYHOVUJE"}$$

Betonářská výztuž VYHOVUJE podmínkám posouzení únavy dle ČSN EN 1992-2 Příloha NN.

Posouzení únavy tlačného betonu:

$\gamma_{c.fat} := 1.50$	dílčí součinitel betonu pro posouzení na únavu (ČSN EN 1992-1-1 2.4.2.4 (1))
$\gamma_c := 1.50$	dílčí součinitel betonu v mezních stavech únosnosti
$\alpha_{cc} := 0.9$	součinitel, kterým se zohledňují dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování
$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.04 \text{ MPa}$	návrhová pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 1992-1-1 3.1.6
$k_1 := 0.85$	Hodnotu k_1 , kterou lze použít v příslušném státě, lze stanovit v národní příloze. Doporučená hodnota je 0,85.
$s := 0.25$	koefficient závisící na druhu cementu (ČSN EN 1992-1-1 3.1.2)
$t_0 := 28$	stáří betonu ve dnech, na začátku cyklického zatěžování
$\beta_{cc} := e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t_0}}\right)} = 1$	součinitel zohledňující pevnost betonu při jeho prvním zatížení (viz 3.1.2 (6) EN 1992-1-1)
$f_{cd.fat} := k_1 \cdot \beta_{cc} \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right) = 10.82 \text{ MPa}$	návrhová hodnota únavové pevnosti betonu podle ČSN EN 1992-2 (6.76)

Stanovení opravného součinitele λ_c :

$\lambda_{c,0} := \left\ \begin{array}{l} \text{if } 0.94 + 0.2 \cdot \frac{ \sigma_{c,perm} }{f_{cd.fat}} \geq 1 \\ \left\ \begin{array}{l} 0.94 + 0.2 \cdot \frac{ \sigma_{c,perm} }{f_{cd.fat}} \\ \text{else} \\ 1 \end{array} \right\ \end{array} \right\ = 1.03$	součinitel, zohledňující vliv trvale působícího napětí
$\lambda_{c,1} := \left\ \begin{array}{l} \text{if } L \leq 2 \text{ m} \\ \left\ \begin{array}{l} 0.70 \\ \text{if } L \geq 20 \text{ m} \\ \left\ \begin{array}{l} 0.75 \\ \text{if } 2 \text{ m} < L < 20 \text{ m} \\ \left\ \begin{array}{l} 0.70 + (0.75 - 0.70) \cdot \left(\log\left(\frac{L}{m}\right) - 0.3\right) \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ = 0.734$	součinitel, zohledňující pro konstrukční prvek (např. spojitý nosník) poškozuující účinek dopravy v závislosti na rozhodující délce příčinkové čáry nebo plochy
$\lambda_{c,2.3} := 1 + \frac{1}{8} \cdot \log\left(\frac{\text{Vol}}{25 \cdot 10^6}\right) + \frac{1}{8} \cdot \log\left(\frac{N_{years}}{100}\right) = 0.918$	součinitel, zohledňující roční objem dopravy a návrhové provozní životnosti mostu
$\lambda_{c,4} := 1$	součinitel, který se užije, pokud je konstrukční prvek zatěžován více než jednou kolejí

$$\lambda_c := \lambda_{c,0} \cdot \lambda_{c,1} \cdot \lambda_{c,2.3} \cdot \lambda_{c,4} = 0.693$$

opravný součinitel λ_c přihlíží ke stálému napětí, rozpětí, objemu roční dopravy, návrhové životnosti a počtu kolejí

$$\sigma_{c,max.71.\Phi} := |\sigma_{c,max.71} \cdot \Phi_3| = 14.36 \text{ MPa}$$

maximální tlakové napětí vyvozené charakteristickou kombinací zatížení včetně modelu zatížení 71 s dynamickým součinitelem ϕ podle EN 1991-2

$$\sigma_{c,min.71.\Phi} := |\sigma_{c,min.71} \cdot \Phi_3| = 7.07 \text{ MPa}$$

minimální tlakové napětí vyvozené charakteristickou kombinací zatížení včetně modelu zatížení 71 s dynamickým součinitelem ϕ podle EN 1991-2

Horní a dolní napětí poškozujícího ekvivalentního napětíového spektra pro počet cyklů N:

$$\sigma_{cd,max,eq} := |\sigma_{c,perm}| + \lambda_c \cdot (\sigma_{c,max.71.\Phi} - |\sigma_{c,perm}|) = 11.43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd,min,eq} := |\sigma_{c,perm}| - \lambda_c \cdot (|\sigma_{c,perm}| - \sigma_{c,min.71.\Phi}) = 6.37 \text{ MPa}$$

$\gamma_{sd} := 1$ dílčí součinitel materiálů pro mezní stavy únosnosti

$N := 10^6$ referenční počet cyklů

$$E_{cd,max,eq} := \gamma_{sd} \cdot \frac{\sigma_{cd,max,eq}}{f_{cd,fat}} = 1.057$$

$$E_{cd,min,eq} := \gamma_{sd} \cdot \frac{\sigma_{cd,min,eq}}{f_{cd,fat}} = 0.589$$

$$R_{eq} := \frac{E_{cd,min,eq}}{E_{cd,max,eq}} = 0.557$$

$$14 \cdot \frac{1 - E_{cd,max,eq}}{\sqrt{1 - R_{eq}}} = -1.193$$

Odolnost na únavu betonu namáhaného tlakem lze považovat za dostatečnou, pokud je splněna následující podmínka:

Posouzení únavy tlačného betonu:

$$\text{Posouzení} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 14 \cdot \frac{1 - E_{cd,max,eq}}{\sqrt{1 - R_{eq}}} \geq 6 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"VYHOVUJE"} \\ \text{else} \\ \text{"NEVYHOVUJE"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"NEVYHOVUJE"}$$

Tlačený beton NEVYHOVUJE podmínkám posouzení únavy dle ČSN EN 1992-2 Příloha NN.