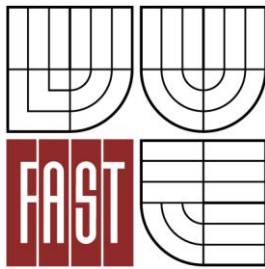


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## NÁVRH A PROVEDENÍ DIAGNOSTIKY OBJEKTU

DESIGN AND PERFORMANCE DIAGNOSTICS OF BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ERIK DUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR DANĚK, Ph.D.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

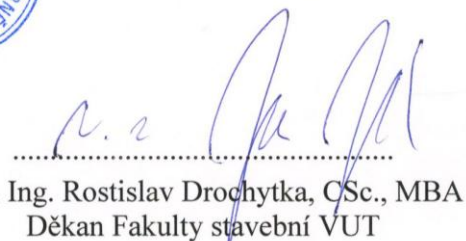
## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Erik Dušek
<b>Název</b>	Návrh a provedení diagnostiky objektu
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Petr Daněk, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2014
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014



  
.....  
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.  
Vedoucí ústavu

  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] P. Schmid a kolektiv – Základy zkušebnictví
- [2] Z. Bažant, L. Klusáček – Statika při rekonstrukcích objektů
- [3] ČSN ISO 13822 „Zásady navrhování konstrukcí – hodnocení existujících konstrukcí“
- [4] ČSN 73 1201 „Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb“
- [5] ČSN EN 1996-1-1:2007 „Navrhování zděných konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce“
- [6] ČSN EN 1995-1-1 „Navrhování dřevěných konstrukcí“

## Zásady pro vypracování


Cílem bakalářské práce je zpracování návrhu stavebně technického průzkumu objektu a jeho částečné provedení s ohledem na plánovanou rekonstrukci. Práce bude zahrnovat jak zjištění dostupné projektové dokumentace, prohlídku objektu za účelem provedení efektivního návrhu průzkumu s ohledem na jeho aktuální stav, tak i vlastní provedení vybraných diagnostických prací in-situ. Nedílnou součástí bude také rozbor možných výsledků průzkumu s návrhem řešení případných sanačních prací a přepočet vytipovaného prvku konstrukce.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Daněk, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá diagnostickým průzkumem silničního železobetonového mostu evidenčního čísla 325-021 v Hostinném v Královéhradeckém kraji. Cílem je návrh a částečné provedení diagnostického průzkumu. Součástí práce je vizuální prohlídka mostu a zjištění dostupné projektové dokumentace. Závěr práce je věnován vyhodnocení výsledků průzkumu a návrhu možných oprav.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with diagnostics of a reinforced concrete road bridge, evidential number 325-021 in Hostinné, Hradec Králové region. The goals are to design and partially execute a diagnostic examination. As a part of the thesis, there is a visual inspection of the bridge and survey of the existing design documentation. The conclusion is dedicated to evaluating the diagnostic results and outlining reconstruction.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Diagnostika, vývrt, nedestruktivní metody, Schmidt N, železobetonový prvek, obloukový most, zkouška tahem.

## **KEY WORDS**

Diagnostics, borehole, non-destructive methods, Schmidt N, reinforced concrete, arch bridge, tensile test.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DUŠEK, Erik. *Návrh a provedení diagnostiky objektu*. Brno, 2015. 52 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Daněk, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2015

.....  
podpis autora

Erik Dušek

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Mé poděkování patří hlavně vedoucímu práce Ing. Petru Daňkovi, Ph.D. za věnovaný čas, připomínky a užitečné rady. Samozřejmě děkuji i rodičům za vytrvalou podporu během celého mého studia na VUT v Brně.

Poděkoval bych rád také spolužákům, s nimiž jsem práci probíral, jmenovitě Filipu Adlerovi a Vojtěchu Voltrovi.

Můj dík patří rovněž řediteli městského muzea Hostinné Tomáši Andělovi za poskytnutí historických fotografií.

Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>11</b>
<b>3 TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
3.1 VŠEOBECNÝ PŘEHLED DIAGNOSTICKÝCH METOD .....	12
3.1.1 Nedestruktivní zkoušky .....	12
3.1.2 Semidestruktivní zkoušky .....	15
3.1.3 Zkoušené vlastnosti betonových konstrukcí.....	16
3.2 DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ .....	17
3.2.1 Úvod .....	17
3.2.2 Betonové konstrukce z první poloviny 20. století .....	17
3.2.3 Srovnání historických a současných betonářských norem .....	18
3.2.4 Ověřování spolehlivosti a diagnostika existujících mostů .....	19
3.3 VYBRANÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY .....	21
3.3.1 Vizualní defektoskopická metoda .....	21
3.3.2 Tvrdoměrná metoda zkoušení betonu (Schmidt N).....	21
3.3.3 Rovnoměrnost betonu.....	24
3.3.4 Zjišťování výztuže magnetickou indukční metodou .....	25
3.4 VYBRANÉ DESTRUKTIVNÍ METODY .....	26
3.4.1 Jádrové vývrty .....	26
3.4.2 Sekaná sonda výztuže.....	29
3.4.3 Zkoušení výztuže tahem za pokojové teploty .....	30
<b>4 PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
4.1 POPIS OBJEKTU .....	33
4.1.1 Historie objektu .....	34
4.2 VIZUÁLNÍ PROHLÍDKA OBJEKTU .....	36
4.2.1 Konstrukční řešení.....	36
4.2.2 Nosná konstrukce .....	36
4.2.3 Spodní stavba .....	38
4.2.4 Mostní svršek .....	38
4.2.5 Vybavení mostu a cizí zařízení.....	38
4.3 NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO PRŮZKUMU .....	39
4.4 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ DIAGNOSTICKÉHO PRŮZKUMU .....	39
4.4.1 Pevnost betonu v tlaku .....	39
4.4.2 Rovnoměrnost betonu.....	41
4.4.3 Pevnost oceli v tahu.....	41
4.5 VÝPOČET ÚNOSNOSTI V OHYBU PŘÍČNÍKU .....	43
4.6 ZÁVĚRY A NÁVRH OPATŘENÍ .....	45
4.6.1 Závady, vyplývající z diagnostického průzkumu .....	45
4.6.2 Návrh dalšího postupu.....	45
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>
<b>6 POUŽITÉ ZDROJE</b> .....	<b>47</b>

<b>7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....</b>	<b>49</b>
<b>8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....</b>	<b>50</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>53</b>
A. HISTORICKÉ FOTOGRAFIE MOSTU .....	53
A.1 Výstavba mostu .....	53
A.2 Dokončený most.....	54
B. PŮVODNÍ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	55
B.1 Výkresy mostu.....	55
B.2 Výkresy výztuže konstrukčních prvků .....	56
C. FOTODOKUMENTACE OBJEKTU .....	58
D. JÁDROVÉ VÝVRTY .....	63
D.1 Popis odebraných vývrtů .....	63
D.2 Vyhodnocení zkušebních těles z jádrových vývrtů .....	65
E. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY TVRDOMĚREM SCHMIDT N.....	66
E.1 Oblouk.....	66
E.2 Trám a Příčník.....	67
E.3 Podélník a Deska.....	68
F. ZKOUŠKA OCELI TAHEM ZA POKOJOVÉ TEPLoty .....	69
F.1 Vzorky výztuže získané ze sekaných sond.....	69
F.2 Zkušební tělesa pro zkoušku výztuže tahem .....	69

---

## 1 ÚVOD

Mostní konstrukce jsou již od pradávna nedílnou součástí pozemních komunikací, ať už ve své přirozené formě (spadlé kmeny stromů či kameny v mělkých vodních tocích) nebo později člověkem uměle vytvořené. S rozvojem cestování vzrostla i poptávka po zkracování stávajících tras a vytváření nových, zatímco byly objevovány nové stavební materiály a navrhovány lepší konstrukční systémy. To vše vedlo k významnému rozvoji mostního stavitelství. Vznikla tak celá řada nejrůznějších staveb, z nichž mnoho je stále ještě v provozu. [16]

Hodnocení provozuschopnosti stávajících konstrukcí je jedním z nosných oborů stavebního inženýrství. Důvody k posuzování jsou různé, ať už jde o viditelné poruchy (odhalené pravidelnými prohlídkami) či změnu ve využívání mostu (zvýšení jeho zatížení) nebo blížící se konec životnosti a s tím související rekonstrukce. Vyšetřováním stavebně technického a statického stavu konstrukce se zabývá diagnostika stavebních konstrukcí. K tomu slouží diagnostický průzkum, jenž má za úkol především stanovit materiálové charakteristiky, prověřit a identifikovat projektové řešení, realizaci stavby, užívání, údržby a monitoring veškerých stavebních zásahů v průběhu její životnosti. S pomocí takto získaných údajů se provede vyhodnocení aktuálního stavu existující konstrukce, definují se příčiny a rizika poruch a hodnotí se spolehlivost dílčích konstrukčních prvků i objektu jako celku. [1]

---

## 2 CÍLE PRÁCE

Cíle práce vycházejí ze zadání, v němž jsou definovány následující části:

- Zpracování návrhu stavebně technického průzkumu mostního objektu
- Částečné provedení průzkumu s ohledem na plánovanou rekonstrukci
- Návrh řešení případných sanačních úprav
- Přepočet vytipovaného prvku konstrukce

Bakalářská práce je rozčleněna na dvě základní části – teoretickou a praktickou. V teoretické je zpracován všeobecný přehled diagnostických metod, používaných při průzkumech mostních objektů. Jednotlivé zkušební metody jsou doplněny stručným popisem a rozdělením s jejich výhodami a nevýhodami. Dále jsou zde nastíněna specifika diagnostiky železobetonových konstrukcí. V třetí části se klade důraz na metody prováděné na nosné konstrukci mostu. Vybrané zkoušky budou podrobně rozebrány a uvedeny do souvislosti s platnými normami.

V praktické části je pozornost věnována vizuální prohlídce a popisu objektu – jeho historie, konstrukční systém a současný stav s vadami a poruchami. Nejdříve je navržen diagnostický průzkum a po té jsou vyhodnoceny jeho výsledky. Součástí této kapitoly je také přepočet únosnosti vybraného konstrukčního prvku. Na závěr jsou rozebrány možné dopady průzkumu a nastíněna rekonstrukce objektu.

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1 Všeobecný přehled diagnostických metod

Diagnostické metody se tradičně dělí podle stupně poškození zkoumané konstrukce na [2]:

- nedestruktivní
- semidestruktivní (částečně destruktivní)
- destruktivní

V praxi jsou nejoblíbenější metody nedestruktivní a semidestruktivní, kterým se říká též *nepřímé*. Ty jsou oblíbené pro svou jednoduchost a rychlost. I z důvodu jejich poměrně vysoké nepřesnosti a nespolehlivosti se ale stále více rozmáhají metody destruktivní (*přímé*), vynikající svou přesností, avšak odrazující svou cenou a vlivem na konstrukci.

#### 3.1.1 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní (NDT) zkoušení je možno definovat jako soubor metod, při kterých se konstrukce nebo její část buď vůbec nepoškodí (tzv. *čisté*), nebo se poruší jen do takové míry, že tím není ohrožena její statická funkce (*ostatní*) [8].

Jednotlivé metody můžeme dělit podle fyzikálního principu, na němž jsou založeny, anebo podle měřené veličiny, jež může být zjišťována různými fyzikálními principy [2].

Do první skupiny metod můžeme zařadit:

a) **Tvrdoměrné metody** jsou založeny na měření tvrdosti povrchu materiálu a stanovení tzv. nezaručené pevnosti pomocí kalibračního vztahu. Existují metody [3]:

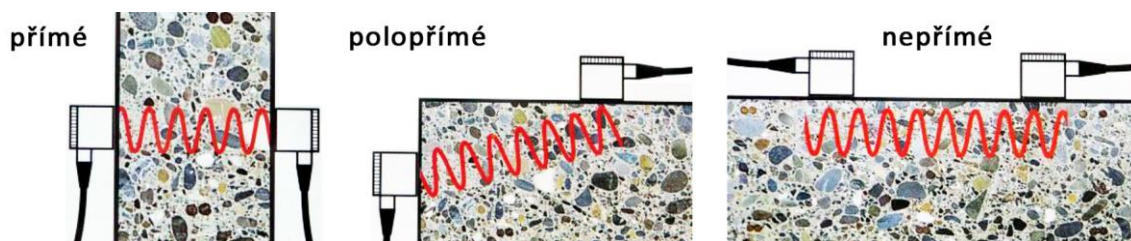
- vrypové
- vtiskové
- odrazové
- další



Obrázek 3.1 Odrazový tvrdoměr Schmidt N

b) **Elektrodynamické metody** (často nazývané elektroakustické nebo jen dynamické) patří mezi čisté NDT metody, jež vynikají tím, že je můžeme na jednom místě dle libosti opakovat. Spočívají ve sledování účinků mechanického vlnění, vyvolaného v materiálu mechanickým podnětem (rázem). [3] Patří mezi ně [2]:

- *kladívková metoda pružného impulsu* – ráz vyvolen úderem kladívka
- *metoda tlumeného rázu* – zjištění tuhosti a únosnosti vrstev vozovek a podloží
- *ultrazvuková impulzová metoda* – stanovení kvality betonu a jeho rovnoměrnosti
- *aktivní metoda akustické emise* – určení polohy a sledování rozvoje mikrotrhlin
- *rezonanční metoda* – stanovení dynamických modulů pružnosti
- *metoda fázových rychlostí* – zjištění dynamické charakteristiky vozovek, podloží
- *metoda mechanické impedance* – určení modulu pružnosti u vazkopružných materiálů (např. asfaltobetonové vozovky nebo podloží z nesoudržných zemin)



Obrázek 3.2 Způsoby prozvučování konstrukce při UZ impulsní metodě [17]

c) **Elektromagnetické metody** využívají elektromagnetické vlastnosti zkoušených materiálů. Řadí se k nim [2]:

- *elektromagnetické sondy* – stanovení průměru a tloušťky krytí výztuže
- *mikrovlnné* – měření vlhkosti
- *indukčnostní* – měření vlhkosti a tloušťky (přetvoření)



Obrázek 3.3 Přístroj Profometer 5+ pro indikaci výztuže v betonu [22]

- d) **Elektrické metody** využívají elektrického odporu, stanovení kapacity nebo jiné elektrické vlastnosti u měřeného materiálu. Rozlišujeme [2]:
- *odporové metody* – měření vlhkosti, deformací a teploty
  - *kapacitní metody* – měření vlhkosti
  - *polovodičové metody* – měření teploty
- e) **Radiační metody** jsou založeny na zjišťování vlastností pevných látek za pomoci specifických vlastností ionizujícího záření (záření gama nebo rychlé neutrony). Hlavně jde o jeho schopnost procházet hmotou, kterou ovlivňuje jak tloušťka vrstvy hmoty, jíž záření prochází, tak i její objemová hmotnost a chemické složení. [3]
- *radiografická metoda* – pracuje na bázi registrace zeslabení gama záření na film v kazetách (zjišťování průměru a polohy výztuže v železobetonu)
  - *radiometrická metoda* – zjišťování objemové hmotnosti nebo vlhkosti na základě zeslabení záření gama či zpomalení rychlých neutronů
  - *měření radonu* – měření přírodní radioaktivity a určování koncentrace radonu v půdě a obytných domech též patří k této skupině metod

Do druhé skupiny patří:

- a) **Metody tenzometrické** slouží k měření velmi malých délek (deformace, posuny nebo šířka trhlin) většinou za účelem zjištění napjatosti v konstrukci nebo sledování jejího chování v čase. Pracují na různých principech [3]:
- mechanické
  - hydrostatické
  - optické
  - zvláštní (videotechnika – sledování pohybu kontrastních terčů)
  - elektrické – odporové
    - indukčnostní
    - kapacitní
  - strunové
  - bezdotykové
- b) **Trvanlivostní zkoušky** popisují a zkouší všechny vlivy okolního prostředí působící na konstrukci. Řadí se k nim [2]:
- propustnost struktury staviva působením kapalin a plynů

- mrazuvzdornost betonu pro určený počet zmrazovacích cyklů
- odolnost betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek
- nasákavost staviva jako ukazatel otevřené pórovitosti
- vzlínavost – schopnost staviva dopravovat vodu strukturou pórů
- navlhavost a vysychavost – sorpční vlastnosti
- průsak tlakovou vodou – popisuje míru vodotěsnosti struktury betonu

### 3.1.2 Semidestruktivní zkoušky

Při využívání semidestruktivních metod se konstrukce nebo dílec částečně poškodí. Z toho důvodu je třeba velmi pečlivě volit místa, kde budeme tyto zkoušky provádět. Naším cílem je neovlivnit únosnost nebo stabilitu zkoušeného objektu.

K semidestruktivním metodám patří [2]:

- **Jádrové vývrty** – určené:
  - ke stanovení pevnosti betonu v tlaku
  - k vylamovací zkoušce
  - ke zkouškám propustnosti staviv pro kapaliny a plyny
  - ke stanovení hloubky karbonatace
  - k určení složení a tloušťky vrstev vozovky nebo podlahy



Obrázek 3.4 Provádění jádrového vývrty průměru 50 mm

- **Odrhové zkoušky:**
  - *přídržnost povrchových vrstev* (bez nařezání)
  - *vytrhávací zkoušky* – pevnost podpovrchových a vnitřních vrstev
  - *vylamovací metoda* (norská) – vylomení jádrového vývrty



Obrázek 3.5 Přístroj DY-2 Family pro odtrhové zkoušky povrchových vrstev [23]

- **Brusné nebo vrtné metody** – stanovení pevnosti betonu
- **Vstřelovací metody** – určení pevnosti betonu podle hloubky vstřeleného hřebu
- **Tvrdoměrné metody vnikací:**
  - *špičákové metody* – stanovení pevnosti betonu vtlačováním špičáku
  - *mechanické špičáky*

### 3.1.3 Zkoušené vlastnosti betonových konstrukcí

Rozlišujeme vlastnosti betonu, ocelové výztuže, vlastnosti konstrukce jako celku a vady s poruchami [2]:

- a) Vlastnosti betonu
  - stejnorodost (rovnoměrnost) betonu
  - pevnost betonu v tahu a v tlaku
  - modul pružnosti betonu
  - objemová hmotnost
  - mrazuvzdornost a vodotěsnost
  - vlhkost betonu
  - chemické vlastnosti betonu
  - vlastnosti povrchových vrstev betonu
- b) Vlastnosti ocelové výztuže
  - množství a uložení výztuže
  - krytí výztuže
  - koroze výztuže

## c) Vlastnosti konstrukce

- únosnost a ohybová tuhost při statickém zatížení
- tuhost betonových vozovek při rázové zatěžovací zkoušce
- provozně-funkční vlastnosti jako jsou vodotěsnost a mrazuvzdornost

## d) Vady a poruchy

- jejich přítomnost a rozsah

## 3.2 Diagnostika železobetonových konstrukcí

### 3.2.1 Úvod

Mezi důvody pro diagnostický průzkum betonového objektu můžeme zařadit [2]:

- vznikly pochybnosti o kvalitě betonu či krytí výztuže
- u starší konstrukce se objevily staticky závažné poruchy (např. trhliny)
- u stávající stavby je připravována rekonstrukce, přestavba či nadstavba
- diagnostika je předepsána v projektové dokumentaci po určité době od výstavby

Mostní konstrukce musí během své životnosti odolávat nejrůznějším vnějším vlivům (klimatické podmínky, agresivní chemické látky, účinky statického i pohyblivého zatížení), proto se musí ke každému objektu přistupovat individuálně (je kladen důraz pouze na určité vlastnosti).

### 3.2.2 Betonové konstrukce z první poloviny 20. století

Počátek minulého století je v našich zeměpisných šířkách spojen s významným rozvojem betonového stavitelství. Existující konstrukce pocházející z tohoto období slouží svým účelům již více než půl století a některé dokonce sto let. Z pohledu současných požadavků jsou tedy na sklonku své životnosti. Navíc v naprosté většině nesplňují striktní požadavky současných evropských norem, přesto mnoho z nich dosud v dostatečné míře vyhovuje svému určení. Tyto stavby jsou živým důkazem vynalézavosti a nápaditosti tehdejších inženýrů a řemeslné dovednosti stavebních dělníků, kteří se podíleli na jejich realizaci. Vznikali tak na svou dobu inženýrsky velmi náročné konstrukce, navrhované a budované často s minimálními prostředky. [1]

V období po 1. světové válce se zlepšila technologie betonu, což se projevilo odvážnějšími a úspornějšími návrhy. Zmenšili se průřezy prvků, ale objevil se i pokles kvality betonu v horních částech objektů. U masivních konstrukcí (např. mostních opěr) často byla

kvalitní jen povrchová vrstva betonu, zatímco vnitřek prvku byl málo zhutněný a mezerovitý, čímž vznikal tzv. *předsádkový beton*. [2] Takové vady vznikaly hlavně proto, že tou dobou ještě neexistoval stavební dozor, který by kontroloval shodu mezi reálnou kvalitou provedené stavby a dobovými předpisy. Ve většině případů tak záleželo hlavně na svědomitosti a zkušenostech stavitele a vůli investora výstavbu kontrolovat. [1]

Normy, tak jak je známe dnes, navíc existovaly až od roku 1931, kdy došlo k vydání prvních československých státních norem (řady ČSN 1090 až 1093 pro betonové stavby a jejich provádění). Předtím platily pouze stavební řády (často s místně omezenou platností) jako třeba *Předpis o zřizování nosných konstrukcí ze železového nebo prostého betonu z 15. září 1918*. Po zániku Rakouska-Uherska byly v zájmu zachování kontinuity ponechány v platnosti dosavadní předpisy (v Čechách a na Moravě to byly předpisy rakouské). V roce 1918 byla českou sekci Inženýrské komory založena zvláštní komise pro vypracování nových jednotných předpisů pro stavby ze železového betonu. Výsledkem bylo *Ustanovení o provádění a účtování betonářských prací z roku 1922* a po zdoluhavém připomínkovém řízení i výše zmíněné státní normy. [1]

### 3.2.3 Srovnání historických a současných betonářských norem

V dřívějších dobách byla spolehlivost a mechanická stabilita stavebních konstrukcí garantována čistě zkušenostmi projektanta. Později se začaly využívat první výpočty, kterými se prokazovalo splnění příslušných podmínek.

*Metoda dovoleného namáhání* byla první celosvětově rozšířenou metodou navrhování využívanou od konce 19. století. Spočívala v ověření, že namáhání materiálu při daném zatížení je menší než namáhání materiálu při porušení. Pravděpodobnost selhání konstrukce je vyjádřena pouze koeficientem bezpečnosti. Vlastnosti materiálu se obvykle uvažovaly aritmetickým průměrem z výsledků zkoušek pevnosti. Hlavní nevýhody této metody spočívaly v nemožnosti přihlédnout k nejistotám základních veličin a teoretických modelů. Problém by též ve využívání průměrných hodnot pevnosti materiálů. Až v polovině 20. století byla do praxe zavedena *metoda mezních stavů*. [1]

Pevnost betonu podle ČSN 1090 (z roku 1931) se počítala jako průměrná pevnost na krychlích o hraně 200 mm, zatímco současná norma pro beton ČSN EN 206 udává charakteristickou pevnost (5% kvantil) na krychlích o straně 150 mm, tedy hodnotu pevnosti, pro

niž lze očekávat nižší hodnoty nejvýše u 5 % hodnoceného souboru. Vzájemné porovnání tehdejších a dnešních pevnostních tříd nabízí Tabulka 3.1.

**Tabulka 3.1** Porovnání druhů pevnostních tříd betonů podle různých norem [9]

Beton				
druh	značka	třída	třída	pevnostní třída
ČSN 1090:1931 ČSN 1230:1937	ČSN 73 2001:1956 ČSN 73 6206:1971	ČSN 73 1201:1967	ČSN 73 1201:1986	ČSN EN 206 ČSN EN 1992-1-1
a	60	I		(C 3/3,5)
b	80		B 5	(C 4/5)
c	105	0	B 7,5	(C 6/7,5)
d	135	I	B 10	C 8/10
			B 12,5	(C 9/12,5)
e	170			(C 10/13,5)
			B 15	C 12/15
f	250	III	B 20	C 16/20
			B 25	C 20/25
g	330	IV		(C 23/28)
			B 30	C 25/30
	400		B 35	(C 28/35)
				C 30/37
		V	B 40	(C 30/40)
	500		B 45	C 35/45
		VI	B 50	C 40/50
	600		B 55	C 45/55
			B 60	C 50/60

### 3.2.4 Ověřování spolehlivosti a diagnostika existujících mostů

Při ověřování spolehlivosti konstrukcí existujících mostů nebo jejich rekonstrukci podle ČSN 73 0038 (národní příloha k ČSN ISO 13822) slouží dříve platné normy, podle nichž byl most navržen, pouze jako informativní podklady, které mohou usnadnit proces ověřování. Podkladem pro ověření mostu jsou prohlídky a podle potřeby také diagnostický průzkum, při němž se zjistí stav mostu, skutečné vlastnosti materiálů, parametry základové půdy, úroveň hladiny podzemní vody, poruchy a vady s jejich příčinami, zatížení a vlivy prostředí, jež na most působily v průběhu jeho životnosti. [9]

„Před provedením diagnostického průzkumu se musí zajistit všechny dostupné podklady, které k mostu existují.“ [9] Informace o dokumentaci je možné většinou nalézt v centrálních evidenčních systémech – u silničních mostů systém BMS (Bridge Management System) – uvádějících informace o stavu mostu a výsledcích provedených prohlídek. Archivaci dostupné projektové dokumentace většinou provádí archiv místně příslušného úřadu (ŘSD, krajská správa a údržba silnic, města atd.). Vlastník mostu je povinen ji uchovávat po celou dobu užívání stavby. [9]

Pro diagnostiku mostů se mají použít nedestruktivní metody, které se pro upřesnění doplní destruktivními. V případě potřeby je nutné provést zatěžovací zkoušku. Velmi důležitou součástí každého průzkumu je *vizuální hodnocení* poruch a klasifikace stavu mostní konstrukce, které se provádí podle ČSN 73 6221. Také se ověřují rozměry nosné konstrukce, spodní stavby, svršku a příslušenství mostu.

Máme-li k dispozici původní projektovou dokumentaci, stačí provést pouze kontrolní ověření vybraných částí konstrukce. Pokud potřebné materiály nebo jejich část chybí, je třeba podrobně zaměřit rozměry a stanovit tvar nosné konstrukce, spodní stavby, mostního vybavení, osy nosníků a úložné přímký, podhledu nosné konstrukce a geometrie ztužení, případně doplnit chybějící údaje v dokumentaci. [9]

Pokud se při prohlídce mostu zjistí, že nevykazuje žádné známky významného poškození a jeho dosavadní chování je uspokojivé (nejspíš bude po celou dobu své zbývající životnosti spolehlivý), podrobné hodnocení se nevyžaduje. Vyskytnou-li se pochybnosti, provést se musí. [9]

Mosty navržené a provedené podle dříve platných norem lze považovat za **spolehlivé**, pakliže [9]:

- prohlídka mostu neodhalí známky významnějšího poškození, přetížení či degradace
- prověří se konstrukční systém včetně kritických detailů
- konstrukce se chová uspokojivě v průběhu dostatečně dlouhého časového úseku, ve kterém došlo používáním a vlivem prostředí k výskytu nepříznivých zatížení
- zajistí se dostatečná trvanlivost (na základě odhadu budoucí degenerace a termínu plánované rekonstrukce)
- neočekávají se změny, jež by mohly významně ovlivnit zatížení konstrukce nebo její trvanlivost

Spolehlivost se **musí** ověřit, pokud [9]:

- navrhuje se oprava nebo modernizace, která ovlivní statiku existující konstrukce
- dojde k porušení nebo rychlé degeneraci mostu či jeho nosných prvků
- je plánována změna v účelu používání nebo je potřeba prodloužit životnost
- existuje pochybnost o spolehlivosti mostu, např. po mimořádné události (náráz vozidla, povodeň, zemětřesení)

### 3.3 Vybrané nedestruktivní metody

#### 3.3.1 Vizuální defektoskopická metoda

Vizuální metoda patří k nejstarším a často podceňovaným diagnostickým postupům. Z optické prohlídky se sice nezískají žádné exaktní nebo aproximované číselné charakteristiky, nicméně můžeme se dozvědět důležité informace o stavu konstrukce, poruchách a jejich rozvoji (trhliny), postupu koroze a stupni opotřebení. K tomu je samozřejmě třeba, aby defekt postupoval až na líc konstrukce.

Tato metoda slouží k identifikaci konstrukčního systému, ověření základních rozměrů objektu nebo dílčích prvků a specifikaci viditelných poruch a vad [1]. Při průzkumu vad a poruch je nutné důsledně prohlédnout všechny přístupné části mostu. Musí být prováděn z dostatečné vzdálenosti a natolik podrobně, aby se zjistily a zhodnotily všechny poruchy (např. průhyby, trhliny či uvolněné spojovací prostředky). Je důležité postupovat systematicky a nezapomenout na žádný prvek mostu a jeho poškození. [9]

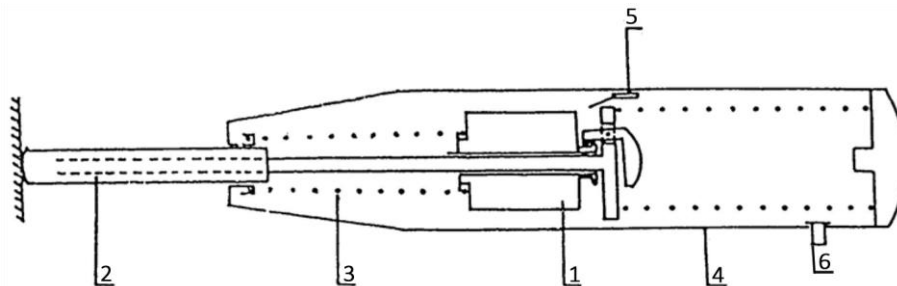
#### 3.3.2 Tvrdoměrná metoda zkoušení betonu (Schmidt N)

##### Podstata zkoušky

Odrazový tvrdoměr se skládá z ocelového berana s pružinou, která ho po uvolnění vymršťuje na ocelový razník proti povrchu betonu. Výsledkem zkoušky je číslo velikosti odrazu berana, jež se odečítá na přímkové stupnici připojené na zařízení, případně z elektronického displeje. Toto číslo se získá z vynaložené energie. [10]

##### Zkušební zařízení

Schmidtův tvrdoměr (viz Obrázek 3.6) se skládá z: beranu (1), úderníku/razníku (2), tažné pružiny (3), pouzdra (4) a značky na stupnici (5). Tlačítko na přístroji (6) slouží k zajištění úderníku a „uložení“ naměřené hodnoty odrazu na stupnici.



Obrázek 3.6 Schéma Schmidtova tvrdoměru [4]

Každý tvrdoměr je třeba před použitím řádně kalibrovat, k čemuž slouží *kalibrační kovadlina* (ocelový válec daných rozměrů, tvrdosti a hmotnosti) [10].



**Obrázek 3.7** Kalibrace Schmidtova tvrdoměru typu N na zkušební kovadlině

Jednotlivé typy Schmidtova tvrdoměru (N, L, M) se volí dle minimální tloušťky měřené vrstvy betonu a krychelné pevnosti (viz Tabulka 3.2).

**Tabulka 3.2** Rozdělení tvrdoměrů podle rozsahu jejich použití

Použitý typ Schmidtova tvrdoměru	krychelná pevnost betonu [MPa]	nejmenší tloušťka vrstvy betonu [mm]	vyvinutá energie při odrazu [J]
L	13 až 50	60	0,75
N	17 až 60	100	2,25
M	25 až 60	200	30

### Zkušební plocha

Při výběru zkušebních ploch musíme brát v úvahu [10]:

- pevnost betonu
- druh povrchu (z bednění nebo bez bednění)
- druh betonu (normální nebo lehký)
- vlhkost povrchu
- karbonataci (pokud se vyskytuje)
- směr při zkoušce
- další okolnosti

Je-li třeba, zkušební plocha se před měřením obrousí *brusným kamenem* tak, aby byla jasně zřetelná struktura betonu, včetně odstranění zkarbonatované vrstvy. Hladké povrchy nebo povrchy upravené hladítkem lze zkoušet bez úpravy. Musí se též odstranit jakákoliv voda, přítomná na povrchu. [10] Určuje se pevnost cementového tmelu, proto se snažíme vyhnout kamenivu.

Volbu a počet míst provádíme tak, aby svým rozložením a počtem reprezentovaly zkoušenou plochu betonu. Snažíme se pokud možno vyhnout probíhající ocelové výztuži, nebo – nemáme-li jinou možnost – vybereme místo s dostatečnou tloušťkou krytí výztuže betonem. [11] Zkušební plocha musí mít velikost odpovídající potřebnému počtu úderů. Minimální počet zkušebních míst je dán objemem betonu v konstrukci a podle velikosti záměsi betonové směsi (viz Tabulka 1 v [12]).

### Pracovní postup

Tvrdoměr se přiloží na řádně upravenou zkušební plochu tak, aby se razník opřel kolmo na povrch betonu. Plynule se zvyšuje tlak na razník, dokud ocelový beran nevyvodí ráz. Po každém úderu se zaznamená velikost odrazu a vyšetří se každý vtisk na povrchu, je-li povrch porušen v důsledku póru, čtení se vyloučí. Zaznamená se též poloha a směr působení tvrdoměru pro každou sadu měření. Každý bod odrazu musí být od sousedního zkušebního bodu nebo hrany konstrukce vzdálen minimálně 25 mm [10] (30 mm [11]).



Obrázek 3.8 Měření Schmidtovým tvrdoměrem typu N

### Vyhodnocení měření

Na všech zkušebních místech se provede, nejedná-li se o zkušební vzorky, nejméně 7 platných měření. Ke každé hodnotě měření se podle kalibračního vztahu odečte hodnota pevnosti. Hodnoty pevnosti jednotlivých platných měření se na jednom zkušebním místě

nesmí lišit od aritmetického průměru všech měření o více než  $\pm 20\%$ . Pevnosti, vybočující z tohoto intervalu se vyloučí a ze zbývajících (minimálně sedmi) platných měření se vypočítá nový aritmetický průměr, jenž se zaokrouhlí na celý MPa. [11]

Pokud je zkoušený beton starší než 56 dnů, pak se vypočtená hodnota pevnosti vynásobí součinitelem  $\alpha_r$ . Je-li zkoušený beton jiný než vlhký či přirozeně vlhký, vynásobí se odvozená hodnota pevnosti v tlaku z obecného kalibračního vztahu součinitelem  $\alpha_{cw}$ . [11]

### Stanovení pevnosti betonu v tlaku (krychelné)

„Hodnota pevnosti betonu v tlaku se stanoví jako pevnost betonu v tlaku s nezaručenou přesností z obecného kalibračního vztahu, přičemž se přihlíží k poloze tvrdoměru při zkoušce.“ [11] Kalibrační vztahy jsou uvedeny v ČSN 73 1373 pro polohy: vodorovnou, svislou (směrem nahoru a dolů) a pod úhlem  $45^\circ$  (směrem nahoru a dolů), pro jiné odklony je nutné provést lineární interpolaci.

Upřesněná hodnota pevnosti betonu v tlaku se stanoví dvěma způsoby [11]:

- určujícím kalibračním vztahem mezi zjištěnými hodnotami odrazu tvrdoměru a pevností betonu v konstrukci stanovené na vývrtech
- odvozením pevnosti s nezaručenou přesností z obecného kalibračního vztahu a následně jejím upřesněním pomocí součinitele  $\alpha$  podle vztahu:

$$f_b = \alpha \cdot f_{be}$$

kde  $\alpha$  je upřesňující součinitel vypočtený jako:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_b}{\sum_{i=1}^n f_{bei}}$$

$f_{bi}$  je pevnost betonu v tlaku stanovená na  $i$ -tém zkušebním vzorku podle ČSN EN 12390-2 (například z jádrových vývrtů)

$f_{bei}$  je pevnost betonu v tlaku s nezaručenou pevností, stanovená na témže zkušebním vzorku nebo místě

$n$  je počet zkušebních vzorků

### 3.3.3 Rovnoměrnost betonu

Rovnoměrnost (též nazývaná jako stejnorodost či stejnoměrnost) betonu je jednou z nejdůležitějších vlastností při hodnocení historických betonových konstrukcí [1]. Pro statistické vyhodnocení se využívají následující veličiny:

- pevnost betonu v tlaku
- pevnost betonu v tahu
- rychlost šíření impulsů podélných ultrazvukových vln
- objemová hmotnost

Při hodnocení rovnoměrnosti betonů z 1. poloviny 20. století jsou rozhodující pevnost v tlaku a objemová hmotnost [1]. Rovnoměrnost betonu se na konstrukci nebo její části zkouší pouze, nejsou-li na jejím povrchu viditelné vady nebo poruchy, narušující sledovanou vlastnost betonu. Je-li beton vrstevnatý, rovnoměrnost se posuzuje pouze, můžeme-li stanovit tloušťku jednotlivých vrstev [12].

Beton je klasifikován jako rovnoměrný, pokud není variační součinitel hodnoceného souboru znaků „v“ a rozdíl „Δ“ znaků stanovených na zkušebních místech na jednom povrchu větší než hodnoty dané normou (viz Tabulka 3.3). Beton hodnotí jako [12]:

- rovnoměrný
- nerovnoměrný

**Tabulka 3.3** Tabulka pro ověření rovnoměrnosti betonu

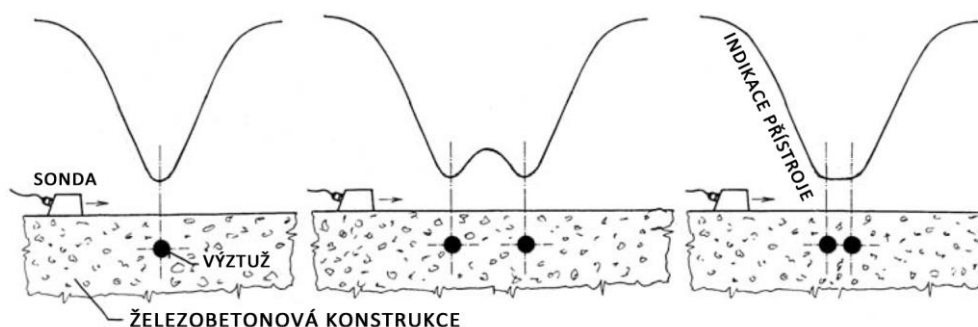
Zkoušená vlastnost betonu	Třída betonu	Statistické vyhodnocování	
		„v“ [%]	„Δ“ [%]
Pevnost v tlaku	C 12/15	16	30
	C 16/20		
	C 25/30		
	C 30/37 až C 50/60		
Objemová hmotnost	všechny třídy betonu	2,5	4,0

### 3.3.4 Zjišťování výztuže magnetickou indukční metodou

Elektromagnetické indikátory se využívají k určení polohy, množství a rozmístění výztuže v železobetonové konstrukci. S jejich pomocí lze také zjistit průměry a krytí výztuže. Velké využití mají, pokud se např. nedochovala projektová dokumentace objektu nebo při lokalizaci výztuže před prováděním jádrových vývrtů. Jejich velkou předností je rychlost a jednoduchost kontroly výztuže, nevýhodou řada omezení vyplývajících z možností přístrojů, které jsou dány fyzikálními principy této metody. [2]

Magnetická indukční metoda spočívá ve využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, jež způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při jejím přiblížení k prutům výztuže. V případě hustého vyztužení (malá vzdálenost jednotlivých prutů) anebo vyztužení v několika vrstvách nad sebou tato metoda zjišťování výztuže zčásti nebo zcela

tato metoda však selhává (viz Obrázek 3.9)! [4] Je rovněž nevhodná pro určení druhu výztuže a zjišťování míry koroze a stavu výztuže.



Obrázek 3.9 Schematické znázornění použití magnetického indikátoru výztuže [4]

## 3.4 Vybrané destruktivní metody

### 3.4.1 Jádrové vývrty

#### Odběr vývrtů

Odběr jádrových vývrtů (Obrázek 3.4) vždy představuje výrazný zásah do konstrukce, proto se před jejich provedením musí plně zvážit účel zkoušení a hodnocení. Délka vývrtu vychází z jeho průměru, možného způsobu úpravy a podle toho jaký typ pevnosti chceme získat (krychelnou nebo válcovou). Vrtání je chlazeno vodou, která slouží též k výplachu, jímž se zabrání nadměrné prašnosti při zkoušce. Označení a identifikace se provádí hned po skončení vrtání – vyznačuje se typ vrtaného prvku, umístění a orientace vrtu. [13]

#### Počet a umístění vývrtů

Počet vývrtů vychází z velikosti a členitosti zkoumaného objektu. Při stanovování potřebného počtu vývrtů jdou proti sobě požadavky na co nejobektivnější diagnostiku (více vzorků) a snaha o co nejmenší poškození konstrukce spolu s požadavky investora (méně vývrtů). Vývrty mají být přednostně odebírány v tlačené, méně namáhané oblasti prvku a v místech s minimálním výskytem výztuže. Je třeba zajistit, aby vývrty neobsahovaly žádnou betonářskou výztuž ve směru podélné osy (výztuž kolmo na osu tolik nevádí) či v její blízkosti. Odběr je prováděn tak, aby nebyl v blízkosti spár nebo hran konstrukce nebo dílců. [2]



**Obrázek 3.10** Pohled do otvoru po jádrovém vývrtnu průměru 50 mm

### **Průměr vývrtů**

Volí se na základě dvou požadavků. Na jedné straně by měl být co nejmenší z důvodu minimalizace poškození konstrukce, na druhé straně musí respektovat strukturu betonu a příslušné normou stanovené rozměry těles. Pokud je poměr velikosti maximálního zrna kameniva k průměru vývrtu větší než 1:3, má to značný vliv na zjištěnou pevnost [13]. Základní zkušební těleso pro stanovení válcové pevnosti v tlaku má průměr 150 mm, zatímco nejčastěji prováděný průměr vývrtů je 100 mm. V případě potřeby je možné použít i jádrové vývrty o průměru 50 mm a dokonce 25 mm (obecně se nedoporučuje). [2]

### **Štíhlost zkušebních těles**

Tj. poměr délky k průměru zkušebních těles, které se získají z odebraných jádrových vývrtů, má být přednostně [13]:

- 2,0, pokud má být pevnost porovnávána s válcovou pevností
- 1,0, jestliže se má pevnost porovnávat s krychelnou pevností

### **Úpravy vývrtů**

Konce vývrtů se upraví pro zkoušku pevnosti v tlaku podle ČSN EN 12390-3 [13]. Je-li třeba zmenšit velikost zkušebního tělesa, provede se to zbroušením nebo odříznutím. Zkušební tělesa se mají připravit s dovolenými odchylkami. Jakýkoliv volný materiál na povrchu vzorku (např. písek) se musí odstranit.

## Zkoušení vývrtů

Z jádrových vývrtů lze zkoušením stanovit hlavně:

- pevnost betonu v tlaku
- objemovou hmotnost
- modul pružnosti betonu
- hloubku karbonatace betonu
- obsah chloridových iontů

První tři veličiny jsou velmi důležité pro statický výpočet. Vývrty s trhlinami, dutinami nebo s nepevnými okraji se nezkouší.

### Zkouška v tlaku

Pokud je požadováno, aby zkušební tělesa byla v nasyceném stavu, uloží se ve vodě o stanovené teplotě po dobu dvou dnů před zkoušením [13]. Zkoušení se provádí zkušebním lisem podle ČSN EN 12390-3, který musí vyhovovat požadavkům ČSN EN 12390-4. Znamená se stav vlhkosti povrchu vzorku (vlhký/suchý) v době zkoušky.

Pevnost v tlaku každého zkušebního tělesa se stanoví vydělením maximálního zatížení (síla) průřezovou plochou vypočtenou jako střední průměr a výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>) [13].

### Vyhodnocení pevnosti

Vyhodnocení lze provést podle ČSN ISO 13822 (národní příloha normy uvedena v ČSN 73 0038), kde je popsán postup pro stanovení charakteristické hodnoty  $X_k$  materiálové vlastnosti  $X$  [9].

Z výsledků  $n$  zkoušek  $x_1, x_2, \dots, x_n$  materiálové vlastnosti se stanoví jejich aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a charakteristická hodnota podle vztahů:

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} \quad s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n-1} \quad V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

kde	$m_x$	průměr materiálové vlastnosti
	$s_x$	výběrová směrodatná odchylka
	$k_{n,x}$	součinitel odhadu 5% kvantilu (Tabulka 3.4)
	$n$	počet vzorků
	$V_x$	variační koeficient materiálové vlastnosti

Za předpokladu normálního rozdělení materiálové vlastnosti  $X$  se charakteristická hodnota  $X_k$  stanoví ze vztahu [9]:

$$X_k = m_x(1 - k_{n,x} \cdot V_x)$$

**Tabulka 3.4** Součinitele  $k_{n,x}$  pro stanovení charakteristické hodnoty [9]

Počet $n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$k_{n,x}$ pro $V_x$ známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$k_{n,x}$ pro $V_x$ neznámý	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Variační koeficient  $V_x$  se považuje za známý, ukazují-li to dlouhodobé zkušenosti získané za stejných podmínek. Přestože Tabulka 3.4 naznačuje možnost použití pouze jedné zkoušky, doporučuje se jich provést minimálně 3 až 6 [9].

K vyhodnocení lze využít také normu ČSN EN 13791, kde se charakteristická pevnost betonu v tlaku posuzuje dvěma postupy (A, B) podle počtu provedených vývrtů. Postup A se použije, je-li minimálně 15 vývrtů, zatímco postup B, máme-li k dispozici pouze 3 až 14 vývrtů. Zásadní odlišnost v posuzování podle ČSN EN 13791 spočívá v tom, že evropská norma požaduje pouze 85 % charakteristické pevnosti dané třídy betonu (viz Tab. v [14]).

Ve většině případů se nám nepodaří provést dostatek jádrových vývrtů, proto zde bude uveden pouze **postup B**. Odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku  $f_{ck,is}$  ve zkušební oblasti je nižší z následujících dvou hodnot [14]:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad \text{nebo} \quad f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4$$

kde  $f_{m(n),is}$  je průměrná pevnost betonu v tlaku stanovená na  $n$  počtu vývrtů

$f_{is,nejmenší}$  je nejmenší pevnost zjištěná na vývrtech

$k$  je součinitel závislý na  $n$  počtu vývrtů (viz Tabulka 3.5)

**Tabulka 3.5** Krajní mez  $k$  příslušející malému počtu výsledků zkoušek [14]

$n$	$k$
10 až 14	5
7 až 9	6
3 až 6	7

### 3.4.2 Sekaná sonda výztuže

Tato metoda spočívá v destruktivním, mechanickém obnažení betonářské výztuže. Často se kombinuje s využitím elektromagnetických indikátorů výztuže, jimiž lze nedestruktivně určit přesná poloha výztuže pod povrchem betonu.

Zkušební postup spočívá ve vymezení oblasti pro sekanou sondu pomocí prořezání materiálu úhlovou bruskou. Sekacím kladivem se potom odstraní ohraničená část tak, aby došlo k obnažení výztuže. V tu chvíli lze posuvným měřidlem snadno ověřit průměr výztuže, krytí a případně úbytek průměru v důsledku koroze. Vizualně se zhodnotí druh výztuže a stupeň koroze. Roztokem fenolftaleinu se podobně jako u jádrových vývrtů může určit hloubka karbonatace (nezasažený beton se zbarví do fialova). [17]

U trémových železobetonových konstrukcí se ověřuje vyztužení ve staticky významných oblastech prvku, tj. ve středu rozpětí (posouzení na ohyb) a u okrajových podmínek (posouzení na smyk) [2].

### 3.4.3 Zkoušení výztuže tahem za pokojové teploty

Princip metody spočívá v deformaci zkušebního tělesa tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností. Nejčastěji to jsou:

- **prodloužení** – přírůstek počáteční délky v kterémkoliv okamžiku během zkoušky
- **tažnost  $A$**  (v procentech)
- **kontrakce  $Z$**  (v procentech)
- **mez pevnosti v tahu  $R_m$**  – napětí odpovídající maximálnímu zatížení  $F_m$
- **výrazná mez kluzu  $R_e$**  – jestliže materiál vykazuje jev plastického kluzu, dojde během zkoušky k plastické deformaci bez přírůstku zatížení
- **horní mez kluzu  $R_{eH}$  a dolní mez kluzu  $R_{eL}$**  (Obrázek 3.12)
- **smluvní mez kluzu  $R_t$**  – pro materiály bez výrazné meze kluzu, je rovna předepsanému procentu měřené délky průtahoměru (např. 0,2)
- **modul pružnosti oceli  $E$**  – zjištěný z přibližně lineární části měřené průtahoměrem

Zkouška se provádí za pokojové teploty od 10 do 35 °C. Tvar a rozměry zkušebních těles mohou být podmíněny tvarem a rozměry kovového výrobku (výztuže), z něhož byla odebrána. Pokud se zkouší litá tělesa nebo výrobky konstantního průřezu (tyče, dráty), nemusí se nijak opracovávat. Všechny ostatní typy výrobků se před zkouškou upraví obráběním. Průřez může být kruhový, čtvercový, obdélníkový či prstencový. Při zatěžování je velmi důležité, aby se zkušební těleso správně upnulo a bylo namáháno pouze tahem (nikoliv ohybem) ve své podélné ose. [15]

Upřednostňovaná jsou zkušební tělesa s přímým vztahem mezi počáteční měřenou délkou  $L_0$  a počáteční průřezovou plochou  $S_0$ , vyjádřeným rovnicí:  $L_0 = k\sqrt{S_0}$ , kde  $k$  je sou-

činitel proporcionality (mezinárodně přijatá hodnota 5,65). Počáteční měřená délka musí být vždy větší než 15 mm [15]. Zkoušená délka  $L_c$  (někdy nazývaná vzdálenost čelistí) nebo volná délka mezi čelistmi (v případě zkušebního tělesa bez přechodového poloměru) musí vždy převyšovat počáteční měřenou délku  $L_0$ .

### Stanovení tažnosti v procentech

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

kde  $L_0$  je počáteční měřená délka (Obrázek 3.11)

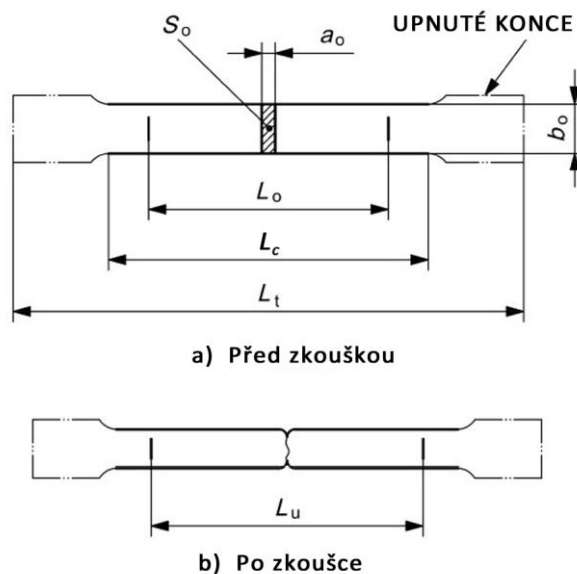
$L_u$  je konečná měřená délka po lomu (Obrázek 3.11)

### Stanovení kontrakce v procentech

$$Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \cdot 100 [\%]$$

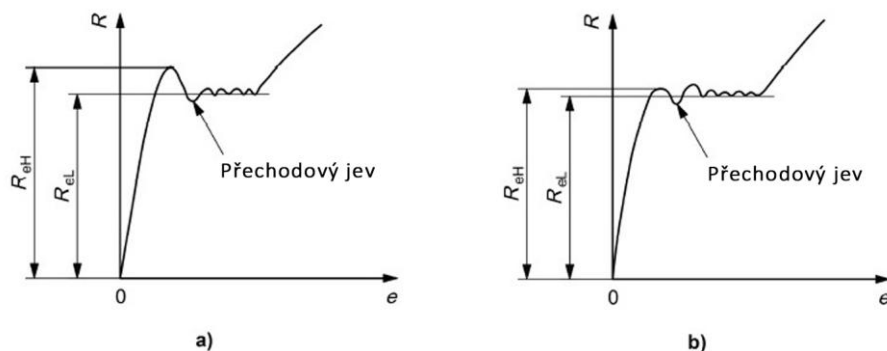
kde  $S_0$  je počáteční průřezová plocha zkoušené délky (Obrázek 3.11)

$S_u$  je minimální průřezová plocha po lomu (Obrázek 3.11)



Obrázek 3.11 Schéma zkušebního tělesa (obrobené, pravoúhlý průřez) [15]

Konečná měřená délka  $L_u$  se měří přiložením obou částí přetrženého zkušebního tělesa k sobě tak, aby jejich osy ležely na společné přímce. Minimální průřezová plocha  $S_u$  se měří s přesností na  $\pm 2 \%$ . [15]



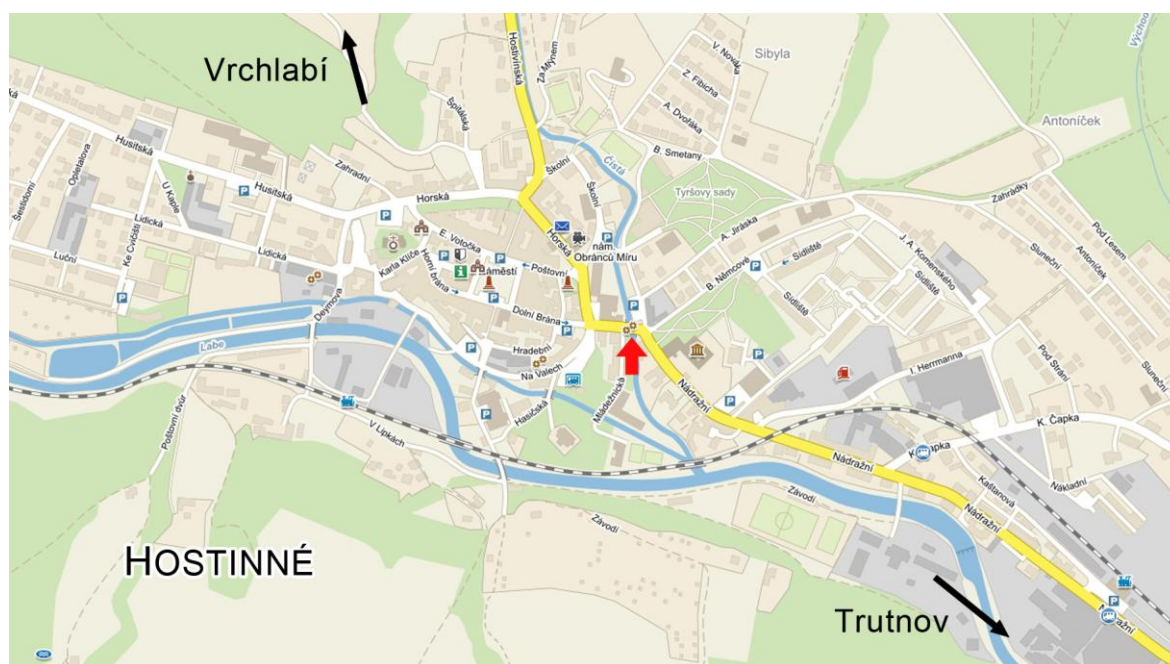
**Obrázek 3.12** Příklady horních a dolních mezí kluzu v tahovém diagramu [15]

Na zkušebním tělese je v jeho střední části připevněn tenzometr, sloužící pro měření prodloužení v počáteční fázi zkoušky až do chvíle, kdy dojde k plastickému kluzu. Hodnoty naměřené elektrickým tenzometrem slouží k upřesnění hodnot z průtahoměru (odstranění vlivu počátečních ztrát) a ke stanovení modulu pružnosti.

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

### 4.1 Popis objektu

Řešenou konstrukcí je železobetonový silniční most **evidenčního čísla 325-021**, jenž se nachází na **silnici II/325**, kterou převádí přes potok Čistá ve městě **Hostinné** v Královéhradeckém kraji. Most slouží jako hlavní spojení obou polovin města. V jeho bezprostřední blízkosti jsou základní škola s gymnáziem a na druhém břehu klášter.



Obrázek 4.1 Poloha mostu ve městě [24]

#### Vybrané údaje z mostního listu

Předmět přemostění:	vodoteč (potok Čistá)
Staničení liniové/na úseku:	38,977 km / 0,483 km
Rok postavení:	1920
Správce mostu:	SÚS Královéhradeckého kraje/Divize Trutnov
Počet polí/světlost šikmá:	1 / 16,5 m
Délka přemostění:	16,5 m
Šikmost:	Pravá / 67,7778 ‰
Konstrukční výška:	3,95 m
Volná šířka/mezi obrubami:	7,38 / 6,85 m
Šířka chodníků:	1,5/1,95 m
Výška mostu nad terénem:	3,6 m
Výška normální hladiny:	0,3 m

### 4.1.1 Historie objektu

První zmínka o mostu přes říčku Čistou pochází z roku 1654 na mapě, jež byla přílohou stížnosti hraběte Jana Kryštofa z Valdštejna, týkající se poplatků za průjezd vozů přes mosty v Hostinném. Vzhledem k tomu, že bylo okolí mostu v té době využíváno jako pole, musel tu být nějaký dřevěný most jistě už dávno předtím. V roce 1881 byl starý a zchátralý dřevěný most nahrazen ocelovým, který plnil svou úlohu 42 let. [20]

Na jaře roku 1923 proběhla regulace břehů toku Čisté a při té příležitosti bylo rozhodnuto o odstranění rezivějícího železného mostu a jeho nahrazení novým mostem betonovým. Demolice ocelového mostu proběhla ještě ten samý rok v červnu. Realizací nového mostu byla pověřena firma N. Rella & Neffe z Ústí nad Labem. Během výstavby byla doprava vedena přes dřevěný provizorní most umístěný hned vedle staveniště. [20]

K betonáži nosné konstrukce došlo ve dnech 16. až 20. října 1923. Vše proběhlo úspěšně a 29. listopadu 1923 proběhla první zatěžkávací zkouška ještě ne úplně dokončeného mostu (viz Obrázek 4.2). V ten den najely na most tři cihlami a papírem plně naložené povozy a jeden nákladní automobil. Zbývající volná místa byla zaplněna zvědavci, kteří se spolu se zástupci stavební firmy nechali na památku vyfotografovat. Most při této zkoušce údajně klesl o 1 mm. S výstavbou mostu muselo dojít i ke zvýšení povrchu přilehlých ulic. [20]



Obrázek 4.2 Zatěžkávací zkouška nového mostu 29. listopadu 1923 [20]

Stavba mostu si vyžádala náklady ve výši 315 000 Kč, jež byly v plné výši uhrazeny okresní správou. Světelné, vodovodní a elektrické vedení k mostu a přes něj zaplatilo ze svých prostředků město Hostinné. [20] Další historické fotografie jsou v Příloze A.

### Rekonstrukce

Podle dostupných informací došlo v roce 1993 k odbourání betonového povrchu chodníků, výměně izolační vrstvy a provedení současné asfaltové úpravy povrchu. Ten samý rok byly také provedeny sanační práce obnažené výztuže na podhledu nosné konstrukce a ochranné nátěry všech betonových prvků.

### Mostní provizorium

V září 2013 došlo na mostě k montáži mostního provizoria na základě rozhodnutí Správy a údržby silnic Královéhradeckého kraje, a.s. To bylo vydáno, protože se most stal součástí objízdných tras a v souvislosti s tím mu byla nově stanovena zatížitelnost na pouhých 14 tun, což je nedostačující zejména pro těžká nákladní vozidla. Kraj zároveň slíbil provedení diagnostického průzkumu, na jehož základě by byl vypracován návrh rekonstrukce či oprav. [21] V prosinci 2013 došlo k výměně provizoria za stávající.

V tomto stavu se most nachází prakticky dodnes. Kromě zhoršení dopravní situace způsobila jeho přítomnost také citelné zhoršení kvality života obyvatel sousedních domů (včetně školy), kteří musejí snášet hluk od aut přejíždějících provizorní konstrukci.



Obrázek 4.3 Současný stav mostu s mostním provizoriem (foceno 17. 5. 2015)

## 4.2 Vizuální prohlídka objektu

### 4.2.1 Konstrukční řešení

Z konstrukčního hlediska se jedná o železobetonový obloukový most s dolní mostovkou o jednom poli. Tento druh statického řešení byl v podhorských oblastech poměrně oblíben, protože předcházel problémům při jarních povodních. Most je z každé strany uložen na opěrách, které splývají s kamennou úpravou břehů. U pat oblouků se tyčí kubistické kandelábry osazené lucernou. Původní projektová dokumentace se nachází v Příloze B a fotodokumentace aktuálního stavu v Příloze C.



Obrázek 4.4 Pohled na mostní konstrukci z koryta říčky Čistá

### 4.2.2 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce byla realizována jako monolitická. Jejím hlavním nosným prvkem je oblouk, jenž nese mostovku pomocí závěsů. Mostovka (Obrázek 8.6) je tvořena systémem příčníků a podélníků (podélných výztuh). Pod oběma oblouky se nacházejí trámy, do kterých jsou v místech spojení s příčníky kotveny závěsy (Obrázek 8.5). Horní povrch desky mostovky je vodorovný. Chodníky pro chodce umístěné po obou stranách jsou nesené konzolovou částí desky, která je monoliticky napojena na trám v jeho horní části.

#### Oblouky

Nosné oblouky mají osovou vzdálenost 8,20 m a nestejnomořný průřez (Obrázek 8.5) přibližně obdélníkových rozměrů, který se rozšiřuje od vrcholu směrem k patám (Obrázek 8.9). Rozměry (šířka x výška) průřezu jsou 600x600 mm až 600x500 mm. Teoretická délka

oblouku je 17,82 m a teoretické vzepětí je 3,45 m. Stejně jako zbytek konstrukce jsou pokryty ochranným nátěrem, který na mnoha místech odpadá a má až černou barvu (Obrázek 8.10). Důvody k těmto poruchám mohou být: působení povětrnostních vlivů, chodců, srážkové vody a zplodin z aut.

### **Závěsy**

Jsou tvořeny nosnou betonářskou výztuží a nenosnou betonovou krycí vrstvou obdélníkového průřezu šířky 300 mm a délky 500 mm. Během výstavby byly vybetonovány, jako poslední část nosné konstrukce (viz Obrázek 4.2). Na první pohled nejeví známky výraznějšího poškození, pouze v jejich spodní části je patrné porušení ochranného nátěru a velmi pravděpodobně i betonové krycí vrstvy (Obrázek 8.11).

### **Deska mostovky**

Deska mostovky má pod silniční komunikací jednotnou tloušťku 120 mm, jak je vidět na výkresu příčného řezu (Obrázek 8.5). Na většině její spodní plochy nejsou patrné žádné znatelnější poruchy. V jednom poli je na dvou místech odhalena výztuž (viz Obrázek 8.12), která je značně zkorodovaná. Poměrně často – stejně jako u dalších prvků mostovky – jsou na povrchu betonu vidět projevy degradace výztuže (Obrázek 8.13) a obrysy od použitého bednění (Obrázek 8.12). Pod chodníky má deska nestejnou tloušťku 80 mm až 200 mm, respektive 220 mm (u širšího chodníku). V konzolové části desky není patrné žádné viditelné poškození (Obrázek 8.14).

### **Příčníky**

Ve střední části mostu mají osovou vzdálenost 2,30 m a proměnlivý průřez (Obrázek 8.15) šířky 600, 520 a 360 mm a výšky 550, 540 a 530 mm. V krajní části mostovky mají příčníky pouze poloviční délku a jednotný profil (Obrázek 8.6) šířky 300 mm. Na dvou místech u předposledního příčníku (ve směru na Vrchlabí) je lokálně zcela odhalena hlavní výztuž z důvodu odpadlé krycí vrstvy betonu. V místě napojení tohoto příčníku na okrajovou část konstrukce se rovněž vyskytuje poměrně nerovný beton narušený prasklinou (Obrázek 8.16).

### **Trámy a podélníky**

Trámy mají přibližně obdélníkový průřez (seříznuté spodní rohy) šířky 500 mm a výšky 610 mm, jsou monoliticky spojené s deskou mostovky a jejich osová vzdálenost je 8,20 m (Obrázek 8.5). Na trámech nebyly nalezeny žádné výraznější poruchy či vady. Podélníky mají obdélníkový profil šířky 150 mm a výšky 470 mm, jsou monoliticky spoje-

ny s deskou mostovky (Obrázek 8.5) a mají osovou vzdálenost 1,00 m a 1,10 (krajní). Mezi vady podélníků patří částečné odhalení třmínků a nerovnosti povrchové vrstvy betonu společně se stopami po degradaci vnitřní výztuže (Obrázek 8.18).

### **Uložení nosné konstrukce**

Nosná konstrukce je uložena pomocí krajních „desek“, do nichž jsou monoliticky napojeny trámy, podélníky a deska mostovky. Tyto desky pravděpodobně volně leží na vrstvách lepenky (Obrázek 8.18). Na okrajích desky blízko okraje konzolové části desky mostovky jsou ve všech čtyřech rozích půdorysu mostu patrné trhliny (Obrázek 8.19).

### **4.2.3 Spodní stavba**

Mezi rozpoznatelné části spodní stavby patří úložný práh, dřík opěry a křídla. Dřík opěry je z vnější strany tvořen kamenným kyklopským zdivem, jeho vnitřek je nejspíše z prostého betonu (viz obrázky v Příloze A.1, kde je vidět betonáž opěr). Zbývající dvě části prakticky splývají s dříkem. Křídla jsou kolmá a navazují na kamennou zeď lemující koryto potoka. Úložný práh se nachází za rovnoběžnými řadami kamenů pod nosnou konstrukcí. Jediné známky poškození jeví úložný práh pravé opěry (po směru toku Čisté), kde byla objevena sanace zdi betonem (Obrázek 8.15 – pravý dolní roh).

### **4.2.4 Mostní svršek**

Podle původního výkresu příčného řezu (Obrázek 8.5) tvoří svršek komunikace s nejvyšší pravděpodobností vyrovnávací vrstva betonu tloušťky 80 až 120 mm, izolace tloušťky 20 mm, kamenné dlažební kostky výšky 100 mm a živичná obrusná vrstva vozovky tloušťky asi 50 mm, která byla doplněna až po dokončení mostu. Vozovka má střechovitý sklon. Povrch chodníků tvoří taktéž vrstva asfaltového koberce. Podle vizuální prohlídky se zdá, že izolační vrstva je až na kritická místa kolem odvodňovačů v pořádku. Nejvíce poškozená část se nachází na levé straně vozovky (Obrázek 8.20).

### **4.2.5 Vybavení mostu a cizí zařízení**

K původnímu vybavení mostu patří kandelábrы s lucernami, odvodňovače a ocelové zábradlí. Zábradlí má výšku 1,10 m, je v poměrně dobrém stavu (Obrázek 8.21) a je pouze z části postiženo korozi (Obrázek 8.10). Odvodňovače plní svou funkci uspokojivě (Obrázek 8.20). K cizím zařízením nalezeným na mostě patří elektroinstalace (Obrázek 8.19), vodovodní/odpadní potrubí uchycené k zábradlí (Obrázek 8.21), dopravní značení a mostní provizorium (obojí viz Obrázek 4.3).

### 4.3 Návrh diagnostického průzkumu

Jednou z nejdůležitějších částí diagnostického průzkumu je zjišťování materiálových charakteristik objektu, proto je nutné zvolit správné metody a určit vhodný počet a umístění zkušebních míst, aby co nejlépe reprezentovaly danou konstrukci. Neméně důležité je u železobetonových staveb určit polohu a množství výztuže. Pokud je dostupná projektová dokumentace, ověří se její pravdivost a soulad se skutečným stavem objektu.

Pevnost betonu nosné konstrukce navrhuji určit nedestruktivní metodou tvrdoměrem Schmidt N, jež bude doplněna destruktivními zkouškami jádrových vývrtů o průměru 50 a 100 mm. Výsledné neupřesněné pevnosti z tvrdoměrných zkoušek budou na každém konstrukčním prvku opraveny pomocí pevnosti z jádrových vývrtů a bude posouzena rovnoměrnost betonu. Kromě toho bude ověřena výztuž elektromagnetickým indikátorem (Profometrem). A nakonec budou provedeny sekané sondy pro potvrzení průměru a odběr vzorků výztuže.

Počty vývrtů a zkušebních míst pro zkoušky nosné konstrukce (bez závěsů):

- tvrdoměrem Schmidt N: 48 (podle ČSN 73 2011)
- jádrovými vývrty: 9 (podle ČSN 73 1373)

Počet jádrových vývrtů byl na základě požadavků investora (SÚS Královéhradeckého kraje) snížen na 3. Vývrty budou provedeny pouze na třech z pěti prvků nosné konstrukce. Výsledky pevností ze dvou prvků tak zůstanou neupřesněné, tedy pouze orientační.

### 4.4 Výsledky a vyhodnocení diagnostického průzkumu

V rámci diagnostického průzkumu byly nakonec provedeny 3 jádrové vývrty Ø 50 mm (z každého byla vytvořena dvě zkušební tělesa), 48 zkušebních míst pro měření Schmidtovým tvrdoměrem typu N (na každém 12 úderů) a 2 sekané sondy v závěsech (z každé odebrán jeden vzorek výztuže). Před provedením jádrových vývrtů byla vždy zkontrolována poloha výztuže (Profometrem), aby se pokud možno předešlo jejímu výskytu v tělesech.

#### 4.4.1 Pevnost betonu v tlaku

##### Jádrové vývrty

Odběr jádrových vývrtů byl proveden dle ČSN 12504-1. Vývrt č. 1 byl odebrán z oblouku na stejném místě jako místo č. 10 pro NDT zkoušení (Obrázek 8.23). Vývrt č. 2 sou-

sedí s místem NDT č. 21 na trámu a vývrt č. 3 je vedle místa NDT č. 30 na příčnicku. Fotodokumentace a popis jádrových vývrtů jsou v Příloze D.1.

Všechna vytvořená tělesa byla řádně upravena podle ČSN EN 12390-3 a před zkoušením v lise byla pečlivě změřena, zvážena, načež u nich byla stanovena objemová hmotnost. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v Příloze D.2.

Výsledky zkoušek krychelné pevnosti betonu v tlaku ( $f_{ck,cube}$ ) na jednotlivých zkušebních tělesech jsou umístěny v přehledné tabulce v Příloze D.2. Veškeré zkoušky proběhly korektně – tj. vzorky se porušily správným způsobem dle ČSN EN 12390-3.

Výsledné krychelné pevnosti betonu v tlaku (Tabulka 4.1) pro jednotlivé části konstrukce byly zpracovány v programu MS Excel a statisticky vyhodnoceny jako charakteristické pevnosti v tlaku podle ČSN ISO 13822 (národní příloha ČSN 73 0038).

**Tabulka 4.1** Souhrnné hodnocení krychelných pevností

veličina	označení	Oblouk	Trám	Příčnick	jednotka
		hodnoty	hodnoty	hodnoty	
Objemová hmotnost betonu - prům. hodnota	$\rho_{str}$	2196	2154	2252	[kgm <sup>-3</sup> ]
Krychelná pevnost - průměrná hodnota	$f_{c,cube,str}$	47,1	48,4	58,0	[MPa]
Počet platných vzorků	<b>n</b>	2	2	2	[n]
Výběrová směrodatná odchylka	$s_x$	5,23	3,54	3,04	[MPa]
Variační součinitel	$V_x$	11,11	7,30	5,25	[%]
Součinitel odhadu 5% kvantilu	$k_{n,x}$	2,01	2,01	2,01	[-]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck,cube}$	<b>36,6</b>	<b>41,3</b>	<b>51,8</b>	[MPa]
Pevnostní třída betonu dle ČSN EN 206		<b>C 25/30</b>	<b>C 30/37</b>	<b>C 40/50</b>	
Pevnostní třída betonu dle ČSN 73 1201:1986		<b>B35</b>	<b>B40</b>	<b>B50</b>	
Pevnostní třída betonu dle ČSN 73 6206:1971		<b>330</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	
Pevnostní třída betonu dle ČSN 1090:1931		<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	

### Schmidt N

Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek odrazovým tvrdoměrem Schmidt N bylo provedeno podle ČSN 73 1373. Hodnoty byly zpracovány programem MS Excel. Výsledné krychelné pevnosti pro všechna zkušební místa lze najít v Příloze E.

Hodnoty neupřesněných pevností v tlaku byly vynásobeny příslušným součinitelem  $\alpha$ , stanoveným pro každý konstrukční prvek zvlášť, na základě výsledných (zaručených) pevností z jádrových vývrtů (viz Tabulka 8.3 v Příloze E.1). Příslušná zaručená pevnost byla vždy použita pro porovnání nezaručené pevnosti získané tvrdoměrem ve stejném místě

konstrukčního prvku. Krychelné pevnosti betonu v tlaku byly pro každé zkušební místo také upraveny pomocí součinitelů  $\alpha_t$  a  $\alpha_{cw}$  (viz Příloha E.2).

Konečné již upřesněné hodnoty krychelných pevností betonu v tlaku byly opět statisticky vyhodnoceny stejným postupem jako v případě jádrových vývrtů (viz Tabulka 4.2).

**Tabulka 4.2** Souhrnné hodnocení upřesněných krychelných pevností

veličina	označ.	Oblouk	Trám	Příčník	Podélník	Deska	jednot.
		hodnoty	hodnoty	hodnoty	hodnoty	hodnoty	
Krychelná pevnost - průměr	$f_{c,cube,str}$	41,2	56,3	43,5	55,4	57,8	[MPa]
Počet platných vzorků	<b>n</b>	15	8	7	8	8	[n]
Výběr. směrodat. odchylka	$s_x$	3,32	14,57	8,85	4,49	5,98	[MPa]
Variační součinitel	$V_x$	8,07	25,89	20,33	8,11	10,35	[%]
Souč. odhadu 5% kvantilu	$k_{n,x}$	1,70	1,74	1,76	1,74	1,74	[-]
Charakteristická pevnost	$f_{ck,cube}$	<b>35,5</b>	<b>30,9</b>	<b>28,0</b>	<b>47,5</b>	<b>47,4</b>	[MPa]
Pevnostní třída dle ČSN EN 206		<b>C 25/30</b>	<b>C 25/30</b>	<b>C 20/25</b>	<b>C 35/45</b>	<b>C 35/45</b>	
Pevnostní třída dle ČSN 73 1201:1986		<b>B35</b>	<b>B30</b>	<b>B25</b>	<b>B45</b>	<b>B45</b>	
Pevnostní třída dle ČSN 73 6206:1971		<b>400</b>	<b>330</b>	<b>330</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	
Pevnostní třída dle ČSN 1090:1931		<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	

#### 4.4.2 Rovnoměrnost betonu

Stejnorodost betonu byla hodnocena podle ČSN 73 2011 na základě dvou kritérií: objemové hmotnosti a pevnosti betonu v tlaku (z výsledků jádrových vývrtů a nedestruktivních zkoušek tvrdoměrem Schmidt N). Hodnoty variačních koeficientů byly porovnány s limitními hodnotami (viz Tabulka 3.3). Podle jádrových vývrtů jsou všechny tři hodnocené konstrukční prvky (oblouk, trám a příčník) *rovnoměrné*. Podle zkoušek Schmidovým tvrdoměrem jsou *rovnoměrné* oblouk, podélník a deska, zatímco trám a příčník byly klasifikovány jako *nerovnoměrné*.

#### 4.4.3 Pevnost oceli v tahu

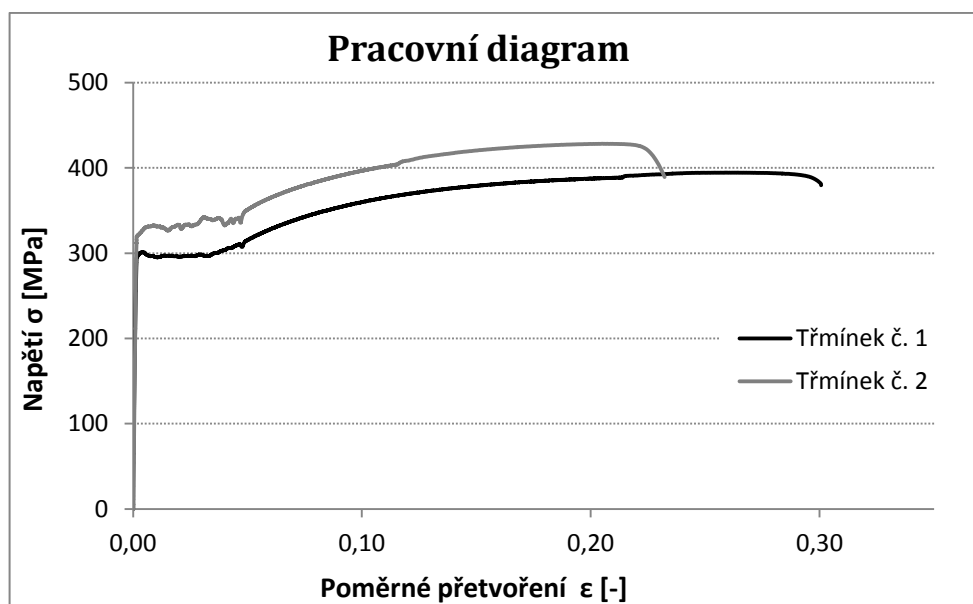
Pevnost výztuže v tahu byla ověřována zkouškou oceli tahem za pokojové teploty podle ČSN EN ISO 6892-1 (viz odstavec 3.4.3). Jako vzorky byly použity odebrané třmínky ze sekaných sond č. 1 a 2 (S11 a S12), jejichž popis je uveden v Příloze F.1.

Vzorky byly zpracovány na zkušební tělesa *neobrobená*, kruhového profilu, která byla před zkouškou zvážena, změřena a opatřena elektrickým tenzometrem (Obrázek 8.30). Tabulka 4.3 obsahuje vstupní hodnoty a mezivýsledky:

**Tabulka 4.3** Vstupní hodnoty tahové zkoušky za pokojové teploty

Těleso	Délky				Průměry		Plochy		Hmot.	Obj. hm.	Síly	
	$L_t$	$L_c$	$L_o$	$L_u$	$\phi_o$	$\phi_u$	$S_o$	$S_u$	$m$	$\rho$	$F_c$	$F_m$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kN]	[kN]
1	181,3	105,3	50,0	67,0	5,34	3,32	22,38	8,66	33,5	7850	6,74	8,83
2	180,1	105,0	50,0	66,0	5,21	3,21	21,31	8,09	32,0	7850	7,08	9,12

Graf 4.1 ukazuje, že jde v obou případech o stejnou třídu oceli s výraznou mezí kluzu:

**Graf 4.1** Pracovní diagram oceli v tahu třmíneků č. 1 a 2

Tabulka 4.4 obsahuje výsledné hodnoty, ocel byla zatříděna podle ČSN 73 0038.

**Tabulka 4.4** Výsledky tahových zkoušek oceli za pokojové teploty

zkušební těleso	tažnost	kontrakce	mez kluzu	mez pevnosti	modul pružnosti	pevnostní třída oceli
	<b>A</b>	<b>Z</b>	<b>R<sub>e</sub></b>	<b>R<sub>m</sub></b>	<b>E</b>	
	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]	[GPa]	
1	34,0	61,3	301	394	208	<b>10 452</b>
2	32,0	62,0	332	428	219	<b>10 452</b>
průměr	33,0	61,7	316,5	411	214	<b>10 452</b>

Určená třída pevnosti oceli 10 452 má mez kluzu 270 MPa, neurčenou mez pevnosti a obtížnou svařitelnost.

## 4.5 Výpočet únosnosti v ohybu příčnicku

### Materiálové charakteristiky

Beton C40/50:  $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ ,  $\alpha_{cc} = 0,9$ ;  $\gamma_c = 1,5$ ;  $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 \cdot \frac{40}{1,5} = \underline{24 \text{ MPa}}$$

Ocel 10 452:  $f_{yk} = 270 \text{ MPa}$ ,  $\gamma_f = 1,5$ ;  $E_s = 210 \text{ GPa}$ ,

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_f} = \frac{270}{1,5} = \underline{234,783 \text{ MPa}}$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{234,783}{210 \cdot 10^3} = \underline{1,12 \text{ ‰}}$$

### Vyztužení

Celkem 10 Ø 30 mm:  $A_{s,10} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4} = \underline{7,069 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$

Celková plocha výztuže:  $A_s = 10 \cdot A_{s,10} = 10 \cdot 7,069 \cdot 10^{-4} = \underline{7,069 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$

$$d_1 = h - 45 = 550 - 45 = 505 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - 105 = 550 - 105 = 445 \text{ mm}$$

Celková účinná výška:  $d = \frac{7 \cdot d_1 - 3 \cdot d_2}{10} = \frac{7 \cdot 505 - 3 \cdot 445}{10} = \underline{487 \text{ mm}}$

### Posouzení na ohyb

$$A_{cc} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd} \rightarrow \lambda \cdot x \cdot b_w \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

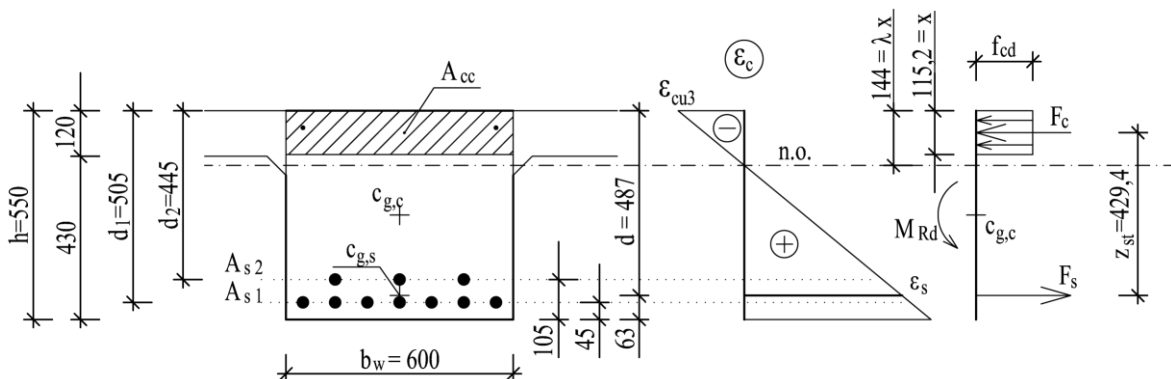
Poloha neutrálné osy:  $x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{7,069 \cdot 10^{-3} \cdot 234,783}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 24} = \underline{0,144 \text{ m}}$

Rameno sil:  $z_{st} = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,487 - \frac{0,8 \cdot 0,144}{2} = \underline{0,429 \text{ m}}$

Moment únosnosti:  $M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_{st} = 7,069 \cdot 10^{-3} \cdot 234,783 \cdot 10^3 \cdot 0,429 = \underline{\underline{712,583 \text{ kNm}}}$

### Kontrola započitatelnosti výztuže

$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu3} \cdot (d_2 - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (445 - 144)}{144} = \underline{\underline{7,31 \text{ ‰}}} \geq \epsilon_{yd} = 1,12 \text{ ‰} \rightarrow \text{Vyhovuje!}$$

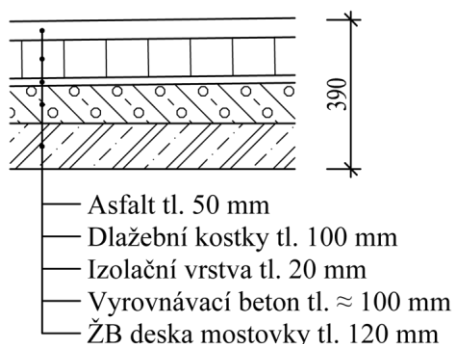


Obrázek 4.5 Schéma posouzení příčnicku na MSÚ v ohybu

### Stálé zatížení příčnicku

Od desky a mostního svršku

Zatěžovací šířka = 2,30 m



Asfalt	$0,05 \cdot 24 \cdot 2,30 = 2,76$
Dlažební kostky	$0,10 \cdot 28 \cdot 2,30 = 6,44$
Izolační vrstva	$0,02 \cdot 12 \cdot 2,30 = 0,55$
Vyrovnávací beton	$0,10 \cdot 24 \cdot 2,30 = 5,52$
ŽB deska mostovky	$0,12 \cdot 25 \cdot 2,30 = 6,90$
<b>Celkem</b>	<b><math>q_{m,k} = 22,17 \text{ kN/m}</math></b>

Obrázek 4.6 Zatížení příčnicku deskou mostovky a mostním svrškem

Vlastní tíha příčnicku

$$0,43 \cdot 0,60 \cdot 25 = 6,45 \text{ kN/m}$$

$$0,42 \cdot 0,52 \cdot 25 = 5,46 \text{ kN/m}$$

$$0,41 \cdot 0,36 \cdot 25 = 3,96 \text{ kN/m}$$

Průměrné zatížení:  $\bar{q}_{př,k} = \frac{6,45 \cdot 1,075 + 5,46 \cdot 1,00 + 3,96 \cdot 2,025}{4,1} = 4,85 \text{ kN/m}$

Přítížení od podélníků

$$0,15 \cdot 0,35 \cdot (2,30 - 0,60) \cdot 25 = 2,23 \text{ kN}$$

$$0,15 \cdot 0,35 \cdot (2,30 - 0,52) \cdot 25 = 2,34 \text{ kN}$$

$$0,15 \cdot 0,35 \cdot (2,30 - 0,36) \cdot 25 = 2,55 \text{ kN}$$

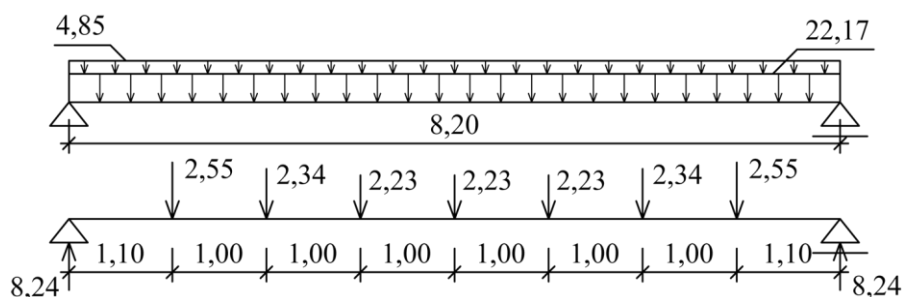
Účinky zatížení

Reakce od břemen:  $R_z = \frac{2 \cdot 2,55 + 2 \cdot 2,34 + 3 \cdot 2,23}{2} = \underline{8,24 \text{ kN}}$

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} \cdot (22,17 + 4,85) \cdot 8,20^2 + 8,24 \cdot 4,1 - 2,55 \cdot 3 - 2,34 \cdot 2 - 2,23 \cdot 1 = \underline{246,27 \text{ kNm}}$$

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_{Ek} = 1,35 \cdot 246,27 = \underline{332,46 \text{ kNm}}$$

$M_{Ed} \leq M_{Rd} \Rightarrow 332,46 \text{ kNm} < 712,58 \text{ kNm} \Rightarrow$  **Vyhovuje!** (rezerva 53,34%)



Obrázek 4.7 Zatížení příčnicku na náhradním prostém nosníku

## 4.6 Závěry a návrh opatření

S ohledem na polohu mostu (v centru města) a jeho důležitost (jediný silniční most s dostatečnou nosností v okolí) je jasné, že jakákoliv větší rekonstrukce s sebou nese řadu problémů zejména s odklonem dopravy. Vzhledem k současnému stavu (snížená zatížitelnost a umístění mostního provizoria) bude však nepochybně nutné ji v budoucnu provést.

### 4.6.1 Závady, vyplývající z diagnostického průzkumu

- Nejvíce akutní poruchou mostu je odhalená výztuž na spodním líci mostovky, která je vystavená vlivům prostředí, čímž by do budoucna mohlo dojít k ohrožení statické únosnosti konstrukce.
- Pročištění čtveřice odvodňovačů v rozích mostovky, nejpozději po odstranění provizoria, pro správné odvodnění povrchu vozovky.
- Obnovení odloupávajícího se ochranného nátěru konstrukčních částí. Tento prvek je důležitý především jako ochrana před degradací betonu i výztuže.
- Po demontování dočasně umístěné konstrukce je třeba vyřešit také skladbu mostního svršku, který je v současné době v nevyhovujícím stavu, kdy asfaltová vrstva leží na původní kamenné dlažbě (nešetrné zvýšení stálého zatížení).
- Související výměna izolační vrstvy, jakožto důležitého ochranného prvku nosné konstrukce, a následné položení standardního vozovkového souvrství.
- Původní ocelové zábradlí, které se dochovalo, odpovídá dnešním normovým požadavkům (minimální výška a maximální rozměry otvorů) a tak by stačilo provést jeho opravu opětovným natřením a výměnou poškozených částí.

### 4.6.2 Návrh dalšího postupu

Kromě výše uvedených závad vyplynula z diagnostického průzkumu také potřeba jeho doplnění podrobným stavebnětechnickým průzkumem a hodnocením stavu objektu. V rámci toho je potřeba zejména ověřit polohu, profily a oslabení výztuže korozí ve všech důležitých konstrukčních prvcích. Doplnit údaje o materiálových charakteristikách potřebných pro korektní stanovení zatížitelnosti – zejména pevnosti betonu v tlaku desky mostovky, podélníků a „úložných desek“ (viz kapitola 4.2.2). Provést diagnostický průzkum spodní stavby. A nakonec určit skutečnou zatížitelnost mostu na základě získaných informací – poslední posudek z roku 2013 byl totiž vypracován pouze jako orientační bez potřebných údajů.

---

## 5 ZÁVĚR

Předmětem bakalářské práce bylo vypracování a provedení diagnostického průzkumu mostního objektu ev. č. 325-021 v Hostinném v Královéhradeckém kraji.

Na základě provedené vizuální prohlídky byl určen konstrukční systém a viditelné závady a poruchy mostu (viz podkapitola 4.2 a Příloha C). Byly vybrány vhodné a dostupné diagnostické metody a stanoven postup pro realizaci diagnostického průzkumu. Jeho prostřednictvím byly stanoveny pevnostní třídy betonu a oceli v hlavních prvcích nosné konstrukce. Výsledky jsou popsány v podkapitole 4.4 a v Přílohách D, E a F.

Pevnost betonu v nosné konstrukci se na základě zkoušek vzorků z jádrových vývrtů pohybovala od třídy C 25/30 (oblouk), přes C 30/37 (trám) až po C 40/50 (příčník), což lze označit jako dobré výsledky vzhledem ke stáří konstrukce (92 let). Je možné, že provedení většího počtu vývrtů většího průměru (např. 75 nebo 100 mm) by mohlo přinést ještě další zvýšení zjištěných pevností betonu v tlaku, vlivem snížení statistické nejistoty.

Analýzou výsledků nedestruktivního zkoušení tvrdoměrem Schmidt N bylo prokázáno, že v části nosné konstrukce se vyskytuje nerovnoměrný beton (trámy a příčníky). Zkoumání odebraných částí třmínků ze sekaných sond vedlo k určení třídy použité betonářské oceli jako 10 452 s mezí kluzu 270 MPa (viz odstavec 4.4.3), ale též ke zjištění poměrně významného oslabení prutů vlivem koroze, jak je možno vidět v Příloze F.

Zjištěné pevnostní charakteristiky byly použity k orientačnímu určení únosnosti v ohybu příčníku (viz podkapitola 4.5). Bylo stanoveno také přibližné zatížení působící na jeden z vnitřních příčníků. Nakonec došlo k porovnání momentu únosnosti a momentu od stálého zatížení, čímž byla vyčíslena rezerva v únosnosti pro nahodilé zatížení cca 53 %.

Výsledky provedeného diagnostického průzkumu bude možnost použít jako výchozí podklady pro podrobný diagnostický průzkum a hodnocení konstrukce, v rámci něhož by měly být doplněny všechny chybějící údaje, aby mohl být objekt ohodnocen jako celek. Velmi důležité pro správné a skutečnosti co možná nejbližší hodnocení konstrukce je vypracování prostorového výpočtového modelu. Průzkum provedený v rámci bakalářské práce také poslouží pro předběžný odhad finančních nákladů na rekonstrukci mostu.

---

## 6 POUŽITÉ ZDROJE

### Literatura a skripta

- [1] SCHMID, Pavel. *Praktické aspekty diagnostiky stavebních konstrukcí: zkrácená verze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2011, 38 s. ISBN 978-80-214-4327-3.
- [2] HOBST, Leonard et al. *Diagnostika stavebních konstrukcí: přednášky*. [Modul B152-M01]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005, 124 s.
- [3] SCHMID, Pavel et al. *Základy zkušebnictví*. Vyd. 2. opr. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 112 s. ISBN 80-214-2584-9.
- [4] ANTON, Ondřej et al. *Základy zkušebnictví: Návodů do cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 61 s. ISBN 80-214-2079-0.
- [5] ROZBROJ, Lukáš. *Diagnostika železobetonového mostu*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví.
- [6] NOVÁK, Martin. *Diagnostika mostní konstrukce*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví.

### Normy

- [7] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha. ÚNMZ, 2010. Třídící znak 73 0038
- [8] ČSN 73 1370 *Nedestruktivní zkoušení betonu – Společná ustanovení*. Praha. ÚNMZ, 2011.
- [9] ČSN 73 0038 *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení*. Praha. ÚNMZ, 2014.
- [10] ČSN EN 12504-2 *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení*. Praha. ÚNMZ, 2013. Třídící znak 73 1303
- [11] ČSN 73 1373 *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha. ÚNMZ, 2011.
- [12] ČSN 73 2011 *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha. ÚNMZ, 2012.
- [13] ČSN EN 12504-1 *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Vývrty*. Praha. ÚNMZ, 2009. Třídící znak 73 1303
- [14] ČSN EN 13791 *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha. ÚNMZ, 2007. Třídící znak 73 1303
- [15] ČSN EN ISO 6892-1 *Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha. ÚNMZ, 2010. Třídící znak 42 0310

---

## Elektronické zdroje

- [16] WIKIPEDIE. *Most* [online]. Poslední revize 28. 2. 2015 [cit. 2015-05-15].  
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Most>
- [17] CIKRLE, Petr. *BI52 Diagnostika stavebních konstrukcí: přednáška č. 2: Nedestruktivní zkoušení betonu v konstrukcích* [online prezentace]. 2008 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/BI52%20prednasky.zip>
- [18] HOBST, Leonard. *BI52 Diagnostika stavebních konstrukcí: přednáška č. 8: Radiační defektoskopie II. (Praktická radiografie)* [online prezentace]. 2008 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/BI52%20prednasky.zip>
- [19] ZÍDEK, Libor. *Technická měření a diagnostika staveb: 6. Diagnostika betonových a železobetonových konstrukcí*. [online prezentace]. 2009 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/6\\_diagnostika\\_betonovych\\_a\\_zelezobetonovych\\_konstrukci.pdf](http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/6_diagnostika_betonovych_a_zelezobetonovych_konstrukci.pdf)
- [20] ANDĚL, Tomáš. 90. narozeniny oslaví v železném krunýři. *Zpravodaj města Hostinné* [online]. 2013, roč. 7, č. 10 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [http://www.hostinne.info/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id\\_org=4577&id\\_dokumenty=4092](http://www.hostinne.info/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=4577&id_dokumenty=4092)
- [21] KLÍMA, Karel. Boj o most. *Zpravodaj města Hostinné* [online]. 2013, roč. 7, č. 10 [cit. 2015-05-22].  
Dostupné z: [http://www.hostinne.info/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id\\_org=4577&id\\_dokumenty=4092](http://www.hostinne.info/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=4577&id_dokumenty=4092)

## Obrazové zdroje

- [22] PROCEQ. *Profometer 5+*. [online] Proceq, ©2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.proceq.com/fileadmin/images/products/Concrete/Profometer\\_5\\_/Copy\\_of\\_PQ-Profometer-Bewehrungssucher-07\\_copy.jpg](http://www.proceq.com/fileadmin/images/products/Concrete/Profometer_5_/Copy_of_PQ-Profometer-Bewehrungssucher-07_copy.jpg)
- [23] PROCEQ. *DY-2 Family*. [online] Proceq, ©2015 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.proceq.com/en/site/downloads/DY-2%20Family.html>
- [24] Poloha mostu ve městě. In: *mapy.cz* [online]. © Seznam.cz, a.s. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z:  
<http://mapy.cz/zakladni?x=15.7285166&y=50.5397674&z=16&l=0>
- [25] DUŠAN, Piši. Hostinné – silniční most přes Čistou. In: *Turistika* [online]. Poslední revize 2. 11. 2013 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.turistika.cz/mista/hostinne-silnicni-most-pres-cistou>

---

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

### Zkratky

- VUT – Vysoké učení technické
- NDT – nedestruktivní
- ČSN – Česká norma/Československá státní norma
- EN – Evropská norma
- ISO – Mezinárodní norma
- ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic
- ev.č. – evidenční číslo (mostu)

### Písmena

- $\varnothing$  – průměr (např. výztuže, jádrového vývrtu)
- $\epsilon_{cu3}$  – mezní přetvoření betonu
- $f_y$  – mez kluzu oceli
- $\epsilon_{yd}$  – přetvoření oceli na mezi kluzu
- $\epsilon_s$  – přetvoření výztuže
- $\gamma$  – součinitel spolehlivosti
- E – modul pružnosti
- d – účinná výška
- M – moment
- $\epsilon$  – poměrné přetvoření
- $A_s$  – plocha výztuže
- $c_g$  – těžiště
- q – spojité zatížení
- R – reakce na prostém nosníku

### Indexy

- k – charakteristická hodnota
- d – výpočtová hodnota
- c – beton
- cc – tlačенý beton
- s – betonářská výztuž

---

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

### Obrázky

<b>Obrázek 3.1</b> Odrazový tvrdoměr Schmidt N .....	12
<b>Obrázek 3.2</b> Způsoby prozvučování konstrukce při UZ impulsní metodě [17] .....	13
<b>Obrázek 3.3</b> Přístroj <i>Profometer 5+</i> pro indikaci výztuže v betonu [22] .....	13
<b>Obrázek 3.4</b> Provádění jádrového vývrtu průměru 50 mm .....	15
<b>Obrázek 3.5</b> Přístroj <i>DY-2 Family</i> pro odtrhové zkoušky povrchových vrstev [23] .....	16
<b>Obrázek 3.6</b> Schéma Schmidtova tvrdoměru [4] .....	21
<b>Obrázek 3.7</b> Kalibrace Schmidtova tvrdoměru typu N na zkušební kovadlině .....	22
<b>Obrázek 3.8</b> Měření Schmidtovým tvrdoměrem typu N .....	23
<b>Obrázek 3.9</b> Schematické znázornění použití magnetického indikátoru výztuže [4] ...	26
<b>Obrázek 3.10</b> Pohled do otvoru po jádrovém vývrtu průměru 50 mm .....	27
<b>Obrázek 3.11</b> Schéma zkušební tělesa (obrobené, pravoúhlý průřez) [15] .....	31
<b>Obrázek 3.12</b> Příklad horních a dolních mezí kluzu v tahovém diagramu [15] .....	32
<b>Obrázek 4.1</b> Poloha mostu ve městě [24] .....	33
<b>Obrázek 4.2</b> Zatěžkávací zkouška nového mostu 29. listopadu 1923 [20] .....	34
<b>Obrázek 4.3</b> Současný stav mostu s mostním provizoriem (foceno 17. 5. 2015) .....	35
<b>Obrázek 4.4</b> Pohled na mostní konstrukci z koryta říčky Čistá .....	36
<b>Obrázek 4.5</b> Schéma posouzení příčnicku na MSÚ v ohybu .....	43
<b>Obrázek 4.6</b> Zatížení příčnicku deskou mostovky a mostním svrškem .....	44
<b>Obrázek 4.7</b> Zatížení příčnicku na náhradním prostém nosníku .....	44
<b>Obrázek 8.1</b> Výstavba opěr mostu přes Čistou v srpnu 1923 .....	53
<b>Obrázek 8.2</b> Výstavba opěr mostu přes Čistou v srpnu 1923 .....	53
<b>Obrázek 8.3</b> Dokončený most, na pozadí je základní škola a gymnázium .....	54
<b>Obrázek 8.4</b> Dokončený most při pohledu směrem k náměstí .....	54
<b>Obrázek 8.5</b> Původní výkres příčného řezu z 19. července 1923 [25] .....	55
<b>Obrázek 8.6</b> Původní výkres půdorysu ortotropní mostovky roku 1923 [25] .....	56
<b>Obrázek 8.7</b> Původní výkres vyztužení desky z 20. července 1923 [25] .....	56
<b>Obrázek 8.8</b> Původní výkres vyztužení příčnicku z roku 1923 [25] .....	57
<b>Obrázek 8.9</b> Původní výkres vyztužení oblouku z roku 1923 .....	57
<b>Obrázek 8.10</b> Pohled na pravý oblouk a pravý chodník .....	58
<b>Obrázek 8.11</b> Poškození spodní části závěsů na levé straně .....	58
<b>Obrázek 8.12</b> Odhalená výztuž v podhledu desky mostovky .....	58

---

<b>Obrázek 8.13</b> Pohled na prvky mostovky: příčnický, podélníky a trám .....	59
<b>Obrázek 8.14</b> Konzolová část desky mostovky a odhalená výztuž příčnicku .....	59
<b>Obrázek 8.15</b> Profil příčnicku s proměnlivými rozměry .....	59
<b>Obrázek 8.16</b> Poruchy konce krajního příčnicku .....	60
<b>Obrázek 8.17</b> Pohled na trám (vlevo) a podélné výztuhy (vpravo).....	60
<b>Obrázek 8.18</b> Uložení nosné konstrukce a konec podélníku.....	60
<b>Obrázek 8.19</b> Okraj uložení mostu a cizími zařízení .....	61
<b>Obrázek 8.20</b> Jeden ze čtyř odvodňovačů a známky poškození izolace .....	61
<b>Obrázek 8.21</b> Vybavení mostu: zábradlí; Cizí zařízení: vodohospodářská trubka .....	61
<b>Obrázek 8.22</b> Štítek stavební firmy N. Rella u. Neffe na jednom z kandelábrů .....	62
<b>Obrázek 8.23</b> Sousedící místo pro NDT zkoušku (vlevo) a jádrový vývrt (vpravo) ....	62
<b>Obrázek 8.24</b> Pohled na sanaci po sekané sondě S11 s patrnou svislou prasklinou .....	62
<b>Obrázek 8.25</b> Jádrový vývrt V1 – Ø 50 mm, odebrán z pravého oblouku.....	63
<b>Obrázek 8.26</b> Jádrový vývrt V2 – Ø 50 mm, odebrán z pravého trámu.....	64
<b>Obrázek 8.27</b> Jádrový vývrt V3 – Ø 50 mm, odebrán z příčnicku č. 6.....	64
<b>Obrázek 8.28</b> Sonda S11 – část třmínku ze závěsu č. 4 levého oblouku .....	69
<b>Obrázek 8.29</b> Sonda S12 – část třmínku ze závěsu č. 2 pravého oblouku .....	69
<b>Obrázek 8.30</b> Zkušební tělesa před zkouškou v tahu s nalepenými tenzometry .....	69

### Tabulky

<b>Tabulka 3.1</b> Porovnání druhů pevnostních tříd betonů podle různých norem [9].....	19
<b>Tabulka 3.2</b> Rozdělení tvrdoměrů podle rozsahu jejich použití.....	22
<b>Tabulka 3.3</b> Tabulka pro ověření rovnoměrnosti betonu .....	25
<b>Tabulka 3.4</b> Součinitele $k_{n,x}$ pro stanovení charakteristické hodnoty [9] .....	29
<b>Tabulka 3.5</b> Krajní mez $k$ příslušející malému počtu výsledků zkoušek [14].....	29
<b>Tabulka 4.1</b> Souhrnné hodnocení krychelných pevností.....	40
<b>Tabulka 4.2</b> Souhrnné hodnocení upřesněných krychelných pevností .....	41
<b>Tabulka 4.3</b> Vstupní hodnoty tahové zkoušky za pokojové teploty.....	42
<b>Tabulka 4.4</b> Výsledky tahových zkoušek oceli za pokojové teploty.....	42
<b>Tabulka 8.1</b> Výpočet krychelné pevnosti betonu v tlaku z jádrových vývrtů.....	65
<b>Tabulka 8.2</b> Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) - Oblouk .....	66
<b>Tabulka 8.3</b> Výpočet upřesňujícího součinitele $\alpha$ pro vyhodnocení NDT zkoušek.....	66
<b>Tabulka 8.4</b> Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) – Trám a Příčnick.....	67
<b>Tabulka 8.5</b> Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) – Podélník a Deska.....	68

---

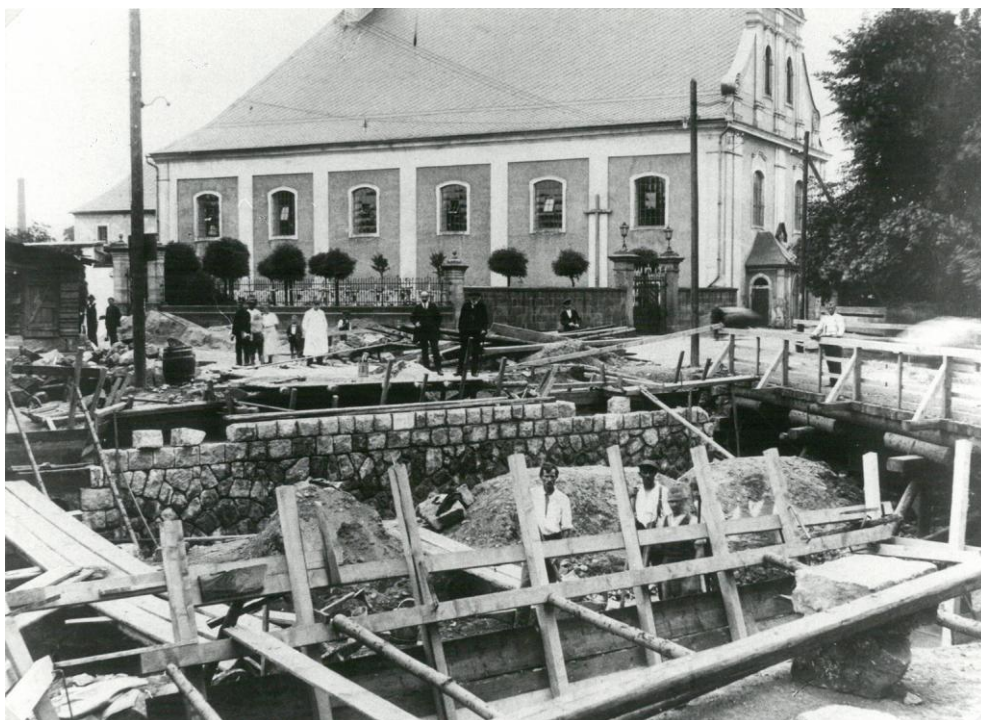
## Grafy

<b>Graf 4.1</b> Pracovní diagram oceli v tahu třmíneků č. 1 a 2 .....	42
---	----

## PŘÍLOHY

### A. Historické fotografie mostu

#### A.1 Výstavba mostu



Obrázek 8.1 Výstavba opěr mostu přes Čistou v srpnu 1923



Obrázek 8.2 Výstavba opěr mostu přes Čistou v srpnu 1923

## A.2 Dokončený most



**Obrázek 8.3** Dokončený most, na pozadí je základní škola a gymnázium

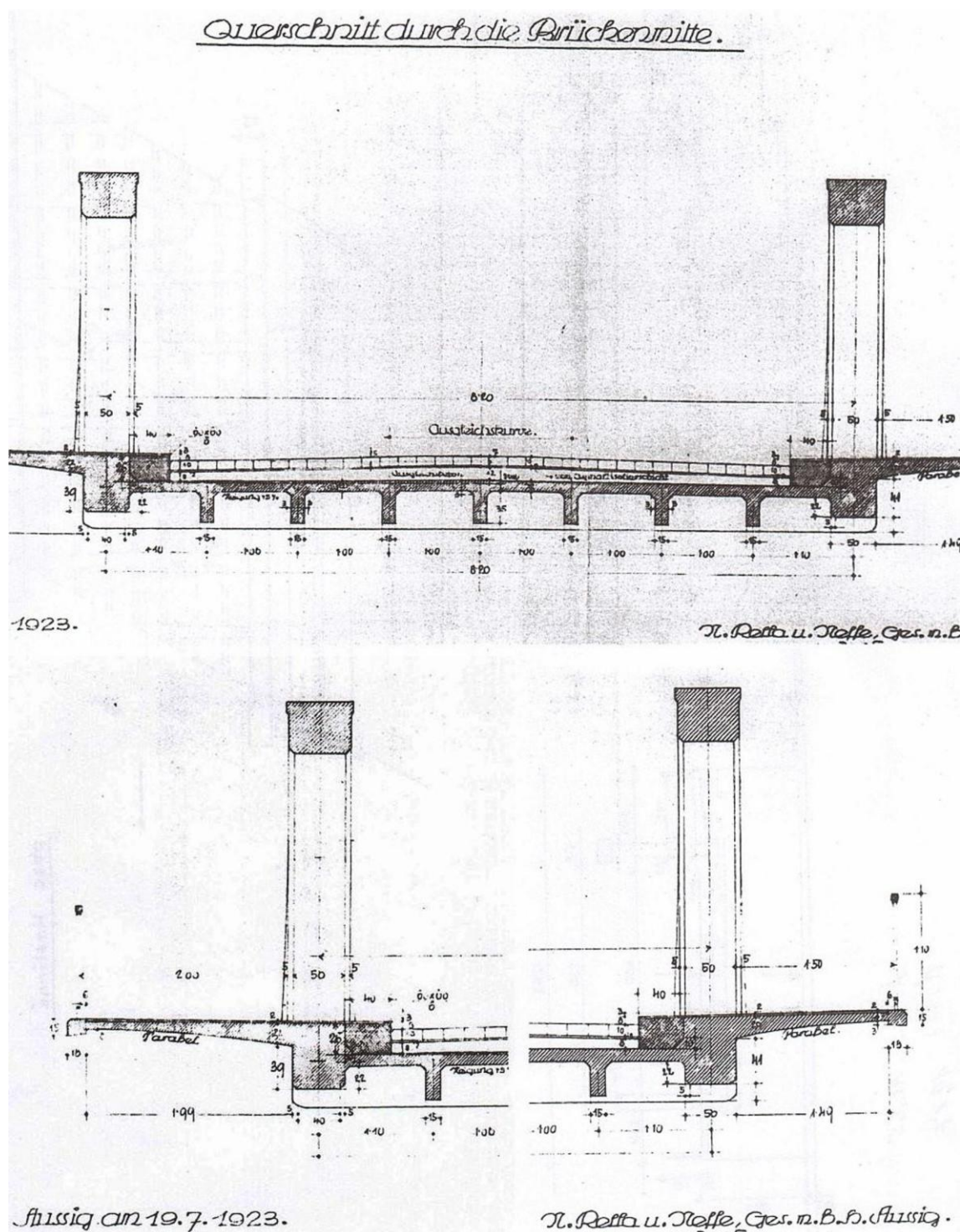


**Obrázek 8.4** Dokončený most při pohledu směrem k náměstí

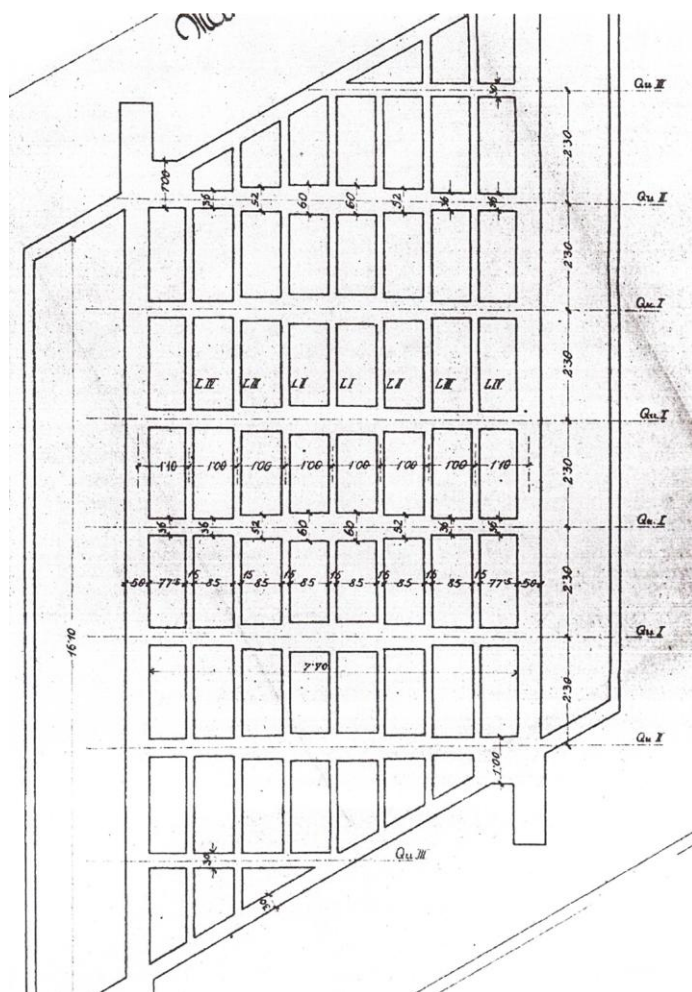
Obrázek 4.2 a všechny fotografie v Příloze A byly získány z archivu městského muzea Hostinné.

## B. Původní výkresová dokumentace

### B.1 Výkresy mostu

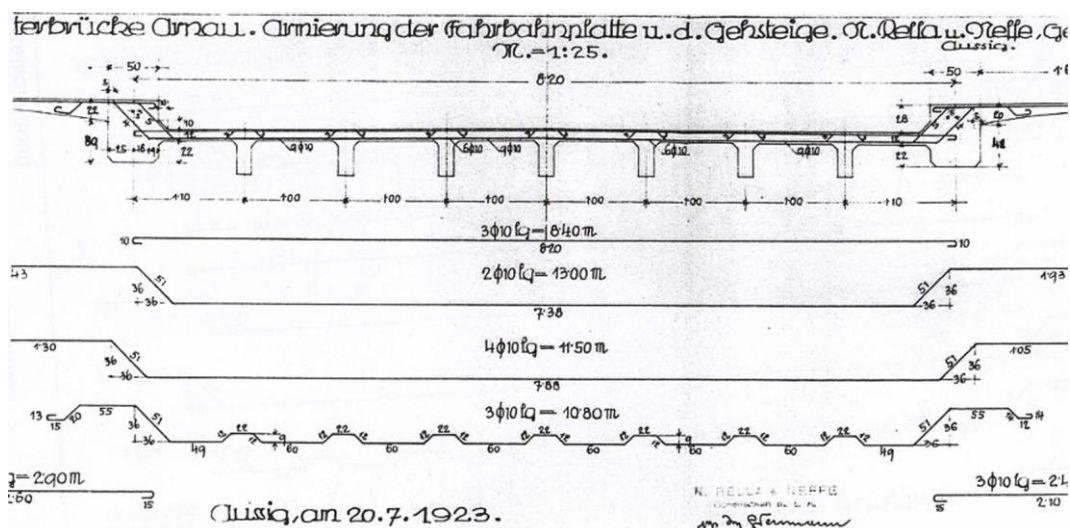


Obrázek 8.5 Původní výkres příčného řezu z 19. července 1923 [25]

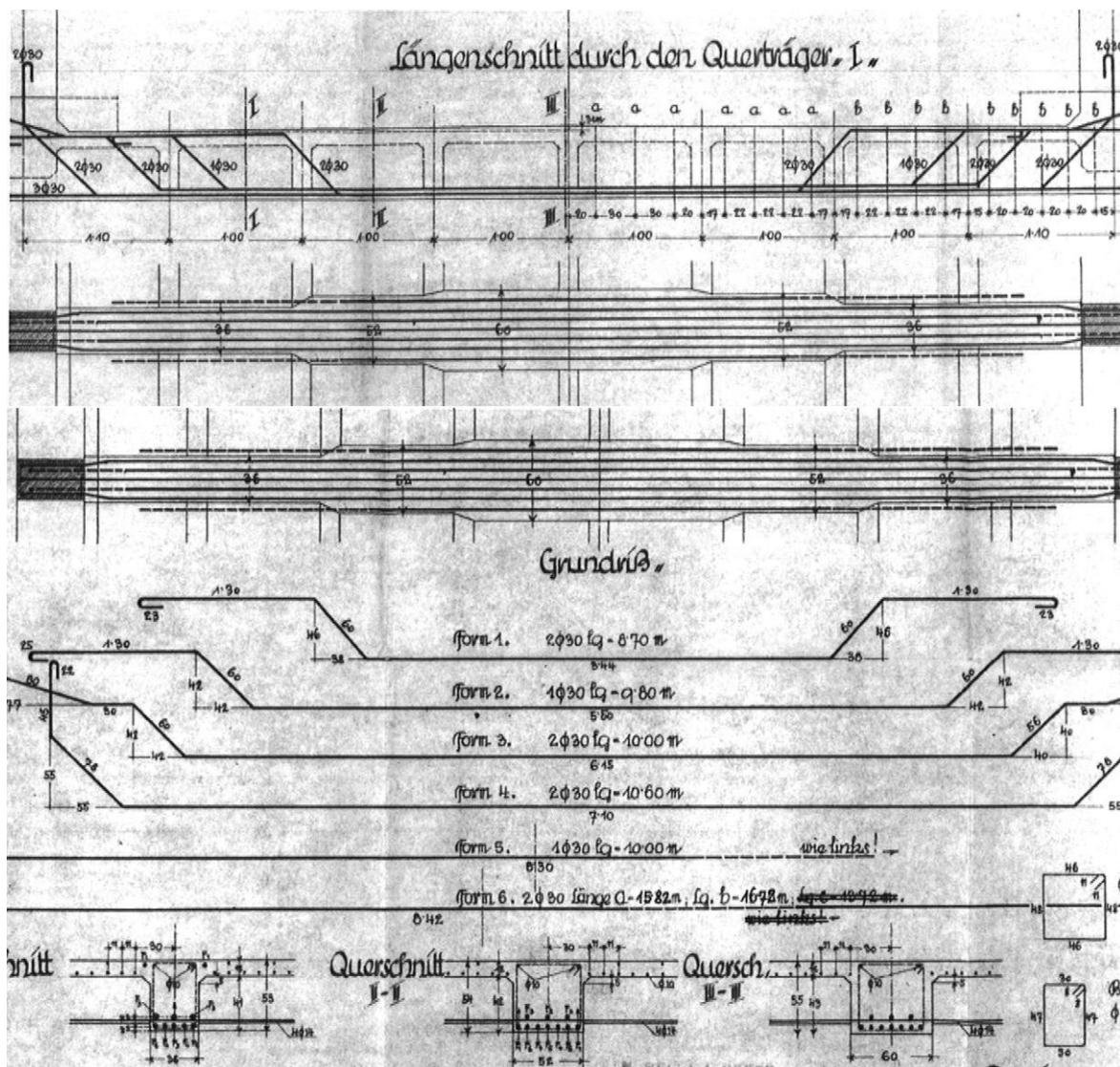


Obrázek 8.6 Původní výkres půdorysu ortotropní mostovky roku 1923 [25]

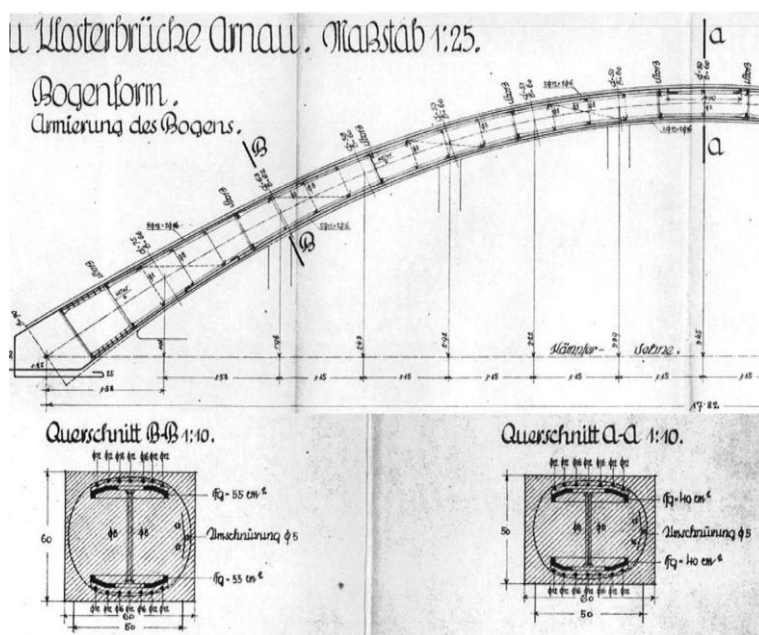
## B.2 Výkresy výztuže konstrukčních prvků



Obrázek 8.7 Původní výkres výztužení desky z 20. července 1923 [25]



Obrázek 8.8 Původní výkres vyztužení příčnicku z roku 1923 [25]



Obrázek 8.9 Původní výkres vyztužení oblouku z roku 1923

## C. Fotodokumentace objektu



**Obrázek 8.10** Pohled na pravý oblouk a pravý chodník



**Obrázek 8.11** Poškození spodní části závěsů na levé straně



**Obrázek 8.12** Odhalená výztuž v podhledu desky mostovky



**Obrázek 8.13** Pohled na prvky mostovky: příčnicky, podélníky a trám



**Obrázek 8.14** Konzolová část desky mostovky a odhalená výztuž příčnicku



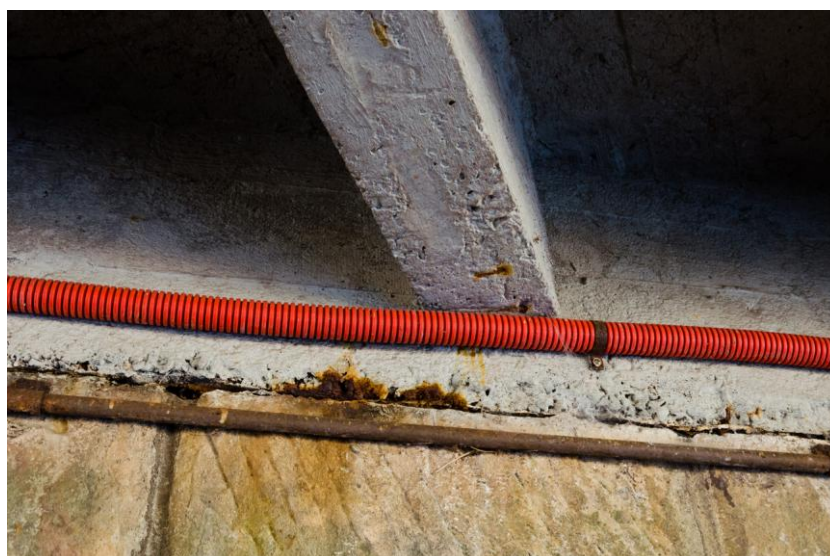
**Obrázek 8.15** Profil příčnicku s proměnlivými rozměry



**Obrázek 8.16** Poruchy konce krajního příčnicku



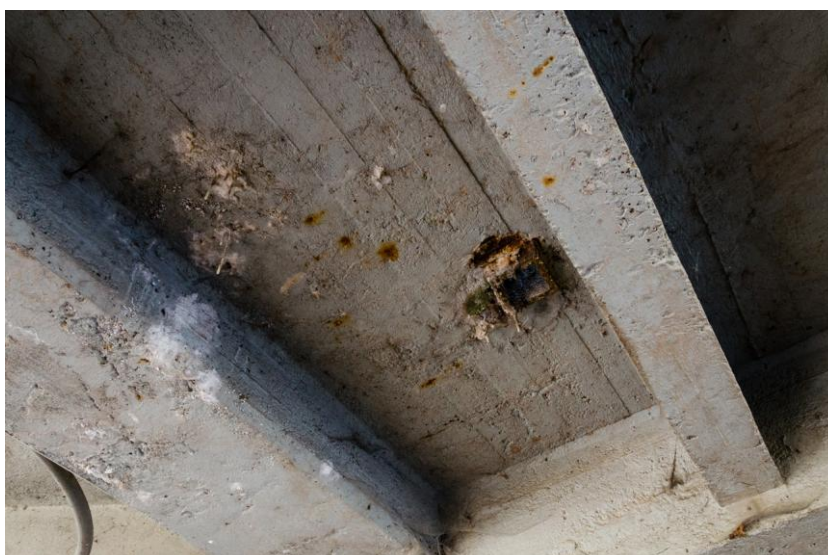
**Obrázek 8.17** Pohled na trám (vlevo) a podélné výztuhy (vpravo)



**Obrázek 8.18** Uložení nosné konstrukce a konec podélníku



**Obrázek 8.19** Okraj uložení mostu a cizími zařízení



**Obrázek 8.20** Jeden ze čtyř odvodňovačů a známky poškození izolace



**Obrázek 8.21** Vybavení mostu: zábradlí; Cizí zařízení: vodohospodářská trubka



**Obrázek 8.22** Štítek stavební firmy N. Rella u. Neffě na jednom z kandelábrů



**Obrázek 8.23** Sousedící místo pro NDT zkoušku (vlevo) a jádrový vývrt (vpravo)



**Obrázek 8.24** Pohled na sanaci po sekané sondě S11 s patrnou svislou prasklinou

## D. Jádrové vývrty

### D.1 Popis odebraných vývrtů

#### Vývrt č. 1 (V1) - Oblouk

Diagnostický vývrt betonu Ø 50 mm byl odebrán v pravém oblouku (ve směru na Vrchlabí) ze strany vozovky, 220 mm za 1. závěsem a 300 mm nad jeho podhledem (měřeno svisle) u zkušebního místa NDT (Schmidt N) č. 10.



Obrázek 8.25 Jádrový vývrt V1 – Ø 50 mm, odebrán z pravého oblouku

Délka vývrtu:	160 mm;
Kamenivo:	světlé drcené i těžené, hrubší chybí, max. velikost zrna: 8,0 mm;
Kostra:	dobrá, kamenivo obaleno pojivem;
Póry:	středně porézní, póry do 4,0 mm;
Tmel:	hutný, kompaktní;
Barva tmelu:	světle šedá;
Poloha výztuže:	v hloubce 58 až 64 mm, souběžné vložky Ø 6 mm;
Jiné zvláštní znaky:	povrch vápenná soudržná vrstva 2 mm, nátěr pružný 0,2 mm.

#### Vývrt č. 2 (V2) - Trám

Diagnostický vývrt betonu Ø 50 mm z pravé (protivodní) strany pravého trámu mezi 3. a 4. příčnicí, 510 mm před 4. příčnicí a 215 mm nad jeho podhledem (měřeno svisle) u zkušebního místa NDT (Schmidt N) č. 21.



Obrázek 8.26 Jádrový vývrt V2 – Ø 50 mm, odebrán z pravého trámu

Délka vývrtu:	85 mm, 105 mm (2 části rozděleny kavernou);
Kamenivo:	světlé drcené i těžené, hrubší chybí, max. velikost zrna: 10,0 mm;
Kostra:	dobrá, kamenivo obaleno pojivem;
Póry:	středně porézní, póry do 4,0 mm;
Tmel:	hutný, kompaktní;
Barva tmelu:	světle šedá;
Poloha výztuže:	v hloubce 50 mm, souběžné vložky Ø 6 mm;
Jiné zvláštní znaky:	povrch vápenná soudržná vrstva 9 až 10 mm, nátěr pružný 0,2 mm.

### Vývrt č. 2 (V2) - Trám

Diagnostický vývrt betonu Ø 50 mm z přední strany příčnicku č. 6 mezi 7. podélníkem a pravým trámem, 740 mm od pravého (návodního) líce pravého příčnicku a 220 mm nad jeho podhledem u zkušebního místa NDT (Schmidt N) č. 30.



Obrázek 8.27 Jádrový vývrt V3 – Ø 50 mm, odebrán z příčnicku č. 6

Délka vývrtu:	160 mm;
Kamenivo:	převážně těžené, nerovnoměrně rozdělené, max. velikost zrna: 8,0 mm;
Kostra:	dobrá, kamenivo obaleno pojivem;
Póry:	středně porézní, póry do 4,0 mm;
Tmel:	hutný, kompaktní;
Barva tmelu:	světle šedá;
Poloha výztuže:	v hloubce 50 mm, souběžné vložky Ø 6 mm;
Jiné zvláštní znaky:	sanace povrchu odstraněna při broušení místa pro tvrdoměrnou zkoušku.

## D.2 Vyhodnocení zkušebních těles z jádrových vývrtů

**Tabulka 8.1** Výpočet krychelné pevnosti betonu v tlaku z jádrových vývrtů

Vývrt	K-ční prvek	délka vývrtu	Zkušeb. těleso	prům.	délka	hmot.	objemová hmotnost	síla	pevnost	štíhlost	krychelná pevnost
		<b>h</b>		<b>Ø</b>	<b>L</b>	<b>m</b>	<b>ρ</b>	<b>F</b>	<b>f<sub>c</sub></b>	<b>λ</b>	<b>f<sub>ck,cube</sub></b>
		[mm]		[mm]	[mm]	[g]	[kgm <sup>-3</sup> ]	[kN]	[MPa]	[-]	[MPa]
<b>V1</b>	<b>Oblouk</b>	160	V1/1	49,26	48,70	204,0	<b>2198</b>	96,9	50,84	0,99	<b>50,8</b>
			V1/2	49,35	49,24	206,7	<b>2195</b>	83,0	43,39	1,00	<b>43,4</b>
<b>V2A</b>	<b>Trám</b>	85	V2/1	49,26	48,38	196,2	<b>2128</b>	87,4	45,86	0,98	<b>45,9</b>
<b>V2B</b>		105	V2/2	49,19	48,38	200,4	<b>2180</b>	96,7	50,88	0,98	<b>50,9</b>
<b>V3</b>	<b>Příčník</b>	160	V3/1	49,17	49,04	209,9	<b>2254</b>	114,1	60,09	1,00	<b>60,1</b>
			V3/2	49,24	48,65	208,5	<b>2251</b>	106,3	55,82	0,99	<b>55,8</b>

## E. Nedestruktivní zkoušky tvrdoměrem Schmidt N

## E.1 Oblouk

Tabulka 8.2 Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) - Oblouk

Čís.	Směr	Číslo odrazu												Poč.	Průměr	Nezaruč. pevnost	Výsledná pevnost				
		n																n	f <sub>be</sub> '	f <sub>be</sub>	f <sub>b</sub>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
1	→	R	54	53	59	53	53	55	59	55	50	52	55	51	12	66	59,4	38,3			
		f <sub>be,i</sub>	66,0	64,2	74,9	64,2	64,2	67,8	74,9	67,8	58,9	62,4	67,8	60,6							
2	↑	R	59	61	58	62	66	53	55	63	52	63	66	57	11	72	64,8	41,8			
		f <sub>be,i</sub>	69,8	73,7	67,9	75,6	83,3	58,3	62,2	77,5	56,4	77,5	83,3	66,0							
3	↑	R	60	61	61	57	63	63	67	65	63	63	65	57	12	75	67,5	43,6			
		f <sub>be,i</sub>	71,8	73,7	73,7	66,0	77,5	77,5	85,2	81,4	77,5	77,5	81,4	66,0							
4	↑	R	63	67	63	63	58	57	62	61	67	59	63	67	12	76	68,4	44,1			
		f <sub>be,i</sub>	77,5	85,2	77,5	77,5	67,9	66,0	75,6	73,7	85,2	69,8	77,5	85,2							
5	↑	R	58	61	58	59	62	61	65	61	61	65	65	61	12	74	66,6	43,0			
		f <sub>be,i</sub>	67,9	73,7	67,9	69,8	75,6	73,7	81,4	73,7	73,7	81,4	81,4	73,7							
6	↑	R	63	62	65	66	65	65	63	65	67	67	65	60	12	80	72,0	46,5			
		f <sub>be,i</sub>	77,5	75,6	81,4	83,3	81,4	81,4	77,5	81,4	85,2	85,2	81,4	71,8							
7	↑	R	56	55	57	59	59	62	64	55	56	57	59	59	12	68	61,2	39,5			
		f <sub>be,i</sub>	64,1	62,2	66,0	69,8	69,8	75,6	79,5	62,2	64,1	66,0	69,8	69,8							
8	→	R	49	53	50	48	54	53	46	52	53	57	51	53	12	61	54,9	35,4			
		f <sub>be,i</sub>	57,1	64,2	58,9	55,3	66,0	64,2	51,7	62,4	64,2	71,4	60,6	64,2							
9	→	R	51	51	49	57	52	50	57	50	50	54	55	59	12	64	57,6	37,2			
		f <sub>be,i</sub>	60,6	60,6	57,1	71,4	62,4	58,9	71,4	58,9	58,9	66,0	67,8	74,9							
10	→	R	52	56	50	51	48	52	54	57	50	54	51	53	12	63	56,7	36,6			
		f <sub>be,i</sub>	62,4	69,6	58,9	60,6	55,3	62,4	66,0	71,4	58,9	66,0	60,6	64,2							
11	↑	R	53	53	47	40	61	62	50	53	61	59	60	47	6	-	-	-			
		f <sub>be,i</sub>	58,3	58,3	46,8	33,6	73,7	75,6	52,5	58,3	73,7	69,8	71,8	46,8							
12	↑	R	56	59	56	59	61	51	63	60	55	59	60	57	12	67	60,3	38,9			
		f <sub>be,i</sub>	64,1	69,8	64,1	69,8	73,7	54,5	77,5	71,8	62,2	69,8	71,8	66,0							
13	↑	R	58	61	59	65	59	59	65	61	60	55	62	63	12	72	64,8	41,8			
		f <sub>be,i</sub>	67,9	73,7	69,8	81,4	69,8	69,8	81,4	73,7	71,8	62,2	75,6	77,5							
14	↑	R	57	57	57	65	63	64	66	65	67	65	66	69	12	78	70,2	45,3			
		f <sub>be,i</sub>	66,0	66,0	66,0	81,4	77,5	79,5	83,3	81,4	85,2	81,4	83,3	89,1							
15	↑	R	61	59	61	60	64	65	57	57	60	66	64	60	12	74	66,6	43,0			
		f <sub>be,i</sub>	73,7	69,8	73,7	71,8	79,5	81,4	66,0	66,0	71,8	83,3	79,5	71,8							
16	→	R	60	57	61	60	49	51	51	61	61	63	59	59	11	73	65,7	42,4			
		f <sub>be,i</sub>	76,7	71,4	78,5	76,7	57,1	60,6	60,6	78,5	78,5	82,1	74,9	74,9							

Tabulka 8.3 Výpočet upřesňujícího součinitele  $\alpha$  pro vyhodnocení NDT zkoušek

veličina	označení	Oblouk	Trám	Příčník	jednotka
		hodnoty	hodnoty	hodnoty	
Pevnost betonu v tlaku vývrtem	f <sub>bi</sub>	36,6	41,3	51,8	[MPa]
Pevnost betonu v tlaku nezaručená	f <sub>bei</sub>	56,7	37,8	65,7	[MPa]
Korelační součinitel	$\alpha$	0,6452	1,0924	0,7890	[-]

## E.2 Trám a Příčník

Tabulka 8.4 Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) – Trám a Příčník

Čís.	Směr	Číslo odrazu												Poč.	Průměr	Nezaruč. pevnost	Výsledná pevnost				
		n																n	f <sub>be</sub> '	f <sub>be</sub>	f <sub>b</sub>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
17	→	R	37	35	37	36	30	39	35	30	30	37	35	30	7	34	30,6	33,4			
		f <sub>be,i</sub>	35,8	32,3	35,8	34,0	23,5	39,3	32,3	23,5	23,5	35,8	32,3	23,5							
18	→	R	57	57	59	59	57	53	54	54	47	49	58	43	11	67	60,3	65,9			
		f <sub>be,i</sub>	71,4	71,4	74,9	74,9	71,4	64,2	66,0	66,0	53,5	57,1	73,1	46,4							
19	→	R	53	52	61	63	59	60	63	61	57	55	55	57	12	73	65,7	71,8			
		f <sub>be,i</sub>	64,2	62,4	78,5	82,1	74,9	76,7	82,1	78,5	71,4	67,8	67,8	71,4							
20	→	R	57	56	60	59	45	51	57	57	45	55	57	55	10	70	63,0	68,8			
		f <sub>be,i</sub>	71,4	69,6	76,7	74,9	49,9	60,6	71,4	71,4	49,9	67,8	71,4	67,8							
21	→	R	40	41	45	45	38	38	39	39	45	42	39	39	12	42	37,8	41,3			
		f <sub>be,i</sub>	41,0	42,8	49,9	49,9	37,5	37,5	39,3	39,3	49,9	44,6	39,3	39,3							
22	→	R	50	45	50	47	51	47	50	48	43	43	48	47	12	54	48,6	53,1			
		f <sub>be,i</sub>	58,9	49,9	58,9	53,5	60,6	53,5	58,9	55,3	46,4	46,4	55,3	53,5							
23	→	R	55	59	57	53	63	54	57	55	57	57	59	52	12	70	63,0	68,8			
		f <sub>be,i</sub>	67,8	74,9	71,4	64,2	82,1	66,0	71,4	67,8	71,4	71,4	74,9	62,4							
24	→	R	47	57	43	41	45	57	41	41	57	50	46	36	8	48	43,2	47,2			
		f <sub>be,i</sub>	53,5	71,4	46,4	42,8	49,9	71,4	42,8	42,8	71,4	58,9	51,7	34,0							
25	→	R	43	38	47	40	47	43	49	37	43	43	32	35	7	42	37,8	29,8			
		f <sub>be,i</sub>	46,4	37,5	53,5	41,0	53,5	46,4	57,1	35,8	46,4	46,4	27,0	32,3							
26	→	R	59	60	59	53	47	57	53	55	53	57	57	55	11	69	62,1	49,0			
		f <sub>be,i</sub>	74,9	76,7	74,9	64,2	53,5	71,4	64,2	67,8	64,2	71,4	71,4	67,8							
27	→	R	57	56	59	55	57	54	53	57	55	57	53	50	12	68	61,2	48,3			
		f <sub>be,i</sub>	71,4	69,6	74,9	67,8	71,4	66,0	64,2	71,4	67,8	71,4	64,2	58,9							
28	→	R	53	50	57	55	43	59	57	45	55	43	57	56	9	68	61,2	48,3			
		f <sub>be,i</sub>	64,2	58,9	71,4	67,8	46,4	74,9	71,4	49,9	67,8	46,4	71,4	69,6							
29	→	R	50	51	51	56	57	59	59	55	53	50	49	50	12	64	57,6	45,4			
		f <sub>be,i</sub>	58,9	60,6	60,6	69,6	71,4	74,9	74,9	67,8	64,2	58,9	57,1	58,9							
30	→	R	47	60	59	59	58	59	60	58	57	59	57	57	11	73	65,7	51,8			
		f <sub>be,i</sub>	53,5	76,7	74,9	74,9	73,1	74,9	76,7	73,1	71,4	74,9	71,4	71,4							
31	→	R	39	39	43	42	42	39	45	47	43	45	43	45	12	45	40,5	32,0			
		f <sub>be,i</sub>	39,3	39,3	46,4	44,6	44,6	39,3	49,9	53,5	46,4	49,9	46,4	49,9							
32	→	R	45	40	45	37	41	30	33	38	49	31	43	40	6	-	-	-			
		f <sub>be,i</sub>	49,9	41,0	49,9	35,8	42,8	23,5	28,8	37,5	57,1	25,3	46,4	41,0							

Určení součinitelů pro výpočet  $f_{be}$  (podle ČSN 73 1373):Součinitel stáří betonu  $\alpha_t$ :

- hodnota: 0,90 (pro stáří betonu vyšší než 360 dní)

Součinitel vlhkosti betonu  $\alpha_{cw}$ :

- hodnota: 1,00 (pro beton vlhký a přirozeně vlhký)

## E.3 Podélník a Deska

Tabulka 8.5 Výsledky NDT zkoušek betonu (Schmidt N) – Podélník a Deska

Čís.	Směr		Číslo odrazu												Poč.	Průměr	Nezaruč. pevnost	Výsledná pevnost				
			n																n	f <sub>be</sub> '	f <sub>be</sub>	f <sub>b</sub>
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
33	0	R	55	53	50	49	53	52	48	47	47	46	50	53	12	59	53,1	<b>53,1</b>				
		f <sub>be,i</sub>	67,8	64,2	58,9	57,1	64,2	62,4	55,3	53,5	53,5	51,7	58,9	64,2								
34	→	R	56	56	54	53	53	55	57	55	55	53	53	59	12	67	60,3	<b>60,3</b>				
		f <sub>be,i</sub>	69,6	69,6	66,0	64,2	64,2	67,8	71,4	67,8	67,8	64,2	64,2	74,9								
35	→	R	57	57	55	60	58	55	50	55	55	48	51	54	12	67	60,3	<b>60,3</b>				
		f <sub>be,i</sub>	71,4	71,4	67,8	76,7	73,1	67,8	58,9	67,8	67,8	55,3	60,6	66,0								
36	→	R	53	53	49	40	40	51	51	45	51	50	54	53	10	60	54,0	<b>54,0</b>				
		f <sub>be,i</sub>	64,2	64,2	57,1	41,0	41,0	60,6	60,6	49,9	60,6	58,9	66,0	64,2								
37	→	R	53	57	55	55	53	47	57	54	54	54	53	51	12	65	58,5	<b>58,5</b>				
		f <sub>be,i</sub>	64,2	71,4	67,8	67,8	64,2	53,5	71,4	66,0	66,0	66,0	64,2	60,6								
38	→	R	53	50	53	50	52	55	55	49	45	50	51	50	12	60	54,0	<b>54,0</b>				
		f <sub>be,i</sub>	64,2	58,9	64,2	58,9	62,4	67,8	67,8	57,1	49,9	58,9	60,6	58,9								
39	→	R	58	42	55	57	40	47	46	47	39	45	51	47	7	52	46,8	<b>46,8</b>				
		f <sub>be,i</sub>	73,1	44,6	67,8	71,4	41,0	53,5	51,7	53,5	39,3	49,9	60,6	53,5								
40	→	R	43	47	55	55	53	56	59	49	50	54	51	50	10	62	55,8	<b>55,8</b>				
		f <sub>be,i</sub>	46,4	53,5	67,8	67,8	64,2	69,6	74,9	57,1	58,9	66,0	60,6	58,9								
41	↑	R	59	55	53	57	57	62	49	60	61	57	58	59	11	67	60,3	<b>60,3</b>				
		f <sub>be,i</sub>	69,8	62,2	58,3	66,0	66,0	75,6	50,6	71,8	73,7	66,0	67,9	69,8								
42	↑	R	61	64	54	60	55	57	62	55	63	56	61	64	12	70	63,0	<b>63,0</b>				
		f <sub>be,i</sub>	73,7	79,5	60,2	71,8	62,2	66,0	75,6	62,2	77,5	64,1	73,7	79,5								
43	↑	R	50	54	59	59	57	55	51	55	57	57	55	55	12	62	55,8	<b>55,8</b>				
		f <sub>be,i</sub>	52,5	60,2	69,8	69,8	66,0	62,2	54,5	62,2	66,0	66,0	62,2	62,2								
44	↑	R	57	57	61	57	59	55	59	59	57	60	46	59	11	68	61,2	<b>61,2</b>				
		f <sub>be,i</sub>	66,0	66,0	73,7	66,0	69,8	62,2	69,8	69,8	66,0	71,8	44,8	69,8								
45	↑	R	64	56	62	49	57	57	51	53	57	55	57	59	10	64	57,6	<b>57,6</b>				
		f <sub>be,i</sub>	79,5	64,1	75,6	50,6	66,0	66,0	54,5	58,3	66,0	62,2	66,0	69,8								
46	↑	R	69	59	63	55	55	57	59	57	56	57	58	56	11	66	59,4	<b>59,4</b>				
		f <sub>be,i</sub>	89,1	69,8	77,5	62,2	62,2	66,0	69,8	66,0	64,1	66,0	67,9	64,1								
47	↑	R	59	62	63	49	59	55	59	57	55	53	59	63	11	68	61,2	<b>61,2</b>				
		f <sub>be,i</sub>	69,8	75,6	77,5	50,6	69,8	62,2	69,8	66,0	62,2	58,3	69,8	77,5								
48	↑	R	51	51	45	51	48	47	49	49	46	47	56	59	10	49	44,1	<b>44,1</b>				
		f <sub>be,i</sub>	54,5	54,5	42,9	54,5	48,7	46,8	50,6	50,6	44,8	46,8	64,1	69,8								

## F. Zkouška oceli tahem za pokojové teploty

### F.1 Vzorky výztuže získané ze sekaných sond

#### Sonda č. 1 (S 11)

Část třmínku  $\varnothing$  5,2 až 5,5 mm ze závěsu č. 4 levého oblouku (na povodní straně). Výztužná vložka je na pravém konci, v místě kde jí měla krajní svislou výztuž, oslabena korozi totálně. Zplodiny z koroze nebyly odstraněny, ale byly překryty sanací (Obrázek 8.24). V budoucnu dojde k jejímu odpadávání.



Obrázek 8.28 Sonda S11 – část třmínku ze závěsu č. 4 levého oblouku

#### Sonda č. 2 (S 12)

Část třmínku  $\varnothing$  5,3 až 5,6 mm ze závěsu č. 2 pravého oblouku (na protivodní straně). Výztužná vložka je na pravém konci, v místě kde jí měla krajní svislou výztuž, částečně oslabena korozi. Zplodiny z koroze nebyly odstraněny, ale překryty sanací (Obrázek 8.24 – v případě sondy č. 2 je sanace provedena obdobně, ale na závěsu se nevyskytuje prasklina, viz Obrázek 8.10). V budoucnu dojde k jejímu odpadávání.



Obrázek 8.29 Sonda S12 – část třmínku ze závěsu č. 2 pravého oblouku

### F.2 Zkušební tělesa pro zkoušku výztuže tahem



Obrázek 8.30 Zkušební tělesa před zkouškou v tahu s nalepenými tenzometry